



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE MECATRÓNICA**

**DISEÑO DE UNA TOSTADORA DE CACAO PARA PRODUCTORES  
MINORISTAS**

Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
en Mecatrónica

**AUTORES:** CRISTOPHER ELÍAS LÓPEZ GUAMÁN  
GERARDO ALBERTO SOLÓRZANO MENDOZA  
**TUTOR:** ING. JULIO CÉSAR LOJA QUEZADA, M.SC. PH.D.

Cuenca – Ecuador

2023

# CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Christopher Elías López Guamán, con documento de identificación N° 0105265946 y Gerardo Alberto Solórzano Mendoza, con documento de identificación N° 0350098158; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Ciudad, 4 de agosto de 2023

Atentamente,



---

Cristopher Elías López Guamán  
0105265946



---

Gerardo Alberto Solórzano Mendoza  
0350098158

# **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Cristopher Elías López Guamán con documento de identificación N° 0105265946 y Gerardo Alberto Solórzano Mendoza con documento de identificación N° 0350098158, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño de una tostadora de cacao para productores minoristas”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Ciudad, 4 de agosto de 2023

Atentamente,



---

Cristopher Elías López Guamán  
0105265946



---

Gerardo Alberto Solórzano Mendoza  
0350098158

# CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Julio Cesar Loja Quezada con documento de identificación N° 0102595527, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA TOSTADORA DE CACAO PARA PRODUCTORES MINORISTAS, realizado por Cristopher Elías López Guamán, con documento de identificación N° 0105265946 y Gerardo Alberto Solórzano Mendoza, con documento de identificación N° 0350098158, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Ciudad, 4 de agosto de 2023

Atentamente,



---

Ing. Julio César Loja Quezada, M.Sc. Ph.D.  
0102595527

## **Dedicatoria**

Dedico a mis padres por todo el apoyo brindado durante mi carrera universitaria y estar siempre presentes en los buenos y malos momentos, por se capaces de sacar de donde no tienen para poder apoyarme con la universidad.

*Cristopher Elías*

## **Dedicatoria**

Dedicado a mi padre, que a pesar de todos estos momentos complicados y que en esta última etapa no hayamos estado juntos, siempre me apoyó, me demostró su cariño y por todo el esfuerzo que ha hecho para que yo hoy pueda estar aquí.

A mi madre, por haber sido un pilar fundamental mientras mi padre no pudo estar con nosotros, por apoyarme cuando más lo necesitaba y hacer todo lo posible por mí y por mi hermano.

Y a mi hermano, quien siempre se preocupa por mí y encuentra de sacarme una sonrisa en los peores momentos.

***Gerardo Alberto***

## **Agradecimientos**

Agradezco a mis padres Freddy Bolivar y Anita Guamán por el apoyo y por impulsarme durante mis estudios universitarios, gracias por siempre estar presentes en todo momento y apoyarme en todo sentido.

Agradezco de todo corazón a la gente que me ha apoyado en este último ciclo de Universidad, Gerardo, Diego, July y Mimilia por siempre apoyarme hasta cuando no lo pedía. Gracias a todas las personas que conocí a través de estos 4 años Aaron, Jostin , Paul Heredia ,Josue Rodriguez porque cada uno me hizo lo que soy en el presente.

Agradezco a mi compañero Ostia por ser tan dedicado en el desarrollo de este trabajo.

Agradezco al Ing. Julio Lója, ya que gracias a su ayuda este trabajo de titulación pudo culminarse con éxito.

***Cristopher Elías***

## **Agradecimientos**

Agradezco a mis padres Gerardo y Genoveva por apoyarme durante la continuación de mis estudios, gracias a sus palabras de aliento que me permitieron superarme como persona para lograr mis objetivos.

También a mi hermano Gael por ser mi fuente de inspiración, el que siempre se alegra cuando llego tarde a casa y me demuestra su cariño y apoyo cuando he estado en un mal momento.

A personas que me han apoyado en la Universidad, Sebastián, Emi y en especial a Erika por ser tan buenas personas conmigo y brindarme tanto apoyo y compartir tantos momentos durante esta etapa de mi vida universitaria.

A mi compañero de tesis Elías, con quien pude hacer un buen equipo de trabajo y por conseguir ese objetivo juntos.

Y al Ing. Julio Loja, ya que gracias a su ayuda, apoyo y exigencias se pudo culminar el trabajo de titulación.

***Gerardo Alberto***



Este documento fue realizado enteramente en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

# Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	VI
Resumen	XIV
Abstract	XV
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Problema</b>	<b>2</b>
2.1. Antecedentes . . . . .	2
2.1.1. Máquinas existentes en el mercado . . . . .	3
2.2. Descripción del problema . . . . .	4
2.3. Importancia y alcances . . . . .	4
2.4. Delimitación . . . . .	5
2.4.1. Espacial o geográfica . . . . .	5
2.4.2. Temporal . . . . .	5
2.4.3. Sectorial o institucional . . . . .	5
2.5. Problema General . . . . .	5
2.6. Problemas Específicos . . . . .	5
<b>3. Objetivos</b>	<b>6</b>
3.1. Objetivo General . . . . .	6
3.2. Objetivos Específicos . . . . .	6
<b>4. Hipótesis</b>	<b>6</b>
4.1. Hipótesis general . . . . .	6
4.2. Hipótesis específicas . . . . .	6

4.3. Hipótesis Específicas . . . . .	6
<b>5. Marco Teórico</b>	<b>7</b>
5.1. El cacao en Ecuador . . . . .	7
5.2. Tipos de cacao en Ecuador . . . . .	7
5.3. Proceso del tostado de cacao . . . . .	9
5.4. Controlador . . . . .	10
5.5. Diseño mecánico . . . . .	10
5.6. Factibilidad económica . . . . .	11
5.6.1. Proyección de costos . . . . .	11
<b>6. Marco Metodológico</b>	<b>11</b>
6.1. Consideraciones para la selección del tipo de tostadora de cacao . . . . .	11
6.2. Tipos de tostadora de cacao . . . . .	12
6.2.1. Tostador de lecho fluidizado . . . . .	13
6.2.2. Tostadora de tambor . . . . .	15
6.3. Comparación de los tipos de tostadora . . . . .	18
6.3.1. Comparación en el mantenimiento de los tipos de tostadoras . . . . .	18
6.4. Selección del tipo de tostadora . . . . .	20
6.5. Selección de materiales . . . . .	20
6.6. Cálculos teóricos de diseño . . . . .	20
6.6.1. Cálculos para determinar el volumen y el espesor del tambor . . . . .	21
6.6.2. Determinación las dimensiones de la tolva . . . . .	24
6.6.3. Calor requerido para el tostado del cacao y el calentado del tambor . . . . .	25
6.6.4. Perdida de calor en el tambor . . . . .	28
6.6.5. Energía calorífica requerida para tostar el cacao . . . . .	54
6.6.6. Consumo de Gas Licuado de Petróleo (GLP) . . . . .	55
6.7. Determinación de la potencia requerida del motor . . . . .	58
6.8. Controlador ON/OFF . . . . .	65
6.8.1. Controlador . . . . .	65
6.8.2. Declaración de variables . . . . .	67
6.8.3. Secuencia de control . . . . .	67
6.9. Estudio de factibilidad económica . . . . .	70
6.9.1. Costos de diseño . . . . .	70
6.9.2. Costos de materiales y componentes . . . . .	71

6.9.3. Costos de fabricación . . . . .	73
6.10. Precios de las máquinas existentes en el mercado . . . . .	74
<b>7. Resultados</b>	<b>75</b>
7.1. Establecer los parámetros iniciales para el tostado de cacao para productores minoristas . . . . .	75
7.2. Proponer el diseño mecatrónico de una tostadora de cacao para productores minoristas . . . . .	75
7.3. Realizar un estudio de la factibilidad económica para la construcción de una máquina tostadora de cacao de costo reducido para productores minoristas .	76
<b>8. Conclusiones</b>	<b>77</b>
<b>9. Recomendaciones</b>	<b>78</b>
<b>Referencias</b>	<b>82</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>83</b>

## Lista de Tablas

1.	Tipo de sistemas de tostado . . . . .	18
2.	Mantenimiento las tostadoras . . . . .	19
3.	Dimensiones físicas de los tipos de cacao . . . . .	21
4.	Calor específico del cacao con base en el porcentaje de humedad . . . . .	26
5.	Propiedades de metales sólidos a 300 K . . . . .	27
6.	Coefficiente de conductividad térmica del cacao . . . . .	32
7.	Densidad y viscosidad dinámica a 250 °C . . . . .	35
8.	Número de Prandtl . . . . .	36
9.	Coefficiente de conductividad térmica . . . . .	37
10.	Propiedades de materiales aislantes . . . . .	38
11.	Propiedades de metales sólidos . . . . .	39
12.	Densidad y viscosidad dinámica . . . . .	41
13.	Número de Prandtl . . . . .	42
14.	Coefficiente de conductividad térmica . . . . .	43
15.	Resistencias térmicas del tambor . . . . .	44
16.	Número de Prandtl . . . . .	47
17.	Resistencias térmicas de las paredes del tambor . . . . .	50
18.	Conductividad del acero . . . . .	52
19.	Propiedades del GLP . . . . .	56
20.	Definición de las variables de programación . . . . .	67
21.	Costos de diseño . . . . .	71
22.	Costos de materiales . . . . .	72
23.	Costos de componentes . . . . .	73
24.	Costos de fabricación . . . . .	74
25.	Costos totales . . . . .	74
26.	Máquinas existentes en el mercado . . . . .	75
27.	Matriz de consistencia . . . . .	84

## Lista de Figuras

1.	Empresas de cacao/chocolate . . . . .	2
2.	Bideli Coffee Roaster . . . . .	4
3.	Cacao Nacional . . . . .	8
4.	Cacao CCN51 . . . . .	8
5.	Proceso para la elaboración de chocolate . . . . .	12
6.	Esquema de funcionamiento de una tostadora de lecho fluidizado . . . . .	14
7.	Esquema de funcionamiento de una tostadora de tambor . . . . .	16
8.	Volumen de un elipsoide . . . . .	21
9.	Partes de la tolva . . . . .	24
10.	Esquema representativo de las capas del sistema termodinámico . . . . .	29
11.	Resistencias térmicas de conducción y convección . . . . .	31
12.	Diagrama termico representativo de la perdida de calor en las paredes del tambor	45
13.	Resistencias de la pared del tambor . . . . .	46
14.	Inercia del cacao en reposo. . . . .	55
15.	Inercia de un cilindro hueco de espesor insignificante . . . . .	59
16.	Inercia del cacao en reposo. . . . .	60
17.	Inercia de un Semicilindro. . . . .	60
18.	Inercia de un eje macizo. . . . .	61
19.	PLC S7-1200 Siemens . . . . .	66
20.	Encendido y apagado general . . . . .	68
21.	Control de actuadores . . . . .	68
22.	Control de temperatura . . . . .	69
23.	Lectura del sensor de temperatura y de la temperatura ingresada . . . . .	70
24.	Diseño de la propuesta de la tostadora. . . . .	76

## Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo seleccionar el tipo de tostadora más adecuado para las necesidades de la empresa Chocotics, considerando tanto los parámetros para el óptimo tostado de cacao como el diseño mecatrónico de la máquina, incluyendo aspectos mecánicos, eléctricos y de control.

El trabajo comienza con una comparación entre dos tipos de tostadoras populares: las tostadoras de lecho fluidizado y las tostadoras de tambor. Se analizan las ventajas y desventajas de cada tipo en función de los requerimientos específicos de la empresa Chocotics. Esto permitirá tomar una decisión fundamentada en cuanto a cuál de ellas se ajusta mejor a sus necesidades.

En la búsqueda del óptimo tostado de cacao, se identifican los parámetros clave que afectan la calidad del producto final, como la temperatura y el tiempo de tostado. Una parte fundamental de la tesis se centra en el diseño mecatrónico de la tostadora de cacao. Se integran los aspectos mecánicos, eléctricos y de control de la máquina para desarrollar un sistema eficiente, donde se realiza un estudio de transferencia de calor considerando los puntos claves donde se darán las mayores pérdidas durante el proceso de tostado y lograr reducirlas para un tostado óptimo.

Además, se lleva a cabo un estudio de factibilidad económica para evaluar la viabilidad del proyecto. Se comparan los costos de construcción de la tostadora de cacao diseñada con los precios de otras máquinas disponibles en el mercado, así determinando si el proyecto es viable o no.

**Palabras clave:** Tostadora de cacao, productores minoristas, tostadora de tambor, parámetros de tostado, diseño mecatrónico, estudio de factibilidad económica.

## Abstract

The present research work aims to select the most suitable type of cocoa roaster for the needs of Chocotics company, considering both the parameters for optimal cocoa roasting and the mechatronic design of the machine, including mechanical, electrical, and control aspects.

The work begins with a comparison between two popular types of roasters: fluidized bed roasters and drum roasters. The advantages and disadvantages of each type are analyzed based on the specific requirements of Chocotics company. This will allow making an informed decision about which one better fits their needs.

In the pursuit of optimal cocoa roasting, key parameters affecting the final product quality, such as temperature and roasting time, are identified. A crucial part of the thesis focuses on the mechatronic design of the cocoa roaster. Mechanical, electrical, and control aspects are integrated to develop an efficient system, where a heat transfer study is conducted, considering the critical points where the greatest losses occur during the roasting process, aiming to reduce them for optimal roasting.

Furthermore, an economic feasibility study is carried out to assess the viability of the project. The construction costs of the designed cocoa roaster are compared with the prices of other machines available in the market, thus determining whether the project is feasible or not.

**Keywords:** Cocoa roaster, retail producers, drum roaster, roasting parameters, mechatronic design, economic feasibility study.



# 1. Introducción

En el contexto ecuatoriano, uno de los principales desafíos para los productores minoristas de cacao es la limitada accesibilidad a maquinaria especializada para el tostado del cacao. A pesar de ser uno de los mayores productores de cacao. Este escenario se atribuye, en gran medida, a los elevados precios de las tostadoras de cacao disponibles en el mercado, lo que dificulta considerablemente su adquisición para los pequeños productores.

Ante esta problemática, surge la necesidad imperante de buscar una solución viable y eficiente para desarrollar una "Tostadora de cacao para productores minoristas". La presente investigación se enfoca en encontrar la mejor opción para la creación de una tostadora de cacao asequible y funcional, permitiendo así mejorar la calidad de la producción y la competitividad de los pequeños productores en el mercado local e internacional.

La propuesta de esta tesis se fundamenta en la selección cuidadosa del tipo de tostadora más adecuado para las necesidades específicas de los productores minoristas ecuatorianos. Además, se plantea la implementación de un diseño basado en la mecatrónica, combinando la ingeniería mecánica, electrónica y de control, para lograr un equipo óptimo que cumpla con los requerimientos de tostado del cacao.

El objetivo principal es brindar una solución innovadora y económicamente accesible que permita a los productores minoristas optimizar su proceso de tostado de cacao, incrementando así la calidad y valor del producto final. Asimismo, se pretende potenciar la competitividad del sector cacaotero ecuatoriano y su contribución significativa al mercado global de cacao.

A través del presente estudio, se espera contribuir al desarrollo tecnológico y socioeconómico del país, fomentando el crecimiento sostenible de la industria cacaotera a nivel local y regional. En última instancia, la Tostadora de Cacao para productores minoristas representa una oportunidad prometedora para impulsar la producción y comercialización de cacao ecuatoriano, fortaleciendo así la posición del país como actor destacado en la cadena de valor del cacao a nivel mundial.

## 2. Problema

### 2.1. Antecedentes

Debido al avance tecnológico que ha existido en el sector cacaotero, ha permitido que se puedan mejorar aspectos como: Sistemas de inspección geográfica, identificación de materiales regionales de alta calidad, análisis del sistema productivo, prototipo de fermentador ecológico, desarrollo de un prototipo de encapsulado (Fontagro, 2021), sin embargo, no se ha enfocado a la mejora tecnológica del proceso de tostado, por lo que la implementación de una tostadora para los pequeños productores, puede beneficiar a este sector, lo cual, permite que puedan tener un crecimiento en el ámbito de producción, pero el avance al no haber estado enfocado hacia este aspecto hace que pasen a depender de las grandes corporaciones y que solo se tengan que adaptar a los requerimientos de estas.

