



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**CARRERA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SECADOR DE SEMILLAS DE CACAO  
EN LA HACIENDA LA ESMERALDA”**

**Autores:**

GAIBOR VELASCO ERICK IVÁN

PACHACAMA PACHACAMA ROBERTO GERARDO

**Tutor:**

PhD. ÁNGEL SALVADOR HERNÁNDEZ MORENO

LATACUNGA - ECUADOR

2017

## AVAL DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

<b>PROPUESTA TECNOLÓGICA</b>	
<b>PROYECTO DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>X</b>

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Gaibor Velasco Erick Iván con número de C.I. 050351547-0 y Pachacama Pachacama Roberto Gerardo con número de C.I. 172559631-4, con el Título de Proyecto de Investigación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SECADOR DE SEMILLAS DE CACAO EN LA HACIENDA LA ESMERALDA”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo tanto expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 25 de Julio de 2017

Para constancia firman:



PhD. Enrique Torres

C.C. 175712194-0

**LECTOR 1**



Ing. Mg. Cristian Gallardo

C.C.050284769-2

**LECTOR 2**



Ing. Mg. Paul Corales

C.C. 050234776-8

## LECTOR 3

### DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros Gaibor Velasco Erick Iván y Pachacama Pachacama Roberto Gerardo declaramos ser autores del presente proyecto de investigación:

“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SECADOR DE SEMILLAS DE CACAO EN LA HACIENDA LA ESMERALDA”, siendo el PhD. Ángel Salvador Hernández Moreno director del presente trabajo; a la vez eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Gaibor Velasco Erick Iván

C.I. 050351547-0



Pachacama Pachacama Roberto Gerardo

C.I. 172559631-4

## AVAL DEL TUTOR

En calidad de Director del Trabajo de Investigación sobre el tema: **“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SECADOR DE SEMILAS DE CACAO EN LA HACIENDA A ESMERALDA”**, de Gaibor Velasco Erick Iván y Pachacama Pachacama Roberto Gerardo, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 25 Julio, 2017

El Director



Firma

PhD. Ángel Salvador Hernández Moreno



## AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

### CERTIFICACIÓN:

A los señores Gaïbor Velasco Erick Iván y Pachacama Pachacama Roberto Gerardo estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, de la carrera de Ingeniería Electromecánica; en mi calidad de propietario de la hacienda 'La Esmeralda', certifico que los peticionarios han desarrollado e implementado el tema de investigación titulado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SECADOR DE SEMILLAS DE CACAO EN LA HACIENDA LA ESMERALDA**”, trabajo que ha satisfecho las expectativas establecidas.

Doy fe del presente para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, 25 de Julio del 2017

**PROPIETARIO**

Sr. Galo Coloma

CI: 020038922-9

## **AGRADECIMIENTO**

Doy gracias a Dios por haberme dado salud y una familia que siempre me han apoyado en los momentos difíciles de mi vida.

De manera muy especial quiero agradecer a mis padres, Wilson Gaibor y Narciza Velasco por ser mi ejemplo a seguir y por haberme dado ese apoyo incondicional para salir adelante.

A mi hermano Álvaro, quien siempre será mi amigo incondicional en los momentos complicados.

Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi, quien me ha formado como profesional y ha sido mi segundo hogar a lo largo de esta carrera.

A lo largo de este camino han sido muchas las personas que me entregaron su apoyo, para alcanzar esta meta, en especial mi familia, compañeros y amigos que aportaron para culminar con éxito la carrera.

*Erick*

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres a mis hermanos y a toda mi familia que supieron apoyarme en los buenos y malos momentos a lo largo de toda mi vida, ya que sin su ayuda, no hubiera sido posible culminar de manera exitosa este proyecto.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi  
Por abrirme sus puertas, en especial a la carrera de Ingeniería Electromecánica y a todos los docentes por impartir sus conocimientos permitiéndome así formarme como profesional.

Al PhD. Ángel Hernández  
Por su apoyo incondicional, su paciencia, su espíritu de enseñanza y su participación en la realización de este trabajo.

A mi amigo y compañero Erick Gaibor que fue parte fundamental en la realización del proyecto.

*Roberto*

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación está dedicado a mi madre que con su ejemplo y esfuerzo supo sacar adelante nuestra familia, es y siempre será mi ejemplo de perseverancia y lucha, el pilar fundamental que da sentido a mi vida, a mi padre que con su presencia espiritual me dio la fortaleza necesaria para culminar mi carrera, a mi hermano que supo apoyarme en los momentos difíciles de la universidad, para ellos mis agradecimientos.

*Erick*

## **DEDICATORIA**

A Dios por la fuerza que me ha dado para afrontar los momentos difíciles y por permitirme llegar a este momento tan anhelado.

A mis padres José y María por la fortaleza que siempre han demostrado, por sus sabios consejos, el apoyo incondicional y los valores inculcados.

A mis hermanos José, Erick y Karem que siempre me han apoyado y han estado pendientes de todo este proceso, por todo el tiempo compartido desde niños y permitirme formar parte de sus vidas.

A ti Mónica por ser mi mayor motivación para seguir ante cualquier adversidad por ser parte de mi vida, y contar con tu apoyo durante este proceso tu existencia es todo para mí.

*Roberto*

## ÍNDICE

1. INFORMACIÓN GENERAL .....	19
2. RESUMEN DEL PROYECTO .....	20
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	20
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	21
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	22
Situación Problemática.....	22
Planteamiento del Problema.....	22
6. OBJETIVOS.....	22
OBJETIVO GENERAL.....	22
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	23
7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.....	23
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....	23
El cacao en el Ecuador .....	24
Producción de cacao.....	24
Características principales del cacao.....	25
Variedad del cacao.....	25
Cacao Criollo.....	25
Cacao Forastero.....	26
Cacao Trinitario.....	26
Cultivo de cacao.....	26
Post cosecha del cacao .....	27
Características del cacao CCN-51 .....	27
Proceso de secado .....	28
Métodos de secado.....	28
Secado natural .....	29
Secado natural en tendales .....	29
Ventajas y Desventajas.....	30
Secado Artificial.....	30
Tipos de secadores Artificiales .....	31
Secadores de bandejas.....	31

Secadores Horizontales .....	32
Secadores Verticales .....	32
Secadores continuos de túnel .....	33
Secadores de lecho fluido.....	34
Secadores rotatorios de calor directo .....	35
Secadores rotatorios de calor indirecto .....	36
Características del control de temperatura en el proceso de secado .....	36
Sistema de control Analógico (tiempo continuo).....	36
Sistema de control digital.....	36
Características generales del PLC.....	37
LOGO! Modulo lógico universal siemens .....	37
9. HIPÓTESIS.....	38
VARIABLE DEPENDIENTE .....	39
VARIABLE INDEPENDIENTE .....	39
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	39
10. METODOLOGÍA.....	39
CARACTERISTICAS GENERALES DE LA HACIENDA LA ‘LA ESMERALDA’ ...	39
DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS Y REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DEL SECADOR.....	40
Requerimientos para el diseño del secador .....	40
Criterios para el diseño del secador .....	41
Elección del tipo de secador.....	41
Fuente de energía .....	42
Sistema de control de temperatura .....	42
DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR DE CACAO EN LA HACIENDA ‘LA ESMERALDA’ .....	42
Dimensionamiento de la tolva.....	44
Proceso de secado de los granos .....	46
Dimensionamiento de los elevadores .....	48
Potencia del motor.....	49
Diseño del sistema de control.....	53
Elementos que conforman el sistema de control.....	54
CONSTRUCCIÓN DEL SECADOR.....	55
11. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	59

Resultados de diseño .....	59
Análisis de resultados de las pruebas .....	61
Análisis de resultados económicos .....	63
12. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO .....	64
13. CONCLUSIONES.....	68
A partir del análisis de los resultados del trabajo realizado se pueden extraer las siguientes conclusiones: .....	68
15. BIBLIOGRAFIA .....	70
ANEXOS .....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Áreas del conocimiento .....	20
<b>Tabla 2:</b> Beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación. ....	21
<b>Tabla 3:</b> Actividades planificadas para el cumplimiento a los objetivos específicos planteados .....	23
<b>Tabla 4:</b> Requisitos de los granos de cacao .....	27
<b>Tabla 5:</b> Operacionalización de variables .....	39
<b>Tabla 6:</b> Requerimientos de diseño .....	41
<b>Tabla 7:</b> Variables para cálculo del volumen de la tolva.....	44
<b>Tabla 8:</b> Contenido de elementos para el cálculo del calor total de vaporización .....	46
<b>Tabla 9:</b> Valores para el cálculo del tiempo de paso de los granos de cacao .....	47
<b>Tabla 10:</b> Diseño de los elevadores .....	49
<b>Tabla 11:</b> Inercia de las semillas de cacao.....	49
<b>Tabla 12:</b> Inercia del tambor.....	50
<b>Tabla 13:</b> Variables para el cálculo de la inercia del tambor .....	51
<b>Tabla 14:</b> Variables para el cálculo de la potencia del motor.....	52
<b>Tabla 15:</b> Resultados para el proceso de secado .....	59
<b>Tabla 16:</b> Resultado del tiempo de permanencia.....	59
<b>Tabla 17:</b> Resultados de masa y volumen del secador .....	59
<b>Tabla 18:</b> Resultados del cálculo de los elevadores .....	59
<b>Tabla 19:</b> Inercia de las semillas de cacao.....	60
<b>Tabla 20:</b> Inercia del tambor.....	60
<b>Tabla 21:</b> Inercia del tambor.....	60
<b>Tabla 22:</b> Aceleración angular y momentos para el cálculo de la potencia del motor .....	60
<b>Tabla 23:</b> Potencia total del motor .....	61
<b>Tabla 24:</b> Características del motor .....	61
<b>Tabla 25:</b> Resultados del cálculo sistema de transmisión por bandas y poleas.....	61
<b>Tabla 26:</b> Resultados de la prueba de secado realizada.....	63
<b>Tabla 27:</b> Consumo de combustible .....	63
<b>Tabla 28:</b> Consumo de electricidad .....	63
<b>Tabla 29:</b> Costo del GLP .....	64
<b>Tabla 30:</b> Costo de la electricidad .....	64
<b>Tabla 31:</b> Ingresos económicos .....	64

<b>Tabla 32:</b> Resultados del VAN para los cinco primeros años de funcionamiento del secador. .....	65
<b>Tabla 33:</b> Resultados del TIR para los cinco primeros años de funcionamiento del secador .	66
<b>Tabla 34:</b> Costo de elementos de la cámara de secado y tolva.....	66
<b>Tabla 35:</b> Costo de elementos de la base de la cámara de secado.....	66
<b>Tabla 36:</b> Costo de elementos para soldadura y sistema de transmisión.....	66
<b>Tabla 37:</b> Costo de elementos más costoso para el sistema de control. ....	67
<b>Tabla 38:</b> Costo de elementos del sistema de control .....	67
<b>Tabla 39:</b> Elementos más costosos de la construcción del secador.....	67
<b>Tabla 40:</b> Gastos indirectos incurridos en el proyecto. ....	67
<b>Tabla 41:</b> Inversión en el secador de semillas de cacao .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Distribución de la producción de cacao en Ecuador.....	24
<b>Figura 2:</b> Árbol, flores y fruto de cacao .....	25
<b>Figura 3 :</b> Curva de secado.....	28
<b>Figura 4:</b> Diversas formas de secado natural .....	29
<b>Figura 5:</b> Cacao aplicado en los tendales de Nestlé Ecuador .....	30
<b>Figura 6:</b> Secador de Bandejas .....	31
<b>Figura 7:</b> Secador horizontal de múltiples pasos.....	32
<b>Figura 8:</b> Secador vertical de multi-etapa .....	33
<b>Figura 9:</b> Secador de flujo de aire a contracorriente .....	33
<b>Figura 10:</b> Secador de banda transportadora .....	34
<b>Figura 11:</b> Secador de lecho fluido .....	35
<b>Figura 12:</b> Secador rotatorio de calor directo.....	35
<b>Figura 13:</b> Secador rotatorio de calor indirecto.....	36
<b>Figura 14:</b> Diagrama de bloques de un sistema de control discreto.....	37
<b>Figura 15:</b> Concepto grafico del PLC .....	37
<b>Figura 16:</b> Logo PLC .....	38
<b>Figura 17:</b> Ubicación Finca la Esmeralda .....	40
<b>Figura 18:</b> Plantas de cacao.....	40
<b>Figura 19:</b> Flujograma de funcionamiento del secador de cacao.....	42
<b>Figura 20:</b> Tipos de elevadores .....	48
<b>Figura 21:</b> Ubicación del elevador en el primer cuadrante. ....	48
<b>Figura 22:</b> Reductor de Engranaje de tornillo .....	52
<b>Figura 23:</b> Sistema esquemático del control de temperatura.....	54
<b>Figura 24:</b> Tolva de ingreso .....	55
<b>Figura 25:</b> Vista longitudinal de la cámara de secado.....	56
<b>Figura 26:</b> Vista frontal de la cámara de secado .....	56
<b>Figura 27:</b> Cubierta vista lateral .....	57
<b>Figura 28:</b> Quemadores de GLP.....	57
<b>Figura 29:</b> Instalación de elevadores.....	58
<b>Figura 30:</b> Motorreductor y sistema de transmisión por poleas.....	58
<b>Figura 31:</b> Variación de la temperatura durante la prueba de secado .....	62
<b>Figura 32:</b> Consumo de energía en la prueba realizada .....	62

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TITULO:** “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SECADOR DE SEMILLAS DE CACAO EN LA HACIENDA LA ESMERALDA”

**Autores:**

Gaibor Velasco Erick Iván  
Pachacama Pachacama Roberto Gerardo

### RESUMEN

La hacienda ‘La Esmeralda’, ubicada en la provincia de Los Ríos, cantón Montalvo, tiene una extensión de 6 hectáreas y en ella existen aproximadamente 8.500 plantas de cacao ‘CCN-51’ que producen una cantidad total de 150 quintales de cacao húmedo al año. Debido a que no se cuenta con un secador de semillas para cacao, los propietarios de la hacienda venden su producto a un precio inferior al 65% del valor en semilla seca. Por ello, el objetivo fundamental del presente trabajo de investigación es, diseñar e implementar un secador de semillas de cacao para disminuir su tiempo de secado, aumentar su calidad e incrementar los ingresos económicos del productor. Para dar cumplimiento a dicho objetivo se diseñó, construyó e implementó un secador rotatorio que está formado, fundamentalmente, por una tolva, una cámara de secado, la cubierta, un quemador de GLP, el soporte del secador, un sistema de elevación para realizar la descarga del producto seco, un moto reductor y el sistema de control. Los resultados de la investigación demuestran que el proceso de secado cumple con los requerimientos del diseño, reduciendo la cantidad de humedad interna del cacao del 60% a 7%, lo que genera una mejor calidad del producto y por ende ingresos económicos al productor. En conclusión, la máquina, secadora de cacao contribuyó a la deshidratación de la semilla, es decir, redujo el tiempo de secado, reemplazando el proceso tradicional por un sistema industrial.

**Palabras claves:** deshidratación, quemador GLP, proceso, secadora, semilla.

**COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY**  
**FACULTY OF ENGINEERING SCIENCES AND APPLIED**

**THEME:** “DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A DRYER OF COCOA AT THE FARM LA ESMERALDA”

**Authors:**

Gaibor Velasco Erick Iván  
Pachacama Pachacama Roberto Gerardo

**ABSTRACT**

The farm 'La Esmeralda', located in the province of Los Ríos, Montalvo Canton has an extension of six hectares wherein there are approximately 8,500 cocoa plants 'CCN-51' that produce a total amount of 150 hundredweight of moist cocoa per year. Because there is no cocoa seed dryer, the owners sell the product at a price below 65% of the dry seed value. Thereby, the main objective of this research work is to design and implement a cocoa seed dryer to reduce drying time, increase its quality and increase the economic income of the producer. In order to reach this goal, a rotary dryer was designed, constructed and implemented. It is basically formed by a hopper, a drying chamber, the cover, a LPG burner, the dryer support, a lifting system to carry out the discharge of the dry product, a motor reducer and the control system. The results show that the drying process meets the design requirements, reducing the amount of internal cocoa moisture from 60% to 7%, which generates a better quality of the product and economic income to the producer as well. In conclusion, notwithstanding the limitations, the study set out that the machine of cocoa dryer significantly contributed to the dehydration of the seed, that is to say, reduced the drying time, replacing the traditional process by an industrial system.

**Key words:** dehydration, LPG burner, process, cocoa dryer, seed.



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

## CENTRO CULTURAL DE IDIOMAS

### AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Centro Cultural de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, yo Lic. Msc. Rodrigo Vicente Tovar Viera con C.I. 0502414089, **CERTIFICO** que he realizado la respectiva revisión del Abstract; con el tema. “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SECADOR DE SEMILAS DE CACAO EN LA HACIENDA LA ESMERALDA**”, cuyos autores son: Gaibor Velasco Erick Iván y Pachacama Pachacama Roberto Gerardo y el tutor el PhD. Ángel Salvador Hernández Moreno.

Latacunga, 25 de Julio del 2017

Docente:

Lic. Msc. Rodrigo Vicente Tovar Viera  
C.I. 0502414089

## 1. INFORMACIÓN GENERAL

### **Título del Proyecto:**

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SECADOR DE SEMILLAS DE CACAO EN LA HACIENDA LA ESMERALDA.”

**Fecha de inicio:** Octubre 2016

**Fecha de finalización:** Julio 2017

### **Lugar de ejecución:**

Finca La Esmeralda - parroquia La Esmeralda – Cantón Montalvo – Provincia de Los Ríos

### **Unidad Académica que auspicia:**

Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

### **Carrera que auspicia:**

Ingeniería Electromecánica

### **Tutor del Proyecto de Investigación:**

- Nombre: PhD. Ángel Salvador Hernández Moreno
- Celular: 0984160559
- Correo electrónico: angel.hernandez@utc.edu.ec

### **Coordinador del proyecto:**

- Nombre: Gaibor Velasco Erick Iván
- Celular: 0982391300
- Correo electrónico: erick.gaibor0@utc.edu.ec

### **Coordinador del proyecto:**

- Nombre: Pachacama Pachacama Roberto Gerardo
- Celular: 0998972859
- Correo electrónico: roberto.pachacama4@utc.edu.ec

## Área de Conocimiento:

**Tabla 1:** Áreas del conocimiento

<b>Campo Amplio</b>	<b>Campo Especifico</b>	<b>Campo Detallado</b>
07 Ingeniería, industria y construcción.	071 Ingeniería y profesiones a fines.	071Ingenieria y procesos químicos. 0713 Electricidad y energía. 0714Electrónica y automatización.

Fuente: (UNESCO, 2013)

## Línea de investigación:

Universidad Técnica de Cotopaxi: Procesos Industriales

## Sub líneas de investigación de la carrera:

Ingeniería Electromecánica: Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánico.

## 2. RESUMEN DEL PROYECTO

La hacienda ‘La Esmeralda’, ubicada en la provincia de Los Ríos, cantón Montalvo, tiene una extensión de 6 hectáreas y en ella existen aproximadamente 8.500 plantas de cacao ‘CCN-51’ que producen una cantidad total de 150 quintales de cacao húmedo al año. Debido a que no se cuenta con un secador de semillas para cacao, los propietarios de la hacienda venden su producto a un precio inferior al 65% del valor en semilla seca. Por ello, el objetivo fundamental del presente trabajo de investigación es, diseñar e implementar un secador de semillas de cacao para disminuir su tiempo de secado, aumentar su calidad e incrementar los ingresos económicos del productor.

Para dar cumplimiento a dicho objetivo se diseñó, construyó e implementó un secador rotatorio que está formado, fundamentalmente, por una tolva, una cámara de secado, la cubierta, un quemador de GLP, el soporte del secador, un sistema de elevación para realizar la descarga del producto seco, un moto reductor y el sistema de control.

Los resultados de la investigación demuestran que el proceso de secado cumple con los requerimientos del diseño, reduciendo la cantidad de humedad interna del cacao del 60% a 7%, lo que genera una mejor calidad del producto y por ende ingresos económicos al productor. En conclusión, la máquina, secadora de cacao contribuyó a la deshidratación de la semilla, es decir, redujo el tiempo de secado, reemplazando el proceso tradicional por un sistema industrial.

### 3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Ecuador es un país que se destaca por la producción y comercialización de semillas finas de cacao, lo que representa el 6,7% del PIB y constituye una fuente de empleo de aproximadamente 750.000 trabajadores entre productores, cosechadores y secadores. (Quingaisa, 2007).

Debido al aumento de las plantaciones cacaoteras por la inversión pública y privada, las exportaciones de granos secos han crecido en los últimos años, obligando a los pequeños y medianos productores a realizar prácticas más eficientes durante la etapa de secado para mejorar la calidad del producto y la comercialización, llegando a competir con los grandes productores de cacao a nivel nacional.

En la actualidad en la hacienda ‘La Esmeralda’ ubicada en la provincia de Los Ríos, cantón Montalvo, parroquia La Esmeralda, no se utiliza un proceso de secado óptimo para las semillas de cacao debido a que no se cuenta con un secador adecuado para este proceso. Este hecho produce afectaciones a las propiedades organolépticas de la calidad del producto; y obliga a la entrega directa a los lugares de acopio con una pérdida del 50% del valor económico.

El diseño e implementación de un sistema de secado de semillas de cacao en dicha hacienda, mejorará la calidad del grano al momento de la entrega en los centros de acopio y aumentará significativamente el valor económico del producto y a su vez los ingresos del pequeño productor.

### 4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

En la Tabla 2 se muestran los beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación.

**Tabla 2:** Beneficiarios directos e indirectos del proyecto de investigación.

<b>Beneficiarios Directos</b>	<b>Beneficiarios Indirectos</b>
Sr. Galo Coloma y Familia ( 3 Personas)	La Hacienda La Esmeralda Trabajadores 1 Hombre 1 Mujer
Postulantes: Gaibor Erick Pachacama Roberto	

**Realizado por:** Gaibor E. Pachacama R.

## **5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **Situación Problemática**

El cacao es el principal producto de comercialización e ingresos económicos de pequeños y grandes productores en el Ecuador. El 35% de la producción nacional de cacao pertenece a la provincia de Los Ríos, el alto costo de construcción de un secador para semillas de cacao es uno de los factores importantes para su obtención, lo que obliga al pequeño productor a entregar el cacao con pulpa, disminuyendo notoriamente el precio del producto a un valor de \$40,00/qq, pero si el cacao está seco (7% de contenido de humedad) se les paga entre \$ 110,00 y 115,00 el quintal (MAGAP, 2016).

Por otra parte, el método de secado natural es ampliamente usado por los pequeños productores de cacao, con la desventaja que está sujeto a las condiciones climáticas y la contaminación ambiental, debido a que son colocados de cierta forma en las carreteras o lugares de poco acceso de luz solar, el tiempo promedio de secado de las semillas de cacao es aproximadamente de 6 a 7 días (Ospina, 2010).

La finca la Esmeralda, ubicada en el cantón Montalvo, provincia de Los Ríos, tiene una extensión de 6 hectáreas y en ella se encuentran plantadas 8.500 plantas de cacao. La producción de la finca es más abundante en los meses comprendidos entre mayo y diciembre, en los que se alcanza una producción de 532 kilogramos de semillas con pulpa cada mes.

### **Planteamiento del Problema**

¿Cómo reducir el tiempo en el proceso de secado de las semillas de cacao para aumentar la calidad del producto y el ingreso económico de los pequeños productores?

## **6. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un secador de semillas de cacao para disminuir su tiempo de secado, aumentar la calidad y los ingresos económicos del productor en la hacienda La Esmeralda Cantón Montalvo, Provincia de Los Ríos.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir los criterios y requerimientos para el diseño del secador de cacao.
- Diseñar y dimensionar el secador de cacao.
- Diseñar el sistema de control de temperatura de la cámara de secado.
- Construir e implementar el secador de semillas de cacao.
- Evaluar el funcionamiento del secador en el proceso de secado de las semillas de cacao.

## 7. ACTIVIDADES EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

**Tabla 3:** Actividades planificadas para el cumplimiento a los objetivos específicos planteados

Objetivo	Actividad	Resultado de la actividad	Medios de Verificación
1. Definir los criterios y requerimientos para el diseño del secador de cacao.	1.1. Determinar el contenido de humedad de entrada y salida de las semillas de cacao en el secador.	Obtención de información sobre los contenidos de humedad y temperatura a la entrada y salida de la cámara de secado.	Norma INEN NTE 176-2006.
	1.2. Definir la cantidad de semillas de cacao a secar.		Pesado de las semillas de cacao.
	1.3. Selección del tipo de secador útil para el proceso de secado.	Cantidad de semillas a secar.	
2. Diseñar y dimensionar el secador de cacao.	2.1. Realizar el diseño y dimensionamiento del secador.	Obtención de información del dimensionamiento del secador.	Metodología para el cálculo de secadores de cacao.
	2.2. Elaborar el conjunto de planos de la cámara de secado.	Conjunto de planos constructivos.	
3. Diseñar el sistema de control de temperatura de la cámara de secado.	3.1. Selección del tipo de sistemas de control.	Sistema de control de temperatura.	Pantalla LCD
	3.2 Incorporación de sensor de temperatura.		
4. Construir e implementar el secador de semillas de cacao.	4.1. Selección del tipo de material y equipo a utilizar para la construcción del secador.	Material y equipos adecuados para la construcción del secador.	Catálogos de proveedores.
	4.2 Selección de elementos para el sistema del secador.		
5. Evaluar el funcionamiento del secador en el proceso de secado de las semillas de cacao.	5.1. Observar la granulometría y color de la semilla durante el proceso de secado.	Obtención de la eficiencia del secador.	Metodología de cálculo de eficiencia mediante EES.
	5.2 Determinar la eficiencia del secador de semillas.		

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

## 8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

### El cacao en el Ecuador

“La cosecha de cacao se realiza principalmente en la costa y la amazonia del Ecuador. Las provincias de mayor producción son Los Ríos, Guayas, Manabí y Sucumbíos. En el Ecuador se desarrollan dos tipos de cacao: Cacao Fino de aroma “Arriba” y Cacao CCN-51.

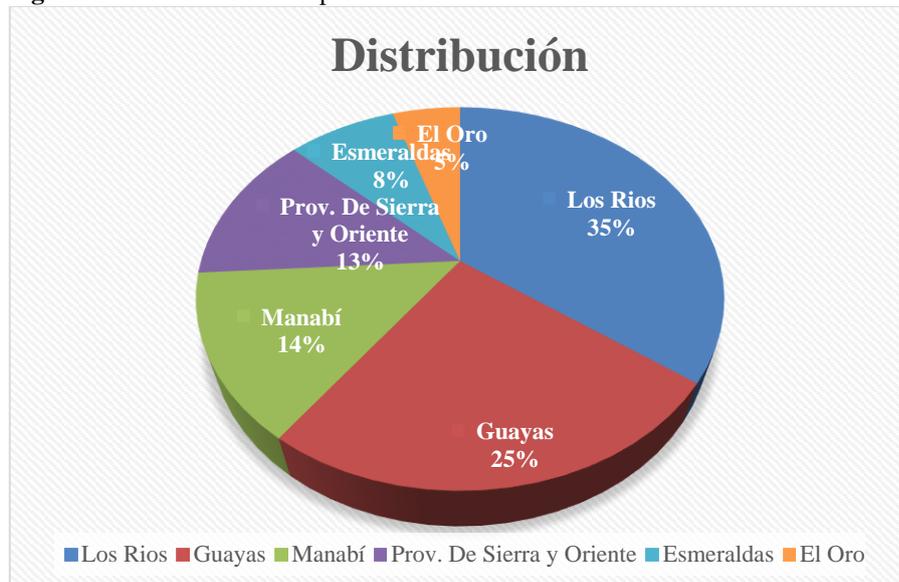
En el 2014 se logró exportar aproximadamente 223 mil toneladas de cacao obteniendo ingresos de 710 millones de dólares.” (PROECUADOR, 2017)

“El cacao se cultiva principalmente dentro de los 17 °C de latitud del Ecuador. La ubicación geográfica del Ecuador favorece la producción de cacao, por las precipitaciones durante casi todo el año y las temperaturas relativamente estables, entre 25 y 28 °C.” (PROECUADOR, 2013)

### Producción de cacao

La producción en toneladas métricas de cacao en almendra seca se distribuyen para las provincias principales del Ecuador: Manabí con 10.924 TM, Los Ríos con 22.113 TM y Guayas con 46.159 TM. Aproximadamente el 75% de los cultivos de cacao están localizados en la región costa del Ecuador. (PROECUADOR, 2017)

**Figura 1:** Distribución de la producción de cacao en Ecuador



Fuente: (PROECUADOR, 2017)

### Características principales del cacao

“El árbol de cacao o *Theobroma Cacao*, es un árbol tropical de la familia de las esterculiáceas que crece de forma silvestre en los bosques de América Central, en la zona situada entre los 26 grados al norte y 26 grados al sur del Ecuador, en estado silvestre alcanza un altura de 9 metros” (ANECACAO, 2015).

Los árboles cultivados no suelen pasar de los 2 o 3 metros de altura para facilitar la recolección de los frutos en la época de cosecha, además las flores son pequeñas con pétalos de color amarillo cremoso y sépalos rosados como se observa en la Figura 2.

**Figura 2:** Árbol, flores y fruto de cacao



**Fuente:** (Plantación Hacienda La Esmeralda)

### Variedad del cacao

“Al existir una gran variabilidad genética entre el color, forma y dimensiones del cacao era muy complejo realizar una clasificación, por lo que (Cheesman, 1944) lo separó en poblaciones, en donde cada una de estas tiene características por las que se les puede diferenciar entre sí. Es importante señalar que el cacao comercial en su gran mayoría pertenece a la especie *Theobroma cacao*” (Poveda, 2006).

### Cacao Criollo

“En los cacaos criollos se hallan los que mantienen características antiguas, provenientes de los antecesores criollos de Venezuela, y Centro América. Sus flores son de color rosado pálido, las mazorcas de color rojo, tornándose amarillas al madurar, los cotiledones frescos son de color blanco o violeta pálido, para fermentar requieren de 3 días aproximadamente, por ser muy aromáticos se los denomina comercialmente como cacao fino. Hoy en día la producción de cacao criollo es tan reducida que tiene poca importancia en el comercio mundial” (ANECACAO, 2006).

Se considera una variedad de cacao fino de aroma, por lo que es muy apreciada para la obtención de polvo de cacao con el que se producen chocolates mucho más dulces, y con menos amargor que en el resto de las variedades.

El fruto tiene la corteza muy suave y las semillas redondeadas de color violeta poseen un contenido menor de taninos.

### **Cacao Forastero**

“Los forasteros amazónicos están distribuidos en la cuenca del río Amazonas, son los cacaos de Brasil, Ecuador y también se encuentran en África Occidental. Parte de las flores de este grupo son pigmentadas de violeta, las mazorcas son amarillas al estar maduras, mientras que los cotiledones frescos son de color púrpura oscuro y para su fermentación requieren 5 días aproximadamente. En la actualidad representan la mayor parte de la producción mundial de cacao” (Poveda, 2006).

Es tipo de cacao también se le conoce como cacao ordinario, es la variedad más abundante en las regiones antes mencionadas. Una característica propia de la especie es que tiene poco sabor y aroma por lo que se usa en combinaciones con el criollo.

### **Cacao Trinitario**

“Los trinitarios son híbridos, producto del cruce entre forasteros y criollos. Son originarios de la isla de Trinidad, sus características genéticas y morfológicas son una combinación de las que poseen los forasteros y criollos. La producción de estos representa el 12% de la producción mundial aproximadamente” (INIAP, 1993).

Procede de una variedad obtenida en la Isla Trinidad, a base de cruzar las dos variedades anteriores, es más aromático que el cacao forastero y más resistente que el cacao criollo.

### **Cultivo de cacao**

“Los frutos maduran a lo largo del año, normalmente se llevan a cabo dos cosechas en un año: la cosecha principal y la cosecha intermedia. La cosecha intermedia es en general menor que la principal, sin embargo, el tamaño relativo varía según cada país. Se requieren de 5 a 6 meses entre la fertilización y la cosecha de los frutos. La temporada de cosecha dura alrededor de 5 meses” (ANECACAO, 2015).

La siembra del cacao debe realizarse en la primera mitad de la temporada de lluvia con el fin de tener suficiente tiempo para que el árbol se establezca antes de la siguiente temporada seca.

### Post cosecha del cacao

Luego de la cosecha de las mazorcas de cacao maduras sigue el proceso de fermentado y posteriormente el proceso de secado. Estos procesos se llevan a cabo por los pequeños productores aunque en algunos casos, se comercializa el cacao en baba. En el centro de acopio, las semillas de cacao pasan alrededor de 4 a 5 días en el proceso de fermentado, sea en cajones de madera o en sacos de yute (Coloma, 2017).

### Características del cacao CCN-51

“El cacao CCN-51 es una variedad que se cultiva en Ecuador, sus propiedades tales como un alto volumen de producción cuadruplica el rendimiento de cosecha, superando así a otras variedades y su alta resistencia a enfermedades hace de esta planta competitiva al mercado internacional” (INEN, 2006).

El ente regulador que exige la calidad de los granos de cacao es el Instituto Ecuatoriano de Normalización el cual señala que el porcentaje máximo de humedad del grano debe ser del 7 % y no debe estar afectado por moho, humo u otros factores externos en la Tabla 4 se muestran los requisitos de los granos de cacao.

**Tabla 4:** Requisitos de los granos de cacao

<b>REQUISITOS DE LOS GRANOS DE CACAO</b>							
<b>REQUISITOS</b>	<b>Unid.</b>	<b>ARRIBA</b>					<b>CCN-51</b>
		<b>A.S.S.P.S</b>	<b>A.S.S.S</b>	<b>A.S.S</b>	<b>A.S.N</b>	<b>A.S.E</b>	
Cien granos pesan	g	135	130	120	110	105	135
Buena fermentación (min)	%	140	135	125	115	110	140
Ligera fermentación (min)	%	75	65	60	44	26	65
Violeta (máx)	%	10	10	5	10	27	11
Pizarroso (pastoso) (máx)	%	10	15	21	25	25	18
Moho (máx)	%	4	9	12	18	18	5
Totales (análisis sobre 100 pepas)	%	1	1	2	3	4	1
		100	100	100	100	100	100

Fuente: (INEN I. E., 2006)

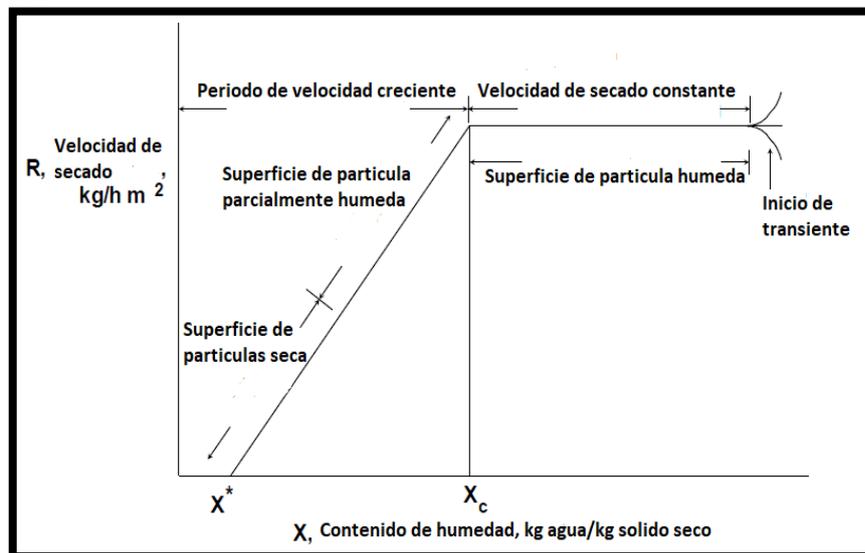
“La composición principal de un grano de cacao es grasa alrededor del 50%, las proteínas componen alrededor del 10,9% y el agua un 7,6% aproximadamente” (Cakebread, 1981).

## Proceso de secado

“Finalizado el proceso de fermentación los granos de cacao tienen un contenido de humedad del 60% aproximadamente. Para poder almacenar los granos de cacao deben tener 7% de humedad. Durante el proceso de secado no es lo único importante reducir la humedad que existe en las almendras fermentadas, sino garantizar que los cambios químicos que se venían dando continúen hasta detenerse por falta de humedad o la inactivación de las enzimas por otros medios” (Poveda, 2006).

“Las curvas de secado, por lo general, tienen un periodo de velocidad de secado constante y un periodo decreciente” (Mujumdar, 2011), tal como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3 :** Curva de secado



Fuente: (Mujumdar, 2011)

## Métodos de secado

“Existen distintos métodos de secado pudiendo ser natural, aprovechando la radiación solar y obteniéndose almendras con mayor aroma, o un secado artificial mediante el empleo de estufas o secadores mecánicos haciendo pasar una corriente de aire seco y caliente por la masa del cacao” (Poveda, 2006).

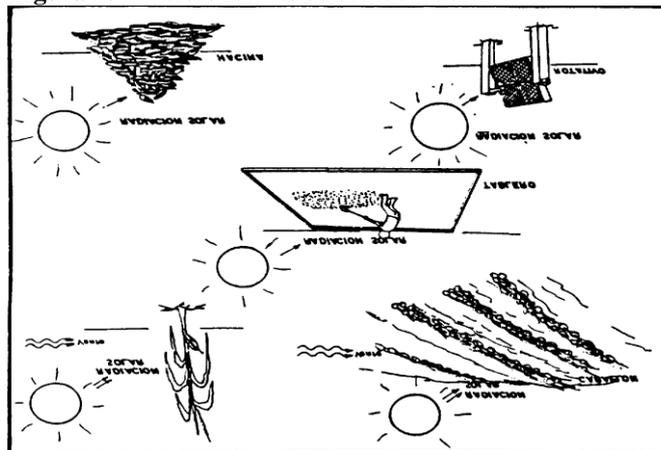
En el Ecuador una gran parte de productores todavía utilizan la forma convencional para el secado de cacao, esto consiste en poner el grano en grandes áreas planas durante varios días, una desventaja de este tipo de proceso es el largo periodo que se tiene que exponer y llegar a un óptimo resultado, dependerá de las condiciones climáticas por la intemperie del producto.

## Secado natural

“El proceso de secado natural es el más común en los países productores que gozan de suficiente radiación solar y un régimen de lluvias no excesivos. Los diversos factores que afectan la tasa de secado de las almendras de cacao están relacionados con la temperatura ambiente, la duración de los días lluviosos, la velocidad del viento, la superficie de secado, la humedad relativa del aire y el número de horas de insolación aprovechables para el secado” (FAO, 1993).

Los factores importantes para el secado de cacao son la velocidad del viento y la radiación a la que está expuesto el grano. El secado natural puede ser en tendales o en el campo, estos dos comienzan inmediatamente después del fermentado.

**Figura 4:** Diversas formas de secado natural



Fuente: (FAO, 1993)

## Secado natural en tendales

“El secado natural en tendales es un procedimiento en el cual el producto se esparce sobre un piso de concreto o de albañilería, con una ligera inclinación para facilitar el drenaje, o incluso sobre el asfalto de las carreteras, en una capa generalmente de 1 cm de espesor. El intercambio de energía y de humedad, entre el aire y el producto, queda limitado casi exclusivamente a la superficie de la capa de producto, por lo que es necesario revolver el grano periódicamente” (Poveda, 2006).

El viento es el encargado de llevarse la humedad perdida por el grano, esto dependerá de la humedad relativa del aire ambiente y la radiación solar la cual genera energía térmica provocando el calentamiento del cacao, el secado por tendales tiene ventajas de construcción y funcionalidad, y a su vez el bajo costo inicial.

Los tendales pueden ser de cemento los cuales deben tener una ligera pendiente para facilitar el drenaje, el otro tipo es de caña picada sobre montículos de arena para lo cual se utilizaba caña de bambú que resulta económico para el productor del cultivo de cacao.

**Figura 5:** Cacao aplicado en los tendales de Nestlé Ecuador



**Fuente:** (Poveda, 2006)

### **Ventajas y Desventajas**

Estos métodos simples de secado presentan algunas ventajas y desventajas que se desarrollan a continuación:

- No utilizan combustibles para el secado ya que su principal elemento es el clima.
- No se requiere estructuras especializadas por lo que el costo no es elevado.
- El secado por tendales dependen del clima para el secado.
- Los periodos de secado son demasiado prolongados lo que podría generar hongos en el producto.
- El producto está expuesta a polvo e insectos por la intemperie.
- El nivel de humedad que se obtiene no es uniforme ni optimo lo que trae el que producto no tenga una calidad apropiada para la comercialización.

### **Secado Artificial**

“Los secadores artificiales son aquellos que utilizan madera, bagazo, GLP y otros derivados del petróleo como combustible. La transferencia de calor se realiza por medio de conducción y convección principalmente. En los secadores artificiales se realiza la convección en forma natural y forzada. Generalmente el proceso de secado se realiza en un recinto cerrado” (Poveda, 2006).

En el caso del uso de secado artificial debe iniciarse con una temperatura no mayor a 35 grados centígrados.

La justificación para la utilización de secadores artificiales es que se lo realiza en plantaciones de grandes extensiones donde el clima de la localidad y la gran producción no permitan un secado natural. Consistirá entonces en aplicar una fuente de calor artificial, la que permite el flujo de aire caliente a través de los granos de cacao.

### Tipos de secadores Artificiales

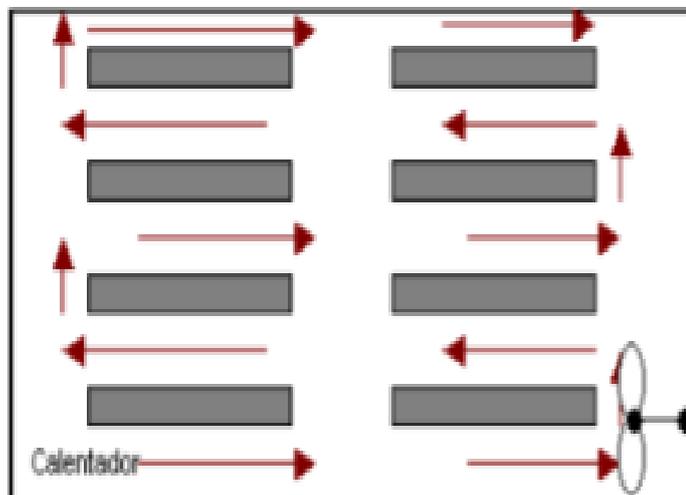
Se caracterizan por la transmisión de calor a sólidos húmedos y además del manejo del producto en función de sus características y propiedades físicas del material mojado.

#### Secadores de bandejas

“También conocidos como secadores de anaqueles o compartimientos, en el cual se esparce uniformemente sobre una bandeja de metal con profundidad de 0.01 a 0.1 m como se puede observar en la Figura 6, en la cual contiene bandejas que cargan y descargan el compartimiento” (Plaza, 2012).

La corriente de aire caliente que se obtiene del ventilador cumple como evaporador de la humedad interna de los granos, recirculando a lo largo del área del secador representado por las flechas.

**Figura 6:** Secador de Bandejas



Fuente: (Ramírez, 2007)

### Secadores Horizontales

“Por su forma pueden resultar muy útiles ya que caben en lugares con bajo techo y su mantenimiento es de fácil acceso, se pueden construir de 1, 2 o 3 pasos, como se puede observar en la Figura 7” (Ramírez, 2007).

Los secadores horizontales pueden llegar a obtener bajas cantidades de humedad en los procesos de secado, una desventaja de este tipo de secador es el área que ocupan para realizar esta actividad.

**Figura 7:** Secador horizontal de múltiples pasos



Fuente: (Ramírez, 2007)

### Secadores Verticales

Este tipo de secador pueden construirse de un paso o múltiples pasos, tiene la ventaja de no ocupar mucho espacio en el piso (Plaza, 2012). Los cambios de producto a producto son rápidos, pero posee algunas desventajas como:

- Maltrato del producto por la caída por gravedad de lecho a lecho.
- Se requiere una estructura mucho más alta.
- Su limpieza se la realiza de una manera complicada.

El secador vertical se adapta a las exigencias del secado de acuerdo a los niveles de paso del grano, su diseño se caracteriza por ser una torre vertical como el nombre lo dice y el grano cae por la fuerza de gravedad desde el ingreso que es en la parte de arriba hasta abajo que es la salida del grano como se observa en la Figura 8.

**Figura 8:** Secador vertical de multi-etapa



Fuente: (Ramírez, 2007)

### **Secadores continuos de túnel**

“Este tipo de secador es de compartimiento de bandejas o carretillas, como se puede observar en la Figura 9. El producto se coloca sobre las bandejas las cuales se mueven continuamente por el túnel con aire caliente, este flujo de aire puede ser cruzado o contracorriente y a su vez una fusión de las dos” (Plaza, 2012).

**Figura 9:** Secador de flujo de aire a contracorriente



Fuente: (Ramírez, 2007)

Una característica del secador continuo de túnel es el ingreso y extracción del grano, el cual consiste en desplazar las bandejas hacia adentro o fuera de la cámara de secado y en el caso de utilizar las bandas transportadoras su proceso es el recorrer toda el área a lo largo del secador.

**Figura 10:** Secador de banda transportadora



Fuente: (Ramírez, 2007)

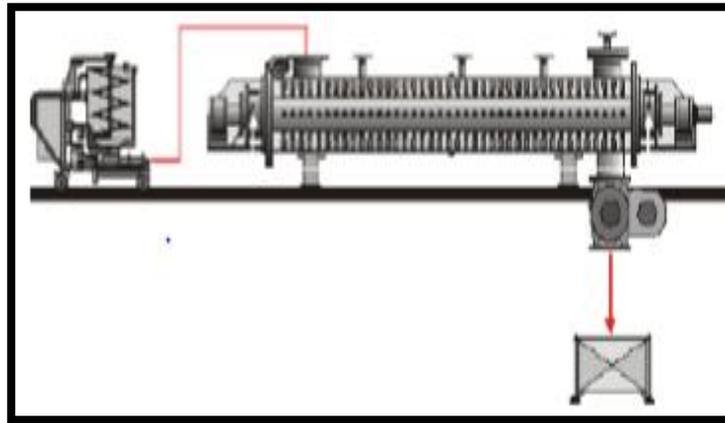
### **Secadores de lecho fluido**

Según Plaza, (2012) este tipo de secador posee varias ventajas comparado con las técnicas de secado convencionales, como se puede observar en la Figura 11.

- Posee alta tasa de transferencia de calor y masa.
- Posee tiempos de secado mucho más cortos pero estos pueden variar según el tipo de producto que se va a secar.
- Pueden soportar un secado de material con un contenido de humedad desde menos del 10% hasta más del 80%.
- La temperatura de secado puede variar desde la temperatura ambiente hasta 200°C, por lo que cubre las diferentes operaciones de secado.
- Puede procesar una gran variedad de materiales, alimentos, combustibles, minerales y materiales aglomerantes.

La característica más importante de este tipo de secador es, la versatilidad que tiene para el proceso de secado en diferentes materiales, el manejo del tiempo de acuerdo a la cantidad y humedad que posee el producto al ingresar al secador.

La robustez de la maquina no es señal de dureza con los granos, al contrario, es sensible con las temperaturas a las que se debe secar productos finos y delicados, la gran cantidad de gases que genera por el proceso es una desventaja de la máquina y también la complejidad en el sistema de control.

**Figura 11:** Secador de lecho fluido

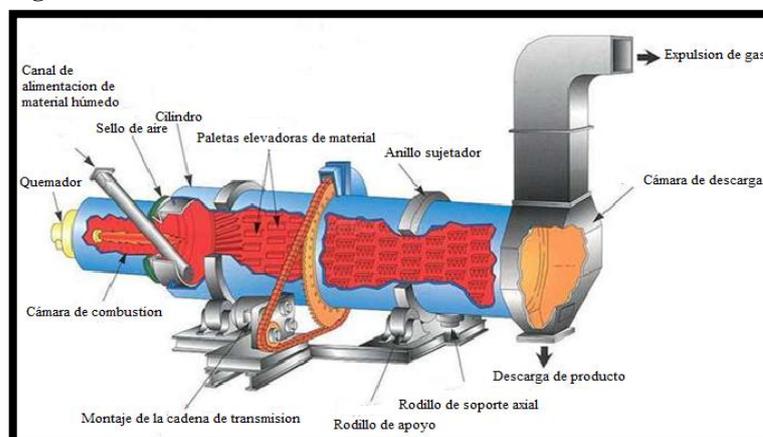
Fuente: (Ramírez, 2007)

### Secadores rotatorios de calor directo

“Hay un número infinito de variaciones, que presente características de funcionamiento adecuadas para el secado, las reacciones químicas, la mezcla, la recuperación de solventes, descomposiciones térmicas, sinterizado, y aglomeración de sólidos” (Mujumdar, 2015).

Se describe como un largo cilindro rotatorio, montado sobre polines en un leve ángulo de inclinación y que rota levemente. La alimentación se lo realiza a través de una correa transportadora, la cual traslada el producto hacia el tambor giratorio, las paletas elevan el material húmedo a través de la sección de cruce del cilindro y lo exponen a gases calientes provenientes de la cámara de combustión.

Esta consiste en un quemador controlado automáticamente que flamea en un horno revestido con material refractario para asegurar la completa actividad del combustible y la producción de las planchas de acero, Figura 12. (Ramírez, 2007)

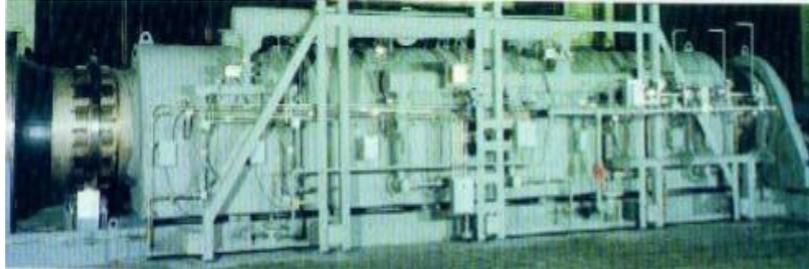
**Figura 12:** Secador rotatorio de calor directo

Fuente: (Ramírez, 2007)

### **Secadores rotatorios de calor indirecto**

“Los secadores de calor indirecto se componen de un cilindro rotatorio enclaustrado en una cámara estacionaria. Generalmente el material a ser secado es introducido en el cilindro rotatorio con un transportador helicoidal que se extiende unos cuantos pies dentro del cilindro. Esta contiene vasos que normalmente son de 2” a 6” de alto y 3/8” de espesor, soldados en la superficie interna del cilindro y se extiende a lo largo del mismo, Figura 13” (Plaza, 2012).

**Figura 13:** Secador rotatorio de calor indirecto



Fuente: (Plaza, 2012)

“El propósito principal de éstos es mezclar el material y minimizar el desgaste en la superficie interna del cilindro. La cámara de combustión estacionaria es de paredes refractarias y sirve como paso para la combustión caliente generada por el gas desde un sistema de quemador externo” (Plaza, 2012).

### **Características del control de temperatura en el proceso de secado**

#### **Sistema de control Analógico (tiempo continuo)**

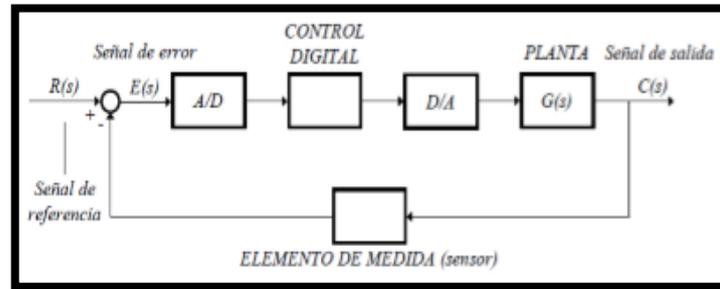
Los sistemas de control analógico son aquellos en los cuales las magnitudes de las señales son función de la variable del tiempo (t), los sistemas analógicos manipulan o contienen elementos como sensores u otros dispositivos en los cuales su magnitud varia en un intervalo continuo de tiempo, unos ejemplos de señales analógicas son el tiempo, precisión, distancia y el sonido.

#### **Sistema de control digital**

“Un sistema de Control Digital se refiere al uso de una computadora o controlador digital en el sistema de tal manera que las señales estén en código digital, como un código binario. A los sistemas de control digital se los conoce como sistemas de tiempo discreto, ya que los sistemas de tiempo discreto se subdividen en sistemas de control de datos muestreados y los sistemas de control digital” (Plaza, 2012).

Los sistemas de control realizan la conversión de señales, esto consiste en el ingreso de una señal de forma analógica y para su control se la transforma en una señal digital a la salida del mismo. Para el control la señal de salida será quien modifique las especificaciones técnicas a las que se quiere llegar.

**Figura 14:** Diagrama de bloques de un sistema de control discreto



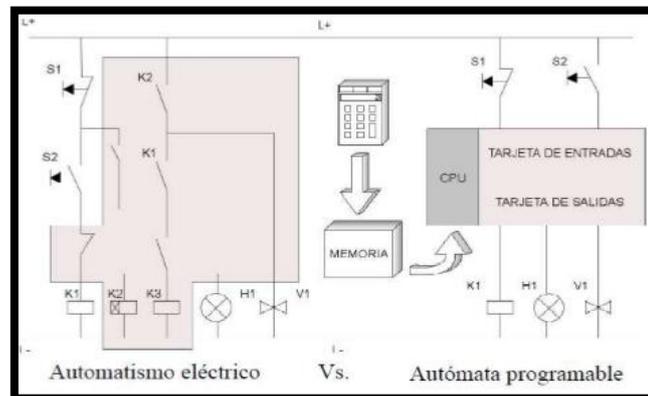
Fuente: (Ramírez, 2007)

### Características generales del PLC

“Un PLC (Programmable Logic Controller), es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real procesos secuenciales.

Un PLC trabaja en base a la información recibida por sensores, actuando en los diferentes elementos de la instalación” (Plaza, 2012).