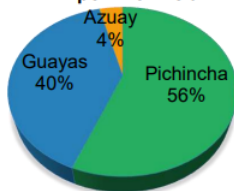
De acuerdo a la Superintendencia de Compañías (2019), 25 empresas elaboraron cacao/chocolate en ese año, estando el 56% radicado en la provincia de Pichincha, de las cuales el 64% de las plazas de empleos correspondieron a las grandes y medianas empresas. (Superintendencia de Compañías, 2021)

**Figura 1**

*Empresas de cacao/chocolate*

Número de Empresas y de Empleados		
Elaboración de cacao, chocolate	# Empresas 2019	# Empleados 2019
Grande	3	95
Mediana	3	128
Pequeña	7	73
Microempresa	12	52
<b>Total</b>	<b>25</b>	<b>348</b>

**Empresas de Elaboración de cacao, chocolate por Provincia**



**Fuente:** (Superintendencia de Compañías, 2021)

El cacao ha tenido una revalorización desde el año 2000, gracias al “Proyecto de Reactivación de Café y Cacao Nacional Fino de Aroma”, el cual ha permitido un crecimiento del 168% en los últimos 10 años, el cual ha estado a cargo del MAGAP. (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2013)

A pesar de la posible contaminación que pueda tener la materia prima debido a los combustibles que se utilicen dentro de la máquina empleada para el tueste del cacao, los cuales reducen la calidad del tostado y generando pérdidas debido a la reducción de calidad que estos sufren, es un aspecto que en una tostadora de cacao de bajo costo es difícil de adaptar un mecanismo el cual nos permita que la semilla no sea contaminada, debido a que se debe realizar un análisis, el cual puede conllevar a que los costos se eleven debido a los implementos requeridos para la extracción de humos.

### **2.1.1. Máquinas existentes en el mercado**

Algunas máquinas tostadoras de cacao existentes en el mercado son: La tostadora Bideli Coffee Roaster que se muestra en la figura [??], con un costo base de 9000 USD y una capacidad de 3 kg a 60 kg, tambor giratorio y sistema de calentamiento a gas o eléctrico (Bideli, 2023).

## Figura 2

*Bideli Coffee Roaster.*



**Fuente:** (Bideli, 2023)

La tostadora TD-50/TD-25 de marca MAQUIAGRO con un costo de 3600 a 5400 con una capacidad de 50 a 60 kg, tambor giratorio y sistema de calentamiento a gas. (GIZ, 2023). Horno tostador LQ-100HX con un costo de cotización de 2000 a 5000 USD con una capacidad de 80-120 kg por tambor y sistema de calentamiento eléctrico (Technology, 2023).

## 2.2. Descripción del problema

En el país solo un 0.03% de las empresas realizan actividades relacionadas con el cacao, esto es debido a que esta actividad no se desarrolla en los mercados minoristas, debido a la falta de maquinaria competente (Aranque y Argüello, 2021).

## 2.3. Importancia y alcances

Este trabajo de titulación busca el crecimiento de procesos y fabricas para el tratamiento de cacao 100% ecuatoriano, con el fin de obtener sus productos derivados, como es el caso del chocolate, manteca y pasta de cacao, entre otros; esto con el fin de expandir el mercado en

el Ecuador a otros países con ganancias exponenciales de una forma rentable, para que sea accesible para productores pequeños.

Respecto a los alcances, este se centrará en el diseño mecatrónico de una tostadora de bajo costo, el diseño del controlador para el control de temperatura y tiempo, capaz de adaptarse al proceso de tostado de cacao, permitiendo el control del proceso de tostado, para lo cual se tomará en cuenta el diseño de una interfaz amigable con el operador y que sea fácil de entender.

## **2.4. Delimitación**

### **2.4.1. Espacial o geográfica**

El Diseño de la tostadora se centrará en la ciudad de Cuenca - Ecuador para distribución a nivel nacional.

### **2.4.2. Temporal**

El tema de tesis se realizará en 240 horas correspondientes a la asignatura de integración curricular.

### **2.4.3. Sectorial o institucional**

La tostadora se realizará en el sector cacaotero.

## **2.5. Problema General**

- ¿Cuál es el diseño adecuado de una máquina tostadora de cacao de un costo reducido para productores minoristas?

## **2.6. Problemas Específicos**

- ¿Se podrá establecer los parámetros para el proceso de tostado de cacao para obtener la calidad deseada?
- ¿Se podrá realizar un diseño de una tostadora de cacao para productores minoristas?
- ¿Es adecuado realizar un estudio de factibilidad económica para la construcción de una máquina tostadora de cacao?

### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo General**

- Diseñar una máquina tostadora de cacao de bajo costo para productores minoristas.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Establecer los parámetros iniciales para el tostado de cacao para productores minoristas.
- Proponer el diseño mecatrónico de una tostadora de cacao para productores minoristas.
- Realizar un estudio de la factibilidad económica para la construcción de una máquina tostadora de cacao de costo reducido para productores minoristas.

### **4. Hipótesis**

#### **4.1. Hipótesis general**

El diseño de una máquina tostadora de cacao permitirá reducir los costos para productores minoristas.

#### **4.2. Hipótesis específicas**

- Se establecerán los parámetros para del proceso de tostado de cacao para productores minoristas para obtener la calidad deseada del mismo.
- Se establecerá un diseño de la tostadora de cacao para productores minoristas.
- Se estudiará la factibilidad económica para la construcción de una máquina tostadora de cacao de costo reducido para productores minoristas.

#### **4.3. Hipótesis Específicas**

- Se establecerán los parámetros para del proceso de tostado de cacao para productores minoristas para obtener la calidad deseada del mismo.
- Se establecerá un diseño de la tostadora de cacao para productores minoristas.

- Se estudiará la factibilidad económica para la construcción de una máquina tostadora de cacao de costo reducido para productores minoristas.

## **5. Marco Teórico**

### **5.1. El cacao en Ecuador**

Ecuador fue primer exportador de cacao de América, siendo el cuarto exportador más grande. Este crecimiento se ha dado gracias al Proyecto de Reactivación de Café y Cacao Nacional Fino Aroma. El cual se inició en el 2012, con el objetivo de poder rehabilitar, 354000 hectáreas de terreno para la producción de cacao. (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2013).

Según datos del último Censo Nacional Económico realizado en 2010, empresas señalan que su principal actividad está relacionada con la elaboración de cacao, chocolate y productos; las cuales representan el 0.03% de las empresas a nivel nacional. El 85% de estas empresas son micro, seguidas de un 8% como pequeñas y 2% como medianas, esto quiere decir que el 95% del total de las empresas dedicadas a esta actividad son micro, pequeñas y medianas empresas -MIPyME. (Araque y Argüello, 2014).

### **5.2. Tipos de cacao en Ecuador**

El cacao en Ecuador es uno de los productos más importantes a nivel económico en el país, desde los años 80 se ha convertido en el quinto producto con mayor cantidad de exportaciones dentro de las exportaciones no petroleras, además de ser uno de los mayores exportadores a nivel mundial de cacao fino y aroma, tales como:

El cacao nacional, el cual se muestra en la figura ??, es producido en Ecuador en su mayoría, debido a que a nivel mundial Ecuador representa el 63% de la producción mundial, es reconocido por su acidez y dulzura, un delicado tostado, su aroma frutal y notas florales. Por lo que este chocolate tiene aromas bastante enriquecidos. (República del Cacao, Recuperado en 2022).

### Figura 3

*Cacao Nacional*



**Fuente:** *Ministerio de Cultura y Patrimonio (2015)*

El CCN51 o Colección Castro Naranjal 51, como se observa en la figura ??, es una variedad de cacao con alta resistencia a las enfermedades de cultivos para la industria, debido a que los productores en sus cultivos se ven afectados por la escoba de bruja, dependen de esta característica para la estabilidad de la producción. (República del Cacao, Recuperado en 2022)

### Figura 4

*Cacao CCN51*



**Fuente:** *Crespo (2017)*



### 5.3. Proceso del tostado de cacao

El tostado es un proceso necesario, debido a varios motivos: facilita remover la cascarilla, limpieza de los microorganismos que puedan contaminar el cacao o que pueden estar presentes en el mismo, se puede dar una variedad de sabor y aroma, desarrollados durante la etapa de fermentación. (Arvelo, González, Maroto, Delgado, y Mopntoya, 2017).

Por lo que debe haber una previa selección del grano de cacao, debido a que si se encuentran semillas de diferentes tamaños, algunas se habrán tostado de manera óptima, otras se habrán tostado demasiado y otras se encontrarán a la mitad del tueste. Las temperaturas de tostado están entre los 95 °C y los 140 °C, con un tiempo de entre 20 y 45 minutos, varía dependiendo del tipo y características del grano, el tipo de fermentación, humedad y cualidades sensoriales.

El tostado es una parte muy importante en el proceso del cacao, pues da un sabor, fortalece el sabor y el aroma que obtiene en la etapa de fermentación, además de hacer que la cascara se separe o afloje, haciendo que sea más sencillo separarlos. (Gutiérrez, 2021).

Por lo que el nivel o grado de tostado del cacao depende tanto de la temperatura como el tiempo al que se exponga a esta. Los asados de baja temperatura son utilizados para chocolates negros y/o chocolate con leche. (Gutiérrez, 2021).

Por lo que a diferentes temperaturas se preservan la asociación a diferentes aromas y sabores del cacao. No solo dependiendo de esto, sino también del tiempo de cacao y fermentación que este ha tenido, por lo tanto, se puede con una diferente temperatura, se van a poder aprovechar diferentes características de estos: En temperaturas de entre 90 °C y 115 °C, se potencian características herbales y florales del cacao; entre 115 °C y 125 °C, se puede tener un perfil más organoléptico (predominancia de frutas frescas); entre los 125 °C y 135 °C se pueden tener, matices de madera, azúcar y de especias, también sirviendo para producir nibs de cacao; de entre 135 °C y 150 °C, se obtiene sabores fuertes de chocolates o caramelos. (Gutiérrez, 2021).

Los sistemas de tostado pueden ser varios, ya sean por: calor por conducción, que el calor que entra al objeto tiene contacto directo; por convección, por aire caliente, donde se introduce aire caliente a presión y este hace que se tueste el cacao; tostadoras híbridas, el cual tiene

un tambor el cual permite el tostado por conducción y un extractor de humos; tostado por radiación, el cual eleva la temperatura mediante luz infrarroja y reduce tiempos de tostado.

## **5.4. Controlador**

Un controlador es un dispositivo el cual permite comparar un valor de referencia y si existe una perturbación, este genera una señal de control, la cual hace que la señal vuelva a seguir a la referencia. Donde puede haber una gran cantidad de controladores posibles para implementar según sea el caso de aplicación, estos pueden ser: Controlador PID, compensador de adelanto/atraso o control por vector de estados. (Ogata, 2018; Smith y Corripio, 2014).

Para crear este tipo de controladores se deben tomar varios factores en cuenta, partiendo del tipo de proceso a controlar, en el que influyen el tipo de variables y la magnitud de estas, con base en esto poder definir aspectos como el tiempo de asentamiento o si será un sistema sobre-amortiguado o sub-amortiguado. (Ogata, 2018; Smith y Corripio, 2014).

## **5.5. Diseño mecánico**

El diseño se basa en la satisfacción de una necesidad específica o la resolución de un problema en particular. El proceso de diseño se divide en secciones. Comienza con la identificación de la necesidad y la decisión de resolverla, sigue la definición del problema, la cual debe ser más específica e incluir todas las especificaciones del objeto que se va a diseñarse. Las especificaciones de entrada y salida, las características, dimensiones del espacio que va a utilizar el producto y todas las limitaciones, las especificaciones definen el costo, la cantidad, la vida esperada, confiabilidad, entre otros.

Una vez acabado la definición del problema pasamos a la síntesis en donde se desarrolla el diseño conceptual. Es aquí donde se propone varias soluciones y se investiga las soluciones, una vez consideradas todas las soluciones se desechan las inservibles y se queda únicamente con la que muestra mejor desempeño para la solución del problema. (Richard G, 2012,2008)

El análisis y optimización requiere que se construya o desarrolle modelos abstractos del sistema que admitirá alguna forma de análisis matemático. Cuando se desarrolla se espera que sea posible encontrar un modelo que simule al sistema físico real. Luego viene la fase de evaluación, la cual es significativa del proceso de diseño total. La evaluación representa la

prueba final de un diseño exitoso y por lo general, implica la prueba del prototipo den el laboratorio respondiendo las siguientes preguntas: ¿Es confiable?, ¿Competirá exitosamente con productos similares?, ¿Es económica su manufactura y uso?, ¿Se obtiene un seguro con sencillez y a bajo costo?, entre otros. (Richard G, 2012,2008)

Si el producto diseñado pasa las preguntas antes en listadas, pasa a la presentación y comunicación de los resultados. Algo fundamental son las consideraciones que se deben tener al diseñar, las cuales dependen del producto, tales como: funcionalidad, forma, tamaño, facilidad de manufactura, costo, control, mantenimiento, capacidad.

## **5.6. Factibilidad económica**

La Factibilidad Económica se refiere a los recursos económicos y financieros necesarios para desarrollar o llevar a cabo las actividades o procesos y/o para obtener los recursos básicos que deben considerarse.(Anonimo, 2023)

### **5.6.1. Proyección de costos**

La proyección del costo estará dado por varios factores, en el caso del diseño de la tostadora, estará dado por el tiempo que implique el desarrollo del proyecto, y las personas que estén involucradas en dicho proyecto.

En la fabricación tendrá que ver tanto con el costo del diseño, pues en la construcción se absorberá parte del valor en el caso de que haya una producción de las mismas, además los materiales implicados en su fabricación y dependiendo de la calidad de estos el precio será mayor o menor.

## **6. Marco Metodológico**

### **6.1. Consideraciones para la selección del tipo de tostadora de cacao**

Para la selección del tipo de tostadora de cacao se consideró una serie de requerimientos solicitados por parte de la empresa beneficiaría Chocotics, expuestos a continuación:

- La tostadora de cacao debe cumplir con los estándares y regulaciones aplicables en la industria alimentaria para garantizar la seguridad y la calidad del producto procesado.

- Se busca una tostadora de cacao que sea rentable en términos de costo tanto en la adquisición como en el mantenimiento. Además, se pretende minimizar los gastos relacionados con los materiales utilizados en la construcción de la tostadora.
- Es fundamental que la tostadora tenga la capacidad de controlar la temperatura de manera precisa durante el tostado. Para así lograr un tueste uniforme, evitando cualquier tipo de quemadura o sub-tostado.
- La tostadora debe ser capaz de manejar una carga de 20 kg de cacao por proceso o ciclo.
- La tostadora debe ser fácil de operar, con controles intuitivos y comprensibles para los operarios. Además, debe ser de fácil limpieza, lo que facilitará el mantenimiento regular y poder mantener una higiene adecuada.
- La tostadora debe incorporar medidas de seguridad adecuadas para evitar quemaduras en los operarios.

## 6.2. Tipos de tostadora de cacao

El proceso de elaboración del chocolate consta de varias etapas, en las que constan: . El tostado del cacao es una etapa fundamental en la elaboración del chocolate, esta permite el desarrollo de aromas y sabores característicos del producto, como se puede observar en la figura 5.

**Figura 5**

*Proceso para la elaboración de chocolate*



**Fuente:** (Leon, 2018)

Existen diferentes tipos de tostadoras de cacao, que se utilizan en función de las necesidades y requerimientos específicos de cada proceso productivo, en este contexto, es importante conocer las diferentes características, debido a que, su correcta elección tendrá un impacto significativo en el proceso de la elaboración del chocolate. A continuación, se detallarán los tipos de tostadoras de cacao disponibles en el mercado y sus características principales.

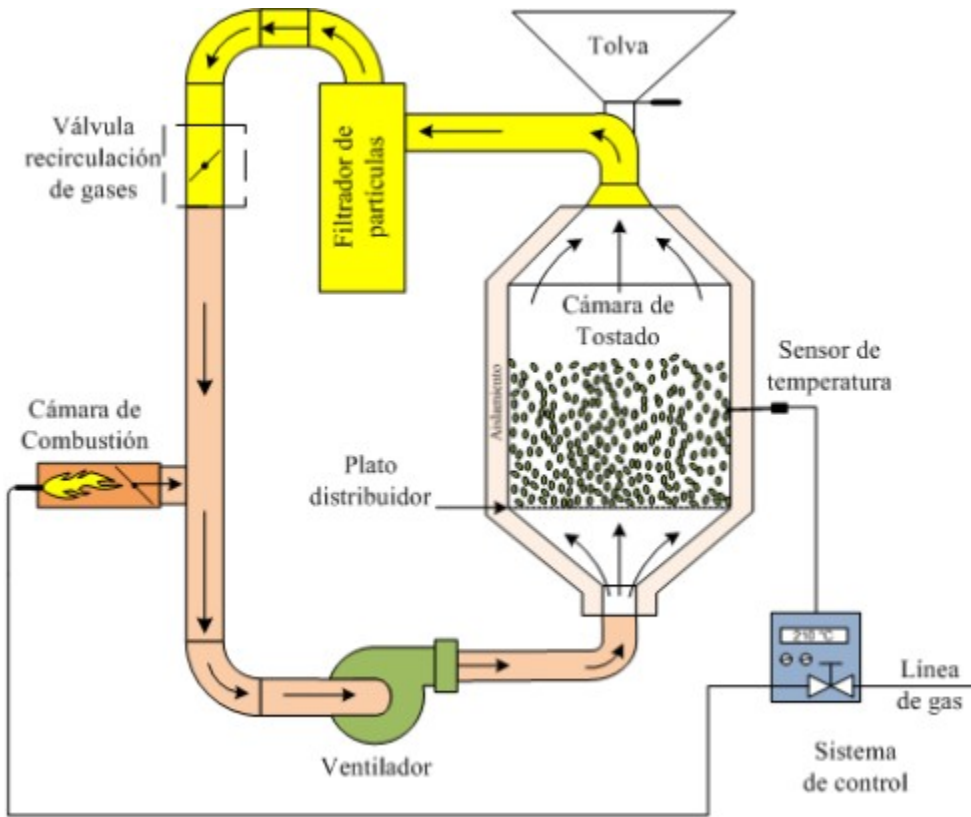
### **6.2.1. Tostador de lecho fluidizado**

El tostador de lecho fluidizado se basa en el uso de aire caliente para lograr un secado y tostado uniforme. Inicialmente, el sistema de calefacción calienta el aire, y el soplador lo dirige hacia el producto a una velocidad y presión controlada. Posee un sistema de circulación de aire caliente, a través de un sistema de filtrado, con control de temperatura. Esto aumenta la tasa de intercambio de calor, logrando así un efecto de ahorro de energía. (TSHS, 2020)

El funcionamiento del lecho fluidizado se basa en una cámara estática en la que únicamente se encuentra perforada la base. A través de esta perforación se introduce aire caliente a presión, lo cual hace que las partículas de la materia prima se mantengan suspendidas en el aire. Mediante una corriente de aire caliente potente que fluye desde el fondo perforado, se impulsa la materia prima, obligándola a elevarse por un lateral y formar una curva o bóveda en la parte superior de la cámara, para luego descender por el lado opuesto. Durante este proceso, los humos se succionan y se elimina la cascarilla, la cual se deposita en un colector en forma de ciclón. (PROBAT, 2010)

**Figura 6**

*Esquema de funcionamiento de una tostadora de lecho fluidizado*



**Fuente:** (Arnulfo y Pinzon, 2014)

El tostador de lecho fluidizado consta de subsistemas encargados de todo el funcionamiento: Sistema de combustión, sistema de recirculación y sistema de filtración, para más entendimiento se puede identificar las diferentes partes en la figura 6:

Su sistema de calefacción normalmente se encuentra en la parte inferior de la maquinaria. Esta parte del equipo se centra en calentar el aire a una temperatura establecida y después se encarga de soplar el aire para madurar/secar/tostar el producto. (TSHS, 2020)

La materia prima ingresa a través de la tolva donde un sistema de apertura permitirá que la materia prima caiga hacia la cámara de tostado, este sistema se encuentra en la parte superior de la tostadora. (TSHS, 2020)

El sistema de filtración está equipado con un filtro que atrapa el polvo y otras impurezas presentes en el aire. Estas partículas son succionadas del ambiente por un ventilador que las dirige hacia el aerocalentador, donde el aire se calienta, como sugiere su nombre. (Tipán, 2009)

En estos tipos de sistemas se necesita realizar un control tanto de la temperatura, como de la velocidad del aire del lecho; debido a que nos interesa que el tostado sea homogéneo en toda la materia prima. Para mantener el control de estos factores se emplean sensores tales como termocuplas y sensores de flujo de aire.

### **6.2.2. Tostadora de tambor**

El tostador de tambor cuenta con un sistema térmico a gas que calienta la cámara de manera uniforme, permitiendo una transferencia eficiente del calor a los granos, durante el proceso el tambor gira para asegurar un tostado uniforme en todas las etapas. La parte cilíndrica del tostador está fabricada con materiales que resistan la corrosión, que tengan una superficie compacta y que sean resistentes a las tensiones mecánicas. (VULCANO TEC, 2023)

El tostador de tambor incorpora un aislamiento térmico que evita las pérdidas de calor que rodea a la superficie del tambor, encerrando el calor generado por los quemadores. Este aislamiento térmico ayuda a mantener una temperatura constante y permite un tostado eficiente de los granos. De esta manera, se logra un control preciso de las condiciones de calor en el interior del tostador, contribuyendo a un proceso de tostado óptimo y uniforme. (Arciniega, 2014)

Dado el bajo impacto de la velocidad de rotación en el proceso de tostado, se ha llegado a determinar que la velocidad adecuada para el sistema está entre 38 y 49 RPM, debido a que no hay mejoras significativas al incrementar la velocidad. Por lo que, mantener una velocidad de rotación de 49 RPM es suficiente para lograr un rendimiento óptimo en el proceso de tostado. (Rejas, 2021)

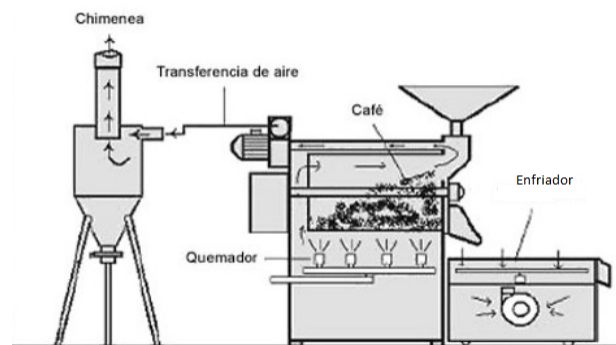
El tostador por tambor puede tener un sistema de calor eléctrico, según lo expuesto por Pozo, existen varias formas de transferir calor, una de ellas es el método de inducción. Este método se basa en los principios de la teoría electromagnética y se caracteriza por generar un campo magnético que varía en función del tiempo y del tipo de material del recipiente que contiene el material a calentar. Es importante destacar que en este proceso no hay contacto

directo entre la bobina de calentamiento y el material del recipiente. En lugar de eso, el campo magnético generado induce corrientes eléctricas en el recipiente, lo que provoca un calentamiento eficiente del material sin necesidad de un contacto físico directo, para aplicar este sistema de calor es necesario algunas características como la resistividad específica y la permeabilidad magnética relativa. Además de las propiedades electromagnéticas, las propiedades térmicas del material, como la capacidad calorífica específica o la conductividad térmica, son relevantes para el proceso de calentamiento inductivo, aplicar dicho sistema siempre eleva el costo de la maquinaria. (Pozo, 2016)

El sistema de Gas Licuado de Petróleo (GLP) se fundamenta en un horno de tambor que emplea la quema de combustible GLP como fuente de calor. En dicho sistema, el tambor se calienta mediante quemadores situados en la parte inferior de la cámara de tostado. Con el propósito de evitar la dispersión de calor hacia el exterior, se reviste la cámara de tostado con una capa de fibra de vidrio, esta capa de aislamiento térmico desempeña la función de conservar el calor generado en el interior del tambor, optimizando así la eficiencia calorífica del proceso de tostado.

## Figura 7

*Esquema de funcionamiento de una tostadora de tambor*



**Fuente:** (Amaliyah y Sunarti, 2018)

El tostador de tambor se puede dividir en 3 subsistemas principales de funcionamiento; Sistema de tostado, sistema de calentamiento y sistema de enfriamiento, para más entendimiento se pueden identificar las diferentes partes en la figura 7:



El sistema de tostado se enfoca en mantener una velocidad constante (Rejas, 2021) suficientemente alta para evitar que el cacao se quemé y obtener un tueste de la manera más uniforme posible. (VULCANO TEC, 2023)

El sistema de calentamiento se encarga de aumentar la temperatura del tambor gracias al giro continuo del tambor, este incremento de temperatura ocurre de manera uniforme, el sistema de calefacción, pueden ser de diferentes tipos, ya sean eléctricos o de combustión. (VULCANO TEC, 2023)

Una vez alcanzado el punto de tostado deseado del cacao para la obtención de aromas y sabores específicos, el sistema de enfriamiento se encarga de bajar la temperatura del cacao, los granos son esparcidos en la plataforma del enfriador produciendo una disminución de la temperatura de manera uniforme (VULCANO TEC, 2023).

Para el control de temperatura se utilizan varios sensores de diferentes tipos, como termocuplas, resistencias de platino (RTD), sensores de diodo de unión, el desarrollo o evolución de la temperatura se divide en 3 fases, en cada una el sistema de control debe ser capaz de mantener un proceso correcto. dichas fases se dividen en precalentamiento y carga del grano, estabilización de la temperatura de tueste y deshidratación del grano, tueste y desarrollo de sabores y finalización del tueste.

### 6.3. Comparación de los tipos de tostadora

**Tabla 1**

*Tipo de sistemas de tostado.*

	<b>Lecho Fluidizado</b>	<b>Tambor</b>
<b>Materiales de Construcción</b>	Acero inoxidable 304 Aluminio	Acero inoxidable 304, Aluminio, Fibra de vidrio
<b>Eficiencia calorífica</b>	Capacidad de reutilización del aire caliente	Uso de aislante térmico para reducir las pérdidas de calor
<b>Sistema de Control</b>	Requiere realizar el control de la temperatura, velocidad del aire y la presión del aire	Ya que la velocidad no tiene una gran influencia en el tostado, solo requiere del control de la temperatura de la planta
<b>Ruido</b>	La combinación del ruido del compresor, ventilador y el motor encargados del funcionamiento y direccionamiento del flujo de aire caliente genera un rango de ruido de 100-120 dB	La combinación del motor encargado del funcionamiento dinámico y la materia prima que se encuentra en agitación dentro del tambor genera un rango de ruido de 80-90 dB
<b>Capacidad de tostado</b>	2-15 kg	3-60 kg
<b>Tiempo de tostado</b>	5-15 min	20-40 min

**Nota:** Esta tabla muestra la comparación de los aspectos más importantes para la selección del tipo de tostadora que se desea emplear.

#### 6.3.1. Comparación en el mantenimiento de los tipos de tostadoras

**Tabla 2***Mantenimiento las tostadoras.*

Mantenimiento general	
<b>Piezas</b>	<b>Mantenimiento</b>
<b>Caja reductora</b>	Cada 160 a 200 debe revisarse, el aceite se revisa cada 1000 horas de uso y debe sustituirse el aceite cada 3 años sí es mineral y cada 6 sí es sintético (Fussiona, s.f.).
<b>Motor</b>	Se deben revisar vibraciones y calentamiento cada 3 meses y la comprobación de las conexiones anualmente (Solument, s.f.).
<b>Sist. de Control</b>	Se debe realizar una revisión diaria de los sensores y su respectiva calibración si es necesaria (Procon ingenieros, s.f.).
<b>Rodamientos</b>	Al tener contacto con altas temperaturas, es sugerido realizar la lubricación de manera semanal, y debe soportar altas temperaturas (NTN, s.f.).
<b>Sist. calentamiento</b>	Se deben realizar revisiones de fugas de gas quincenalmente y la revisión de calderas bianualmente. (ClimaArte, s.f.)
Mantenimiento específico	
Tostadora de lecho fluidizado	
<b>Compresor</b>	Se recomienda realizar mantenimiento anualmente. Debe realizarse el cambio de aceite, cambio de los filtros de: aceite, aire y separadores, cambio de las correas, comprobar los: consumos eléctricos, funcionamiento de las válvulas de control; controlar la presión y realiza un control de temperatura de la mezcla aire-aceite.(López, s.f.)
Tostadora de tambor	
<b>Tambor</b>	Se recomienda realizar una revisión mensual para revisar tanto el tambor como el eje esté bien acoplado y si requiere algún cambio debido a la fatiga.

**Nota:** Esta tabla muestra los mantenimientos generales y específicos de los dos tipos de tostadora (ClimaArte, s.f.; Fussiona, s.f.; Solument, s.f.).

## 6.4. Selección del tipo de tostadora

Se optó por una tostadora de tambor en lugar de una tostadora de lecho fluidizado, ya que, a pesar de que ambas tienen un control preciso de la temperatura para obtener resultados consistentes y eficientes en el proceso de tostado; en la de lecho fluidizado es necesaria una mayor automatización, donde el cacao está en constante movimiento y se expone al aire caliente, produciendo una pérdida de temperatura debido a la agitación del aire (lo que dificulta mantener una temperatura uniforme y constante durante todo el proceso de tostado), lo cual puede afectar negativamente la calidad y el sabor del producto final. Además, en las tostadoras de lecho fluidizado, se requiere un control preciso de la velocidad y la presión del fluido, lo cual puede incrementar los costos y la complejidad del equipo.

Por otro lado, en una tostadora de tambor, el control de temperatura no representa un factor crítico y la velocidad de rotación del tambor se mantiene constante a lo largo del tiempo, lo que asegura una distribución uniforme del calor, permitiendo un tostado homogéneo y de calidad sin requerir un control minucioso de la temperatura.

## 6.5. Selección de materiales

Con base en la norma UNE-EN ISO 1672 se establecen una serie de condiciones que deben cumplir máquinas que estén involucradas en el procesamiento de alimentos, estos materiales deben soportar temperaturas mayores a 130 °C, así como mantener ciertas partes utilizadas en la limpieza. Además, debe resistir el contacto con el cloro, los ácidos inorgánicos, las bases y otras sustancias muy oxidantes. El uso de herramientas o contenedores baños de cadmio y con antimonio o zinc también está prohibido (Alsimet.es, 2017). También considera que esto lo deben cumplir todos los materiales que se encuentren en contacto directo con los alimentos.

Por lo que el material seleccionado para que esté en contacto directo con el cacao para esta máquina, la máquina tostadora de cacao es el Acero Inoxidable AISI 304, debido a su disponibilidad y costos en el país.

## 6.6. Cálculos teóricos de diseño

A continuación, se abordarán los cálculos teóricos involucrados en el diseño para la tostadora de cacao, los cuales están relacionados con el análisis del volumen del tambor y de la tolva, la determinación del calor requerido tanto para calentar la materia prima como

el tambor, las pérdidas de energía calorífica durante el proceso de tostado, así como, el dimensionamiento del motor y del quemador necesarios para el funcionamiento adecuado de la tostadora, el análisis del consumo de gas licuado de petróleo (GLP) como fuente de energía y el modelado matemático del sistema en su conjunto:

### 6.6.1. Cálculos para determinar el volumen y el espesor del tambor

Como requisito de la compañía, el volumen del tambor debe albergar 20 kg de materia prima; para cumplir con esto, lo primero que se debe tomar en cuenta es la forma geométrica de la semilla de cacao y por ende sus dimensiones, para lo cual se usó de referencia la tabla 3.

**Tabla 3**

*Dimensiones físicas de los tipos de cacao.*

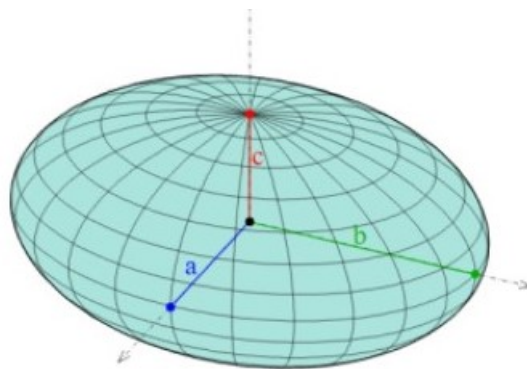
Tipo de cacao	Largo (Lc)	Ancho (Ac)	Espesor (Ec)
Nacional	21.96 ±0.13	12.32 ±0.17	8.19 ±0.09
CCN51	22.45 ±0.32	12.79 ±0.16	8.24 ±0.36

**Fuente:** Andrade y Rivera (2019).

La forma de la semilla de cacao se aproxima a la forma de un elipsoide, como se puede observar en la figura 8; teniendo en cuenta esto, se calculan las longitudes de cada eje para consecuentemente calcular el volumen de la semilla representado como  $V_s$ .