**Figura 15:** Concepto grafico del PLC



Fuente: (Mayo, 2010)

### LOGO! Modulo lógico universal siemens

“Modulo lógico LOGO! se encuentra catalogado dentro de la PLRs (Relé Lógico programable) el mismo posee un sistema microprocesador (CPU), una fuente de alimentación, módulos de salida y entrada ya sean digitales o analógicas, interfaz humano máquina (HMI), posee un interfaz de programación Card, cable para programación PC y módulos de ampliación para muchas más aplicaciones” como se muestra en la Figura 16 (Plaza, 2012).

LOGO! es un módulo lógico que cumple los estrictos requisitos de calidad estipulados en la norma ISO 9001. LOGO! puede utilizarse en numerosos campos de aplicación. Ofrece soluciones para aplicaciones domésticas y de la ingeniería de instalación como, por ejemplo, alumbrado de escaleras, iluminación exterior, toldos, persianas, alumbrado de escaparates, etc.

También puede ofrecer soluciones para ingeniería de armarios de distribución, así como para ingeniería mecánica y construcción de máquinas y aparatos como, por ejemplo, sistemas de control de puertas, sistemas de climatización, bombas para agua pluvial, etc (Siemens, 2016).

Las listas contienen los elementos disponibles en LOGO!. Generalmente, incluyen todos los conectores, las funciones básicas y las funciones especiales.

### Versiones de Logo!

- 12/24RCE 12/24 V DC
- 230RCE 115 V AC/DC a 240 V AC/DC
- 24CE 24 V DC
- 24RCE 24 V AC/DC

**Figura 16:** Logo PLC



**Fuente:** (Mayo, 2010)

## 9. HIPÓTESIS

La implementación de un secador de semillas de cacao permitirá reducir el tiempo de secado y aumentará el ingreso económico del productor en la hacienda 'La Esmeralda'.

**VARIABLE DEPENDIENTE**

Tiempo de secado.

**VARIABLE INDEPENDIENTE**

Implementación del secador de cacao.

**OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

**Tabla 5:** Operacionalización de variables

<b>Variable</b>	<b>Definición</b>	<b>Indicador</b>	<b>Instrumento</b>
Proceso de secado	Es la forma de remoción de humedad de un sólido utilizando calor	Textura	Se utilizará un sistema de medición indirecto
Características técnicas del proceso	Periodo en el cual un sólido pierde humedad.	Apariencia y textura	Reloj, Cronómetros
Tiempo de secado	Cuantificación de tiempo requerido para periodo de secado	Sensor	Cronometro
Calidad del grano secado	Conjunto de propiedades inherentes a un objeto que le confiere capacidad para satisfacer necesidades implícitas o explícitas.	Apariencia y textura	Higrómetro Inspección Visual
Costos	Gastos en los que incurre por concepto de análisis, construcción e implementación de un sistema o equipo.	Cuantificación de proyecto	Proformas, Facturas

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

**10. METODOLOGÍA****CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA HACIENDA ‘LA ESMERALDA’**

La hacienda ‘La Esmeralda’, propiedad del Sr. Galo Coloma y la Sra. Carmen Velasco, está ubicada en la costa ecuatoriana, provincia de los Ríos, cantón Montalvo, parroquia La Esmeralda, sector la Esmeralda, con una temperatura aproximada de 25°C en el verano y 18°C en el invierno, los cultivos que se producen varían entre, maíz, yuca, naranja y cacao, siendo este último el que entrega mayores ingresos económicos al productor, en la Figura 17 se puede mostrar la ubicación exacta en la que se encuentra dicha hacienda.

**Figura 17:** Ubicación Finca la Esmeralda

Fuente: Google Maps

La hacienda tiene una extensión de 6 hectáreas y en ella existen, aproximadamente, 8.500 plantas de cacao CCN-51 que producen una cantidad total de 150 quintales (6.900 kg/año) de cacao húmedo al año. En la Figura 18 se muestra una fotografía de las plantas de cacao que se cultivan en dicha hacienda (Coloma, 2017).

**Figura 18:** Plantas de cacao

Fuente: Hacienda la Esmeralda

## DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS Y REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DEL SECADOR

### Requerimientos para el diseño del secador

A partir de la producción anual de cacao húmedo de la hacienda (6900 kg/año) se estimó una masa promedio de cacao a secar al mes de 575 kg; y considerando que en la hacienda se trabajan 40 horas semanales se requiere secar, aproximadamente, 144 kg/semana.

Por otra parte, estimando un tiempo de secado de las semillas de cacao de 5 horas y un uso del secador de 25 horas a la semana (5 horas al día durante 5 días a la semana) se requiere secar unos 29 kg/día de semillas de cacao húmedo.

La humedad inicial de las semillas de cacao húmedo fermentadas se pueden encontrar en el rango entre un 50 y un 80 % (Ramli, 1996) (Komalafe, et al, 2014). Por ello, en este trabajo se estimó que las semillas de cacao van a entrar al secador con una humedad inicial del 60%. Estas semillas se requiere secarlas hasta una humedad final máxima del 7%, según lo plantea la Norma Ecuatoriana NTE INEM 0176 (2006), en la que establece los requisitos de calidad que debe cumplir el cacao en grano.

En la Tabla 6 se resumen los requerimientos para el proceso de secado de semillas de cacao en la Hacienda La Esmeralda.

**Tabla 6:** Requerimientos de diseño

<b>Requerimientos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidades</b>
Masa de cacao a secar al mes	575	kg/mes
Masa de cacao a secar al semana	144	kg/semana
Días de uso del secador a la semana	5	Día
Masa de cacao a secar en 5 horas al día	29	kg/h.día
Humedad de entrada de las semillas	60	%
Humedad de salida de las semillas	7	%

**Realizado por:** Gaibor E, Pachacama R.

## **Criterios para el diseño del secador**

### **Elección del tipo de secador**

Para el secado de las semillas de cacao fermentadas se utilizará un secador rotatorio de tipo indirecto. La elección de este secador se debe a que es muy adecuado para el secado de productos con un alto contenido de humedad, como es el caso de las semillas de cacao. Además, con su uso se pretende evitar la aglomeración y adhesión de las semillas de cacao a las paredes del secador durante el proceso de secado, dado las propiedades que presenta este tipo de semilla.

Por otra parte, resulta importante señalar que este tipo de secador ha sido ampliamente utilizado para el secado de diversos productos agrícolas de diferente tamaño y consistencia; es muy versátil y flexible y con él se obtiene altos rendimientos (Ramli, 1996) . La elección un tipo de secador rotario indirecto es con el objetivo de evitar el contacto directo entre los productos de la combustión del combustible y las semillas de cacao a secar, lo que puede afectar su calidad (Komalafe, et al, 2014).

### Fuente de energía

Como fuente de energía para el proceso de secado se utilizará la energía liberada del proceso de combustión del gas licuado de petróleo (GLP). La elección de este combustible se debe a su fácil implementación en el secador, a que es barato y es el menos contaminante de los combustibles fósiles, contiene el poder calorífico de 27,9 y 36 kWh/m<sup>3</sup> según INEN (2014), siendo el adecuado para la implementación en el secador más información en el Anexo 10.

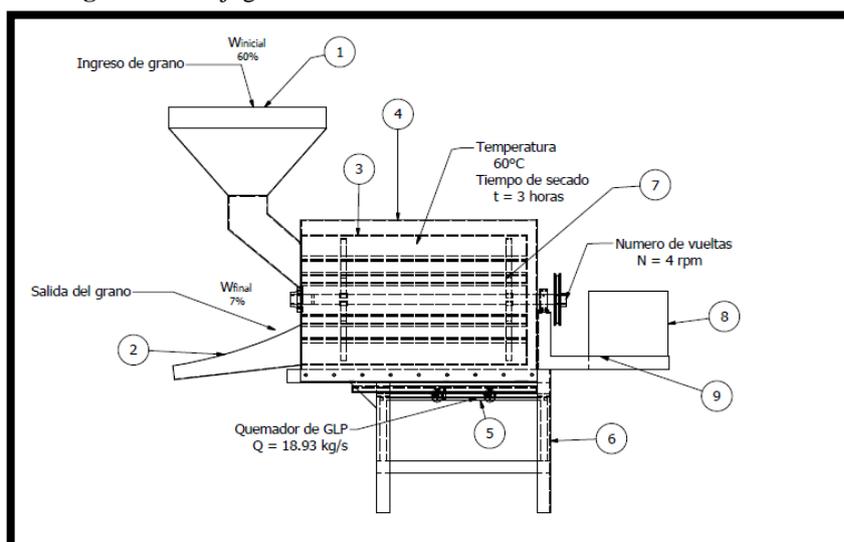
### Sistema de control de temperatura

Para el control de la temperatura de secado se implementará un sistema de control automático, el cual está formado por un PLC logo que actuará para el control del encendido y apagado del motorreductor, y permitirá controlar la temperatura dentro de la cámara de secado durante el tiempo de trabajo de la misma.

## DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR DE CACAO EN LA HACIENDA ‘LA ESMERALDA’

En la Figura 19 se muestra un esquema conceptual de la secadora de cacao a implementarse en la hacienda ‘La Esmeralda’.

**Figura 19:** Flujograma de funcionamiento del secador de cacao



Realizado por: Gaibor E., Pachacama R.

Como se puede observar en ella, el secador está formado por las siguientes partes fundamentales:

### **1. Tolva**

Este elemento se encargará de recibir la carga de las semillas de cacao fermentadas, su función es de transportar el producto hacia la cámara de secado para su posterior secado.

### **2. Cámara de secado**

La cámara de secado albergará las semillas de cacao ocupando toda la longitud de la misma, las semillas serán conducidas alrededor de toda la superficie del radio del tambor rotatorio por medio de elevadores que se encuentran dentro de la cámara de secado, por el centro atravesará un eje el cual servirá de apoyo y centro de giro de la cámara de secado.

### **3. Cubierta**

Este elemento protegerá a la cámara de secado pero, una de sus funciones es la de evitar pérdidas de calor durante el proceso de secado mejorando la eficiencia del secador.

### **4. Quemador de GLP**

El quemador se encarga de combustionar el gas licuado de petróleo para realizar el proceso de conducción de calor hacia la superficie externa de la cámara de secado, regulando el paso del combustible para obtener las temperaturas deseadas requeridas.

### **5. Soporte del secador de cacao**

Este elemento sirve para soportar todo el peso de la cámara de secado la cubierta y demás elementos que conforman el secador.

### **6. Sistema de elevación para descarga**

El sistema de elevación para la descarga cumple el funcionamiento de inclinar gradualmente la cámara de secado una vez terminado el proceso de secado de las semillas de cacao.

### **7. Motorreductor**

El motorreductor se encargará de transmitir la fuerza y el giro del tambor rotatorio de la cámara de secado, lo que hará que las semillas recorran toda la superficie interna del tambor.

### **8. Sistema de control**

El sistema de control se encargará del encendido y apagado del motorreductor y medir las temperaturas internas en la cámara de secado, con los valores obtenidos por el sensor se manipulará una válvula proporcional, la cual regulará el caudal de gas al quemador de GLP y una pantalla LCD donde se visualiza los datos del trabajo del equipo.

A continuación, se procede a realizar el diseño y dimensionamiento de cada uno de los elementos que componen el secador de cacao.

## Dimensionamiento de la tolva

### *Determinación del volumen de alimentación de las semillas de cacao*

“El Diccionario de la Lengua Española define tolva como caja en forma de tronco de pirámide o de cono invertido y abierta por debajo, dentro de la cual se echan granos u otros cuerpos para que caigan poco a poco entre las piezas del mecanismo destinado a triturarlos, molerlos, limpiarlos, clasificarlos o facilitar su descarga” (RAE, 2017).

$$V_{tronco} = V_{PirMay} - V_{PirMen} \quad \text{Ec (1)}$$

$$V_{PirMay} = \frac{1}{3} A_{base\ may} * h \quad \text{Ec (2)}$$

$$V_{PirMen} = \frac{1}{3} A_{base\ men} * h \quad \text{Ec (3)}$$

“Dentro de la tolva las partículas se aceleran hasta alcanzar una velocidad cinco veces superior a la que tenían en la parte alta del ingreso. En el diseño de tolvas de tipo piramidal se debe tener muy en cuenta que se pueden producir problemas de deformación y rotura debido a la sobre carga que se produzca al momento de ingresar el producto” (Ravenet, 1992).

### *Masa Húmeda*

“El flujo másico que debe ingresar por medio de la tolva es de 27kg/5h con un contenido de humedad inicial de 60% y una densidad de 775 kg/m<sup>3</sup>” (Lucia, 1993).

En la Tabla 7 se obtiene los resultados para el volumen de ingreso y salida de la tolva:

**Tabla 7:** Variables para cálculo del volumen de la tolva

<b>Variable</b>	<b>Nombre de la variable</b>
$V_{tronco}$	Volumen total del tronco [m <sup>3</sup> ]
$V_{PirMay}$	Volumen pirámide mayor [m <sup>3</sup> ]
$V_{PirMen}$	Volumen pirámide menor [m <sup>3</sup> ]
$A_{base\ may}$	Área de la base mayor [m <sup>2</sup> ]
$A_{base\ men}$	Área de la base menor [m <sup>2</sup> ]
$h$	Altura [m]

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

### ***Dimensionamiento de la cámara de secado***

Previo al cálculo del volumen de la cámara es necesario realizar el comportamiento termodinámico que esta va a presentar por la influencia de los diferentes procesos que se presentan a continuación:

#### ***Flujo de entrada y salida del producto***

Se realizó un análisis de los flujos de entrada y salida del producto húmedo (semillas de cacao) previo a los cálculos termodinámicos. El secador debe tener una capacidad para secar 27 kg de producto húmedo en una jornada de 5 horas. La tasa de producto húmedo al ingreso del secador es:

$$\dot{m}_{p\ ent} = \frac{mph}{Jt} \quad \text{Ec (4)}$$

Dónde:

$\dot{m}_{p\ ent}$ : Caudal de producto húmedo a la entrada del secador [kg/h]

$mph$ : Masa de producto húmedo [kg]

$Jt$ : Jornada de trabajo [h]

A la entrada del secador, el producto tiene un contenido de humedad del 60% ( $X_{entrada}$ ), lo que significa que el 60% es agua y el 40 % es sólido seco. Para obtener el flujo másico de solido seco ( $\dot{m}_{s\ ent}$ ) y flujo másico de agua ( $\dot{m}_{w\ ent}$ ) a la entrada del secador se utilizan las siguientes formulas:

$$\dot{m}_{s\ ent} = (1 - X_{ent}) * \dot{m}_{p\ ent} \quad \text{Ec (5)}$$

Dónde:

$\dot{m}_{s\ ent}$  : Flujo másico de producto seco a la entrada del secador [kg prdto. seco/h]

$X_{ent}$  : Contenido de humedad a la entrada del secador

$$\dot{m}_{w\ in} = X_{ent} * \dot{m}_{p\ ent} \quad \text{Ec (6)}$$

$\dot{m}_{w\ ent}$  : Flujo másico de agua a la entrada del secador [kg agua/h]

El flujo de solido seco no cambia, es decir permanece constante durante todo el proceso de secado. A la salida del secador, la humedad del producto debe contener el 7% de contenido de humedad ( $X_{salida}$ ).

$$\dot{m}_{s\ sal} = \dot{m}_{s\ ent} \quad \text{Ec (7)}$$

$\dot{m}_{s\ sal}$ : Flujo másico de producto seco a la salida del secador [kg prdto. seco/h]

El flujo másico de agua a la salida del secador está dado por la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{w\ sal} = \frac{\dot{m}_{s\ sal} * X_{sal}}{1 - X_{sal}} \quad \text{Ec (8)}$$

$\dot{m}_{w\ sal}$ : Flujo másico de agua a la salida del secador. [kg agua/h]

Se puede obtener el flujo másico del producto húmedo a la salida del secador sumando el flujo másico de solido seco más el flujo másico de agua:

$$\dot{m}_{p\ sal} = \dot{m}_{s\ sal} + \dot{m}_{w\ sal} \quad \text{Ec (9)}$$

### Proceso de secado de los granos

Se denomina  $\dot{m}_{w\ ent}$  al flujo de agua del producto húmedo a la entrada del secador y durante este proceso disminuye hasta un valor  $\dot{m}_{w\ sal}$ , la diferencia entre estos dos parámetros se denomina tasa de vaporización de agua ( $\Delta\dot{m}_w$ ) y es la base para calcular el calor necesario para el proceso de secado.

$$\Delta\dot{m}_w = \dot{m}_{w\ ent} - \dot{m}_{w\ sal} \quad \text{Ec (10)}$$

En la Tabla 8 se muestran las variables para el cálculo del calor total de vaporización

**Tabla 8:** Contenido de elementos para el cálculo del calor total de vaporización

Variable	Nombre de la variable
$\Delta\dot{m}_w$	Tasa de vaporización de agua [kJ/s]
$h_{fg}$	Calor latente de vaporización de agua [kJ/kg]
$\dot{m}_{cacao\ hum}$	Flujo másico de cacao húmedo [kg/s]
$Cp_{cacao}$	Calor específico del cacao [kJ/kg·°C]
$T_{sal}$	Temperatura de los granos de cacao a la salida del secador [°C]
$T_{ent}$	Temperatura de los granos de cacao a la entrada del secador [°C]
$P_c$	Densidad del grano de cacao fermentado [kg/m <sup>3</sup> ]
$\dot{V}$	Flujo volumétrico del gas [m <sup>3</sup> /kg]

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

El flujo de aire ( $\dot{m}_a$ ) que se necesitará para el secado de los granos de cacao se determina con la siguiente formula:

$$\dot{m}_a = \frac{\Delta \dot{m}_w * h_{fg} + \dot{m}_{cacao\ hum} * C_{p,cacao} * (T_{out} - T_{in})}{h_2 - h_1} \quad \text{Ec (11)}$$

“Se asume que no hay transferencia de calor con el exterior, pues el proceso de secado es adiabático” (Rosero, 2012).

Para establecer las dimensiones del secador se debe saber cuál es el tiempo de permanencia de los granos de cacao en la cámara del secador rotatorio.

“Se establece una correlación para determinar el tiempo de permanencia del producto a través del cilindro. Esta correlación considera la longitud, velocidad angular, inclinación, diámetro, forma de los vuelos o aletas interiores del cilindro” (Rosero, 2012) .

$$t_{paso} = \frac{0,23 * L}{S * N^3 * D} - 9,84 * D_p^{-0,5} * \frac{L * G}{F} \quad \text{Ec (12)}$$

“Donde el tiempo de paso ( $t_{paso}$ ) está dado en minutos, la longitud del cilindro (L) en metros y la velocidad angular (N) en rpm. S es la inclinación del cilindro, (G) el flujo del gas, (F) el flujo del sólido y ( $D_p$ ) el tamaño promedio de las partículas de solido a secar. En la Tabla 9 se muestra las variables utilizadas en la ecuación 16” (Rosero, 2012).

**Tabla 9:** Valores para el cálculo del tiempo de paso de los granos de cacao

Variable	Valor
L [m]	0,86
D [m]	0,5
N rpm	1
S rad	0,0087
$D_p$ [um]	15000
G [kg]	1,42
F [kg]	0,59

Realizado por: Gaibor E., Pachacama R.

“Se pueden diseñar estos secadores para tiempos de secado comprendidos entre 5 y 60 minutos y capacidad de secado desde unos pocos cientos de kilogramos por hora hasta alcanzar las 200t/h” (Nonhebel & Moss, 2002).

La cantidad de masa que permanecerá en el secador viene dada por la siguiente formula:

$$m_p = \dot{m}_{p\ ent} * t_{paso} \quad \text{Ec (13)}$$

El volumen que ocupará esta cantidad de masa anteriormente calculada está determinado por la ecuación (14).

$$V = \frac{m_p}{\rho_c} \quad \text{Ec (14)}$$

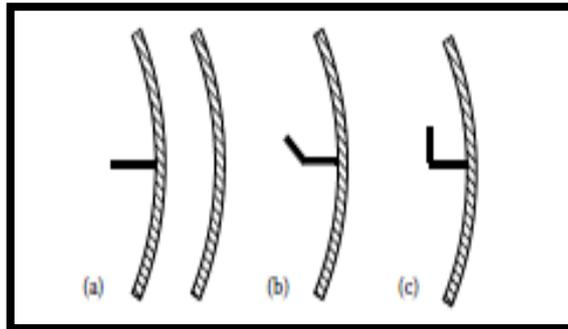
“La cantidad total de sólidos contenidos en el tambor es de aproximadamente del 10% al 15% de su volumen” (Mujumdar, 2015).

### Dimensionamiento de los elevadores

“Su propósito es levantar dichas partículas sólidas a través de la corriente de gas de promover el contacto íntimo entre sólidos húmedos y gases calientes. Los elevadores son compensados cada 0,6 m-2 m y su forma depende de las características de los sólidos.

Los elevadores a, b, c de la Figura 20, se utilizan con frecuencia en secadores rotatorios de tipo cascada, son adecuados para sólidos pegajosos en el extremo húmedo de la secadora” (Mujumdar, 2015)

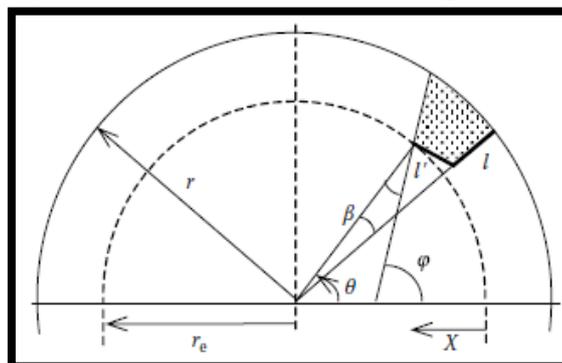
**Figura 20:** Tipos de elevadores



Fuente: (Mujumdar, 2015)

En la Figura 21 se muestra la ubicación de un elevador en el primer cuadrante de la cámara de secado.

**Figura 21:** Ubicación del elevador en el primer cuadrante.



Fuente: (Mujumdar, 2015)

La cantidad total de sólidos contenidos en el tambor es de aproximadamente 10% - 15% de su volumen. Suponiendo que hay  $n_{elev}$  en la superficie interna del tambor, la separación entre cada vuelo será:

$$\theta = \frac{360^\circ}{n_{elev}} \quad \text{Ec (15)}$$

En la Tabla 10 se determinan las variables de la ecuación 16.

**Tabla 10:** Diseño de los elevadores

Variable	Nombre de la variable
$\theta$	Ángulo de ubicación de los elevadores.
$n_{elev}$	Número de elevadores
$l' \neq l$	Ángulo comprendido entre la longitud y la altura del labio
$L$	Distancia del elevador [m]
$l'$	Longitud del elevador [m]
$l$	Altura del vuelo del labio [m]

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

### Potencia del motor

Para realizar el cálculo de la potencia del motor se debe encontrar las inercias de los elementos que conforman el secador rotatorio.

#### *Inercia de las semillas de cacao*

Se asume que las semillas de cacao se encuentran formando un cilindro hueco, es decir que los granos están en la superficie interna del tambor rotatorio. Las semillas de cacao ocupan el 10% del volumen del secador. Por lo tanto la inercia de las semillas de cacao viene determinada por la siguiente fórmula:

$$I_{cacao} = \frac{1}{2} M_{producto} (R_1^2 + R_2^2) \quad \text{Ec (16)}$$

Las variables para el cálculo de la inercia de las semillas de cacao se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 11:** Inercia de las semillas de cacao

Variable	Nombre de la variable
$I_{cacao}$	Inercia de las semillas de cacao [kg·m <sup>2</sup> ]
$M_{producto}$	Masa del producto [kg]
$R_1$	Radio interno [m]
$R_2$	Radio externo [m]

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

### ***Inercia del tambor***

La inercia del tambor rotatorio se obtiene mediante la Ecuación 18, teniendo en cuenta que el espesor de la plancha del tambor es de 3mm.

$$I_{tambor} = M_{tambor} * R_{tambor}^2 \quad \text{Ec (17)}$$

Dónde:

$I_{tambor}$  : Inercia del tambor [kg·m<sup>2</sup>]

$M_{tambor}$ : Masa del tambor [kg]

$R_{tambor}^2$ : Radio del tambor [m]

El volumen del tambor rotatorio se determina con la Ecuación 22, para lo cual se utiliza el espesor de la plancha de 3mm.

$$V_{tambor} = \pi * D * L * e \quad \text{Ec (18)}$$

El cálculo de la masa del tambor viene determinada por la siguiente ecuación:

$$M_{tambor} = V_{tambor} * \rho \quad \text{Ec (19)}$$

En la Tabla 12 se determina las variables para los cálculos de la inercia del tambor.

**Tabla 12:** Inercia del tambor

<b>Variable</b>	<b>Nombre de la variable</b>
$I_{tambor}$	Inercia del tambor [kg·m <sup>2</sup> ]
$M_{tambor}$	Masa del tambor [kg]
$R_{tambor}$	Radio del tambor [m]
$V_{tambor}$	Volumen del tambor [m <sup>3</sup> ]
$\pi$	Constante
$D$	Diámetro [m]
$L$	Longitud [m]
$e$	Espesor [m]
$\rho$	Densidad del material (AISI 304) [kg/m <sup>3</sup> ]

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

### ***Inercia de los elevadores***

“Es importante que las cascadas (elevadores) o cortinas de material que cae, deben ser llevadas a través de todo el cilindro con el objeto de alcanzar el mejor contacto posible con la corriente gaseosa” (Nonhebel & Moss, 2002).

Para determinar la inercia de un elevador es necesario calcular su masa y volumen mediante las siguientes ecuaciones:

$$I_{elev} = \frac{1}{3} * M_{elev} * a^2 + M_{elev} * x^2 \quad \text{Ec (20)}$$

$$V_{elevador} = a * L * e \quad \text{Ec (21)}$$

$$M_{elev} = V_{elev} * \rho \quad \text{Ec (22)}$$

Una vez determinado la inercia de cada uno de los componentes del secador rotatorio se suman y se determina la inercia total del sistema, la cual está definida por la siguiente ecuación:

$$I_t = I_{cacao} + I_{tambor} + I_{elev} \quad \text{Ec (23)}$$

Las variables para el cálculo de la potencia del motor se muestran en la Tabla 13.

**Tabla 13:** Variables para el cálculo de la inercia del tambor

<b>Variable</b>	<b>Nombre de la variable</b>
$I_{elev}$	Inercia del elevador [kg·m <sup>2</sup> ]
$M_{elev}$	Masa del elevador [kg]
$V_{elev}$	Volumen del elevador [m <sup>3</sup> ]
$I_{tot\ elev}$	Inercia total de los elevadores [kg·m <sup>2</sup> ]
$I_t$	Inercia Total [kg·m <sup>2</sup> ]

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

Una vez que se obtiene la inercia total, se procede a calcular la aceleración angular. Se debe asumir el tiempo de arranque. Por la baja velocidad, el tiempo de arranque es de 1 segundo y se determina mediante la Ecuación 24.