**Figura 8**

*Volumen de un elipsoide*



**Fuente:** (PNG EGG, s.f.)

$$a = \frac{Lc}{2} \quad b = \frac{Ac}{2} \quad c = \frac{Ec}{2}$$

Donde:

$Lc$  = Largo de la semilla

$Ac$  = Ancho de la semilla

$Ec$  = Espesor de la semilla.

Tomando como referencia el cacao nacional de la tabla [3] se obtienen los siguientes valores:

$$a = 10.98mm \quad b = 6.16mm \quad c = 4.095mm$$

De esta manera, al reemplazarlos en la ecuación [1]:

$$V_s = \frac{4}{3} * a * b * c \quad (1)$$

Donde:

$a$  = Longitud del eje de las  $y$   $b$  = Longitud en el eje de las  $x$   $c$  = Longitud en el eje de las  $z$

Obtenemos que el volumen de una semilla sería aproximadamente:

$$V_s = 1160.181mm^3$$

Para determinar el volumen del tambor es necesario conocer la cantidad de semillas de cacao requeridas en 20 kg, teniendo en cuenta que en 50 g de cacao hay un aproximado de 40 semillas, se puede calcular que:

$$N_s = 16000 \text{ semillas} \quad (2)$$

Una vez obtenido el número de semillas, al reemplazar los datos, en la ecuación [3]:

$$V_{Ts} = V_{s1} * N_s \quad (3)$$

Donde:

$V_{T_s}$  = Volumen total de la semilla

$N_s$  = Número de semillas

El volumen de 20kg de semillas será:

$$V_{T_s} = 1856289mm^3$$

De esta manera, en base a un estudio de la (Escuela Politécnica Nacional y La Universidad Politécnica del Norte) se determina que el volumen total utilizado por las semillas de cacao representa el 40% del volumen del tambor  $V_t$ , por lo que reemplazando el  $V_{T_s}$  en la fórmula 4 se obtiene:

$$V_t = 46407240mm^3 \quad (4)$$

Una vez obtenido el volumen necesario para el tambor, calculamos sus dimensiones geométricas; longitud, diámetro y espesor.

La longitud se obtiene reemplazando el volumen del tambor en la ecuación [5]:

$$L = \sqrt[3]{\frac{V_t * 16}{\pi}} \quad (5)$$

Llegando a tener que:

$$L = 618mm = 0.618m$$

Para de esta manera reemplazarla en la ecuación [6]:

$$D = \frac{L}{2} \quad (6)$$

Y obtener el diámetro; por decisión de diseño el diámetro del tambor es la mitad de la longitud:

$$D = 309mm = 0.309m$$

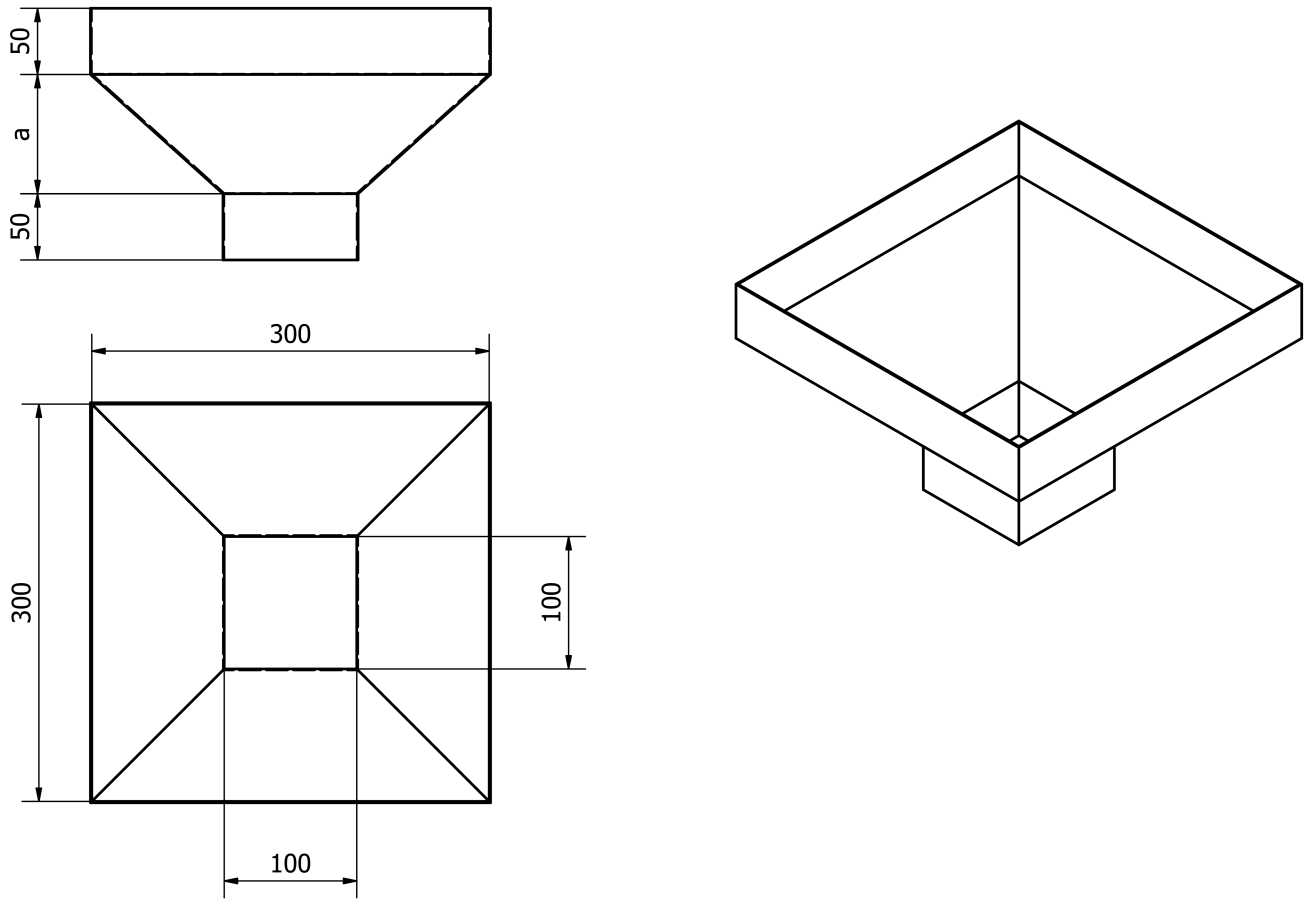
Una vez calculado el diámetro necesario para el tambor, se selecciona un espesor de 1 mm, ya que, el espesor mínimo soldable es de 0.6mm y la selección de este espesor asegura una adecuada capacidad de soldadura y proporciona la resistencia estructural necesaria para el funcionamiento seguro y eficiente del tambor durante el proceso de tostado, además, es uno de los más comunes y accesibles en la región en base a la disponibilidad de planchas en el mercado ecuatoriano.

### 6.6.2. Determinación las dimensiones de la tolva

Para la tolva se tiene un modelo como se puede observar en la figura 9:

**Figura 9**

*Partes de la tolva*



**Fuente:** *Elaboración propia*

Despejando  $V_2$  de la ecuación [7]:

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3 \quad (7)$$

Donde:



$V_{T_s}$  = Volumen total de la semilla

$V_1$  = Volumen superior

$V_2$  = Volumen de la piramide

$V_3$  = Volumen de la base

Y reemplazando los valores, se obtiene que:

$$V_2 = 13562896mm^3$$

De esta manera, una vez que se sabe cuál es el volumen que debe tener ( $V_2$ ) y que este tiene forma de un tronco de piramide, se despeja la altura ( $a$ ) de la fórmula general del volumen de esta geometría Ecuación [8]:

$$V_2 = \frac{a}{3} * (A_{sup} + A_{inf} + \sqrt{A_{sup} * A_{inf}}) \quad (8)$$

$$a = \frac{V_2 * 3}{(A_{sup} + A_{inf} + \sqrt{A_{sup} * A_{inf}})}$$

Donde:

$A_{sup}$  = Área superior del tronco de piramide

$A_{inf}$  = Área inferior del tronco de piramide

Obteniendo tras reemplazar sus valores:

$$a = 312.98mm = 0.31288m$$

### 6.6.3. Calor requerido para el tostado del cacao y el calentado del tambor

A continuación, se determinará el calor requerido tanto para el proceso de tostado del cacao como para calentar el tambor de la tostadora. Estos cálculos se basarán en los principios de transferencia de calor y tomarán en consideración variable como la cantidad de cacao a tostar, el porcentaje de humedad inicial antes del tostado y la temperatura objetivo de tostado.

Para esto, se conoce que existe una variación de 25-250 °C; para el caso del cacao se conoce que se requiere calentar una masa de 20 kg de cacao, por lo que se debe obtener el calor específico del cacao para saber qué temperatura se necesita para calentarlo, de igual

forma, se conoce que el porcentaje aproximado de humedad del cacao después de la etapa de secado ronda el 7% (INEN, 2005). Considerando este dato se obtiene el calor específico del cacao mediante interpolación con los datos de la tabla 4:

**Tabla 4**

*Calor específico del cacao con base en el porcentaje de humedad.*

Porcentaje de humedad	Calor específico
%bh	Kcal/kg*°C
4.3	0.3952
13.0	0.4189

**Nota:** Esta tabla muestra el cambio del calor específico del cacao en base al porcentaje de humedad del cacao. (Villamizar de Borrero y Hernández, s.f.)

$$Cp_c = Cp_0 + \frac{Cp_1 - Cp_0}{bh_1 - bh_0} * (bh - bh_0) \quad (9)$$

Donde:

$Cp_0$  = Calor específico del cacao con una humedad del 4.3%

$Cp_1$  = Calor específico del cacao con una humedad del 13%

$bh$  = Humedad del cacao al 7%

$bh_0$  = Humedad del cacao al 4.3%

$bh_1$  = Humedad del cacao al 13%

Remplazando los valores de se obtiene que el calor específico del cacao es:

$$Cp_c = 1685.6057 \frac{J}{Kg * K}$$

En el caso del tambor de acero inoxidable; Su masa se obtuvo con base en su forma y densidad del material, obteniendo un valor de 10,39 kg, en cambio, para determinar el Cp

del tambor se tiene en cuenta que es Acero Inoxidable AISI 304, entonces, considerando este dato se obtiene el calor específico del tambor  $C_{pt}$  mediante los datos de la tabla del libro de transferencia de calor y masa de Çengel y Ghajar (2011):

**Tabla 5**

*Propiedades de metales sólidos a 300 K.*

Material	Densidad $kg/m^3$	Calor específico $J/kg * K$	Conductividad térmica $m^2/s$
Acero Inoxidable AISI 302	8055	480	15.1
Acero Inoxidable AISI 304	7900	477	14.9
Acero Inoxidable AISI 316	8238	468	13.4

**Nota:** En la tabla se observa las propiedades de diferentes tipos de acero a una temperatura de 300 K (Çengel y Ghajar, 2011).

$$C_{pt} = 477 J/Kg * K$$

De esta manera, al reemplazar los valores de masa que para el cacao son de 20 Kg, en cambio para el tambor es de 10.39 Kg; el calor específico del cacao es de  $1685.6057 \frac{J}{Kg * K}$  y para el tambor de acero es de  $477 \frac{J}{Kg * K}$  y la variación de temperatura para ambos casos es de 225 °C correspondientes en la ecuación [10], se obtiene el calor requerido para cada caso.

$$Q = m * Cp * \Delta T \tag{10}$$

Donde:

m= masa

Cp = Calor específico

$\Delta T$  = Variación de temperaturas

Calor requerido del cacao:

$$Q_c = 7585225.650 J$$

Calor requerido del tambor:

$$Q_t = 1156963.500J$$

Por lo que el calor total  $Q$ , que es requerido para calentar tanto el tambor como el cacao, es:

$$Q = Q_c + Q_t$$

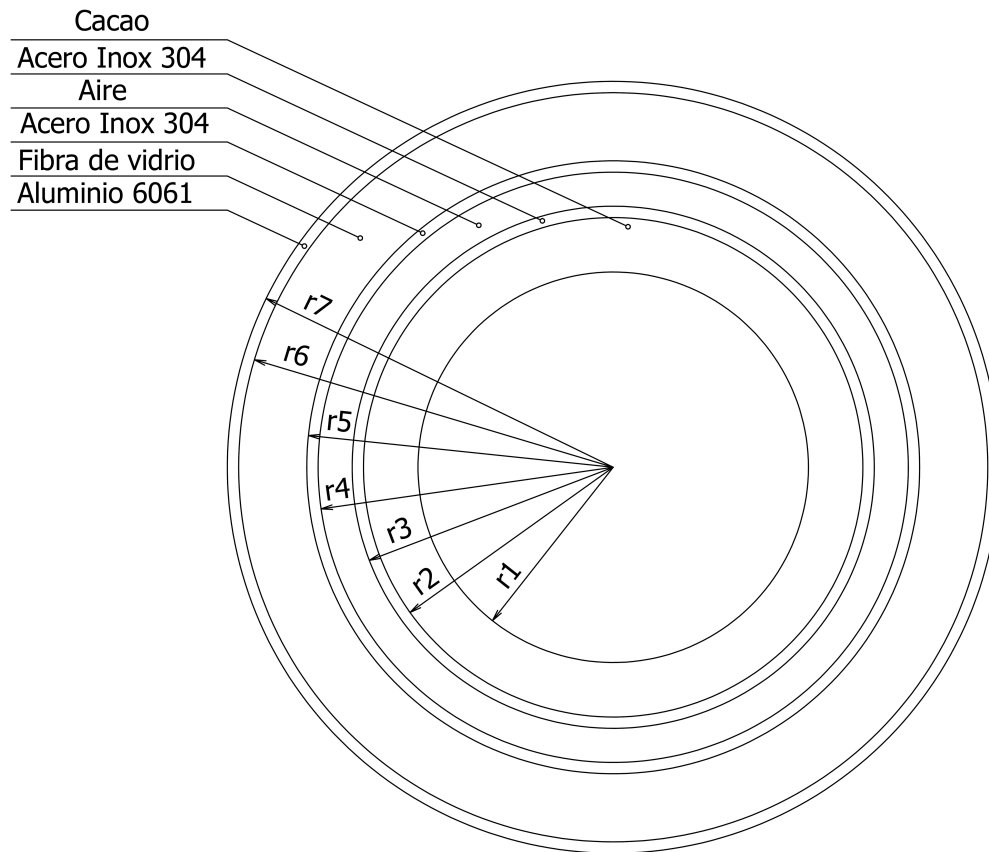
$$Q = 8742189.15 J$$

#### **6.6.4. Pérdida de calor en el tambor**

Para garantizar una calidad consistente del cacao tostado, es esencial mantener una temperatura ideal y constante dentro del tambor durante todo el proceso de tostado. Sin embargo, se han observado pérdidas de calor significativas en varios lugares de la tostadora, como las paredes del tambor y el eje. Estas pérdidas térmicas pueden afectar la productividad del proceso y la calidad del producto final. Por lo tanto, este análisis se enfocará en comprender y cuantificar dichas pérdidas de calor con el objetivo de identificar posibles mejoras en el diseño y el aislamiento térmico de las tostadoras de cacao para que puedan realizar el proceso de tostado de la manera más eficiente posible y tener la mejor calidad del producto posible.

## Figura 10

*Esquema representativo de las capas del sistema termodinámico*



**Fuente:** *Elaboración propia*

Haciendo referencia a la figura 10, el tambor posee un radio de 0.1545 m  $r_2$ , una longitud de 0.618 m y un espesor de 1 mm, el cual tiene una velocidad de rotación de 49 rpm, a una temperatura de 250 °C, afuera de este, existe una capa de 0.01 m de aire, para evitar la fricción, con el objetivo de que el tambor pueda girar de manera apropiada, consecuente a esta capa, existe otra de acero inoxidable de 0.001 m de espesor, la cual sirve para sostener una capa de fibra de vidrio que es utilizada como material aislante el cual tiene un espesor de 0.1 m, además, esta misma capa tiene un recubrimiento de aluminio 6061 para no tener contacto directo con la fibra de vidrio.

Por otro lado, se debe considerar que al momento del tostado, el cacao va a permanecer

girando todo el tiempo; razón por la cual se lo va a considerar como una capa adicional y se necesita conocer su radio interno, dado que el cacao formara una capa dentro de la cámara de tostado como se observa en la figura [10] (cacao) esta se puede aproximar a la forma geométrica de un cilindro hueco, tomando en cuenta este criterio el radio interno se puede despejar utilizando la ecuación de cilindros huecos [11]:

$$V_t = (r_2^2 - r_1^2)\pi * L \quad (11)$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{V_{Tt}}{\pi * L} + r_2^2} \quad (12)$$

Por lo que considerando que el volumen total del tambor es de  $46407240 \text{ mm}^3$  y el  $r_2$  es  $154.5 \text{ mm}$ , se calcula que  $r_1$  el cual resulta en:

$$r_1 = 151.4 \text{ mm} = 0.1514 \text{ m}$$

A continuación se detallan los diámetros y radios de acuerdo a cada capa, según lo explicado y lo que se visualiza en la figura 10:

$$r_1 = 0.1514 \text{ m}$$

$$r_2 = 0.1545 \text{ m}$$

$$r_3 = 0.1555 \text{ m}$$

$$r_4 = 0.1655 \text{ m}$$

$$r_5 = 0.1665 \text{ m}$$

$$r_6 = 0.2665 \text{ m}$$

$$r_7 = 0.2695 \text{ m}$$

Además de esto, también se considera que en la parte externa del tambor hay una temperatura ambiente de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , la selección del quemador adecuado está en función del calor que se requiere para poder llevar la masa del tambor y la del cacao a la temperatura requerida en un tiempo determinado por el usuario. Las pérdidas de calor nos dan una idea de cuanta energía se pierde por unidad de tiempo y así poder determinar el gasto de combustible dentro del proceso de tostado.

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_T} \quad (13)$$

Donde:

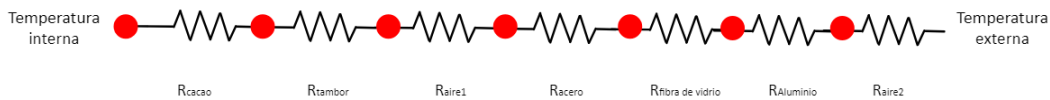
$\Delta T =$  Variación de temperatura

$R_T =$  Resistencia global a la transferencia de calor

Donde se van a considerar resistencias de convección y conducción como se indica en la figura [11].

### Figura 11

*Resistencias térmicas de conducción y convección*



**Fuente:** *Elaboración propia*

Para determinar las resistencias térmicas se utilizará las fórmulas tanto por convección como por conducción en tubos; se tienen las siguientes ecuaciones:

$$R_{conv} = \frac{1}{h * A_s} \quad (14)$$

Donde:

$h =$  Coeficiente de convección térmica.

$A_s =$  Área superficial.

$$R_{cond} = \frac{\ln\left(\frac{r_{ext}}{r_{int}}\right)}{2 * \pi * L * k} \quad (15)$$

Donde:

$r_{ext} =$  Radio externo

$r_{int} =$  Radio interno

$L =$  Longitud de la pared

$k =$  Coeficiente de conductividad térmica del cacao

Con el fin de poder determinar la resistencia, se debe determinar el coeficiente de conductividad térmica del cacao  $k_c$ , mediante la ecuación [15] se debe determinar la conducción térmica del cacao y mediante interpolación lineal, basándose en la tabla [6] se determina su valor:

**Tabla 6**

*Coeficiente de conductividad térmica del cacao.*

Humedad	Conductividad termica
%bh	Kcal/hrmK
4.3	0.2453
8.3	0.2716

**Nota:** En la tabla se observa la variación del coeficiente de conductividad térmica del cacao en base a la variación de humedad del cacao (Villamizar de Borrero y Hernández, s.f.).

$$k_c = 0.2631 \frac{Kcal}{hrmK} = 0.306 \frac{W}{m * K}$$

Por lo que con los valores de  $k_c$  de  $0.306 \frac{W}{m * K}$ , con L de 0.618 m y conociendo que el  $r_{ext}$  es de 0.1545 m y el  $r_{int}$  es de 0.1514 m, se remplazan en la ecuación [15], por lo que se obtiene:

$$R_c = 0.01706 \text{ K/W}$$

En cambio, para determinar la resistencia del tambor, el cual es de acero inoxidable AISI 304, primero se debe determinar el coeficiente de conductividad térmica de este material, lo cual se realizó mediante la tabla [5] del libro de Çengel y Ghajar (2011), donde se puede observar el que el coeficiente de conductividad térmica del acero es:

$$k_{ai} = 14.9 \frac{W}{m * K}$$



Teniendo los valores de  $k_{ai}$  el cual es de  $14.9 \frac{W}{m \cdot K}$ , con un valor de  $L$  de 0.618 m, con un  $r_{int}$  de 0.1545 m y un  $r_{ext}$  de 0.1555 m y reemplazando los datos en la ecuación [15], se obtiene una resistencia de:

$$R_t = 1.1151 * 10^{-4} \frac{W}{m \cdot K}$$

Por otro lado, para determinar la resistencia que genera la capa de aire, primero se debe determinar el valor del coeficiente de convección térmica  $h_1$  del aire, empleando la ecuación [17]:

$$h = \frac{Nu * k}{L} \quad (17)$$

Donde:

$Nu$  = Número de Nusselt

$k$  = Conductividad térmica

$L$  = Longitud del tambor

Para esto, se debe tener en cuenta que la determinación del número de Nusselt depende del número de Reynolds, pues el fluido puede encontrarse en flujo laminar o en flujo turbulento, en este caso, al existir rotación del tambor se determina que realiza convección forzada y sabiendo que el fluido no recorre el tambor de manera longitudinal, sino de forma perimetral, se puede establecer que se aproxima a convección forzada en placas por lo que se emplea la siguiente ecuación:

$$R_{convp} = \frac{L}{h * A} \quad (18)$$

Donde:

$h$  = Coeficiente de convección térmica

$A$  = Área superficial de la pared

Con estos datos, se debe determinar si el fluido se encuentra en régimen laminar o turbulento figura [??], mediante el número de Reynolds, el cual se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{P * v * \rho}{\mu} \quad (19)$$

Donde:

$P$  = Perímetro del tubo

$v$  = Velocidad tangencial del tambor

$\rho$  = densidad del fluido

$\mu$  = viscosidad dinámica del fluido

Sin embargo, como al momento aún no se tienen todas las incógnitas, primero se debe obtener la velocidad tangencial del tambor, con la siguiente ecuación:

$$v = \omega * r \quad (20)$$

Donde:

$v$  = velocidad tangencial

$\omega$  = velocidad angular del tambor

$r$  = radio externo del tambor

Teniendo en cuenta que se impuso una velocidad angular de 5.1313 rad/s, tras reemplazar los valores en la ecuación [20] se obtiene que la velocidad tangencial es:

$$v = 0.7979m/s$$

Por otro lado, para determinar tanto la viscosidad dinámica como la densidad del aire se debe seleccionar dichas propiedades a 250 °C, por lo que con base en la tabla 7 (Çengel y Ghajar):

**Tabla 7***Densidad y viscosidad dinámica a 250 °C.*

Temperatura	Densidad	Viscosidad dinámica
°C	kg/m <sup>3</sup>	kg/m*s
200	0.7459	2.577*10 <sup>-5</sup>
250	0.6746	2.760*10 <sup>-5</sup>
300	0.6158	2.934*10 <sup>-5</sup>

**Nota:** En la tabla se observa la variación de la densidad y la viscosidad dinámica en base a la variación de temperatura (Çengel y Ghajar, 2011).

Se obtiene que la densidad y la viscosidad dinámica son:

$$\rho = 0.6746 \frac{kg}{m^3}$$

$$\mu = 2.760 * 10^{-5} \frac{kg}{m * s}$$

Por ende, reemplazando los valores en la ecuación [19], se obtiene que el número de Reynolds es:

$$Re = 19054.43$$

Una vez calculado todos estos datos, es posible determinar que el fluido se encuentra en régimen laminar, ya que, según la teoría, para que un fluido se encuentre en régimen turbulento, el número crítico de Reynolds en paredes planas debe ser mayor a 500000 (Çengel y Ghajar, 2011).

Consecuentemente, es necesario determinar el número de Nusselt, tomando en cuenta las dos consideraciones mencionadas anteriormente, mediante la siguiente ecuación:

$$Nu = 0.332 * Re^{0.8} * Pr^{1/3} \quad (21)$$

Donde:

Nu = Número de Nusselt

Re = Número de Reynods

Pr = Número de Prandtl

Sin embargo, esto no es posible sin determinar primero el número de Prandtl, así que se lo obtiene mediante la tabla 13 del libro de Çengel y Ghajar, tomando en cuenta una temperatura de 250 °C:

**Tabla 8**

*Número de Prandtl.*

Temperatura	Número de Prandtl
°C	Pr
200	0.6974
250	0.6946
300	0.6935

**Nota:** En la tabla se observa la variación del número de Pr en base a la variación de temperatura (Çengel y Ghajar, 2011).

Conociendo estos datos se determina que el número de Nusselt, por lo que mediante la ecuación [21] se obtiene:

$$Nu = 40.5864$$

Para determinar la resistencia se requiere conocer el coeficiente de conductividad térmica del aire, por lo que para obtener dicho coeficiente a una temperatura de 250 °C, se obtiene de la tabla [9] del libro de Çengel y Ghajar (2011):

**Tabla 9***Coefficiente de conductividad térmica.*

Temperatura	Conductividad térmica
°C	W/m*K
200	0.03779
250	0.04104
300	0.04418

**Nota:** En la tabla se observa la variación del coeficiente de conductividad térmica en base a la variación de temperatura (Çengel y Ghajar, 2011).

Por lo tanto, el valor del coeficiente de conductividad térmica es:

$$k_{a1} = 0.04104 \frac{W}{m * K}$$

Se emplea la ecuación [17], reemplazando los valores de  $k_{a1}$  el cual es de  $0.04104 \frac{W}{m * K}$ , donde el número de Nu es 40.5864 y con L de 0.618 m, para obtener el coeficiente de convección térmica del:

$$h_1 = 26.9525 \frac{W}{K * m^2}$$

También se determina el área superficial del tambor, donde se obtiene que:

$$A_s = 0.6038 \text{ m}^2$$

Utilizando la ecuación [18] y reemplazando los valores obtenidos del área superficial de  $0.6038 \text{ m}^2$  y  $h_1$  de  $26.9525 \frac{W}{K * m^2}$ , se resulta en:

$$R_{a1} = 0.06145 \frac{K}{W}$$

Se pasa a determinar la resistencia del acero del cual recubre la fibra de vidrio, por lo que se requiere el coeficiente de conductividad térmica del acero, el cual es:

$$k_{ai} = 14.9 \frac{W}{m * K}$$

Considerando la ecuación [15], donde se puede observar que sus radios correspondientes son  $r_4$  el cual es de 0.1655 m y  $r_5$  el cual es de 0.1665 m, además con el coeficiente de conductividad térmica de  $14.9 \frac{W}{m \cdot K}$ , aplicando la ecuación antes mencionada, por lo que se determina que la resistencia es de:

$$R_{ai} = 1.04121 * 10^{-4} \frac{K}{W}$$

Aplicando la ecuación [15], se requiere el coeficiente de conductividad térmica de la fibra de vidrio, para así poder determinar la resistencia térmica de la fibra de vidrio, por lo que con las tablas se muestra:

**Tabla 10**

*Propiedades de materiales aislantes.*

<b>Material</b>	<b>Densidad</b>	<b>Conductividad térmica</b>
Espuma de poliuretano	24 - 40	0.023 - 0.026
Fibra de Vidrio	56 - 72	0.038 - 0.039
Uretano	70	0.026

**Nota:** En la tabla se observa las propiedades de materiales aislantes (Çengel y Ghajar, 2011).

En la tabla [10], el coeficiente de conductividad térmica es:

$$k = 0.038 - 0.039 \frac{W}{m \cdot K}$$

Por lo que se considerara el coeficiente de conductividad térmica mayor el cual es de 0.039  $\frac{W}{m \cdot K}$ , para considerar el peor caso posible dentro del factor teórico, además este teniendo una L de 0.618 m, donde el  $r_{int}$  es de 0.1665 m y el  $r_{ext}$  es de 0.2665 m, por lo que para determinar la resistencia térmica de este se remplazan los valores en la ecuación [15], por lo que se obtiene:

$$R_{fv} = 3.1061 \frac{K}{W}$$

Al igual que para los casos anteriores, el recubrimiento o chapa es de aluminio 6061, el cual es un aluminio endurecido por silicio y magnesio, por lo que mediante la tabla:

**Tabla 11**

*Propiedades de metales sólidos.*

Material	Densidad	Calor específico	Conductividad térmica
Aleación 2024-T6	2770	875	177
Al carbono-silicio	7817	446	51.9
Al carbono-manganeso-silicio	8131	434	41.0

**Nota:** En la tabla se observa las propiedades de diferentes tipos de aluminio (Çengel y Ghajar, 2011).

Por lo que basándose en la tabla 11 se determina que el coeficiente de conductividad térmica es:

$$k_{al} = 41 \frac{W}{m * K}$$

Por lo que con los valores del coeficiente de conductividad térmica es de  $41 \frac{W}{m * K}$ , una longitud de 0.618 m, además el radio interno es de 0.2665 m y el radio externo es de 0.2695 m, por lo que reemplazando estos datos en la ecuación [15], se obtiene:

$$R_{al} = 7.03135 * 10^{-5} K/W$$

Para determinar la resistencia que existe en la parte externa de la máquina, es requerido conocer el coeficiente de convección del aire en convección natural:

$$Nu = 2 + 0.5 * Ra^{0.25} \tag{22}$$

Se observa que el número de Nusselt está en función del número de Rayleigh, por lo que

para obtener el número de Rayleigh:

$$Ra = Gr * Pr \quad (23)$$

Donde:

Gr = Número de Grashof

Pr = Número de Prandtl

Y se observa que el número de Rayleigh está en función de los números de Grashof y de Prandtl, el número de Grashof se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Gr = \frac{g * L^3 * \beta * \Delta T * \rho^2}{\mu^2} \quad (24)$$

Donde:

g = Gravedad

L = Longitud del tambor

$\beta$  = Inversa de la temperatura promedio en grados Kelvin,

$\Delta T$  = Diferencial de temperatura, 225 °C

$\rho$  = Densidad del aire a 137.5 °C

$\mu$  = Viscosidad dinámica del aire a la temperatura promedio de 137.5 °C

Donde viscosidad dinámica y densidad del aire, son obtenidos de la siguiente tabla:



**Tabla 12**

*Densidad y viscosidad dinámica.*

<b>Temperatura</b>	<b>Densidad</b>	<b>Viscosidad dinámica</b>
<b>°C</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>kg/m*s</b>
100	0.9458	2.181*10 <sup>-5</sup>
120	0.8977	2.264*10 <sup>-5</sup>
140	0.8542	2.345*10 <sup>-5</sup>

**Nota:** En la tabla se observa la variación de la densidad y la viscosidad dinámica en base a la variación de temperatura (Çengel y Ghajar, 2011).

Por lo que mediante interpolación lineal se obtiene que la densidad y la viscosidad dinámica resultan en:

$$\rho = 0.8607$$

$$\mu = 2.331 * 10^{-5}$$

Por lo con los valores tanto de densidad como viscosidad dinámica antes obtenidos, además de considerar una longitud de 0.618 m y teniendo una gravedad de  $9.18 \frac{m}{s^2}$ , esto reemplazándolo en la ecuación [24] se obtiene que el número de Grashof es:

$$Gr = 1730338701$$

Y donde Prandtl se obtiene de tablas del libro de Çengel y Ghajar (2011):

**Tabla 13**

*Número de Prandtl.*

Temperatura	Número de Prandtl
°C	Pr
20	0.7302
25	0.7296
30	0.7282

**Nota:** En la tabla se observa la variación del número de Prandtl en base a la variación de temperatura (Çengel y Ghajar, 2011).

Donde se obtiene que el número de Prandtl a una temperatura de 25 °C es de:

$$Pr = 0.7296$$

Por lo que reemplazando valores de los números de Grashof de 1730338701 y de Prandtl de 0.7296 en la ecuación [23], resulta que el número de Rayleigh es:

$$Ra = 1262455116$$

Ya con el valor del número de Rayleigh, se obtiene el número de Nusselt reemplazando los valores en la ecuación [22], se obtiene:

$$Nu = 96.24$$

Con el número de Nusselt se procede a obtener el coeficiente de conducción térmica del aire a 25 °C, en la tabla 13

**Tabla 14**

*Coefficiente de conductividad térmica.*

Temperatura	Conductividad Termica
°C	W/m*K
20	0.02514
25	0.02551
30	0.02588

**Nota:** En la tabla se observa la variación del coeficiente de conductividad térmica en base a la variación de temperatura (Çengel y Ghajar, 2011).