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_i}{t} \quad \text{Ec (24)}$$

Dónde:

$\alpha$ : Aceleración angular [rad/s<sup>2</sup>]

$\omega_f$ : Velocidad angular final [rad/s]

$\omega_i$ : Velocidad angular inicial [rad/s]

$t$ : Tiempo [s]

Una vez calculada la aceleración angular se determina el momento opuesto ( $M_o$ ) a causa de deslizamiento de la semilla de cacao con respecto al tambor y el momento de torsión ( $M_t$ ) que realiza el motor al eje mediante las Ecuaciones 25 y 26.

$$M_o = m * g * R_2 \quad \text{Ec (25)}$$

$$M_t = (\Sigma I_t * \alpha) + M_o \quad \text{Ec (26)}$$

Las variables para el cálculo de la potencia del motor se expresan en la Tabla 14.

**Tabla 14:** Variables para el cálculo de la potencia del motor

Termino	Descripción
$\alpha$	Aceleración angular [rad/s <sup>2</sup> ]
$\omega_f$	Velocidad angular final [rad/s]
$\omega_i$	Velocidad angular inicial [rad/s]
$t$	Tiempo [s]
$M_o$	Momento opuesto a causa del deslizamiento [Nm]
$m$	Masa de ingreso [kg]
$g$	Gravedad [m/s <sup>2</sup> ]
$R_2$	Radio interno [m]
$M_t$	Momento de torsión [Nm]
$\Sigma I_t$	Sumatoria total de las inercias [kg · m <sup>2</sup> ]

Realizado por: Gaibor E., Pachacama R.

Finalmente la potencia se calcula con el momento de torsión que realiza el motor al eje por la velocidad angular, está determinada por la Ecuación 27.

$$P_{total} = M_t * \omega \quad \text{Ec (27)}$$

“El movimiento del secador de tambor se obtiene normalmente mediante una caja de reducción de velocidad variable, con una relación de cambio de 3:1 que de una velocidad de rotación del tambor comprendida entre 4 y 12 rev/min para un secado ordinario” (Nonhebel & Moss, 2002).

El reductor que se utilizará será uno de tornillo sin fin como se muestra en la Figura 22 con una salida de 17 rpm más información se detalla en el Anexo 9.

**Figura 22:** Reductor de Engranaje de tornillo



Fuente: (Haitec-GR, 2013)

El sistema de transmisión de potencia está formada por una banda tipo V, una polea conductora y la polea conducida. Según FAO, (1988) el sistema de transmisión por correa tipo V ha sido desarrollado para proveer una alternativa al sistema de correa plana y puede ser utilizado ventajosamente en los siguientes tipos de instalaciones:

- Donde la distancia entre los centros de las poleas es más corta que la posible con transmisiones de polea plana.
- Donde se requiere mayor proporción de reducción entre el motor.
- Donde se requiere mayor potencia y pueda ser transmitida, mediante la utilización de juegos parejos de correa múltiples.

La relación de transmisión de potencia está dada por la siguiente ecuación:

$$D * n_1 = d * n_2 \quad \text{Ec (28)}$$

Donde:

D = Diámetro polea mayor

d = Diámetro polea menor

$n_1$  = Número de rpm polea mayor

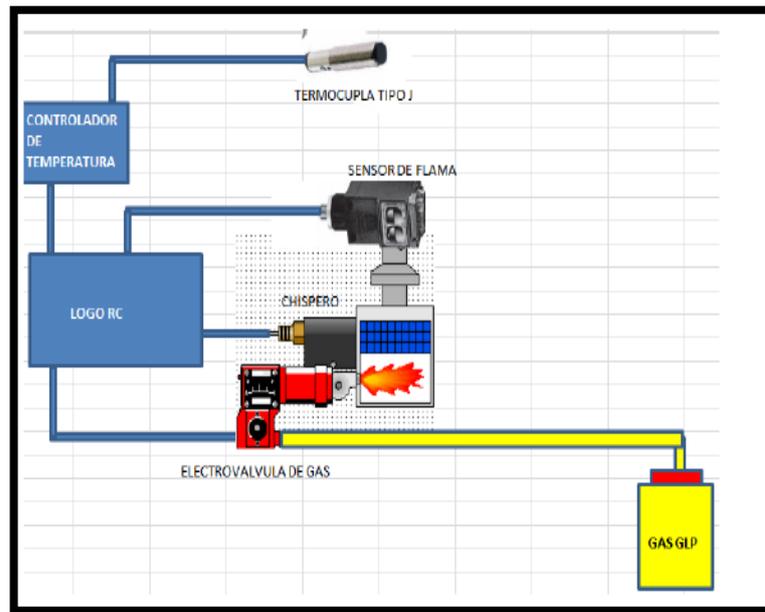
$n_2$  = Número de rpm pole menor

### **Diseño del sistema de control**

“Un sistema de control es un conjunto de componentes que puede regular su funcionamiento o el de otro sistema con el fin de obtener un proceso predeterminado, reduciendo fallos y obteniendo valores de variables deseadas; emplea diferentes métodos para la manipulación de magnitudes de un subsistema denominado planta para obtener los parámetros que se busca” (Espinoza, 2015).

En el sistema de control se tomará en cuenta los parámetros de diseño del secador de cacao, donde se limita las características de temperatura acordes a las necesidades de secado, el cual controlará un rango de entre 50 a 60°C por medio de una válvula proporcional que tendrá como la finalidad reducir o aumentar el caudal de gas hacia el quemador en la Figura 23 se muestra el sistema esquemático del control de temperatura.

**Figura 23:** Sistema esquemático del control de temperatura



Realizado por: Gaibor E., Pachacama R.

A continuación se muestra los diferentes elementos a considerar para el sistema de control:

- **Planta.** Proceso que se desea controlar en este caso el secador de semillas de cacao, el cual deberá conservar las características finas de aroma a lo largo del proceso.
- **Sistema de control.** El encargado de regular la temperatura a lo largo del proceso de secado.
- **Variable de entrada.** Indicador que dará la pauta de funcionamiento del sistema, señal que ingresara al LOGO! mediante un sensor de temperatura implantado en la cámara de secado.
- **Variable de salida:** Control de la válvula proporcional instalada en la tubería de gas del secador de cacao.
- **Perturbaciones:** Son señales aleatorias que se generan en el proceso de secado, como vibraciones por el funcionamiento del sistema de transmisión o ruido.

### Elementos que conforman el sistema de control

#### LOGO! Siemens V8

Para la elección del LOGO! Siemens V8 se tomó la cantidad de entradas analógicas a medir, las cuales conforman la temperatura dada por la PT100 a su vez el control de encendido y apagado ingresara al módulo programable.

### **Modulo para salidas analógicas AM2 AQ**

Para la elección del módulo de salida se tomara como referencia la señal de salida que se quiere controlar, en este caso será la regulación de caudal de la válvula proporcional.

### **Sensor de Temperatura Termocupla Tipo K**

La termocupla K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300°C, por ejemplo fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos.

### **CONSTRUCCIÓN DEL SECADOR**

La selección de los materiales para la construcción de cada una de las partes del secador se realizó de acuerdo con las características de trabajo de cada una de ellas (trabajo con alimentos, temperatura, humedad, etc).

#### **Tolva**

Para la construcción de la tolva se seleccionó una plancha de acero inoxidable AISI 304 con espesor de 2mm. Las propiedades mecánicas de estas planchas se pueden consultar en el Anexo 5.

Los dobleces de cada lado de la tolva se realizó en la maquina dobladora y de esta forma se obtuvo en modelo requerido. Por último, se soldaron con un electrodo 308L16 para acero inoxidable. En la Figura 24 se puede apreciar una foto de la tolva construida.

**Figura 24:** Tolva de ingreso



**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

### Cámara de secado

La construcción de la cámara de secado se realizó a partir de una plancha de acero inoxidable AISI 304, con un espesor de 3mm. En el Anexo 5 se puede consultar las propiedades mecánicas de esta plancha. Para darle forma circular a la plancha se utilizó una roladora. Una vez realizada la actividad de rodamiento se procede a unir los extremos con suelda manual con electrodos 308L16 para acero inoxidable, tal como se muestra en las Figura 25 y 26.

**Figura 25:** Vista longitudinal de la cámara de secado



**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

**Figura 26:** Vista frontal de la cámara de secado



**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

### Cubierta

La cubierta se construyó a partir de una lámina de tol de 2mm de espesor y se sujetó a la estructura del soporte del secador mediante tornillos alto roscables de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, tal como se muestra en la Figura 27.

**Figura 27:** Cubierta vista lateral

Realizado por: Gaibor E., Pachacama R.

### Quemadores de GLP

Los dos quemadores que se utilizan para la combustión del GLP se construyeron a partir de tubos de 2 pulgadas de diámetro y de 2,50 mm de espesor. Este tipo de materiales cuentan con la especificación ISO-65 serie liviana II. En el Anexo 7 se muestran las propiedades de estos tubos. Cada uno de los quemadores tiene una longitud de 0,80 m y 25 orificios de 3mm de diámetro por donde sale el gas para su combustión. La energía liberada de la combustión del GLP se utiliza para calentar la parte externa de la cámara de secado, tal como se puede observar en la Figura 28.

**Figura 28:** Quemadores de GLP

Realizado por: Gaibor E., Pachacama R.

### Elevadores

Los elevadores se construyeron en acero inoxidable de 2 mm de espesor, con una longitud de 0,86 m y un ángulo de apertura entre la longitud del elevador y el labio de 120°. Estos elementos contribuirán a realizar un secado homogéneo de las semillas de cacao. En la Figura 29 se pueden observar los 6 elevadores que se le colocaron a la cámara de secado.

**Figura 29:** Instalación de elevadores



Realizado por: Gaibor E., Pachacama R.

### Motorreductor

El motorreductor se encarga de proporcionar el torque necesario para girar el tambor rotatorio, a una velocidad de 4 rpm, mediante un sistema de transmisión de potencia por poleas y una banda A 35 de tipo V.

Para darle cumplimiento a este requerimiento se seleccionó un motorreductor marca WEG, con una potencia de  $\frac{1}{2}$  hp (0,37 kW) y una velocidad de salida de 17 rpm a la salida del reductor. Una foto del motorreductor seleccionado se muestra en la Figura 30.

**Figura 30:** Motorreductor y sistema de transmisión por poleas



Realizado por: Gaibor E., Pachacama R.

## 11. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Resultados de diseño

A continuación se muestran y analizan los resultados de los cálculos de diseño y dimensionamiento de cada uno de los elementos que conforman el secador rotatorio indirecto.

En la Tabla 15 se resumen los resultados del proceso de secado de las semillas de cacao.

**Tabla 15:** Resultados para el proceso de secado

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$\dot{m}_{p\ ent}$	27	kg/h
$\dot{m}_{s\ ent}$	10,8	kg/h
$\dot{m}_{w\ ent}$	16,2	kg agua/h
$\dot{m}_{s\ sal}$	10,8	kg/h
$\dot{m}_{w\ sal}$	0,81	kg agua/h
$\dot{m}_{p\ sal}$	11,61	kg/h
$\Delta\dot{m}_w$	15,39	kg agua/h
$\dot{m}_a$	0,32	kg/s
$\dot{V}$	0,2	m <sup>3</sup> /kg

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

El tiempo de permanencia de las semillas de cacao en el secador, según los cálculos realizados, se muestra en la Tabla 16.

**Tabla 16:** Resultado del tiempo de permanencia

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$t_{paso}$	45,3	[min]

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

En la Tabla 17 se muestran los resultados de la masa y el volumen de las semillas en el secador.

**Tabla 17:** Resultados de masa y volumen del secador

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$m_p$	27	Kg
$V$	0,3	m <sup>3</sup>

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

Los resultados del cálculo de los elevadores de la cámara de secado se muestran en la Tabla 18.

**Tabla 18:** Resultados del cálculo de los elevadores

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$\theta$	60°	-
$n_{elev}$	6	-
$l' \nless l$	120°	-
$L$	0,86	[m]
$l'$	0,05	[m]
$l$	0,08	[m]

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

Los resultados obtenidos del cálculo de la inercia de las semillas de cacao en la cámara de secado se muestran en la Tabla 19.

**Tabla 19:** Inercia de las semillas de cacao

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$I_{cacao}$	2,03	[kg·m <sup>2</sup> ]
$M_{producto}$	38	[kg]
$R_1$	0,21	[m]
$R_2$	0,25	[m]

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

En la Tabla 20 se pueden observar los resultados de los cálculos de la inercia del tambor.

**Tabla 20:** Inercia del tambor

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$I_{tambor}$	2	[kg·m <sup>2</sup> ]
$M_{tambor}$	32	[kg]
$R_{tambor}$	0,25	[m]
$V_{tambor}$	0,00405	[m <sup>3</sup> ]
$\pi$	3,14151618	-
$D$	0,50	[m]
$L$	0,86	[m]
$e$	0,003	[m]
$\rho$	7900	[kg/m <sup>3</sup> ]

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

Los resultados del cálculo de la inercia de los elevadores se muestran en la Tabla 21.

**Tabla 21:** Inercia del tambor

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$I_{elev}$	1,00	[kg·m <sup>2</sup> ]
$M_{elev}$	3,74	[kg]
$V_{elev}$	0,00473	[m <sup>3</sup> ]
$I_{tot\ elev}$	5,99	[kg·m <sup>2</sup> ]
$I_t$	10,02	[kg·m <sup>2</sup> ]

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

Los resultados de la aceleración y velocidad angular se pueden consultar en la Tabla 22.

**Tabla 22:** Aceleración angular y momentos para el cálculo de la potencia del motor

<b>Termino</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$\alpha$	1,047	[rad/s <sup>2</sup> ]
$\omega_f$	0,104	[rad/s]
$\omega_i$	0	[rad/s]
$t$	1	[s]
$M_o$	102,9	[Nm]
$m$	50	[kg]
$g$	9,8	[m/s <sup>2</sup> ]
$R_2$	0,21	[m]
$M_t$	114,37	[Nm]
$\Sigma I_t$	10,96	[kg·m <sup>2</sup> ]

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

Los resultados de la potencia del motor y relación de transmisión de la banda y polea se expresan en la Tabla 23.

**Tabla 23:** Potencia total del motor

<b>Termino</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$P_{total}$	<b>119,75</b>	[W]
$P_{total}$	<b>0,16</b>	[hp]

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

Como se puede observar en la Tabla 23 para el accionamiento de la cámara de secado se requiere un motor de una potencia de, aproximadamente, 120 W. Para darle cumplimiento a este requerimiento se seleccionó un motor marca WEG, cuyas características técnicas fundamentales se muestran en la Tabla 24.

**Tabla 24:** Características del motor

<b>Termino</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
$P_{total}$	0,37	[W]
$P_{total}$	½	[hp]
Velocidad de giro	1610	[rpm]
Tensión de alimentación	110/220	[V]

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

Para reducir la velocidad de giro a la salida del reductor (17 rpm) hasta la velocidad de giro requerida en la cámara de secado (4 rpm) se calculó un sistema de transmisión por bandas y poleas. En la Tabla 25 se muestran los resultados del cálculo de dicho sistema de transmisión.

**Tabla 25:** Resultados del cálculo sistema de transmisión por bandas y poleas.

<b>Termino</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
D	0,20	[m]
d	0,05	[m]

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

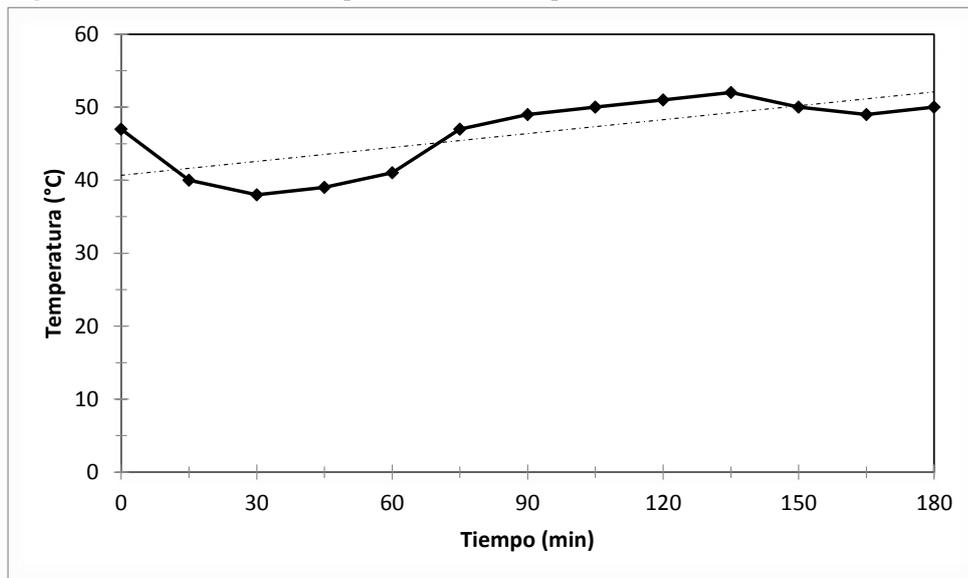
Como se puede observar en la Tabla 25 el sistema de transmisión de transmisión requiere un diámetro de la polea mayor (D) de 200mm mientras que el de la polea menor es de 50 mm.

### **Análisis de resultados de la prueba realizada**

Para evaluar el funcionamiento del secador construido se realizó una prueba de secado de las semillas de cacao. En la Figura 31 se muestra la variación de la temperatura en la cámara de secado durante la prueba. Como se puede observar en dicha Figura la temperatura en la cámara de secado se mantuvo en el rango entre 38 y 52°C, con un valor promedio de 46,4°C.

Se debe mencionar que al inicio de la prueba la temperatura en la cámara de secado disminuyó desde 47°C hasta 38°C, debido a problemas que se presentaron en la operación del secador. Una vez que se solucionaron dichos problemas la temperatura aumentó gradualmente y se mantuvo durante el transcurso de la misma entre 47 y 52°C, poniendo de manifiesto que el controlador de temperatura implementado en el secador controla satisfactoriamente la temperatura en la cámara de secado.

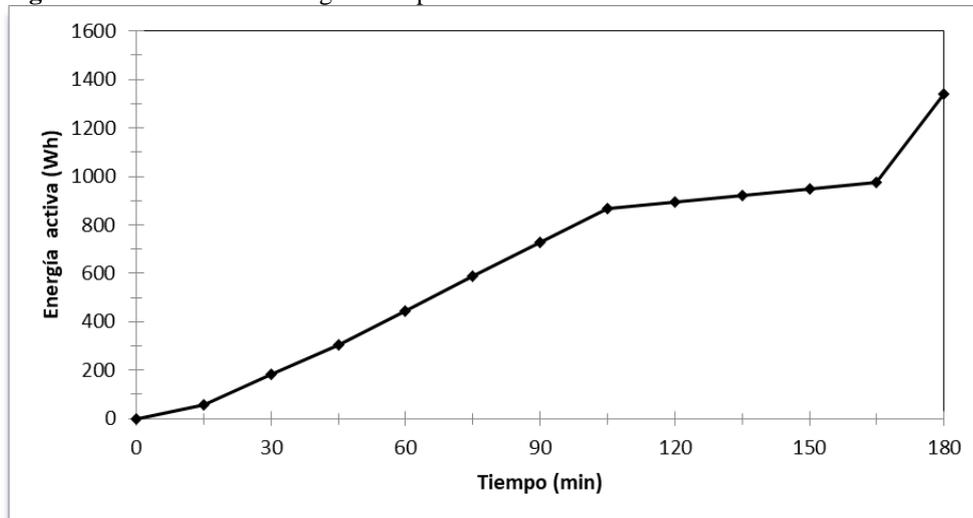
**Figura 31:** Variación de la temperatura durante la prueba de secado



Realizado por: Gaibor E., Pachacama R.

En la Figura 32 se muestra el consumo de energía en la prueba realizada. El mismo se midió utilizando un analizador de redes marca FLUKE modelo 1735.

**Figura 32:** Consumo de energía en la prueba realizada



Realizado por: Gaibor E., Pachacama R.

En la Tabla 26 se resumen los resultados obtenidos en la prueba realizada.

**Tabla 26:** Resultados de la prueba de secado realizada

Variable	Descripción	Valor	Unidad
Masa inicial de semillas	$M_i$	25	kg
Masa final de semillas	$M_f$	18	kg
Tiempo de secado	$\tau$	3	h
Masa de agua evaporada	$M_{H_2O}$	7	kg
Pérdida de masa (%)	$\Delta M$	28	%
Masa de GLP consumida	$G$	9	kg
Energía eléctrica consumida en la prueba	$E_{cle}$	1338	Wh
Índice de desempeño energético	$I_{de}$	0,09	Wh/g
Costo del GLP consumido en la prueba	$C_{GLP}$	0,58	\$
Costo de la energía eléctrica consumida en la prueba	$C_{EE}$	0,12	\$
Costo total de los portadores energéticos	$C_{Total}$	0,70	\$

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

En la Tabla 26 se puede observar que en las tres horas que duró la prueba se evaporaron 7 kg de agua (humedad), lo que representa una pérdida de masa del 28%. Además, en la misma se estima que se consumieron 9 kg de GLP y 1338 Wh de energía eléctrica. A partir de estos resultados se obtuvo un índice de desempeño de desempeño energético de 0,09 Wh por gramo de semillas de cacao secas y un costo total de los portadores energéticos (GLP y energía eléctrica) consumidos en la prueba de 0,70 \$.

### Análisis de resultados económicos

A partir de los datos expuestos en el Anexo 13 del trabajo se calcularon los resultados que se muestran en las Tablas 27 – 31.

**Tabla 27:** Consumo de combustible

Variable	Descripción	Unidad	Valor
Consumo de combustible al día	Bc	kg/día	1,22
Consumo de combustible a la semana	Bc	kg/semana	30,52
Consumo de combustible al año	Bc	kg/año	1.587,1
Cantidad de tanques consumidos al año	N° tanques	tanques/año	118
Cantidad de tanques consumidos al mes	N° tanques	tanques/mes	10
Cantidad de tanques consumidos a la semana	N° tanques	tanques/semana	2,4

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

**Tabla 28:** Consumo de electricidad

Variable	Unidad	Valor
Potencia del motor eléctrico	kW	0,37
Consumo de electricidad a la semana	kWh/semana	9,32
Consumo de electricidad al mes	kWh/mes	37,29
Consumo anual de electricidad	kWh/año	484,71

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

**Tabla 29:** Costo del GLP

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Coste del tanque de GLP	\$/tanque	1,6
Coste unitario de la electricidad	\$/kWh	0,07
Potencia del motor eléctrico	HP	0,50
Costo de las semillas de cacao húmedas	\$/quintal	40,00
Costo de las semillas de cacao secas	\$/quintal	110,90
Costo del secador	\$	3.103,80

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

**Tabla 30:** Costo de la electricidad

<b>Variable</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Costo de electricidad a la semana	C <sub>elec</sub>	\$/semana	0,65
Costo de la electricidad al mes	C <sub>elec</sub>	\$/mes	2,61
Costo de la electricidad al año	C <sub>elec</sub>	\$/año	33,93

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

**Tabla 31:** Ingresos económicos

<b>Variable</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Ingresos por ventas de cacao húmedo	\$/año	6.000,00
Ingresos por ventas de cacao seco	\$/año	7.154,84
Ganancia bruta	\$/año	1.154,84
Ganancia neta	\$/año	932,81

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

Como se puede observar en estas Tablas para el secado de las semillas de cacao en la hacienda La Esmeralda se requieren consumir al año 118 tanques de GLP y aproximadamente 485 kWh de energía eléctrica. Estos consumos a los precios actuales de estos portadores energéticos representan unos costos anuales de aproximadamente 188 \$ y 34 \$, respectivamente. Además, en la Tabla 31 se puede observar que debido a las ventas de las semillas de cacao secas el propietario va a incrementar su ganancia bruta en 1.154,84 \$/año, lo que representa un incremento de aproximadamente un 19%; y una ganancia neta de unos 933 \$/año.

## Calculo del VAN y TIR

### Valor actual neto (VAN)

El valor actual neto (VAN) es uno de los métodos financieros que si toma en cuenta los flujos de efectivo en función del tiempo. Consiste en encontrar la diferencia entre el valor actualizado de los flujos del beneficio y el valor actualizado de las inversiones y otros egresos de efectivos (Espinoza, 2007).

$$VAN = -I_o + \frac{F_{n1}}{(1+K)} + \frac{F_{n2}}{(1+K)^2} + \frac{F_n}{(1+K)^n} \quad \text{Ec (29)}$$

Dónde:

$I_o$ = Inversión Inicial (\$)

$K$ = Costo de capital (\$)

$F_n$ = Flujo neto de efectivo anual (\$)

En la Tabla 32 se muestran los resultados del cálculo del VAN para los cinco primeros años de funcionamiento del secador.

**Tabla 32:** Resultados del VAN para los cinco primeros años de funcionamiento del secador.

	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>
Flujo de caja neto	932,81	932,81	932,81	932,81	932,81
VAN	2691,70	701,55	608,40	527,62	457,57

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

A partir de los resultados de la Tabla 37 se obtiene un valor actual neto (VAN) de 8.090,65 \$.

### Tasa interna de retorno (TIR)

La TIR de un proyecto de investigación es la tasa de descuento que hace que el valor actual de los flujos de beneficio (positivos) se igual al valor actual de los flujos de inversión negativos (Espinoza, 2007).

$$I_o = \sum_{n=1}^n \frac{R_n}{(1+TIR)^n} \quad \text{Ec (30)}$$

TIR= Tasa interna de retorno (\$)

$R_n$ = Flujo de efectivo anual (\$)

$I_o$ = Inversión Inicial (\$)

Los resultados del cálculo del TIR para los cinco primeros años de funcionamiento del secador se muestran en la Tabla 33.

**Tabla 33:** Resultados del TIR para los cinco primeros años de funcionamiento del secador

<b>AÑO</b>	<b>Recuperación de la Inversión (\$)</b>	<b>Recuperación de la Inversión (%)</b>
0	3.103,80	100
1	2.691,70	86,72
2	701,55	
3	608,40	
4	527,62	
5	457,57	14,74
<b>TIR</b>		<b>29</b>

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

Como se puede observar en dicha Tabla a los 5 años de operación del secador se recupera el total de la inversión inicial realizada.

## 12. PRESUPUESTO PARA LA PROPUESTA DEL PROYECTO

**Tabla 34:** Costo de elementos de la cámara de secado y tolva.

<b>Partes Mecánicas</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Elementos</b>	<b>Cant.</b>	<b>Costo p/u</b>	<b>Costo total</b>
1	Plancha de acero inoxidable 304 * 3mm	2	225,49	450,98
2	Plancha de acero inoxidable 430 * 2mm	2	51,01	102,02
3	Rolado acero inoxidable 304*3mm	1	300,00	300,00
			<b>TOTAL</b>	<b>853,00</b>

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

**Tabla 35:** Costo de elementos de la base de la cámara de secado.

<b>Partes Mecánicas</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Elementos</b>	<b>Cant.</b>	<b>Costo p/u</b>	<b>Costo total</b>
1	Tubo cuadrado 11/4 * 1.5 mm	1	10,32	10,32
2	Plancha de acero inoxidable 430 * 1mm	2	47,28	94,56
			<b>TOTAL</b>	<b>104,88</b>

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

**Tabla 36:** Costo de elementos para soldadura y sistema de transmisión.

<b>Partes Mecánicas</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Elementos</b>	<b>Cant.</b>	<b>Costo p/u</b>	<b>Costo total</b>
1	Electrodos 308L16 1/8	10	13,15	131,5
2	Disco 7*7/8 Z 60 CWG	1	10,73	10,73
3	Polea 8"	1	18,00	18,00
4	Polea 2"	1	7,00	7,00
5	Banda A35	1	8,00	8,00
			<b>TOTAL</b>	<b>175,23</b>

**Realizado por:** Gaibor E., Pachacama R.

**Tabla 37:** Costo de elementos más costoso para el sistema de control.

<b>Partes Eléctricas</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Elementos</b>	<b>Cant.</b>	<b>Costo p/u</b>	<b>Costo total</b>
1	Motorreductor ½ Hp	1	528,00	528,00
			<b>TOTAL</b>	<b>528,00</b>

Realizado por: Gaibor E., Pachacama R.