Donde se determina que el coeficiente de conductividad térmica es:

$$k_{a2} = 0.02551 W/m * K$$

Ya con estos valores de conductividad termica del aire de 0.02551 W/m\*K, el número de Nusselt 96.24 y considerando una longitud de 0.618 m, se remplazan en la ecuación [17] para obtener el coeficiente de convección térmica, resultando en:

$$h_2 = 3.9726 \frac{W}{k * m^2}$$

Remplazando los calores en la ecuación [14], se obtiene que la resistencia del aire  $R_{a2}$  es:

$$R_{a2} = 0.1411 \frac{K}{W}$$

La resistencia térmica global a la transferencia de calor en el tambor  $R_{tc}$  es:

$$R_{tp} = \Sigma R$$

Donde las resistencias para la sumatoria se pueden encontrar en la tabla [15]:

**Tabla 15***Resistencias térmicas del tambor*

Resistencias térmicas	Valor de la resistencia en K/W
$R_c$	0.01706
$R_t$	$1.1151 \cdot 10^{-4}$
$R_{a1}$	0.06145
$R_{ai}$	$1.04121 \cdot 10^{-4}$
$R_{fv}$	3.1061
$R_{al}$	$7.03135 \cdot 10^{-5}$
$R_{a2}$	0.1411

**Nota:** Se pueden observar las diferentes resistencias térmicas que influyen en el tambor

Por lo que con la resistencia global a la transferencia de calor en el tambor es:

$$R_{tc} = 3.326 \text{ K/W}$$

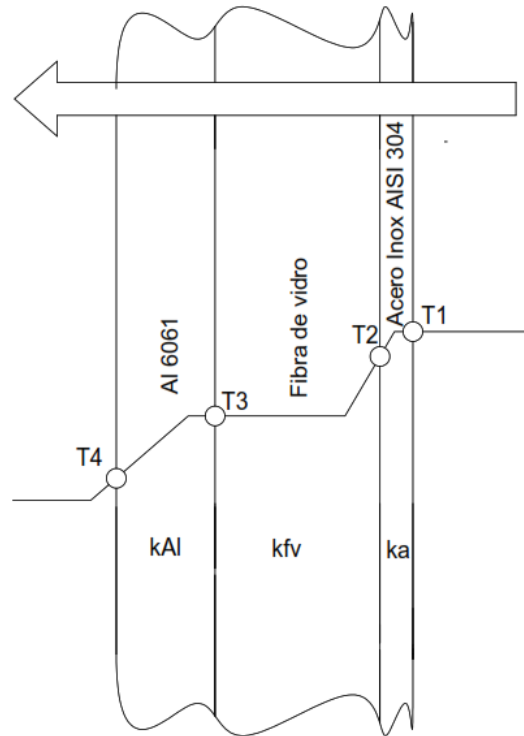
Por lo que aplicado la fórmula [9] y sustituyendo los valores, se obtiene la pérdida de calor del tambor ( $\dot{Q}_t$ ):

$$\dot{Q}_t = 67.6489 \text{ W}$$

Además, se puede considerar que van a existir pérdidas de calor a través de los laterales del tambor, como se puede observar en la figura 12.

## Figura 12

Diagrama termico representativo de la perdida de calor en las paredes del tambor

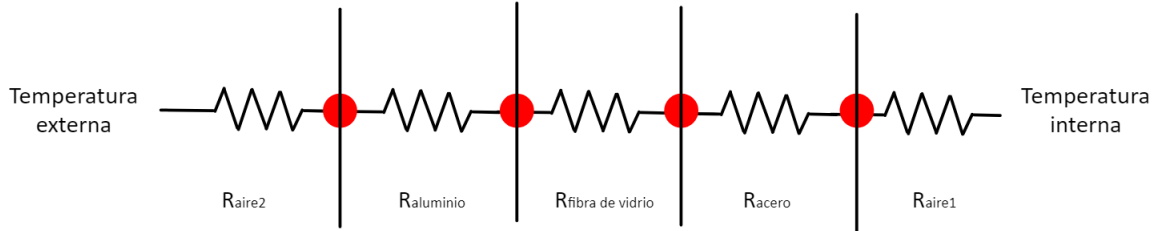


**Fuente:** Elaboración propia

Por lo que se tienen 3 capas de material como se puede observar en la figura [13], una de 0.003 m de Aluminio 6061, otra de Fibra de vidrio de 0.005 m y una última que estará en contacto con el cacao, la cual es de 0.001 m, por lo que también existe una perdida de calor a través de estas partes. Por lo que al igual que en el caso anterior se emplea la ecuación [18].

+

**Figura 13**



**Nota:** Diagrama térmico representativo de las resistencias en las paredes del tambor

En cambio, las resistencias se calculan de manera diferente tanto en conducción, como en convección, las cuales se calculan con base en las siguientes ecuaciones:

$$R_{condp} = \frac{L}{k * A} \quad (25)$$

Donde:

L = Longitud de aislante

k = coeficiente de conductividad térmica

A = Área de la pared

Donde el área está dado por de la pared es similar para todos los casos, por lo que el área de las pares está dada por:

$$A = (r_2)^2 \pi \quad (26)$$

Donde:

A = Área de la pared

$r_2$  = radio interno del tambor

Por lo que remplazando los valores se obtiene, se determina que el área de la pared es:

$$A = 0.072m^2$$

En el caso de la resistencia por convección se emplea la ecuación [18], debido a que en ese caso se aproximaba el sistema a una pared plana.

Por lo que se requiere determinar la resistencia dada en las paredes del tambor, debido a que no existe un corriente de aire forzado en el sistema, se determina que existe convección natural en las paredes del tambor, tanto en la parte interna como la parte externa, por lo que se requiere del número de Grashof y del número Prandtl para determinar si el fluido se encuentra en estado laminar o turbulento donde:

$$\text{Laminar: } Gr_L Pr < 10^9$$

$$\text{Turbulento: } 10^9 < Gr_L Pr$$

Donde para determinar número de Grashof se determina mediante la ecuación [24], en cambio, para Prandtl se obtiene mediante las tablas del libro de Çengel y Ghajar:

**Tabla 16**

*Número de Prandtl.*

Temperatura	Densidad	Viscosidad dinámica	Número de Prandtl
°C	kg/m <sup>3</sup>	kg/m*s	Pr
20	1.204	1.825*10 <sup>-5</sup>	0.7309
25	1.184	1.849*10 <sup>-5</sup>	0.7296
30	1.164	1.872*10 <sup>-5</sup>	0.7282
200	0.7459	2.577*10 <sup>-5</sup>	0.6974
250	0.6746	2.760*10 <sup>-5</sup>	0.6946
300	0.6158	2.934*10 <sup>-5</sup>	0.6935

**Nota:** En la tabla se observa la variación de las propiedades del aire en base a la variación de temperatura (Çengel y Ghajar, 2011).

Donde en la tabla 16 se determina que el número de Pr, la densidad y la viscosidad dinámica para la parte interna de la tostadora es de:

$$\rho = 0.6746$$

$$\mu = 2.934 * 10^{-5}$$

$$Pr = 0.6946$$

Y el número de  $Gr_L$ es:

$$Gr_L = 274935991.7$$

Por lo que la relación entre Gr y Pr resultan en:

$$Gr_L Pr = 190970539.8$$

Por lo que para determinar el coeficiente de convección térmica se determina mediante la siguiente ecuación:

$$h = 1.42 \sqrt[4]{\frac{\Delta T}{L}} * \cos \theta \quad (27)$$

Donde:

$\Delta T$  = Diferencial de temperatura

L = Longitud con la que el aire está en contacto

$\theta$  = Inclinación de la pared

Por lo que remplazando los valores en la ecuación [27] se obtiene que:

$$h_3 = 7.3645$$

Por lo que remplazando los valores en la ecuación [18] se obtiene que la resistencia del aire ( $R_{ap}$ ) es:

$$R_{ap1} = 1.7875 K/W$$

Para la resistencia del acero inoxidable, conductividad térmica del acero, el cual está dado por:

$$k_{ai} = 14.9$$



Remplazan los valores en la ecuación [25], por lo que resulta en:

$$R_{acp} = 8.8349 * 10^{-4} K/W$$

Para la resistencia de la fibra de vidrio, se remplazan los valores en la ecuación [25], por lo que resulta en:

$$R_{fvp} = 1.6877$$

Para la resistencia del aluminio 6061, se remplazan los valores en la ecuación [25], por lo que resulta en:

$$R_{alp} = 9.6322 * 10^{-4} K/W$$

Para la resistencia de convección en la parte externa se determina de la misma manera que la anterior, por lo que en la tabla 16 se determina que: número de Pr, la densidad y la viscosidad dinámica para la parte externa de la tostadora es de:

$$\rho = 1.184$$

$$\mu = 1.849 * 10^{-5}$$

$$Pr = 0.7296$$

Por lo que el número de Gr, remplazando los valores en la ecuación [20]:

$$Gr_L = 663207018.5$$

Por lo que la relación entre Gr y Pr resulta en:

$$Gr_L Pr = 483875840.7$$

Por lo que se determina que el fluido está en estado laminar, por lo que se remplazan los valores en la ecuación [23] y se determina que:

$$h_4 = 7.3645$$

Por lo que se determina que:

$$h_4 = h_3$$

Por ende:

$$R_{a2p} = R_{a1p}$$

Por lo que para comprobarlo se remplazan los valores en la ecuación [22], donde se obtiene que la resistencia del aire ( $R_{a2p}$ ) en la parte externa es:

$$R_{a2p} = 1.7875 \text{ K/W}$$

La resistencia térmica global a la transferencia de calor en la pared del tambor  $R_{tp}$  es:

$$R_{tp} = \Sigma R$$

Donde las resistencias para la sumatoria se pueden encontrar en la tabla [17]:

**Tabla 17**

*Resistencias térmicas de las paredes del tambor*

Resistencias térmicas	Valor de la resistencia en K/W
$R_{a1p}$	7.3645
$R_{acp}$	$9.6322 \cdot 10^{-4}$
$R_{fpv}$	1.6877
$R_{alp}$	$8.8349 \cdot 10^{-4}$
$R_{a2p}$	7.3645

**Nota:** Se pueden observar las diferentes resistencias térmicas que influyen en las paredes del tambor

Por lo que con la resistencia global a la transferencia de calor en la pared del tambor es:

$$R_{tp} = 5.2645 \text{ K/W}$$

Por lo que la pérdida de calor en la pared del tambor  $\dot{Q}_p$ , reemplazando, resulta en:

$$\dot{Q}_p = 42.7387 \text{ W}$$

Además, se pueden considerar pérdidas por a través del eje estriado  $\dot{Q}_e$ , de 6 perfiles nervados, con un diámetro mayor de 38 mm y un diámetro menor de 32 mm el cual tiene una longitud de 175 mm que sostiene al tambor, mediante la Ley de Fourier, que se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_e = k * A * \frac{\Delta T}{L} \quad (28)$$

Donde:

$\dot{Q}_e$  = Pérdida de calor a lo largo del eje

$k$  = Coeficiente de conductividad termica

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura

$L$  = Longitud del eje

Donde el eje es de acero C40, el cual es una aleación principalmente de carbono, silicio y magnesio, por lo que mediante la siguiente tabla se determina el coeficiente de conductividad térmica:

**Tabla 18***Conductividad del acero.*

Composición	k W/mK
Al carbono-manganeso-silicio (1% z Mn <1.65% 0.1% <Si <0.6%)	41.0
Aceros al cromo (bajo): (0.18% C, 0.65% Cr, 0.23% Mo, 0.6% Si)	37.7
(0.16% C, 1% Cr, 0.54% Mo, 0.39% Si)	42.3
(0.2% C, 1.02% Cr, 0.15% V)	48.9

**Nota:** En la tabla se observan las propiedades de diferentes tipos de acero según su composición (Çengel y Ghajar, 2011).

Por lo que el coeficiente de conductividad térmica del acero C40 con base en la Tabla [18] es:

$$k = 41.0 \frac{W}{m * K}$$

Para obtener el área de la sección se aproxima al área de un círculo haciendo un promedio entre los diámetros del eje, por lo que:

$$A = \pi * \left(\frac{dm}{2}\right)^2$$

Donde:

$A$  = Sección del eje

$dm$  = diametro medio del eje

Donde el diámetro medio del eje es:

$$dm = 35 \text{ mm} = 0.035 \text{ m}$$

Por lo que se obtiene que el área es:

$$A = 9.62 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

Sabiendo que la temperatura externa es de 25 °C y en la parte interna es de 250 °C por lo que se obtiene que  $\dot{Q}_e$  es:

$$\dot{Q}_e = 50.7111 \text{ W}$$

También se pueden considerar perdidas de calor por fugas en el espacio existente entre las paredes de la tostadora y el tambor, donde existe un espacio de 2 mm por el cual podría escapar el calor y hacer que la temperatura se vea afectada, por lo que considerando la Ley de Enfriamiento de Newton:

$$\dot{Q} = h * A * \Delta T \quad (29)$$

$h$  = Coeficiente de convección térmica

$A$  = Area de fuga

$\Delta T$  = Diferencial de temperatura entre la parte externa y la parte interna de la tostadora

Donde para obtener el coeficiente de convección  $h_f$ , por lo que se emplea la ecuación [14], debido a que existe rotación del tambor, se considera convección forzada, por lo que con el número de Re se puede determinar si el fluido en este caso aire, se encuentra en estado laminar o turbulento, por lo que para obtener el número de Re se emplea la ecuación [19], por lo que se obtiene que:

$$Re = 19054.43$$

El cálculo del número de Reynolds en un tambor para tostar cacao debido a la forma de fluir del aire alrededor del tambor, que se asemeja más a una pared plana que a una pared cilíndrica. La aplicación de esta aproximación es esencial para determinar el estado de flujo del aire, por lo que se determina que el fluido se encuentra en estado laminar. Para obtener el número de Nu, se emplea la ecuación [21], en la cual se conocen los valores de Re y Pr donde este último es, 0.6746; por lo que Nu es:

$$Nu = 780.512$$

Con esto, empleando la ecuación [14], donde se conocen los valores de Nu, k el cual tiene un valor de  $0.04104 \frac{W}{m \cdot K}$  y L es  $0.002 \text{ m}$ , por lo que el coeficiente de convección térmica es:

$$h = 1601.61 \frac{W}{K \cdot m^2}$$

Además, se determina el área de la fuga, el cual es:

$$A = 2\pi * r_3 * L$$

$$A = 1.95 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Empleando la ecuación [29], se conocen que la temperatura externa es de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  y en la parte interna es de  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ , se obtiene que las perdidas de calor por fugas  $\dot{Q}_f$  es:

$$\dot{Q}_f = 704.1733 \text{ W}$$

Por lo que considerando las perdidas generadas en el eje, por fugas que son de  $704.1733 \text{ W}$ , en la pared del tambor que las perdidas alcanzan hasta los  $42.7387 \text{ W}$  y a lo largo del mismo que son de  $67.6489 \text{ W}$ , se obtiene que la pérdida total de energía  $\dot{Q}_{pt}$  es:

$$\dot{Q}_{pt} = \dot{Q}_t + \dot{Q}_p + \dot{Q}_e + \dot{Q}_f$$

$$\dot{Q}_{pt} = 867.272 \text{ W}$$

### 6.6.5. Energía calorífica requerida para tostar el cacao

La energía calorífica permite la selección adecuada del quemador, pues esta se da en función del calor que se requiere para llevar a la temperatura deseada a las masas del tambor y principalmente a la del cacao en un tiempo determinado. Por lo que se determina:

$$\dot{Q} = \frac{Q_{Total}}{t} \quad (30)$$

Donde:

$\dot{Q}$  = Energía requerida en para tostar tanto el cacao como el tambor.

$Q$  = Calor requerido por el tambor y el cacao.

$t$  = Tiempo en el que el cacao debe llegar a la temperatura deseada

En el tiempo en el que el cacao debe llegar a la temperatura deseada, se debe considerar un tiempo de 7 minutos, por lo que:

$$\dot{Q} = 20814.7361 \text{ W}$$

Por lo que el quemador seleccionado debería ser capaz de proporcionar una energía de hasta, 20814.7361 W.