**Tabla 38:** Costo de elementos del sistema de control

<b>Partes Electrónicas</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Recursos</b>	<b>Cant</b>	<b>Costo p/u</b>	<b>Costo total</b>
1	Controlador Temp.	1	75	75
2	Termocupla tipo k	1	18	18
3	Sensor de flama	1	25	25
4	Mod. Encendido	1	50	50
5	Válvula on/of	1	52	52
6	Electrodo Encendido	1	25	25
7	Tablero Beacup	1	78	78
8	Breaker 2 polos	1	12	12
9	Contactores	2	21	42
10	Pulsadores	2	15	30
11	Riel din	1	5	5
12	Canaleta	1	7,9	7,9
13	Luces piloto	4	12	48
14	Relés auxiliares	1	8,5	8,50
15	Mano de obra General	1	705,01	705,01
16	Logo Siemens	1	111	111
			<b>TOTAL</b>	<b>1292,41</b>

Realizado por: Gaibor E., Pachacama R.

**Tabla 39:** Elementos más costosos de la construcción del secador.

<b>Ítem</b>	<b>Elementos</b>	<b>Precio c/u</b>	<b>Cant</b>	<b>Costo total</b>	<b>%</b>
1	Cámara de secado	300,00	1	300,00	30
2	Motorreductor	528,00	1	528,00	53
3	Logo PLC	111,00	1	111,00	11
4	Válvula electrónica	52,00	1	52,00	5
			<b>Total</b>	<b>991</b>	<b>100</b>

Realizado por: Gaibor E., Pachacama R.

**Tabla 40:** Gastos indirectos incurridos en el proyecto.

<b>Ítem</b>	<b>Recursos</b>	<b>Cant</b>	<b>Costo p/u</b>	<b>Costo total</b>
1	Internet	25	25	25
2	Copias	100	0,02	2
3	Impresiones b/n	200	0,05	10
4	Esferos	1	0,35	0,35
5	Transporte	30	0,30	9
6	Gasolina	40	1,30	52
7	Alimentación	15	2	30
8	Flash memory	1	10	10
			<b>TOTAL</b>	<b>136,35</b>

**10 % imprevistos** 13,64

Realizado por: Gaibor E., Pachacama R.

## COSTO TOTAL

En la Tabla 41 se muestra el costo de los diferentes elementos que conforman el secador así como su costo total.

**Tabla 41:** Inversión en el secador de semillas de cacao

<b>Descripción</b>	<b>USD</b>	<b>%</b>
Partes Mecánicas	1133,11	36
Partes Eléctricas	528	17
Partes Electrónicas	1292,41	41
Gastos indirectos	136,65	4
10% imprevistos	13,64	0.4
<b>TOTAL</b>	<b>3103,80</b>	<b>100</b>

Realizado por: Gaibor E., Pachacama R.

Como se puede observar en dicha Tabla el costo total del secador es 3.103,80 USD, siendo sus áreas más costosas las partes mecánicas (36%), las partes electrónicas (41%), y las partes eléctricas (17%), representando el (94 % ) del costo total del secador.

## 13. CONCLUSIONES

A partir del análisis de los resultados del trabajo realizado se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Los requerimientos para el proceso de secado de semillas de cacao existentes en la hacienda ‘La Esmeralda’ son de 133 kg/semana, que son necesarios secar desde una humedad inicial del 60% (1,5 kg/kg bs) hasta una humedad final del 7% (0,075 kg/kg bs).
- Para satisfacer los requerimientos de secado existentes en dicha hacienda se diseñó y construyó un secador rotatorio de calentamiento indirecto. Para su construcción se seleccionaron materiales y accesorios de fácil adquisición y de más bajo costo disponibles en el mercado nacional.
- El costo total del secador de cacao es de 3.103 USD, siendo sus elementos más costosos la cámara de secado que representa el 27%, el motorreductor 17%, el logo siemens 4%, sumando el 48% del coste total del secador. El equipo construido es entre un 38 y 52% más económico que los equipos que se ofertan actualmente en el mercado nacional, cuyo precio oscila entre 5.000 y 6.500 \$.

- La implementación del secador le permitirá al propietario de la hacienda incrementar sus ingresos anuales en, aproximadamente, un 15% (933 \$/año) y recuperar la inversión realizada (3.103,81 \$) en un tiempo de 5 años.

#### **14. RECOMENDACIONES**

A partir de los resultados obtenidos en la evaluación del proceso de secado de semillas de cacao en el secador rotatorio de calentamiento indirecto construido se recomienda:

- Realizar un secado previo de las semillas de cacao durante 24 h para eliminar el mucilago de las mismas.
- Pre-calentar la cámara de secado durante unos 30 min hasta llegar a una temperatura de 50°C para ingresar las semillas de cacao húmedas.
- Realizar inspecciones visuales del equipo cada 30 minutos, revisar el sistema de transmisión de potencia y realizar una limpieza general del equipo al finalizar la jornada de trabajo del secador.
- Una vez terminado el proceso de secado los granos de cacao deben almacenarse en sacos de yute en un lugar libre de humedad y moho.
- Realizar, en caso que se requiera, el diseño e instalación de una banda transportadora para el suministro de las semillas de cacao a la tolva y de esta forma mejorar la carga del producto.
- Realizar el mantenimiento preventivo del secador acorde a lo establecido en el manual de operación y mantenimiento (Ver Anexo 14).

## 15. BIBLIOGRAFIA

- ANECACAO. (2006). *Asolación Nacional de Exportadores de Cacao*. Obtenido de Asolación Nacional de Exportadores de Cacao: <http://www.anecacao.com>
- ANECACAO. (2015). *Historia Del Cacao*. Obtenido de <http://www.anecacao.com/es/quienes-somos/historia-del-cacao.html>
- ARCONEL. (2017). *Pliego tarifario para las empresas eléctricas*. Quito: Dirección nacional de regulación económica.
- Cakebread, S. (1981). *Dulces elaborados con azúcar y chocolate*. España: Acribia.
- Cheesman, E. (1944). *Notes on the nomenclature, classification and possible relationships of cocoa populations*. Trinidad.
- Coloma, G. (2017). Cosecha de cacao. (R. P. Erick Gaibor, Entrevistador)
- Espinoza, C. (2015). Diseño y construcción de una máquina secadora de cacao para aplicación agroindustrial en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas. *Tesis de ingeniería*. Sangolquí, Pichincha, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Espinoza, S. F. (2007). *Los proyectos de inversión*. Costa Rica: Tecnológica de costa rica.
- FAO. (1988). *Aplicaciones de la ingeniería*. Roma: FAO.
- FAO. (1993). *Manual de manejo poscosecha de granos de nivel rural*. Chile: Oficina regional de la FAO para américa latina y el caribe.
- Haitec-GR. (2013). *Haitectransmission equipment co.,ltd*. Obtenido de [http://www.haitec.com.cn/en/proview.asp?P\\_ID=292](http://www.haitec.com.cn/en/proview.asp?P_ID=292)
- INEN. (2008). *Transporte, almacenamiento, envasado y distribución de gas licuado de petróleo (glp) en cilindros y tanques*. Quito: RTE.
- INEN. (2014). CPE INEN-NEC-SE-IG 26-11. En INEN, *Instalaciones de gases combustibles para uso residencial, comercial e industrial* (pág. 99). Quito, Pichincha, Ecuador.
- INEN, I. E. (2006). *Cacao en Grano*. Quito: NTE.

- INIAP. (1993). Manual del cultivo de cacao. *Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias*, 128.
- Komalafe, C. A., Adejumo, A. C., Awogmi, C., & Adeyeye, A. D. (2014). Development of cocoa beans bathc dryer. *American journal of engineering research (AJER)*, 3, 171-176.
- Lucia, D. A. (1993). *La ingeniería en el desarrollo-manejo y tratamiento de granos en poscosecha*. Roma, Italia: FAO.
- MAGAP. (2016). Cacao CCN51 Almendra Seca. *Subsecretaria de comercialización*.
- Mayo, R. (2010). *Sistemas Domóticos Basado en PLC*. Obtenido de Universidad de Oviedo: [http://infopl.net/files/documentacion/automatas/infoPLC\\_net\\_Sistemas-Domoticos\\_Basado\\_en\\_PLC.pdf](http://infopl.net/files/documentacion/automatas/infoPLC_net_Sistemas-Domoticos_Basado_en_PLC.pdf)
- Mujumdar, A. S. (2011). *Industrial Transfer Processes*. Singapore: Department of Mechanical Engineering.
- Mujumdar, A. S. (2015). *Handbook of industrial drying*. New York: CRC Press.
- Nonhebel, G., & Moss, A. (2002). *El secado de sólidos en la industria química*. España: Reverte; S.A.
- Ospina, D. Y. (2010). Análisis del proceso de deshidratación de cacao para la disminución de tiempo de secado. *Revista EIA* (13), 63.
- Plaza, X. P. (2012). Diseño e implementación de una secadora híbrida para el control y monitoreo del proceso de secado del cacao. *Tesis de ingeniería*. Cuenca, Azuay, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Poveda, J. P. (2006). Diseño y simulación de un secador de granos de cacao con colectores solares planos mediante convección forzada. *Tesis de ingeniería*. Sangolqui, Pichincha, Ecuador.
- PROECUADOR. (2013). Análisis del Sector Cacao y Elaborados. *Inteligencia comercial e inversiones*, 39.
- PROECUADOR. (2017). *Cacao y Chocolate*. Obtenido de <http://www.proecuador.gob.ec/exportadores/sectores/cacao-y-elaborados/>

- Quingaisa, E. E. (2007). Estudio de caso denominación de origen "cacao arriba". En E. E. Quingaisa, *Estudio de caso denominación de origen "cacao arriba"* (pág. 70). Quito: FAO.
- RAE. (2017). *Diccionario de la lengua española*. Madrid: RAE.
- Ramírez, M. A. (2007). Comparación de Eficiencia Energética entre Sistemas de Secado Horizontal y Vertical. *Tesis de Ingeniería*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Ramli, W. (1996). Characteristic drying curves of cocoa beans. *Drying technology: An international journal*, 2.
- Ravenet, J. (1992). *Silos*. Barcelona: IMGESA.
- Rosero, P. P. (2012). Modelación y simulación en ambiente ecosimpro de una cámara de secado para cacao. *Ingenius*, 54-60.
- Siemens. (2016). Logo. En Siemens, *Logo* (pág. 6). Alemania: Siemens AG.
- UNESCO. (2013). *Campos de la educación y capacitación*. Montreal: Instituto de estadísticas de la UNESCO.

# ANEXOS

**INFORMACIÓN PERSONAL**

**Nombres y Apellidos:** Ángel Salvador Hernández Moren  
**Fecha de Nacimiento:** 1966  
**Lugar de Nacimiento:** Cienfuegos, Cuba  
**Ciudad Domicilio:** Cotopaxi - Latacunga  
**Número Celular:** 0984160559  
**Email:** [angel.hernandez@utc.edu.ec](mailto:angel.hernandez@utc.edu.ec)  
**Tipo Sanguíneo:** O+



Se graduó de "Ingeniero Termoenergético" en 1989, por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cienfuegos (UCf), Cuba. Obtuvo el título de "Doctor Ingeniero Industrial" por la Universidad de Oviedo, España, en 1999, dentro del Programa de Doctorado de "Tecnología y Ahorro Energético". En 2001 recibió el "Premio Extraordinario de Doctorado", correspondiente al curso académico 1998 – 1999, concedido por la Comisión de Doctorado y la Junta de Gobierno de la Universidad de Oviedo. Durante su carrera profesional ha trabajado como profesor e investigador en diferentes centros de investigación científica e instituciones de educación superior, tales como el Instituto Nacional del Carbón (INCAR), perteneciente a la Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), de España, la Universidad de Cienfuegos (UCf) y la Delegación de la Academia de Ciencias de Cuba (ACC), en Cienfuegos. Actualmente trabaja como docente e investigador en la Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), en Ecuador, donde es miembro de su Comité Científico. Ha impartido las siguientes asignaturas: Máquinas Motrices y Térmicas, Termodinámica, Transmisión de Calor, Generadores de Vapor, Proyecto Integrador y Proyecto de Titulación. Ha participado en diversos proyectos de investigación en el campo de la reducción de las emisiones contaminantes procedentes de la combustión de combustibles fósiles y el incremento de la eficiencia energética de equipos y procesos industriales. Es autor y coautor de varios artículos científicos y de otras publicaciones en libros y volúmenes colectivos; y más de 20 comunicaciones presentadas



**INFORMACIÓN PERSONAL**

**Nombres y Apellidos:** Erick Iván Gaibor Velasco  
**Fecha de Nacimiento:** 04 de Junio de 1991  
**Lugar de Nacimiento:** Bolívar – San Miguel  
**Nacionalidad:** Ecuatoriana  
**Ciudad Domicilio:** Cotopaxi –Latacunga- Ignacio Flores  
**Dirección Domicilio:** Ciudadela Tiobamba  
**Número Celular:** 0982391300  
**Email:** erick.gaibor0@utc.edu.ec  
**Cédula de Identidad:** 0503515470  
**Licencia de Conducir:** Tipo B  
**Estado Civil:** Soltero  
**Tipo Sanguíneo:** O+  
**Licencia de riesgos Eléctricos:** Si

**INFORMACIÓN ACADÉMICA**

<b>Educación</b>	<b>Nombre Institución</b>	<b>Nivel Aprobado</b>
Primaria	Unidad Educativa “Jaime Andrade Fabara”	Completo
Secundaria	Instituto Superior “Ramón Barba Naranjo”	Completo
Superior	Universidad Técnica de Cotopaxi	Último nivel
Suficiencia Inglés	Universidad Técnica de Cotopaxi	Completo

**CONOCIMIENTOS Y CAPACITACIÓN ADICIONAL**

1. Seprytsa s.a.: curso de prevención de riesgos laborales y primeros auxilios. (2014)
2. Universidad Técnica de Cotopaxi: II seminario internacional uso energético fuentes alternativas y desarrollo sostenible. (2015)
3. Coneea: vii congreso nacional de electricidad y energías alternativas. (2015)
4. Suficiencia en inglés “Universidad Técnica de Cotopaxi
5. III Seminario Internacional de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica.
6. VII Congreso de nacional de electricidad y energías alternativas Expo Electricidad 2015.



**INFORMACIÓN PERSONAL**

**Nombres y Apellidos:** Roberto Gerardo Pachacama Pachacama  
**Fecha de Nacimiento:** 27 de Febrero 1992  
**Lugar de Nacimiento:** Pichincha - Quito  
**Nacionalidad:** Ecuatoriana  
**Ciudad Domicilio:** Pichincha - Quito- Amaguaña  
**Dirección Domicilio:** Calle de los Libertadores y Transversal  
**Número Celular:** 0998972859  
**Email:** roberto.pachacma4@utc.edu.ec  
**Cédula de Identidad:** 172559631-4  
**Estado Civil:** Soltero  
**Tipo Sanguíneo:** O+  
**Licencia de riesgos Eléctricos:** Si

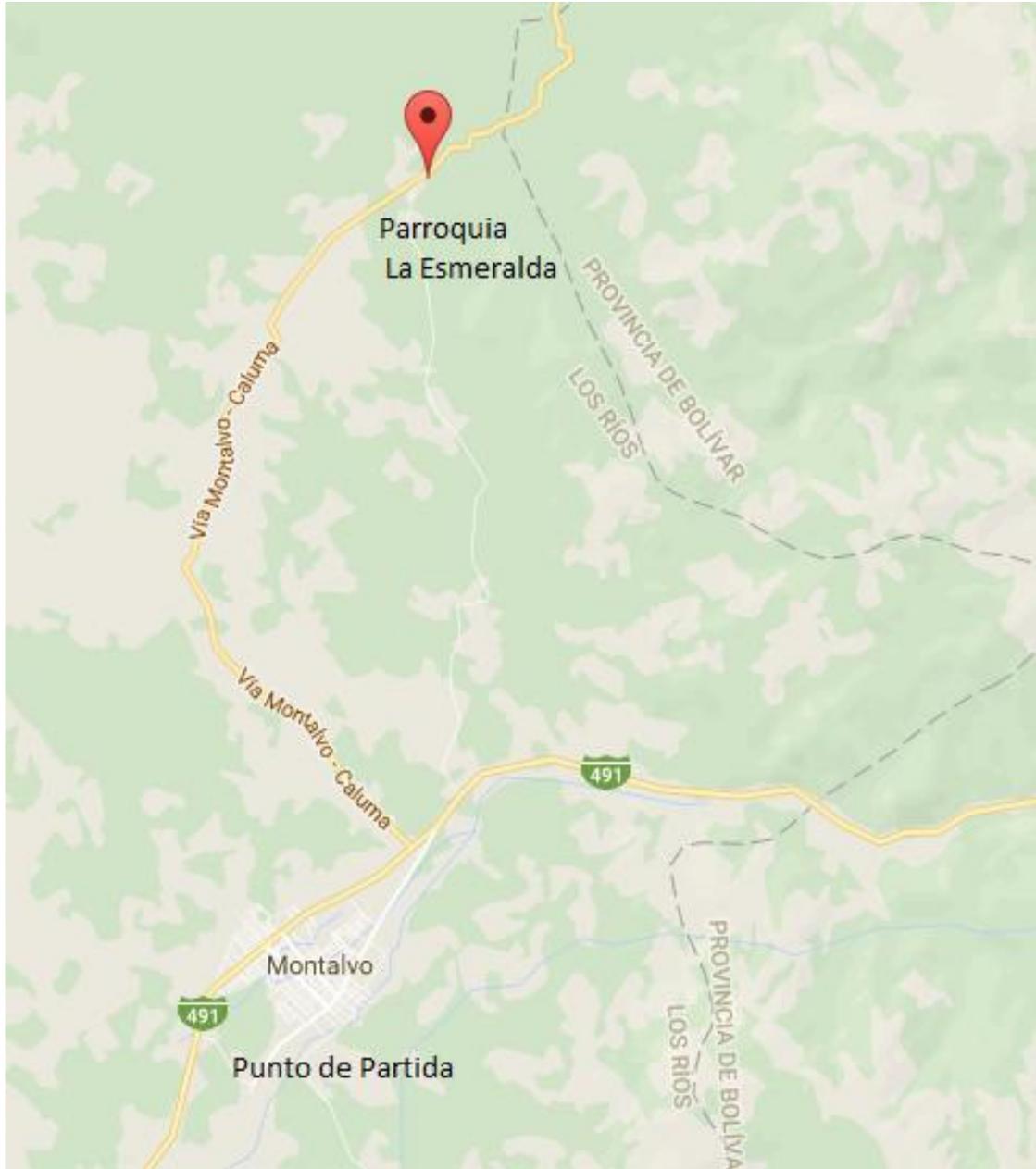
**INFORMACIÓN ACADÉMICA**

<b>Educación</b>	<b>Nombre Institución</b>	<b>Nivel Aprobado</b>
Primaria	Cristo Rey	Completo
Secundaria	Nacional Polivalente Juan de Salinas	Completo
Superior	Universidad Técnica de Cotopaxi	Último nivel
Suficiencia Inglés	Universidad Técnica de Cotopaxi	Completo

**CONOCIMIENTOS Y CAPACITACIÓN ADICIONAL**

1. Seprytsa s.a.: curso de prevención de riesgos laborales y primeros auxilios. (2014)
2. Universidad Técnica de Cotopaxi: II seminario internacional uso energético fuentes alternativas y desarrollo sostenible. (2015)
3. Coneea: vii congreso nacional de electricidad y energías alternativas. (2015)
4. Curso de licencia de prevención de riesgos eléctricos "Seprytsa s.a"
5. Suficiencia en inglés "Universidad Técnica de Cotopaxi.
6. VI Congreso Nacional d Electricidad y Energías Alternativas Expo Electricidad 2014
7. III Seminario Internacional de Ingeniería Eléctrica y Electromecánica.





## Norma: AISI 304

DESCRIPCIÓN DE ACUERDO A NORMA	JIS	SUS 304
	ASTM	304
	DIN	4301

**ESPEORES** desde 0.40-15mm

**DIMENSIONES** 1220 x 2440mm (estándar)

1220 x otros largos (especial)

### COMPOSICIÓN QUÍMICA (%)

C Max	Si Max	Mn	P Max	S Max	Ni	Cr	Mo	Otros
0,08	1	2	0,04	0,03	8 - 10,5	18 - 20	XX	XX

### PROPIEDADES MECÁNICAS

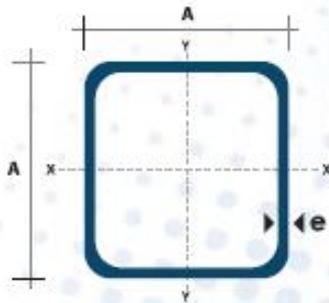
RESISTENCIA MECÁNICA		PUNTO DE FLUENCIA		Elongación % Min.	PRUEBAS DE DUREZA (MAX)	
Kg/mm <sup>2</sup>	Psi	Kg/mm <sup>2</sup>	Psi		ROCKWELL B	VICKERS
49	69500	18	25500	40	81,7	160





### Especificaciones Generales

<b>Calidad</b>	ASTM A-500
<b>Recubrimiento</b>	Negro o Galvanizado
<b>Largo Normal</b>	6.00 m
<b>Otros Largos</b>	Previa Consulta
<b>Dimensiones</b>	Desde 20.00 mm a 100.00 mm
<b>Espesor</b>	Desde 1.20 mm a 5.00 mm



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	I cm <sup>3</sup>
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,67	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,61	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	4,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84





### Especificaciones Generales

<b>Calidad</b>	ISO-65 SERIE LIVIANA II
<b>Recubrimiento</b>	Negra o Galvanizado
<b>Largo Normal</b>	6,00 m
<b>Otros Largos</b>	Previa Consulta
<b>Dimensiones</b>	Desde 1/2" a 4"
<b>Espesor</b>	Desde 2,0 mm a 3,6 mm
<b>Extremos</b>	Roscadas solo en galvanizadas

### NOMENCLATURA

- A<sup>n</sup>** = Área de la sección transversal del tubo, cm<sup>2</sup>
- I** = Momento de inercia de la sección, cm<sup>4</sup>
- W** = Módulo resistente de la sección, cm<sup>3</sup>
- i** = Radio de giro de la sección, cm

Dimensiones				Propiedades			
Diámetro D		Espesor e	Peso P	Área A	I	W	i
Nominal	Exterior						
Pulg	mm	mm	Kg/4m	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
1/2	21.35	2.00	0.99	1.22	0.57	0.59	0.98
3/4	26.90	2.30	1.45	1.78	1.34	1.09	0.87
1	33.70	2.50	1.96	2.45	2.98	1.91	1.10
1 1/4	42.40	2.50	2.55	3.13	6.24	3.13	1.41
1 1/2	48.30	2.65	3.02	3.87	10.05	4.41	1.61
2	60.30	2.65	3.79	4.89	20.26	7.04	2.04
2 1/2	73.00	3.20	5.65	7.02	42.73	12.24	2.47
3	88.90	3.20	6.81	8.62	79.09	18.46	3.03
4	114.30	3.60	9.92	12.52	191.76	34.65	3.91



**ANEXO 8**

**Catálogo de motores BT, Tipo de construcción: Aluminio y Fundición**  
**Grado de eficiencia: IE2 según IEC 60034-30 ½ HP**

Gama de motores Fundición de hierro

Potencia	Carcasa	In (A) 400V	I/In	Cp/Cn	Cm/Cn	Inercia (kgm <sup>2</sup> )	Nivel sonoro dB(A)	Peso (kg)	% de plena carga					
									Eficiencia			Factor de potencia		
KW									50	75	100	50	75	100

W22 - Fundición de hierro- Alta Eficiencia - IE2- 4 Polos

0,25	80	0,6	5,5	200%	250%	0,00153	7644	9	70	74	74	0,61	0,74	0,81
0,37	80	0,87	5,7	220%	270%	0,00187	44	9,5	73	75,5	75,5	0,6	0,73	0,81
0,55	80	1,27	5,8	240%	280%	0,00221	44	10,5	75	76,5	76,5	0,61	0,74	0,82
0,75	90S	1,69	5,9	220%	260%	0,00384	49	17,5	78	80	80	0,59	0,72	0,8
1,1	90S	2,4	6,5	210%	260%	0,00494	49	19	81	81,8	81,8	0,62	0,75	0,81
1,5	90L	3,26	6,3	200%	280%	0,00546	49	22	81,5	83	83	0,57	0,72	0,8
2,2	100L	4,64	6,6	310%	320%	0,00822	53	30,5	84	84,5	84,5	0,63	0,75	0,81
3	100L	6,17	6,5	320%	330%	0,00972	53	33	85	85,6	85,6	0,64	0,76	0,82
4	112M	8,12	6,6	200%	260%	0,01558	56	42	86	86,7	86,7	0,64	0,76	0,82
5,5	132S	10,5	7,3	190%	300%	0,04163	56	63	88	88,1	88,1	0,69	0,81	0,86
7,5	132M	14,1	7,2	200%	300%	0,05284	56	72	88,7	89	89	0,71	0,81	0,86
9,2	132M	17,3	7,7	220%	320%	0,06039	56	75	89,2	89,5	89,5	0,7	0,81	0,86
11	160M	21,2	6,4	230%	280%	0,07304	61	105	89	90,2	90,2	0,65	0,76	0,83
15	160L	28,7	6,2	230%	280%	0,08743	61	125	90,6	91	91	0,66	0,76	0,83
18,5	180M	35,1	6,6	240%	280%	0,16569	61	164	91,5	91,8	91,6	0,68	0,78	0,83
22	180L	40,5	6,8	260%	290%	0,20057	61	186	92,2	92,5	92,3	0,7	0,8	0,85
30	200L	56,2	6,3	220%	260%	0,29291	65	222	92,6	93	92,8	0,68	0,78	0,83
37	225S/M	66,6	6,6	220%	270%	0,61262	66	342	93	93,2	93,2	0,74	0,83	0,86
45	225S/M	80,7	6,8	240%	270%	0,71472	66	363	93,2	93,7	93,6	0,74	0,83	0,86



050

## 8MRV

Input bore  
输入孔

## 8MRV.VS

Output bore  
输出孔

PAM-IEC 适用电机	N (H8)	M	P	bm	tm	S	Dm (H7)												
							5	7.5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100	Depth $\mu$
80B5	Ø130	Ø165	Ø200	6	21.8	Ø11	19	19	19	19	19	19	19	-	-	-	-	-	40
80B14	Ø80	Ø100	Ø120	6	21.8	Ø7	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	-	30
71B5	Ø110	Ø130	Ø160	5	16.3	Ø11	-	-	-	-	-	-	-	11	11	11	11	11	23
71B14	Ø70	Ø85	Ø105	5	16.3	Ø7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63B5	Ø95	Ø115	Ø140	4	12.8	Ø9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Weight : 3.6kg  
重量 : 3.6kg

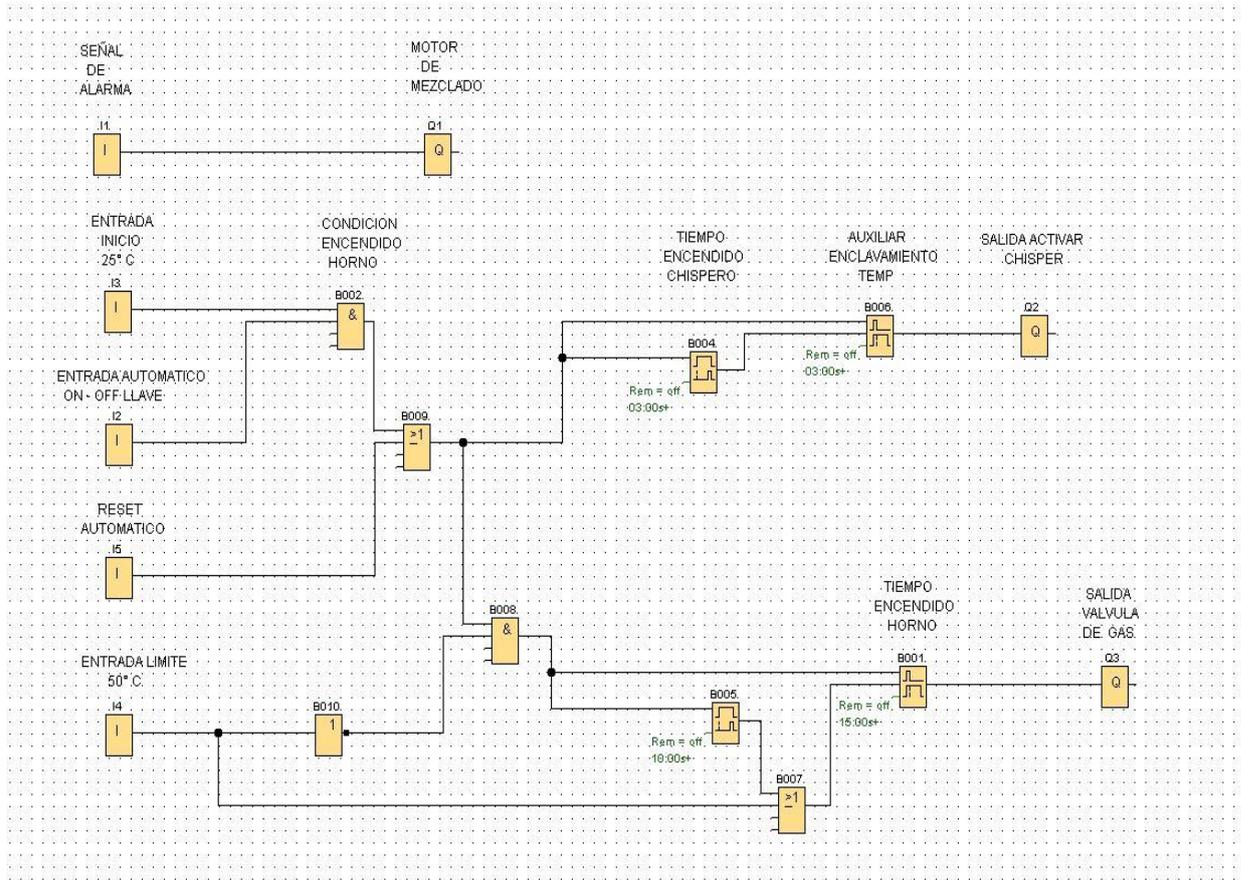


**ANEXO 10**

**Clasificación de los gases combustibles CPE INEN-NEC-SE-IG 26-11**

Familia	Nombre del Gas	Componente Principal	Observación	Densidad	PCS en volumen kWh/m <sup>3</sup>	PCS en masa kWh/Kg	Índice de Wobbe MJ/m <sup>3</sup> (n)	Límites de inflamabilidad	Odorizante
1era Familia	Gas Manufacturado	Metano+ H <sub>2</sub> +CO	Tóxico, en desuso	< 1	5,23		19,13 a 27,64	6,45	
2da Familia	Gas Natural	Metano	No Tóxico	< 1	12,2		39,1 a 54,7	5 a 15	Tetrahidrotiofeno
			Inodoro						
			Incoloro						
3ra Familia	GLP	Propano	No Tóxico	>1	27,29	14,0	72,9 a 87,3	2,4 a 9,5	Mercaptano
			Inodoro						
			Inodoro						
		Butano	No Tóxico	>1	36,0	13,95		1,8 a 8,4	Mercaptano
			Inodoro						
			Inodoro						







Tablero de control (Externo)



Tablero de control Interno)

Sistema de encendido y electroválvula  
(Encendido)

Sensor y controlador de chispa



## Propiedades termodinámicas

Variable	Descripción	Unidad	Valor	kJ
Calor latente de vaporización del agua	$\Delta H_o$	kcal/kg	600	2.510,4
Calor específico del cacao	$C_p$			
Densidad del cacao	$\rho_c$	kg/m <sup>3</sup>	775	

## Datos del combustible

Variable	Unidad	Valor
Combustible		GLP
Poder calorífico inferior del combustible	kcal/kg	10.830
Masa de gas por tanque	kg/tanque	13,50

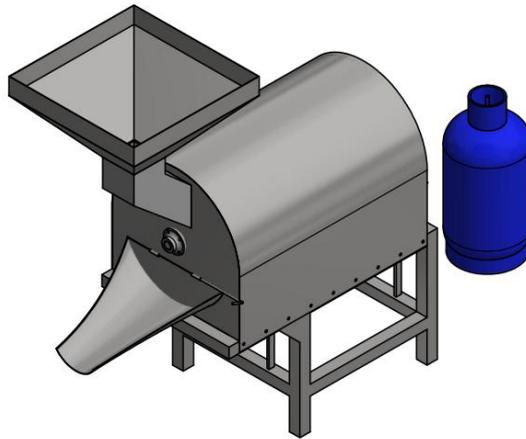
## Balance de masas

Variable	Descripción	Unidad	Valor
Masa de granos secos al día	$M_{gs}$	kg/día	12,47
Masa de agua a evaporar	$M_{H_2O}$	kg/día	16,53
Masa de granos húmedos	$M_{gh}$	kg/día	<b>29,00</b>
Masa de granos secos al año	$M_{gs}$	kg/año	2.968,26
Masa de granos secos al año	$M_{gs}$	quintal/año	64,52





# MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SECADOR DE CACAO



Autores:

GAIBOR VELASCO ERICK IVÁN

PACHACAMA PACHACAMA ROBERTO GERARDO

Tutor:

PhD. ÁNGEL SALVADOR HERNÁNDEZ MORENO

LATACUNGA - ECUADOR

2017

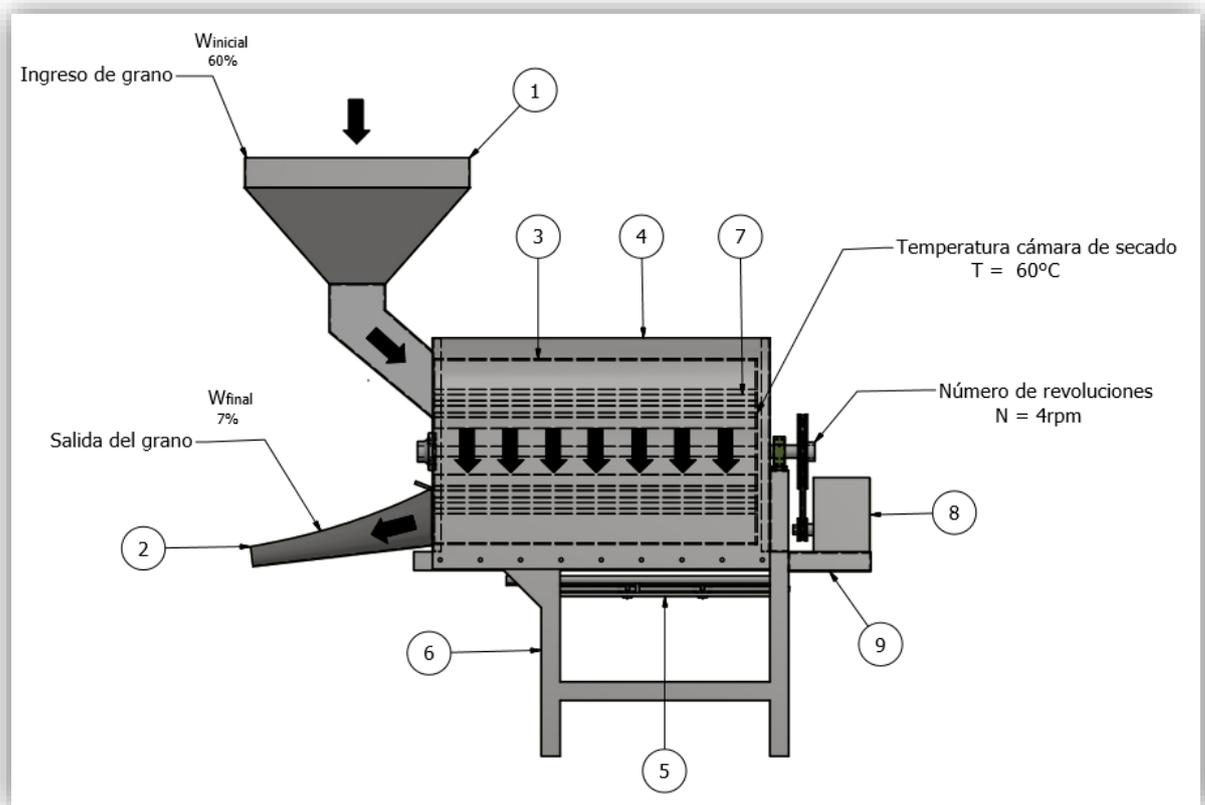
## INTRODUCCIÓN

Esta guía práctica de uso y mantenimiento del secador de cacao, servirá al operador para su correcto funcionamiento y para que los parámetros de diseño se cumplan en el proceso de secado, se aconseja seguir las debidas instrucciones en el orden dado por este documento.

## ELEMENTOS Y ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO

A continuación en la Figura 1 se muestra las partes importantes en el secador de cacao.

**Figura 1.** Esquema general del secador de cacao.



En el esquema general se muestra las entradas y salidas del secador de cacao, a su vez, el camino que seguirá las semillas a lo largo del proceso, representado por flechas negras, se puede visualizar la temperatura de funcionamiento de la cámara de secado y el número de revoluciones del sistema de transmisión.

## Descripción de los elementos que conforman el secador de cacao

**Tabla 1.** Numeración de cada elemento en el secador de cacao.

NUMERO	ELEMENTO	CARACTERÍSTICA
1	Tolva de entrada	Acero inoxidable
2	Tolva de salida	Acero inoxidable
3	Cámara de secado	Acero inoxidable
4	Cubierta	Acero inoxidable
5	Quemador de GLP	Tubo de acero 1"
6	Soporte del secador de cacao	Tubo cuadrado 3"
7	Sistema de elevación para descarga	Acero inoxidable
8	Motorreductor	Hierro fundido
9	Sistema de control	Circuitería

### Descripción de cada proceso del secador.

- 1. Tolva de ingreso.-** Entrada de las semillas de cacao para el posterior secado.
- 2. Tolva de salida.-** Salida de las semillas de cacao para el posterior almacenamiento.
- 3. Cámara de secado.-** Almacenamiento del grano para el secado, el cual tendrá una temperatura de máximo 60°C
- 4. Cubierta.-** Aislante térmico que evitara las pérdidas de temperatura en el proceso de secado.
- 5. Quemador de GLP.-** Calentador de la superficie externa del cilindro de la cámara de secado, para la elevación de la temperatura interna del mismo.
- 6. Soporte del secador de cacao.-** Proporcionará la seguridad y control de la nivelación de todo el secador.

7. **Sistema de elevación para descarga.-** Generación de un desnivel en el secador para una mejor salida del grano.
8. **Motorreductor.-** Generación del movimiento de la cámara de secado mediante el sistema de transmisión.
9. **Sistema de control.-** Verificará el cumplimiento de la temperatura interna del proceso de secado y el tiempo que durara el mismo.

## **SOLUCIÓN A PROBLEMAS**

### **Desnivel en el secador de cacao.**

Para una correcta nivelación del secador verificar el área de asentamiento del equipo y si existe una desnivelación corregir hasta obtener un óptimo resultado.

### **Sin transmisión de movimiento.**

De no existir transmisión de movimiento desde el motorreductor hacia las poleas proceder de la siguiente manera:

- Verificar que se encuentre el prisionero de la polea del motorreductor en el chavetero del eje del mismo y posterior ajustarlo.
- Ajustar el templador de la banda de transmisión hasta obtener una tensión adecuada para que no existe un deslizamiento en las poleas.

### **Condensación del vapor.**

Si se genera humedad condensada proceder a cerrar las compuertas de ingreso del cacao, la cual se encuentra en la tolva.

## **RECOMENDACIONES GENERALES DE FUNCIONAMIENTO.**

### **Normas de seguridad**

Para evitar accidentes de forma inesperada, tomar las debidas precauciones en el sistema de transmisión, el cual, genera un alto toque pudiendo producir daños físicos si se expone una parte del cuerpo.

### **Motorreductor**

Si existe alto contenido de polvo en el ambiente, periódicamente realizar una limpieza del motorreductor para que la temperatura de funcionamiento del motor no exceda los límites de fábrica establecidos.

### **Rodamientos**

Es necesario verificar que no exista resequedad en los acoplamientos de los rodamientos, así se evitará el rose brusco y desgaste con el eje de transmisión.

### **El cacao**

Si de existir una adherencia del cacao a las paredes del secador, se recomienda previo al secado realizar un despulpado, para evitar aglomeración de semillas en el proceso.

### **Quemador de GLP**

Verificar periódicamente las conexiones desde el cilindro de gas hacia el quemador de GLP, para evitar fugas de gas.

## REGLAS BASICAS DE SEGURIDAD DENTRO Y FUERA DEL SECADOR DE CACAO

La señalética indicada a continuación se encuentra ubicada en los alrededores del secador de cacao para evitar daños físicos que afecten a la salud del operador y personas aledañas a la máquina.

	Prohibido fumar
	Alta temperatura
	Material inflamable
	Riesgo eléctrico
	Obligación de usar protección para las manos

	<p>Obligación de usar protección para los pies</p>
	<p>Obligación de usar ropa de protección para el cuerpo</p>
	<p>Obligación de usar protección respiratoria</p>

### **No encender fuego cerca del cilindro de gas**

Al funcionar el secador de cacao con GLP (Gas Licuado de Petróleo) altamente inflamable, se podría generar una llama o explosión cerca del cilindro.

### **Revisar la llama del quemador de GLP**

Se recomienda comprobar visualmente que se encuentre encendido el quemador de GLP, si no es así, apagar el sistema y esperar 5 minutos para luego volver a encenderlo.

## **OPERACIÓN DEL SECADOR DE CACAO (PASO A PASO)**

- Previo a cualquier proceso de funcionamiento colocarse el equipo de seguridad.
- Conectar el sistema de control a una fuente de energía (110V).
- Conectar el quemador de GLP a la bombona de gas mediante la manguera y válvula de apertura.
- Pesar de la cantidad adecuada de cacao a secar.
- Encender el sistema de control, motorreductor y quemadores de GLP.
- Revisar que las válvulas tanto del gas y del quemador de GLP se encuentren totalmente abiertas.
- Visualizar que la temperatura interna de la cámara de secado se encuentre a 55°C para posteriormente añadir el cacao a la tolva de ingreso.
- Ingresar el cacao a la tolva y abrir de las compuertas de la tolva que permitirán el paso del cacao hacia la cámara de secado.
- Culminado el ingreso total del cacao a la cámara de secado cerrar las compuertas de la tolva para evitar pérdidas de calor por el conducto.
- Verificar que la compuerta de salida del cacao se encuentre asegurada y cerrada para que no exista la salida del grano antes de alcanzar la humedad deseada.
- En el transcurso del secado de cacao el sistema de muestreo permitirá asegurarse que el proceso se está desarrollando de forma normal, el cual, se encuentra en parte frontal del secador.
- Transcurrido el tiempo de secado se procederá a sacar el grano, para esto se inclinara la parte superior de la máquina, mediante una gata hidráulica ubicada en la parte posterior des secador.
- Abrir la compuerta de la tapa delantera y colocar un recipiente para la caída del grano.

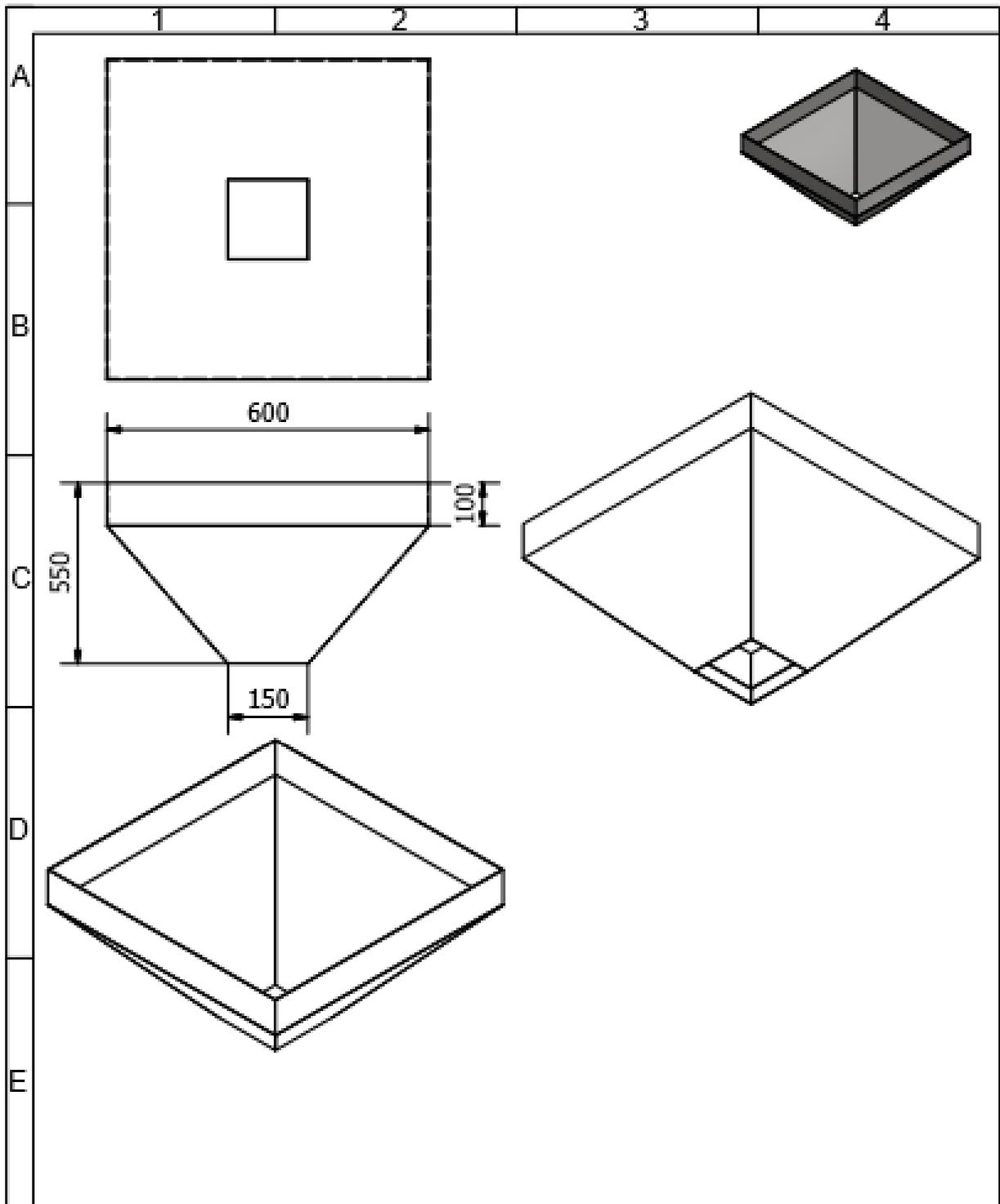
- Terminado el paso anterior y último, llevar a la posición inicial en la que se encontraba el secador mediante la gata hidráulica y cerrar la compuerta de salida del grano.
- Si de encontrarse un percance a lo largo del proceso y es inevitable realizar una parada inesperada del proceso de secado utilizar el botón rojo de paro.

#### Plan de mantenimiento preventivo:

- Los distintos trabajos de mantenimiento que deben realizarse en el secador de semillas de cacao, se resumen en la siguiente tabla:
- Plan de mantenimiento preventivo

**Tabla 2: Plan de Mantenimiento Preventivo**

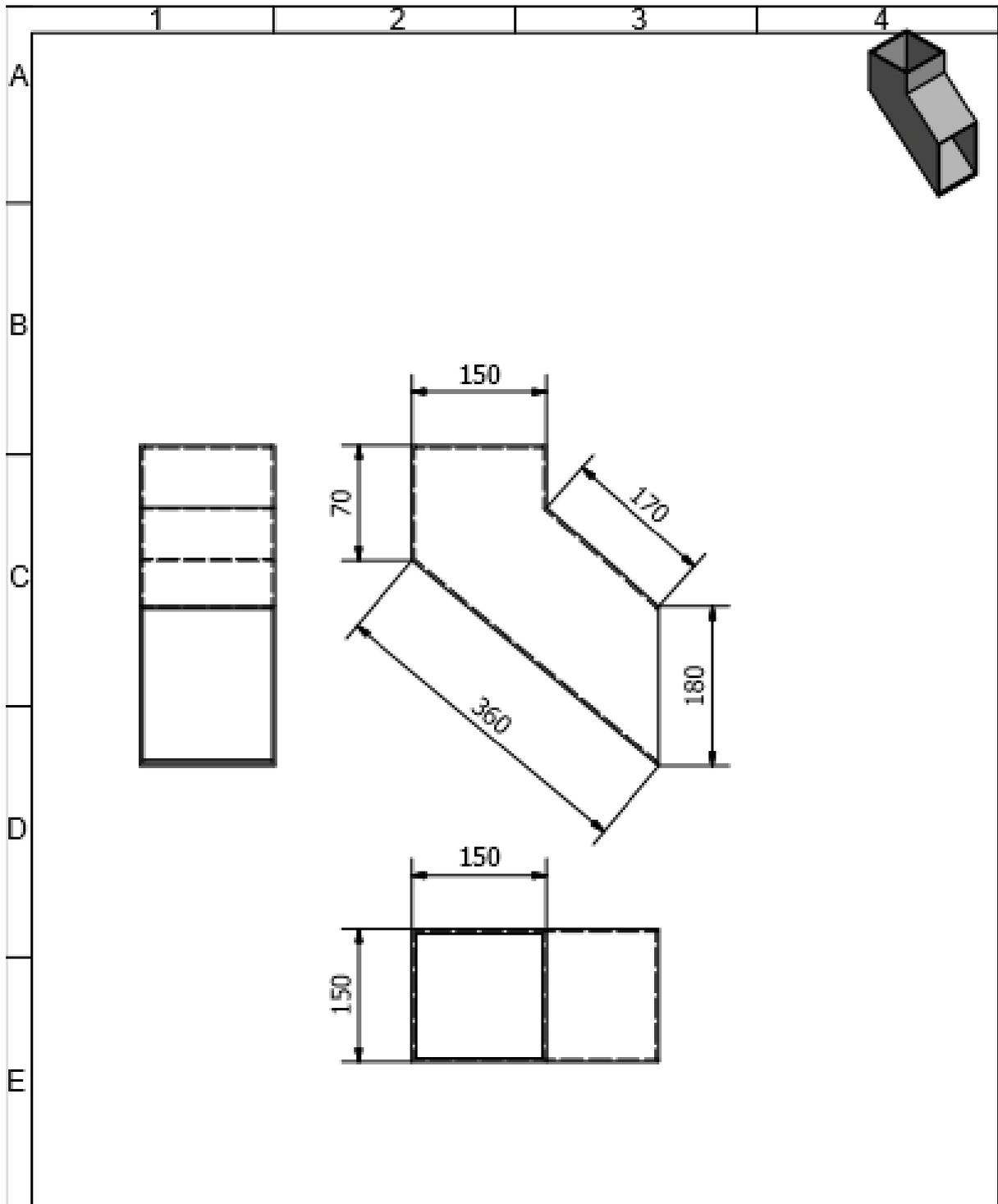
Frecuencia	Partes constructivas del secador de cacao						Trabajo a realizar
	Cámara De Secado	Tolva	Sistemas de transmisión	Protección del motor	Elementos de conexión	Chumacera	
Semanal	X						Limpieza de la cámara de secado
		x					Limpieza de la tolva
Mensual						X	Lubricación de chumacera
			x		x		Ajustes de banda
							Ajustes de pernos y tornillo
				X			Verificación de funcionamiento
Trimestral	X						Alineación de eje de la cámara de secado
	X						Revisión de aislante térmico
Anual						X	Cambio de chumaceras
			x				Cambio de bandas