En base a esto se seleccionaron dos quemadores de la marca polidoro con una sección de 40 mm y una longitud de 600 mm de los cuales son capaces de proporcionar alrededor de la potencia requerida para tostar el cacao.

#### **Figura 14**

*Inercia del cacao en reposo.*

]imagenes/quemador.png

**Fuente:** Polidoro (2019)

#### **6.6.6. Consumo de Gas Licuado de Petróleo (GLP)**

Para determinar el caudal de GLP requerido, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}}{P_{cGLP}} \quad (31)$$

Donde:

$\dot{V}$  = Caudal del fluido

$\dot{Q}$  = Energía requerida

$P_c$  = Poder calorífico del GLP

Para lo cual, primero es necesario determinar el poder calorífico en J/m<sup>3</sup> que tiene el GLP, lo cual se puede obtener de la tabla [19]:

**Tabla 19**

*Propiedades del GLP.*

<b>Propiedad</b>	<b>GLP</b>
Composición	60% Propano y 40% Butano
Fórmula química	C4H10 y C3H8
Gravedad específica	2.05 - 1.56
Poder calorífico	22 244 Kcal/m <sup>3</sup> = 93068896 J/m <sup>3</sup> 11 739 Kcal/Kg = 49115976 J/Kg
Presión de suministro	50 mbar
d Estado físico	Líquido a 20 °C con presión manométrica de 2.5 bar
Color/olor	Incoloro/Inodoro

**Nota:** En la tabla se observan las propiedades del GLP (Osinermin, s.f.).

Es así, que remplazando los valores en la ecuación [31], se obtiene que el caudal de GLP requerido es:

$$\dot{V} = 2.2564 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Por otro lado, teniendo en cuenta que la densidad nominal del GLP 15.6 ± 0.3 °C es:

$$\rho = 538.2 \frac{kg}{m^3}$$

Se puede determinar el flujo másico requerido, empleando la siguiente ecuación:

$$\dot{m} = \rho * \dot{V} \tag{32}$$

De esta manera, reemplazando los valores se determina que:

$$\dot{m} = 0.1203 \frac{kg}{s}$$



Lo que quiere decir que en una hora tiene un consumo de:

$$\dot{m} = 433.3237 \frac{kg}{h}$$

Por lo que según la estructura de precios de junio de 2023 del INEN, y considerando que dicha máquina corresponde al sector agrícola, el GLP por Kg tiene un precio de \$0.188384, dando como resultado que por hora la máquina tendría un consumo máximo de \$81.67 por hora que el quemador este encendido.

Considerando que se desea que cuando una temperatura de 250 y que cuando pierda 10 Grados Celsius el quemador se volverá a encender, por lo que primero se requiere conocer el calor que se debe perder  $Q_d$  para volver a encender el quemador, por lo que se emplea la ecuación [10], se obtiene que se deben perder:

$$Q_d = 386681.44 \text{ J}$$

Ahora se debe conocer en cuanto tiempo se va a dar dicha pérdida, por lo que:

$$t = \frac{Q}{\dot{Q}} \quad (33)$$

Donde:

$t$  = tiempo de pérdida del calor

$Q$  = Calor que se debe perder o ganar

$\dot{Q}$  = Energía perdida o de ganancia

Por lo que mediante la ecuación [33] se obtiene que el tiempo en el que se reducirá dicha temperatura  $t_p$  es:

$$t_p = 445.859 \text{ s}$$

Considerando esto se debe conocer en tiempo se recuperaría  $t_r$  esa energía encendiendo el quemador nuevamente, por lo que:

$$t_r = 18.58 \text{ s}$$

Con esto se puede estimar el consumo de GLP por ciclo de uso, por lo que, considerando que con el ciclo de tostado de 40 minutos se debe encender entre compensar la temperatura

un aproximado de 3 veces:

$$m_{GLP} = 60.3424 \text{ Kg}$$

Esto representaría un costo aproximado de 11.37 USD por ciclo, este costo se vería afectado si es que llegan a existir condiciones diferentes a las planteadas.

## 6.7. Determinación de la potencia requerida del motor

Para la selección del motor se debe conocer la velocidad y el par-motor que se debe generar para poder mover la masa tanto del tambor como de la materia prima, por lo que:

$$\Sigma M = \Sigma I * \alpha \quad (34)$$

Donde:

$\Sigma M$  = Sumatoria de momentos

$\Sigma I$  = Sumatoria de Inercias

$\alpha$  = Aceleración angular

Con respecto a la sumatoria de inercias, es necesario tener en cuenta la inercia tanto del tambor como la del cacao, llevándonos a establecer la siguiente relación):

$$\Sigma I = I_t + I_c + I_e \quad (35)$$

Donde:

$I_{ta}$  = Inercia del tambor

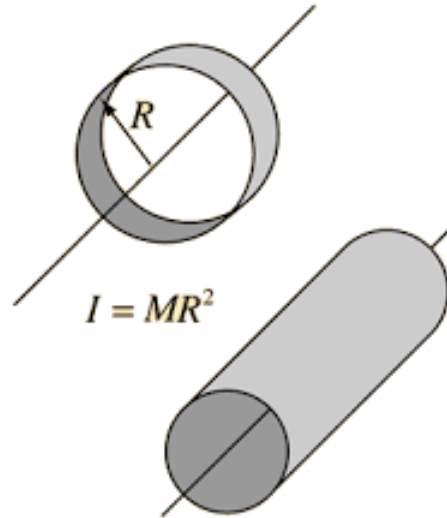
$I_c$  = Inercia del cacao

$I_e$  = Inercia del eje de transmisión

De esta manera, como se indica en la figura 15 se considera el tambor como un cilindro hueco, por lo que su momento de inercia es:

### Figura 15

*Inercia de un cilindro hueco de espesor insignificante*



**Fuente:** Olmo (2023)

$$I_{ta} = m_t * r^2 \tag{36}$$

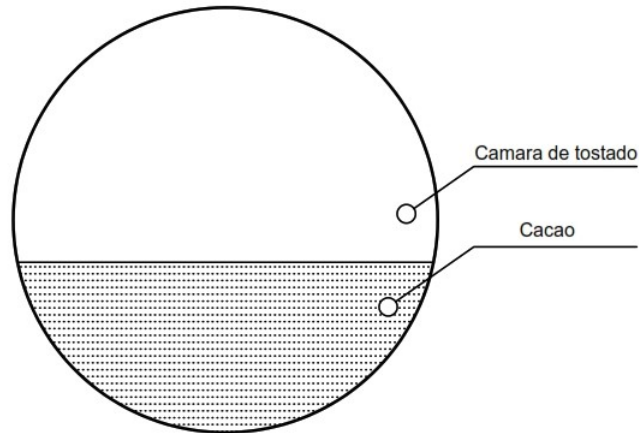
Conociendo que  $m_t = 10.39kg$  ,  $r = 0.1545m$ , y remplazando datos en la fórmula [36] se obtiene:

$$I_{ta} = 0.2480kg * m^2$$

Por otro lado, se debe tener en cuenta que la semilla de cacao solo utilizará el 40% de la capacidad del tambor al encontrarse en estado de reposo, como se observa en la figura (16)

### Figura 16

*Inercia del cacao en reposo.*

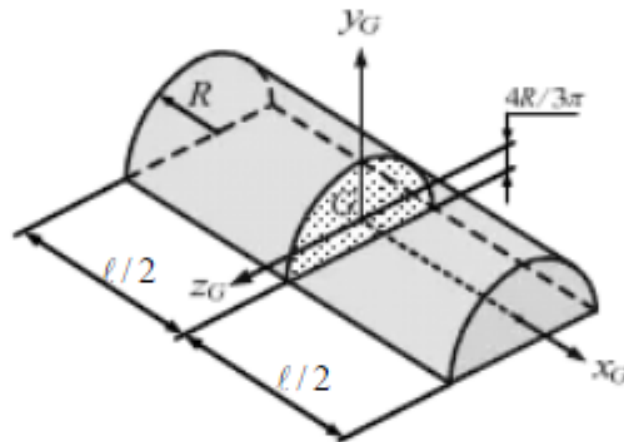


**Fuente:** *Elaboración propia*

Tomando esta consideración, la inercia se calcula en base a la fórmula de inercia de un semicilindro figura (17).

### Figura 17

*Inercia de un Semicilindro.*



**Fuente:** *Pontificia Universidad Católica del Perú*

$$I_{XG} = 0.32mr^2 = I_c \quad (37)$$

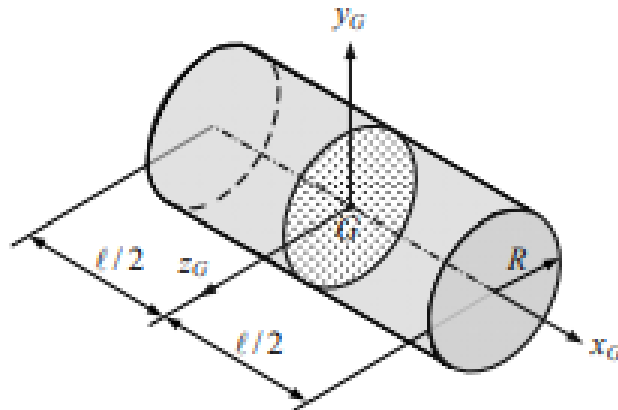
Conociendo que  $m_c = 20kg$  y que el  $r = 0.1545$  y reemplazando de la ecuación 37 obtenemos la inercia del cacao:

$$I_c = 0.15276kg * m^2$$

Para el cálculo de inercias se debe considerar que el sistema dinámico estará conectado a un eje encargado de transmitir la velocidad y el torque del motor, este eje también ejercerá un momento de inercia, se considera a este eje un eje macizo figura (18) cuya inercia está dada por:

**Figura 18**

*Inercia de un eje macizo.*



**Fuente:** Pontificia Universidad Católica del Perú

$$I_e = \frac{1}{2}m_e * r^2 \quad (38)$$

Donde:

$m_e$  = Masa del eje macizo

$r_e$  = Radio del eje macizo

Conociendo que  $m_e = 1.257kg$  y  $r_e = 0.019m$  obtenemos :

$$I_e = 2.268 * 10^{-4}$$

Una vez obtenida la inercia del cacao, la inercia del tambor y la inercia del eje de trasmisión, podemos determinar la suma de inercias dada por la ecuación [35].

$$\Sigma I = 0.400kg * m^2$$

Una vez determinada la suma de inercias se procede con el calculo de la aceleración angular ( $\alpha$ ), la cual es necesaria para determinar de la ecuación [34] :

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \quad (39)$$

Donde:

$\omega_1$  = Velocidad angular inicial

$\omega_2$  = Velocidad angular final

$t_1$  = tiempo de arranque inicial

$t_2$  = tiempo de arranque final

Para determinar las variables que dominan la ecuación [39] se debe tomar en cuenta los siguientes criterios: Dado que el sistema parte del reposo, tanto la velocidad como el tiempo inicial serán cero; el tiempo de arranque de un motor según las fichas técnicas de diferentes motores va de setenta y cinco a ciento cincuenta milisegundos, se tomara en cuenta los setenta y cinco milisegundos como el tiempo de arranque final, en cuanto la velocidad final se tomará un valor de 49 rpm la cual según Rejas (2021) es una velocidad adecuada para el proceso de tostado.

$$\omega_1 = 0rad/s$$

$$\omega_2 = 5.1313rad/s$$

$$t_1 = 0s$$

$$t_2 = 0,075s$$

Por lo tanto, reemplazando las velocidades y tiempos, la aceleración angular es:

$$\alpha = 68.4173 \text{rad/s}^2$$

Para el calculo de sumatoria de momentos, se establece la relación:

$$\Sigma M = M_T - M_0 \quad (40)$$

Donde:

$M_T$  = Momento generado por el motor

$M_0$  = Momento realizado por el cacao

Donde el  $M_0$  se define como:

$$M_0 = m * g * r_{\text{tambor}} \quad (41)$$

Donde:

$m$  = *Masadelcacao*

$g$  = *Gravedad*

$r$  = *Radiodeltambor*

Por lo tanto, reemplazando el valor de la del cacao, gravedad y radio del tambor, se obtiene que el momento generado por el cacao es:

$$M_0 = 30.3266N * m$$

Den igual forma  $M_T$  se define como :

$$M_T = M_0 + \Sigma I * \alpha \quad (42)$$

Remplazando los valores del momento generado por el cacao, la velocidad angular y la sumatoria de inercia, obtenemos que el momento necesario generado por el motor es:

$$M_T = 57.693N * m$$

Una vez obtenido el momento generado por el motor, encontramos el par motor necesario defino por:

$$P_{motor} = M_T * n \quad (43)$$

Donde:

$$n = \text{Velocidad del motor rad/s}$$

$$M_T = \text{Momento generado por el motor}$$

Remplazando los valores obtenemos que el par moto:

$$P_{motor} = 296.042 \text{ W} = 0.397 \text{ HP}$$

Se concluye que se requiere un motor de 0.5 HP para poder mover la carga de 20 Kg de cacao junto con la carga ejercida por el peso del tambor.



## 6.8. Controlador ON/OFF

En el siguiente apartado se realizó la secuencia de control para la máquina tostadora, el control se enfoca en el encendido y el apagado de los motores trifásicos, encargados de controlar el giro del tambor y del enfriador, la temperatura se controlará con una termocupla de la cual se obtendrán los datos para mantener regulada la temperatura. todo esto se realizará en el PLC S7-1200 en el software TIA PORTAL.

### 6.8.1. Controlador

Los controladores básicos SIMATIC S7-1200 son la opción ideal cuando se trata de realizar tareas de automatización de manera flexible y eficiente en el rango de rendimiento medio a bajo. Cuentan con una amplia gama de funciones tecnológicas e IO integradas, así como un diseño especialmente compacto y que ahorra espacio (Siemens, 2023).

Un PLC se compone de:

- Un módulo central (CPU): para las diferentes gamas se ofrecen distintas CPU; las hay con entradas y salidas integradas, y sus correspondientes funciones, y con interfaz integrada, ya sea PROFIBUS DP, PROFINET o punto a punto (Siemens, 2023).
- Módulos de señales (SM) para E/S analógicas y digitales (Siemens, 2023).
- Módulos de comunicaciones (CP) para acoplamiento a bus y conexiones punto a punto (Siemens, 2023).
- Módulos de función (FM) para contaje, posicionamiento (en lazo abierto/cerrado) y regulación rápida (Siemens, 2023).

Funciones del S7-1200:

- La S7-1200 soporta bloques de organización (OB) nuevos con diferencias en cuanto a niveles de prioridad y alarmas. (Siemens, 2023).
- Módulos de interfaz (IM) para la conexión entre la unidad central (ZG) y las unidades de ampliación (EG) en caso de configuración en varias líneas (Siemens, 2023).
- La CPU soporta una placa de ampliación tipo plug-in: Una Signal Board (SB) proporciona E/S adicionales a la CPU. La SB se conecta en la parte frontal de la CPU. • Una placa de comunicación (CB) permite agregar un puerto de comunicación adicional a la

CPU. Una placa de batería (BB) ofrece respaldo a largo plazo del reloj en tiempo real (Siemens, 2023).

- Módulos SIPLUS para condiciones ambientales ampliadas: aptos para el rango de temperatura de -25 a +60 °C y mayores solicitaciones por humedad, condensación y heladas. Aplicables directamente en vehículos o fuera de edificios, instalados en un armario IP 20 que los proteja de la radiación solar directa, de la lluvia y de las salpicaduras de agua. No se necesitan armario climatizado ni caja IP65 (Siemens, 2023).

### Figura 19

*PLC S7-1200 Siemens*



**Fuente:** SIEMENS

### 6.8.2. Declaración de variables

**Tabla 20**

*Definición de las variables de programación*

Tabla de variables	
Variable	Descripción
ON	Botón del encendido general de la máquina
OFF	Botona apagado general de máquina
ON DEL MOTOR DEL TAMBOR	Botón de encendido del motor del tambor
ON DEL MOTOR DEL ENFRIADOR	Botón del encendido del motor del enfriador
OFF DEL MOTOR DEL TAMBOR	Botón de apagado del tambor
OFF DEL MOTOR DEL ENFRIADOR	Botón del apagado del enfriador
BOTON DE EMERGENCIA	Botón de paro de emergencia
SENSOR	Sensor encargado de la lectura de temperatura
QUEMADOR ON	Controlador del encendido del quemador
QUEMADOR OFF	Controlador del apagado del controlador
MOTOR TAMBOR	Motor trifásico del tambor
MOTOR ENFRIADOR	Motor trifásico del enfriador
TEMPERATURA ACTUAL	Temperatura actual censada
TEMPERATURA DESEADA	Temperatura deseada por el operador
PRENDIDO GENERAL	Enclavamiento del encendido de la máquina
APAGADO GENERAL	Enclavamiento del apagado de la máquina
POTENCIÓMETRO DE TEMPERATURA	Perilla de configuración de la temperatura.