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



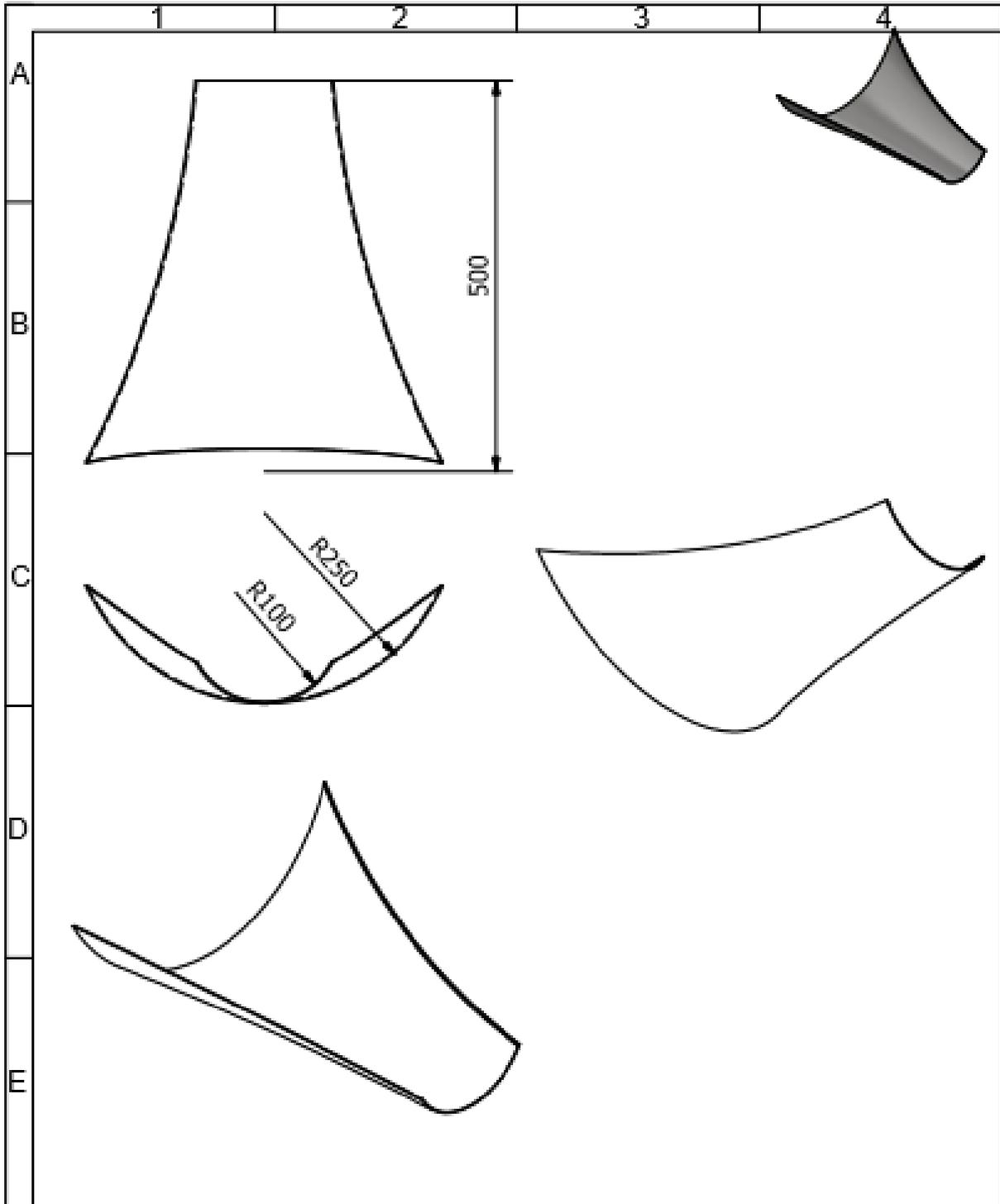
Dib.	13/07/17	Geibor E. Pachacama R.	Escala 1:10	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Rev.	28/07/17	Ing. Gallardo C.			
Apro.	28/07/17	Ing. Gallardo C.			
Materiales		Tolerancias	Número Lamina N° 1	Asignatura	Denominación
Acero inoxidable		0.1 / - 0.1		Titulación II	Tolva de entrada



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



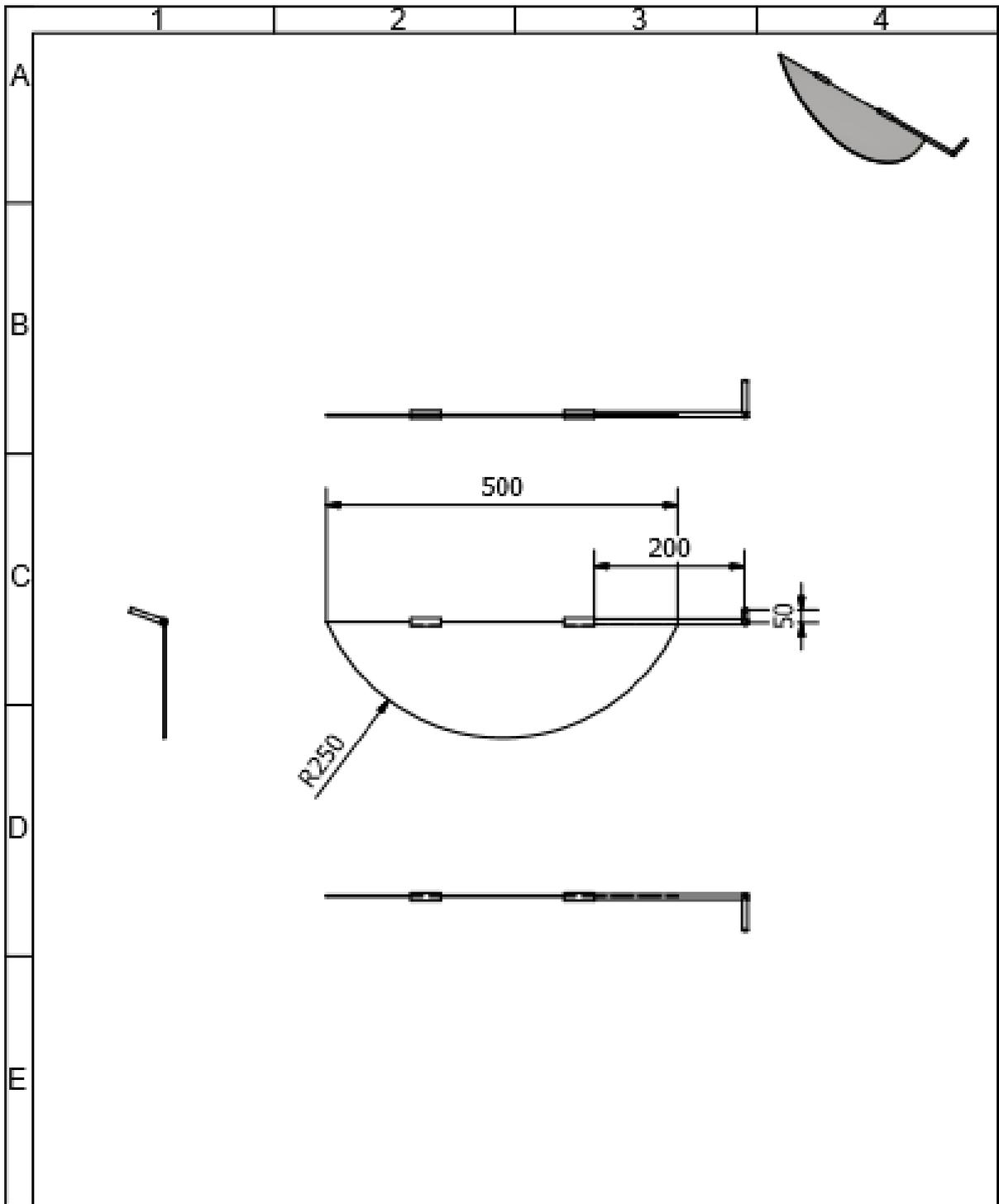
	Fecha	Nombre	Escala	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>	
Deb.	13/07/17	Galbor E. Pachacama R.	1:8		
Rev.	28/07/17	Ing. Gallardo C.			
Apr.	28/07/17	Ing. Gallardo C.			
Materiales		Tolerancias	Número Lámina	Asignatura	Denominación
Acero Inoxidable		0.1 / - 0.1	Nº 2	Ttulación II	Soporte tolva de entrada



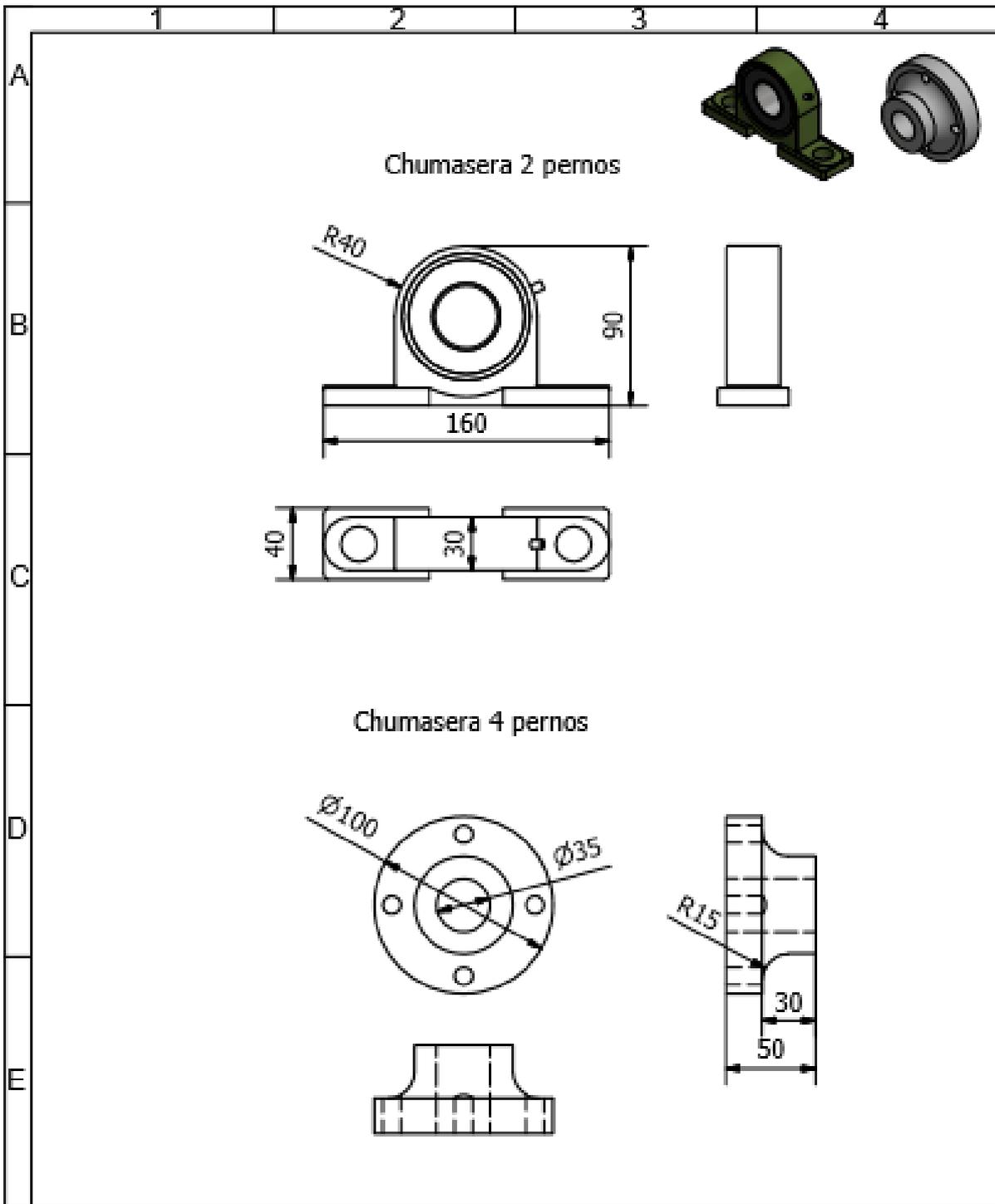
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



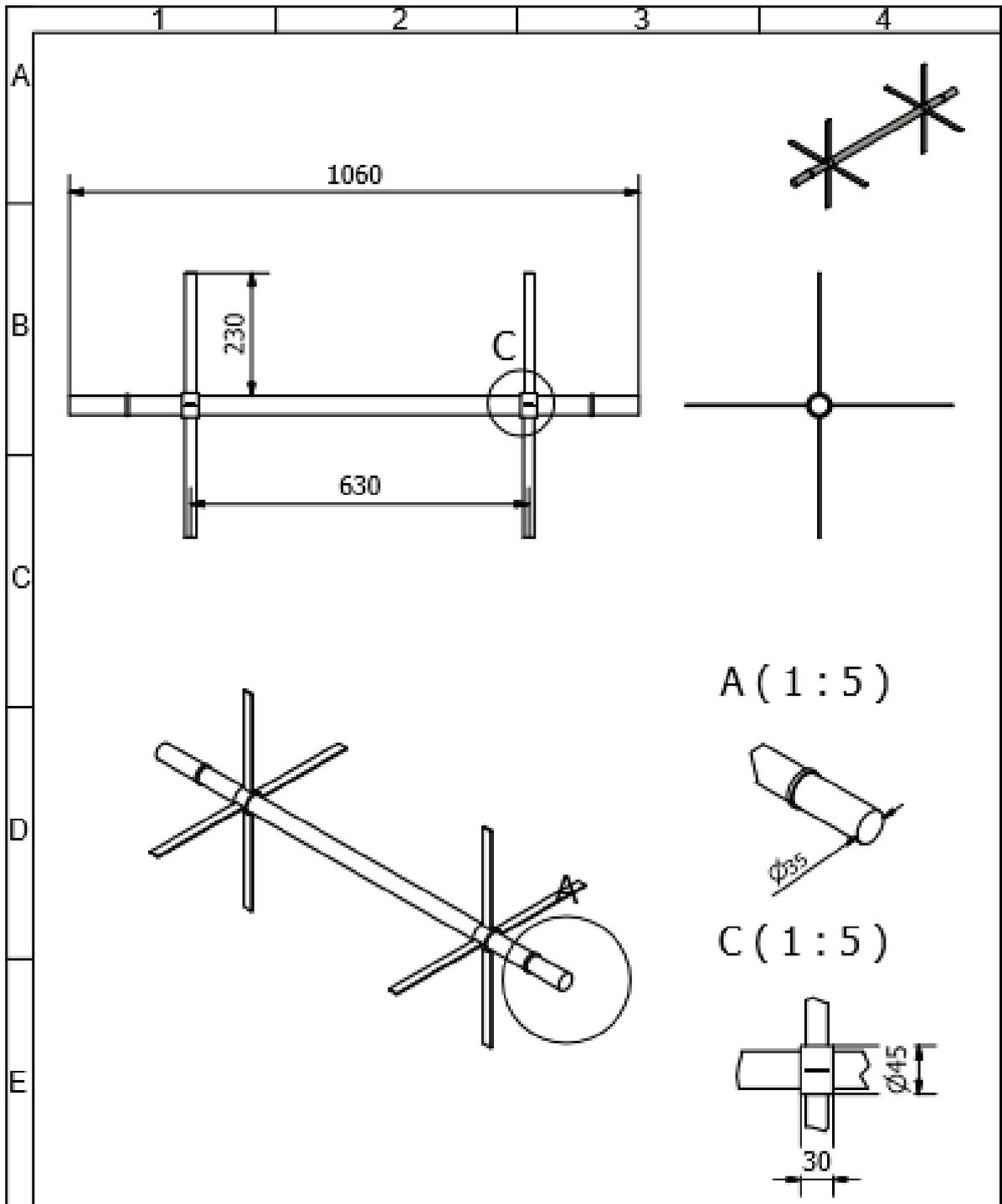
	Fecha	Nombre	Escala	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib.	13/07/17	Geibor E. Pachacama R.	1:7		
Rev.	28/07/17	Ing. Gallardo G.			
Apro	28/07/17	Ing. Gallardo G.		Asignatura	Denominación
Materiales		Tolerancias	Número Lamina Nº 3	Titulación II	Tolva de salida
Acero Inoxidable		0.1 / - 0.1			



		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>				
	Fecha	Nombre	Escala	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>		
Dib.	13/07/17	Geibor E. Pachacama R.	1:7			
Rev.	28/07/17	Ing. Gallardo C.				
Apro.	28/07/17	Ing. Gallardo C.				
Materiales		Tolerancias	Número Lámina	Asignatura	Denominación	
Acero Inoxidable		0.1 / - 0.1	Nº 4	Titulación II	Compuerta de salida	



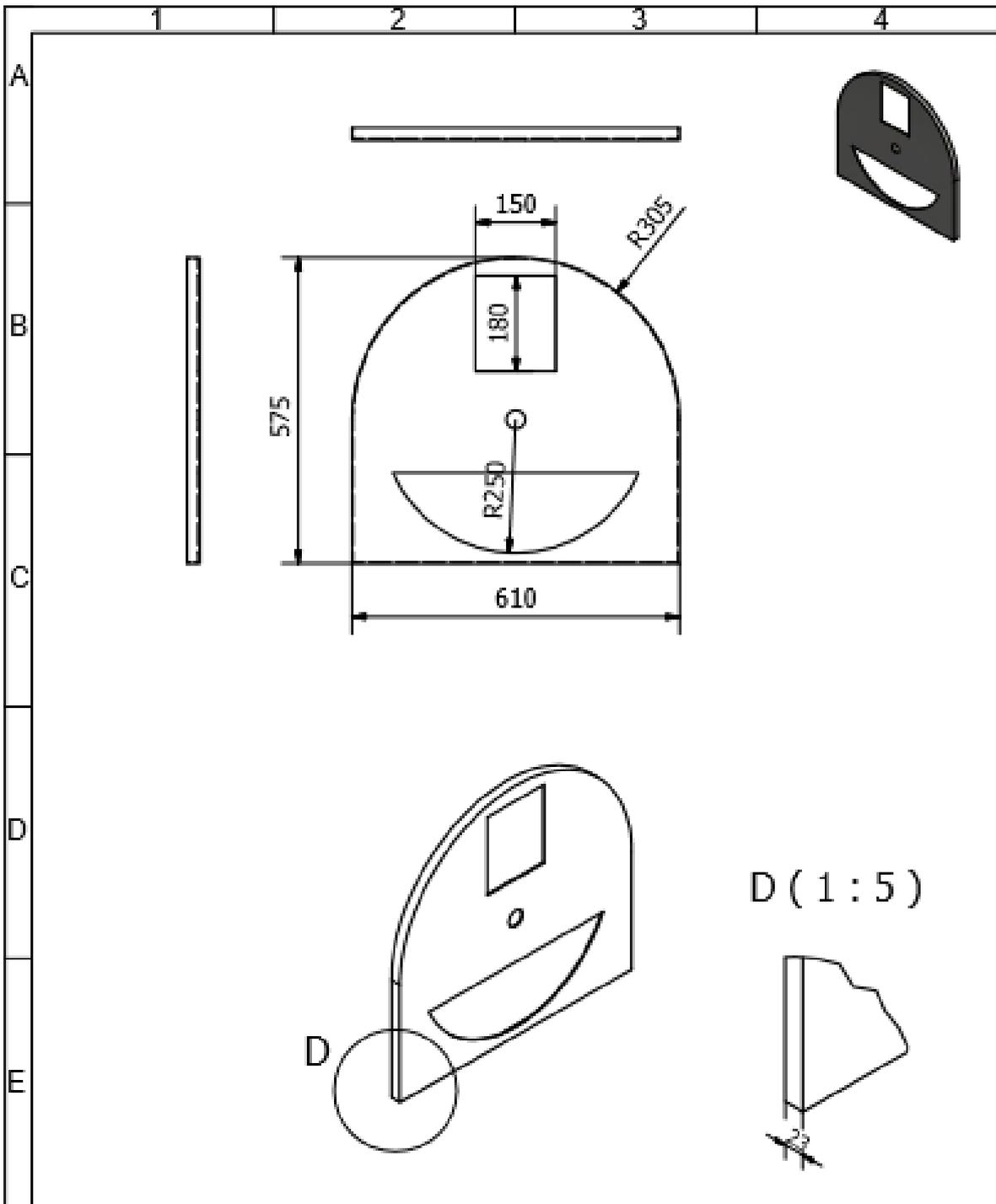
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>			
Fecha	Nombre	Escala	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>		
Dib. 13/07/17	Geibor E. Pachacama R.				
Rev. 28/07/17	Ing. Gallardo C.				
Apro. 28/07/17	Ing. Gallardo C.	1:3			
Materiales		Tolerancias	Número Lámina	Asignatura	Denominación
Acero Inoxidable		0.1 / - 0.1	Nº 5	Titulación II	Chumaseras



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

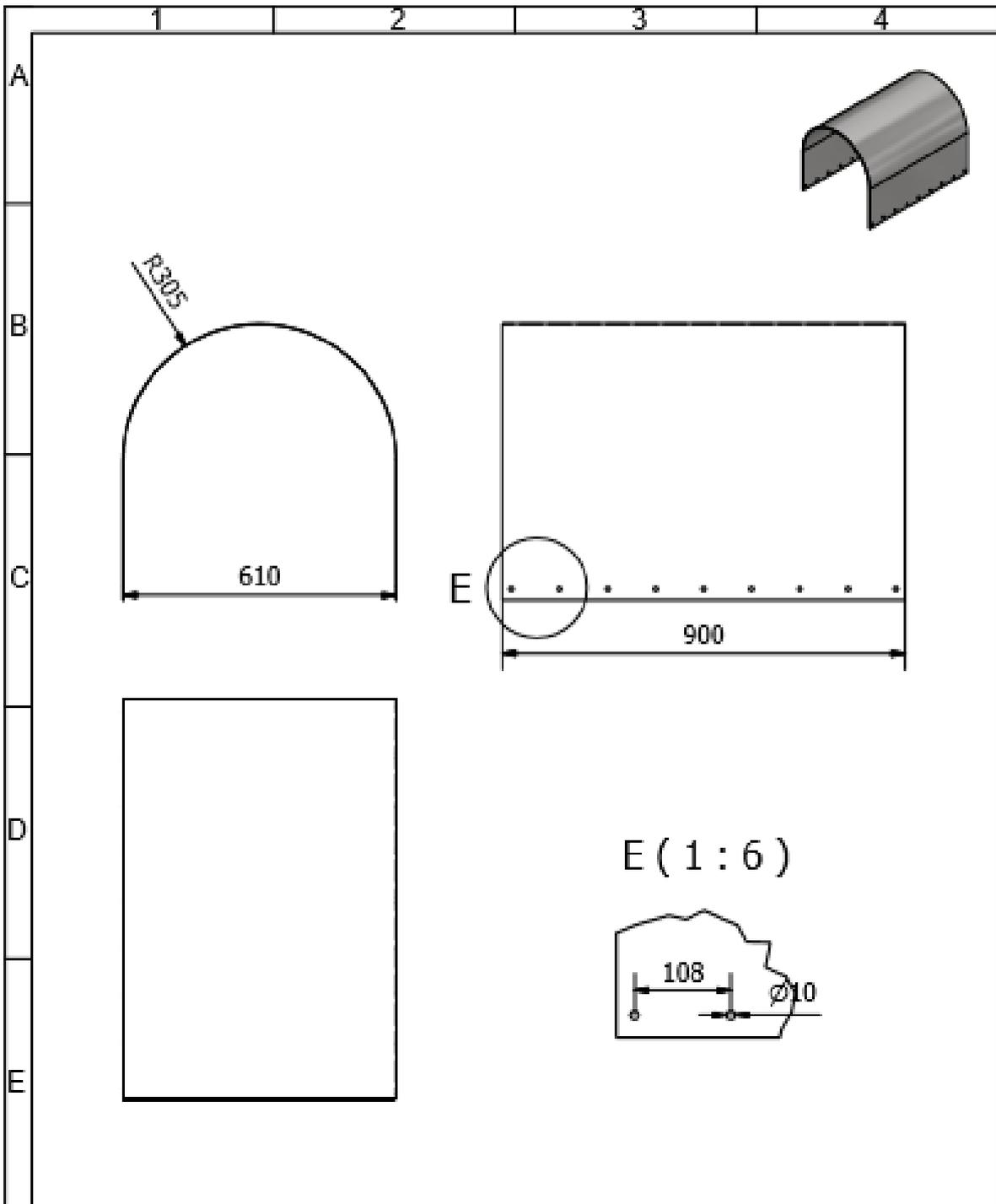


	Fecha	Nombre	Escala	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib.	13/07/17	Galbor E. Pachacama R.	1:10		
Rev.	28/07/17	Ing. Gallardo C.			
Apro.	28/07/17	Ing. Gallardo C.			
Materiales		Tolerancias	Número Lamina N° 8	Asignatura	Denominación
Acero Inoxidable		0.1 / - 0.1		Ttulación II	Eje Rotatorio



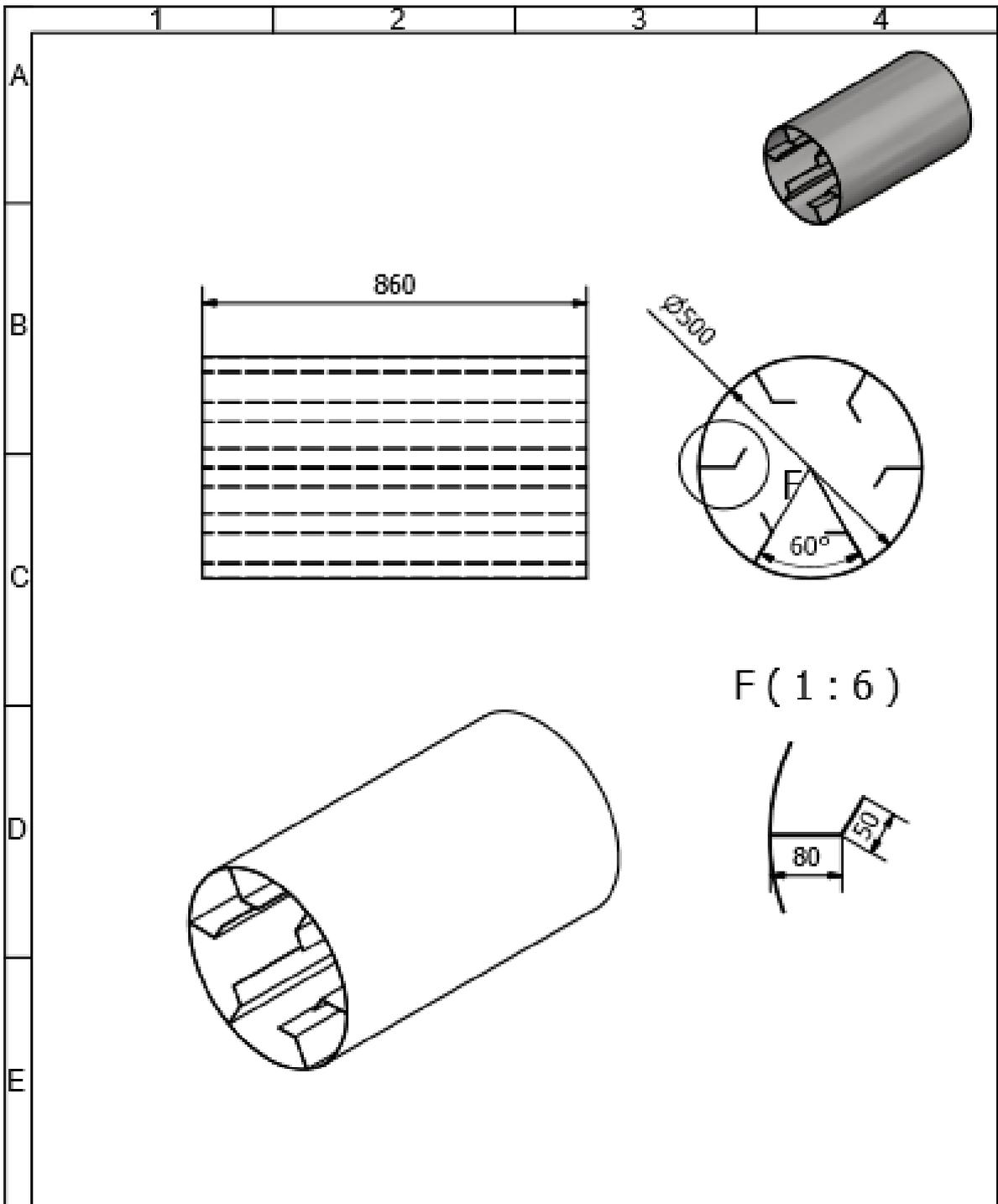

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**


	Fecha	Nombre	Escala	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>	
Dib.	13/07/17	Geibor E. Pachacama R.	1:10		
Rev.	28/07/17	Ing. Gallardo C.			
Apro.	28/07/17	Ing. Gallardo C.			
Materiales		Tolerancias	Número Lámina	Asignatura	Denominación
Acero Inoxidable		0.1 / - 0.1	Nº 7	Tutulación II	Tapa delantera



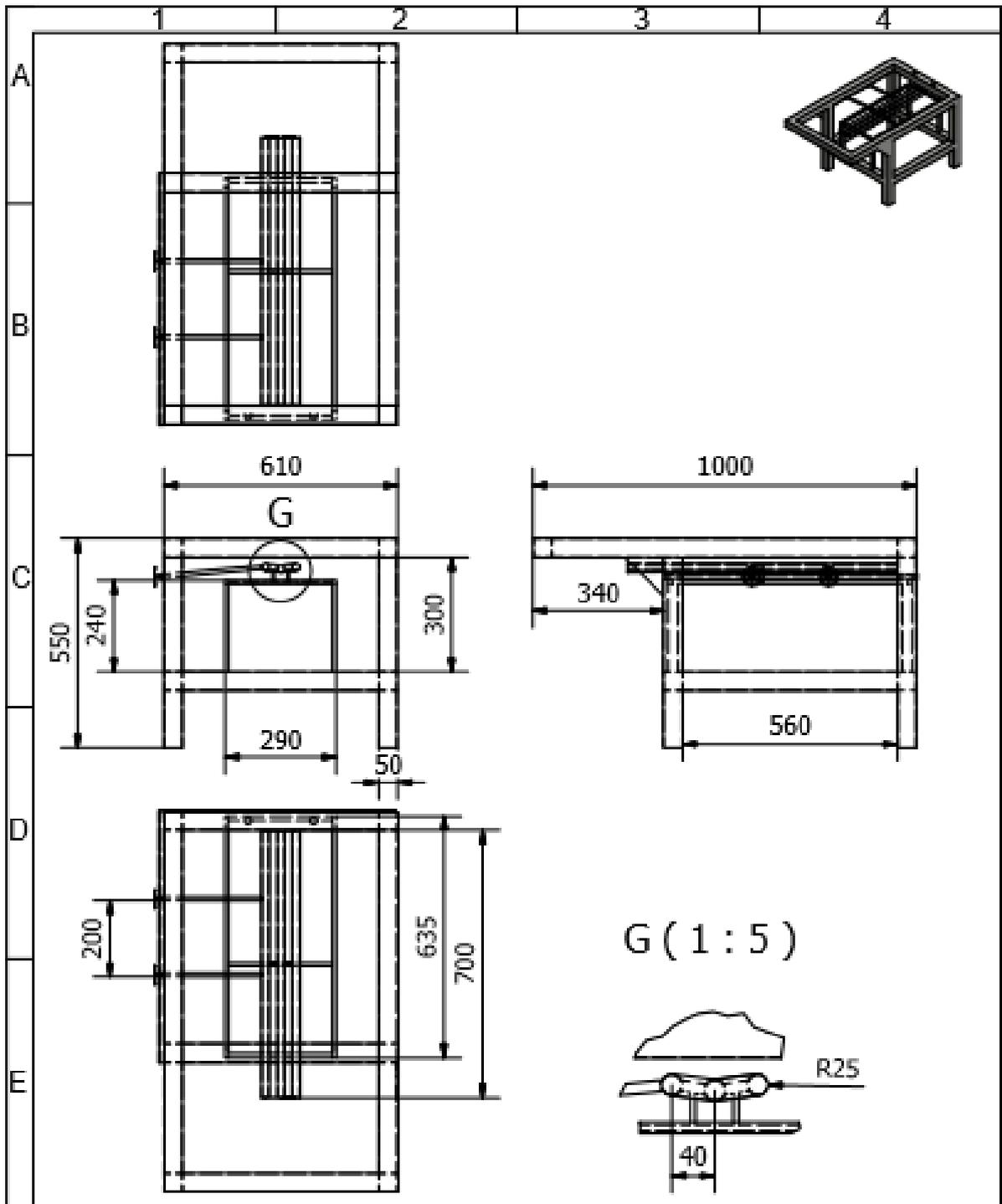

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**


	Fecha	Nombre	Escala	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>	
Dib.	13/07/17	Galbor E. Pachacama R.	1:12		
Rev.	28/07/17	Ing. Gallardo C.			
Apro.	28/07/17	Ing. Gallardo C.			
Materiales		Tolerancias	Número Lamina Nº 8	Asignatura	Denominación
Acero Inoxidable		0.1 / - 0.1		Tutulación II	Cubierta aislante




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

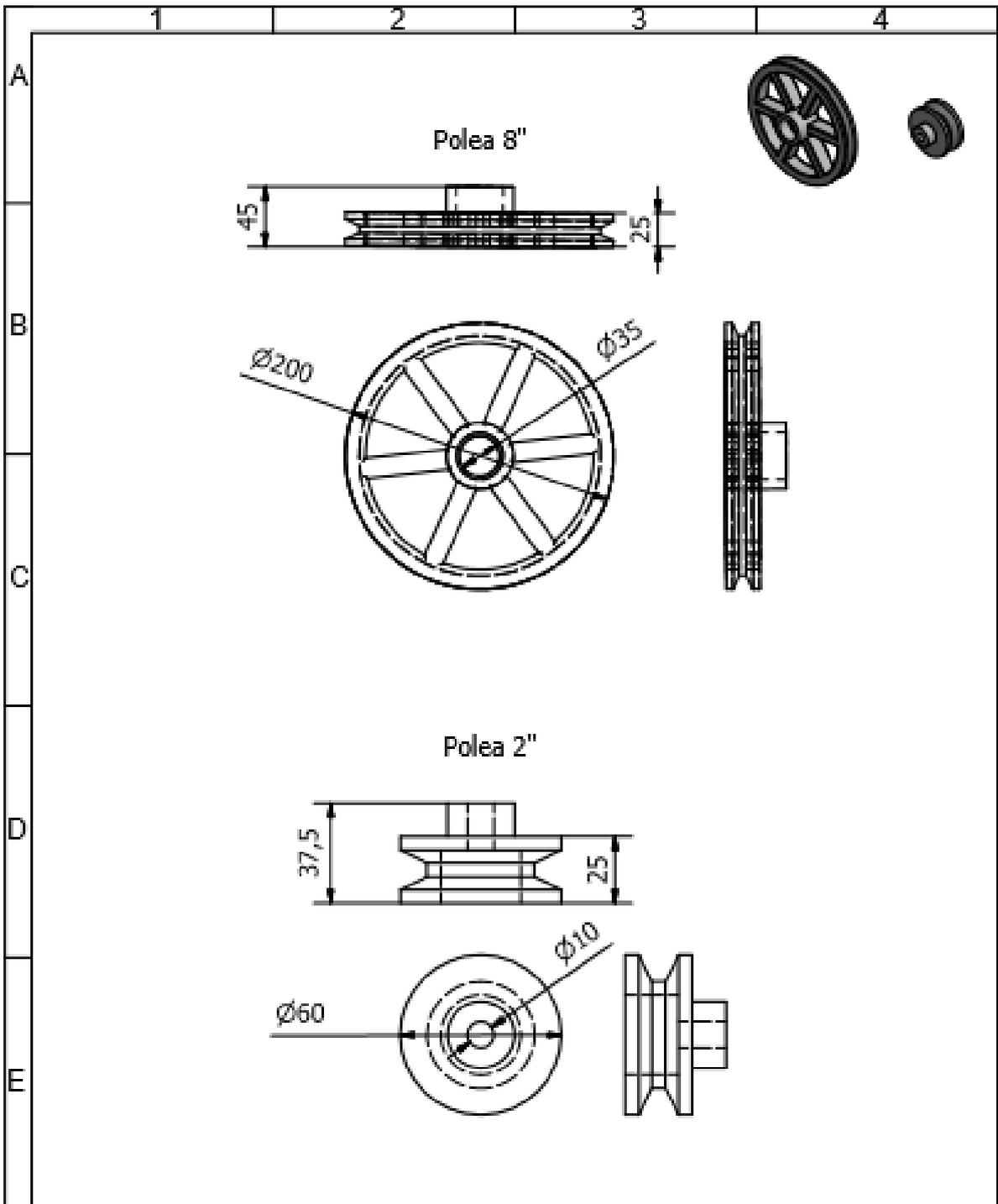

	Fecha	Nombre	Escala	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>	
Dib.	13/07/17	Geibor E. Pachacama R.	1:12		
Rev.	28/07/17	Ing. Gallardo C.			
Apro.	28/07/17	Ing. Gallardo C.			
Materiales		Tolerancias	Número Lamina Nº 8	Asignatura	Denominación
Acero Inoxidable		0.1 / - 0.1		Ttulación II	Camara de secado



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

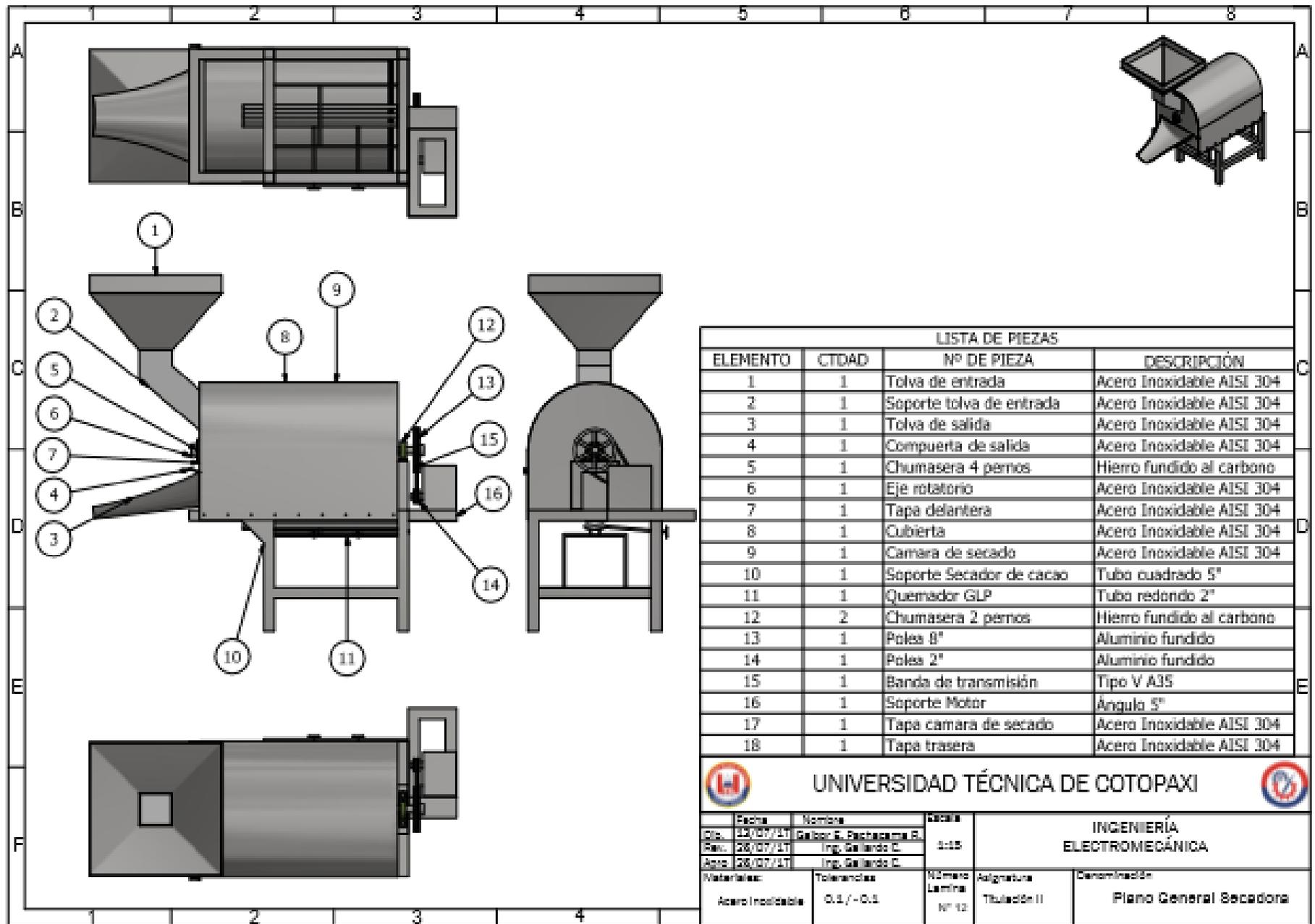


	Fecha	Nombre	Escala	INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	
Dib.	13/07/17	Galbor E. Pachacama R.	1:14		
Rev.	28/07/17	Ing. Gallardo C.			
Apro.	28/07/17	Ing. Gallardo C.			
Materiales		Tolerancias	Número Lamina	Asignatura	Denominación
Acero Inoxidable		0.1 / - 0.1	Nº 10	Ttulación II	Soporte y quemador GLP




**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**


	Fecha	Nombre	Escala	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>	
Dib.	13/07/17	Gaibor E. Pachacama R.	1:4		
Rev.	28/07/17	Ing. Gallardo C.			
Apro.	28/07/17	Ing. Gallardo C.		Asignatura	Denominación
Materiales		Tolerancias	Número Lamina Nº 11	Titulación II	Poleas sistema de transmisión
Acero Inoxidable		0.1 / - 0.1			



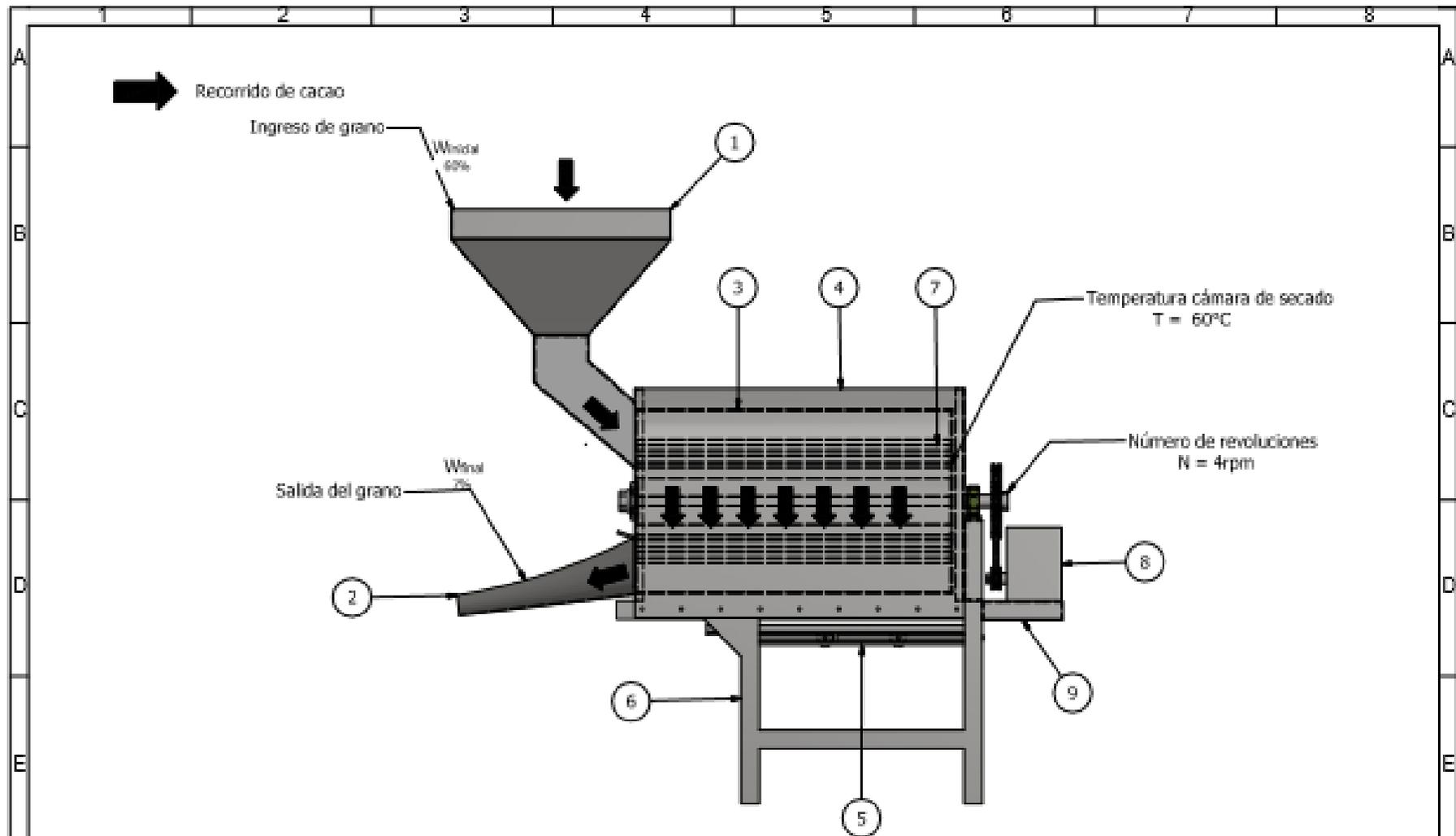
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Tolva de entrada	Acero Inoxidable AISI 304
2	1	Soporte tolva de entrada	Acero Inoxidable AISI 304
3	1	Tolva de salida	Acero Inoxidable AISI 304
4	1	Compuerta de salida	Acero Inoxidable AISI 304
5	1	Chumascera 4 pernos	Hierro fundido al carbono
6	1	Eje rotatorio	Acero Inoxidable AISI 304
7	1	Tapa delantera	Acero Inoxidable AISI 304
8	1	Cubierta	Acero Inoxidable AISI 304
9	1	Camara de secado	Acero Inoxidable AISI 304
10	1	Soporte Secador de cacao	Tubo cuadrado 5"
11	1	Quemador GLP	Tubo redondo 2"
12	2	Chumascera 2 pernos	Hierro fundido al carbono
13	1	Polea 8"	Aluminio fundido
14	1	Polea 2"	Aluminio fundido
15	1	Banda de transmisión	Tipo V A35
16	1	Soporte Motor	Ángulo 5"
17	1	Tapa camara de secado	Acero Inoxidable AISI 304
18	1	Tapa trasera	Acero Inoxidable AISI 304



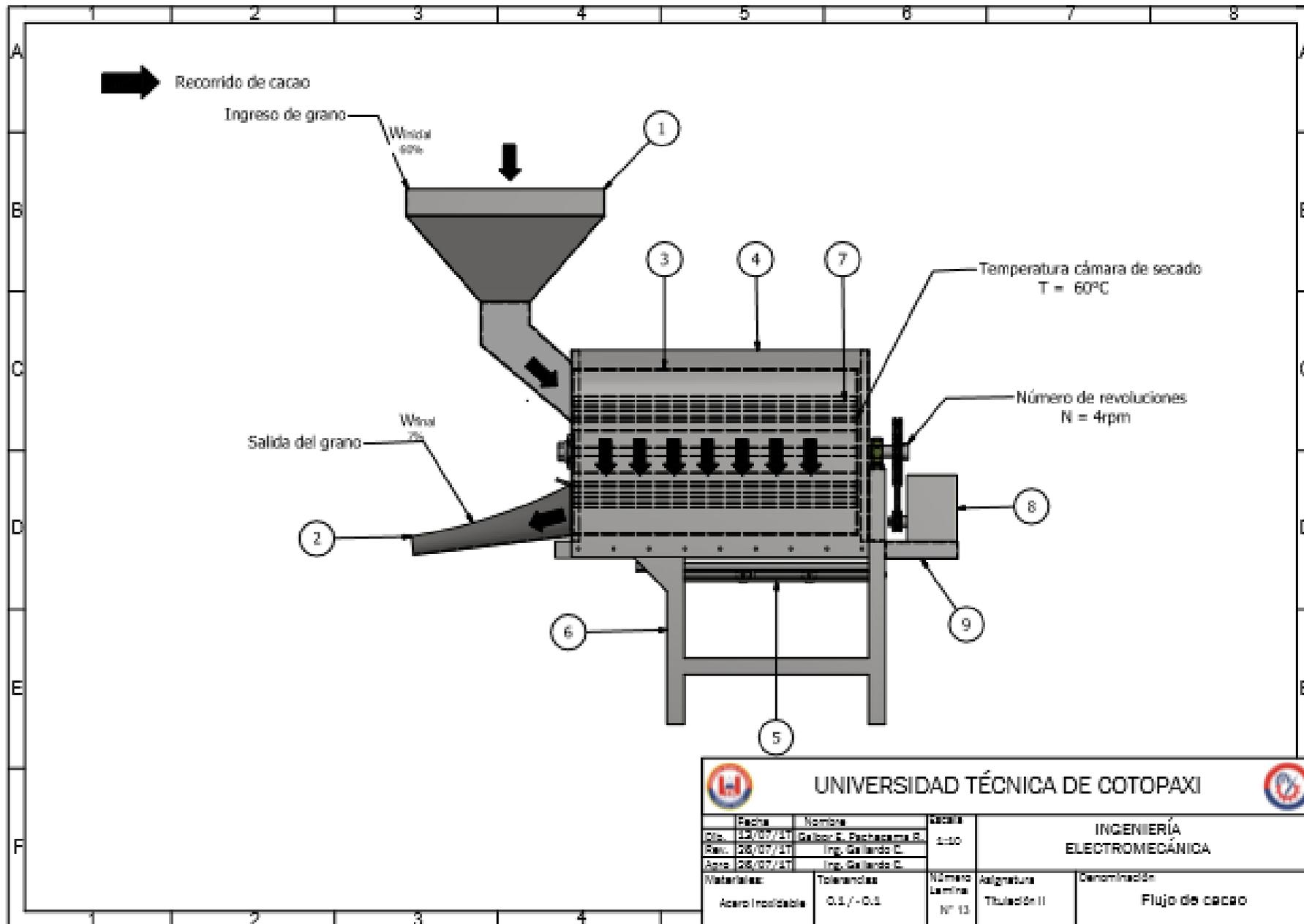
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**



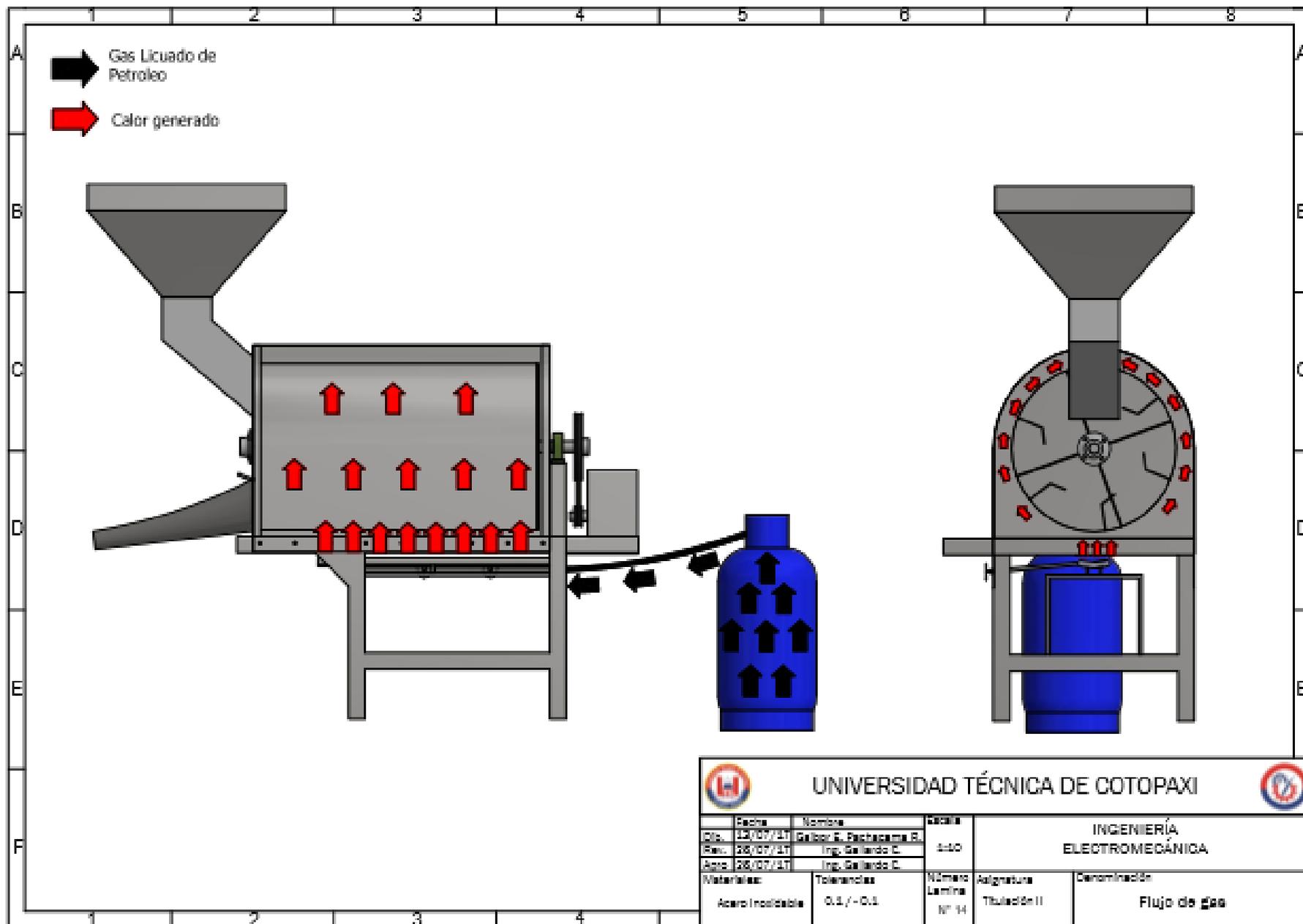
Fecha	Nombre	Código	INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA	
02/07/21	Galvarro E. Pachacama B.	0-15		
Rev.	Ing. Gallardo E.			
Apro.	Ing. Gallardo E.			
Materiales:	Tolerancias:	Número Lámina:	Asignatura:	Denominación:
Acero Inoxidable	0.1 / -0.1	Nº 12	Tubulacón II	Plano General Secadora



		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>			
Fecha	Nombre	Escala	<b>INGENIERÍA ELECTROMEQUÍCA</b>		
Dis. 25/07/21	Gallardo E. Pachacama B.	1-10			
Rev. 26/07/21	Ing. Gallardo E.				
Aprob. 28/07/21	Ing. Gallardo E.				
Materiales:	Tolerancias:	Número Lámina:	Asignatura:	Denominación:	
Acer inoxidable	0.2 / -0.2	Nº 13	Titulación II	<b>Flujo de cacao</b>	



		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b>			
Fecha	Nombre	Escala	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>		
Dis. 25/07/11	Galileo E. Pachapuma B.	1-10			
Rev. 28/07/11	Ing. Galindo E.				
Aprob. 28/07/11	Ing. Galindo E.				
Materiales:	Tolerancias:	Número Lámina:	Asignatura:	Denominación:	
Acero inoxidable	0.1 / -0.1	Nº 13	Titulación II	<b>Flujo de cacao</b>	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI		INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA		
Fecha: 23/07/17 Elab: 26/07/17 Aprob: 26/07/17	Nombre: Gilbert E. Pachacama E. Ing. Gallardo E. Ing. Gallardo E.	Escala: 1:10	Denominación: Flujo de gas	
Materiales: Acero Inoxidable	Tolerancias: 0.1 / -0.1	Número Lámina: N° 14	Asignatura: Tercerón II	