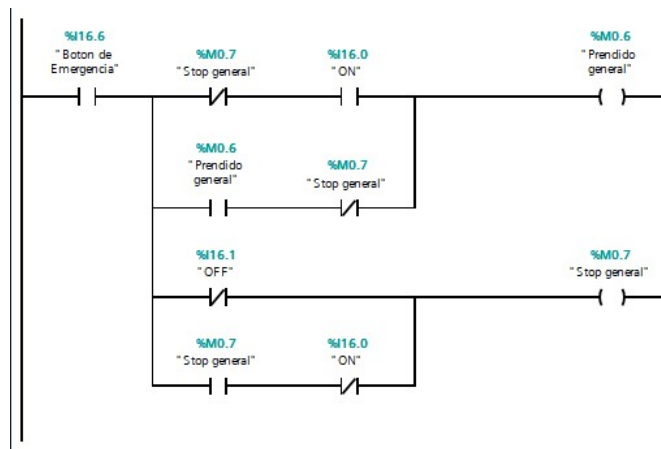
### 6.8.3. Secuencia de control

La secuencia de control se encuentra dividida en 3 partes:

Sección de encendido y apagado general: El operario prendera o apagará la máquina con ayuda los botones ON Y OFF.

**Figura 20**

*Encendido y apagado general*

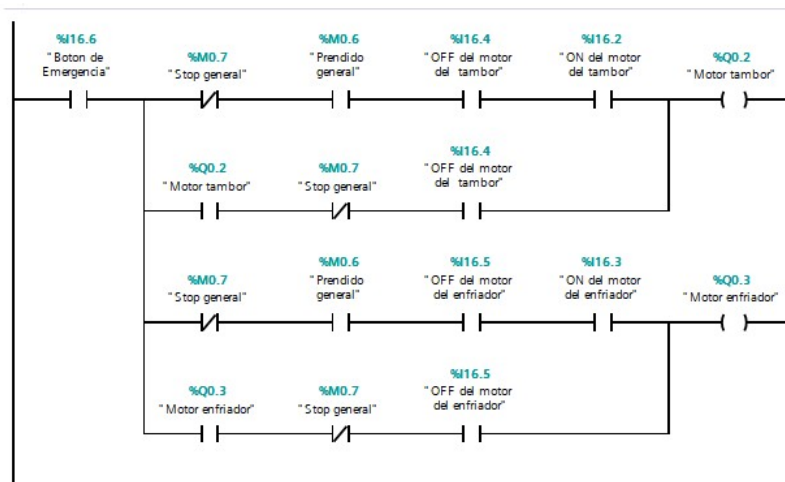


**Fuente:** *Elaboración propia*

Sección del control de actuadores: El operario encenderá o apagará tanto el motor encargado del giro del tambor tanto como el motor encargado del giro del enfriador, el funcionamiento de la secuencia se basa en los botones de encendido y apagado tanto del motor como del enfriador.

**Figura 21**

*Control de actuadores*

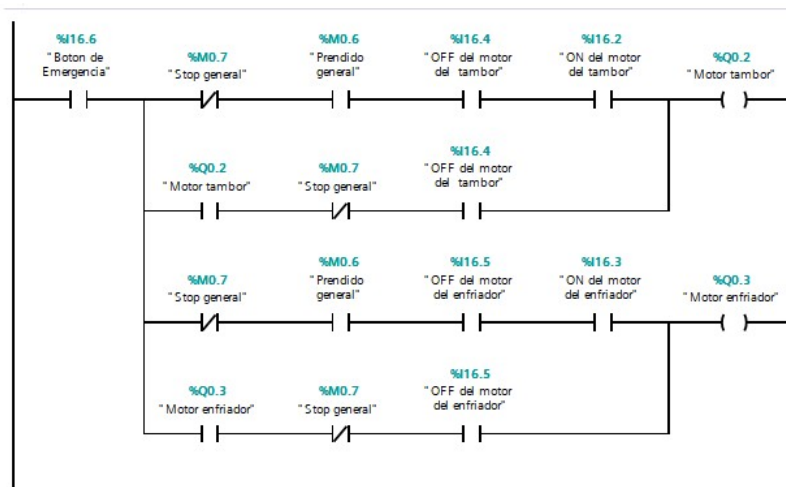


**Fuente:** *Elaboración propia*

Sección del control de temperatura: En esta sección se lee la temperatura de la termocupla, la misma se compara con la temperatura que el operario haya ingresado con la ayuda de un potenciómetro de 0 a 250 grados. Si la temperatura de la cámara es menor a la temperatura deseada el quemador se encenderá, una vez la temperatura de la cámara haya llegado a su temperatura deseada el quemador se apagará figura (22). La lectura del sensor se realizó por medio de una entrada analógica figura (23).

## Figura 22

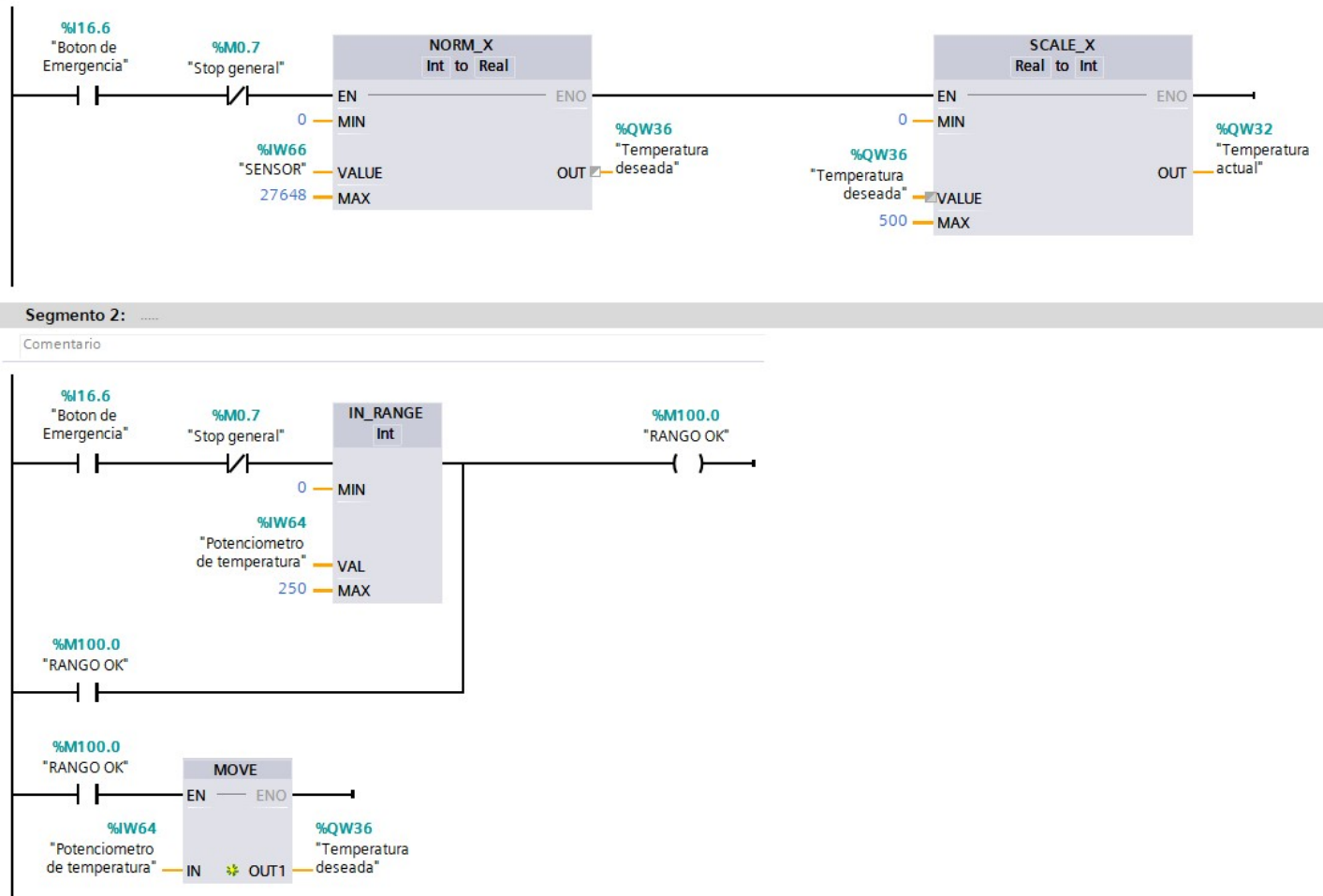
### Control de temperatura



**Fuente:** *Elaboración propia*

**Figura 23**

*Lectura del sensor de temperatura y de la temperatura ingresada*



*Fuente: Elaboración propia*

## 6.9. Estudio de factibilidad económica

### 6.9.1. Costos de diseño

El costo de diseño en el desarrollo de la máquina se discutirá en esta sección. El proceso de diseño es una parte importante de la creación de un proyecto, y en este contexto, el costo se vincula al valor de las horas dedicadas a esta labor. El costo establecido por la Universidad Politécnica Salesiana refleja el valor por hora de trabajo asignado a cada estudiante que participa en el proyecto.

**Tabla 21***Costos de diseño*

<b>Costos de diseño</b>				
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
1	Costo de diseño por hora	80	16	1280
<b>Total</b>				1280

**Nota:** En la tabla se observan los costos de diseño de la maquina por hora empleada en su elaboración.

### **6.9.2. Costos de materiales y componentes**

Los costos de materiales y componentes proyectados para el desarrollo de la máquina se presentarán de manera concisa y directa en esta sección. El enfoque se centra en la evaluación de los gastos relacionados con la adquisición de los materiales y componentes necesarios para el proyecto, utilizando el contexto del mercado actual. Se proporcionará una comprensión clara de la inversión requerida en términos materiales al proporcionar una lista detallada de los componentes junto con sus costos estimados. Para garantizar la viabilidad económica del proyecto durante la fase de ejecución de la máquina, esta información será crucial para una planificación y gestión financieras adecuadas.

**Tabla 22***Costos de materiales*

Item	Descripción	Costos de Materiales			
		Cant.	Tamaño Comercial	Cost. Unit.	Costo Total USD
1	Plancha de Aluminio 541 x 726 x 3 mm	1	3 x 1120 x 2440	mm	181.79
2	Plancha de Aluminio de 968 x 726 x 3 mm	1	3x1120x2440	mm	181.79
3	Plancha de acero inoxidable AISI 304 648 x 856 x 1 mm	1	1x1120x2440	mm	110.10
4	Aislamiento térmico de fibra de vidrio	1	1200x12000x100	mm	59.35
5	Plancha de acero inoxidable AISI 304 648 x 856 x 1 mm	1	1x1120x2440	mm	110.10
6	Plancha de acero inoxidable AISI 304 1272 x 185 x 1 mm	1	1x1120x2440	mm	110.10
7	Eje de acero inox AISI 304 Diámetro de 60 mm Longitud de 180 mm	1	Diámetro 60 Longitud 180	mm	12
8	Eje de acero inox AISI 304 Diámetro de 25 mm Longitud de 170 mm	1	Diámetro 25 Longitud 170	mm	12
9	Eje estriado acero C40 Diámetro de 38-32 mm Longitud de 250 mm	1	Diámetro 38-32 Longitud 250	mm	36.82
10	Eje de Aluminio Diámetro de 50 mm Longitud de 841 mm	1	Diámetro 50 Longitud 841	mm	7
11	Eje de Aluminio Diámetro de 70 mm Longitud de 170 mm	1	Diámetro 70 Longitud 170	mm	7
<b>Total</b>					827.75

**Nota:** En la tabla se observan los costos de los diferentes materiales empleados para la construcción de la maquina.



**Tabla 23***Costos de componentes*

<b>Costos de componentes</b>			
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
1	MOTOR SIEMENS IEC 0.75 HP 1800RPM	2	260,74
2	Caja Reductora 40:1	1	394,59
3	Caja Reductora 30:1	1	278,23
4	Polidoro Tubular burner D40mm L680mm	2	116
5	PLC SIEMENS S7-1200 1214C	1	319,10
6	Termocupla Tipo K TL1004	1	11,99
7	Chispero Mabe 6731	1	1,51
8	Contactora HVAC	2	37,98
9	ZGLEDUN Thermal Overload Relay Electric Heat Motor	2	21,98
10	GUARDAMOTOR 3A	2	57,00
11	Tablero de Control	1	10,50
12	Tubería para gas	1	12,98
13	DN32 UPVC Thread Electric Ball Valve	1	68,00
14	Acople para eje estriado	1	10,45
15	Chumacera 38 mm	1	35.86
16	Chumacera 32 mm	1	31.91
<b>Total</b>			<b>1255.23</b>

**Nota:** En la tabla se observan los costos de los diferentes componentes empleados para el funcionamiento de la maquina.

### **6.9.3. Costos de fabricación**

Se abordarán los costos de fabricación previstos durante el proceso de desarrollo de la máquina. El enfoque se centra en la evaluación de los gastos directamente relacionados con la producción y la manufactura del proyecto. Aquí, se considerarán los costos de mano de obra involucrada en la fabricación, los costos de operación de maquinaria y equipos, así como otros gastos relacionados con la producción.

**Tabla 24***Costos de fabricación*

<b>Costos de fabricación</b>				
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Cost. Unit.</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
1	Corte de Planchas	11	1	11
2	Rolado de Planchas	1	5	5
3	Soldadura de Planchas (TIG)	10	2.50	25
4	Soldadura de Planchas (SNAW)	5	1.20	6
5	Proceso de ensamblaje	1	150	150
6	Mecanizado	18	25	450
<b>Total</b>				<b>1 142</b>

**Nota:** En la tabla se observan los costos del proceso de fabricación de la maquina.

A continuación se presentarán los costos para el desarrollo de la máquina, considerando los costos de diseño, de los componentes requeridos, materiales y la fabricación.

**Tabla 25***Costos totales*

<b>Costos total</b>		
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
1	Costo de diseño	1 280
2	Costo de componentes	1 255.23
3	Costo de materiales	827.75
4	Costo de fabricación	1 142
<b>Total</b>		<b>4 504.98</b>

**Nota:** En la tabla se observan los costos totales para la construcción de la maquina.

## 6.10. Precios de las máquinas existentes en el mercado

En la Tabla [26] los diferentes costos de maquinaria existente en el mercado, pues en el caso de la construcción de la máquina, esta sería la competencia existente.

**Tabla 26***Máquinas existentes en el mercado*

Tostadoras de Cacao en el Mercado	
<b>Descripción</b>	<b>Costo Total (USD)</b>
Italian gemma sweet millcity industrial comercial diesel 60 kg	43 180
Tunisia industrial automated 30kg	20 383
Yoshan Giesen Industrial Home Electric Hot Air 5Kg	8 999
Tostador de Café Bideli 3kg	7 100
Giesen Yoshan Tostadora Gas Cast Iron 10Kg	13 800

**Nota:** En la tabla los diferentes precios de tostadoras en el mercado.

## 7. Resultados

### 7.1. Establecer los parámetros iniciales para el tostado de cacao para productores minoristas

El tostado del cacao se rige por tres parámetros principales: temperatura, tiempo y velocidad del tambor de la tostadora. La investigación ha determinado que la temperatura de tostado debe oscilar entre los 90 y 140 °C, aun considerando esto la empresa Chocotics supo expresar que deseaba que la temperatura máxima sea de hasta 250 °C; mientras que los tiempos de tostado varían de 20 a 40 minutos según la temperatura y el tipo de tostado deseado. Por otro lado, se ha constatado que la velocidad del tambor, con un rango óptimo entre 35 y 65 RPM, no ejerce un impacto significativo en la calidad del tostado del cacao. Al enfocarse en estos parámetros fundamentales, los productores podrán obtener resultados consistentes y satisfactorios en el proceso de tostado del cacao, lo que a su vez se traduce en una mejora significativa en la calidad y sabor de sus productos finales.

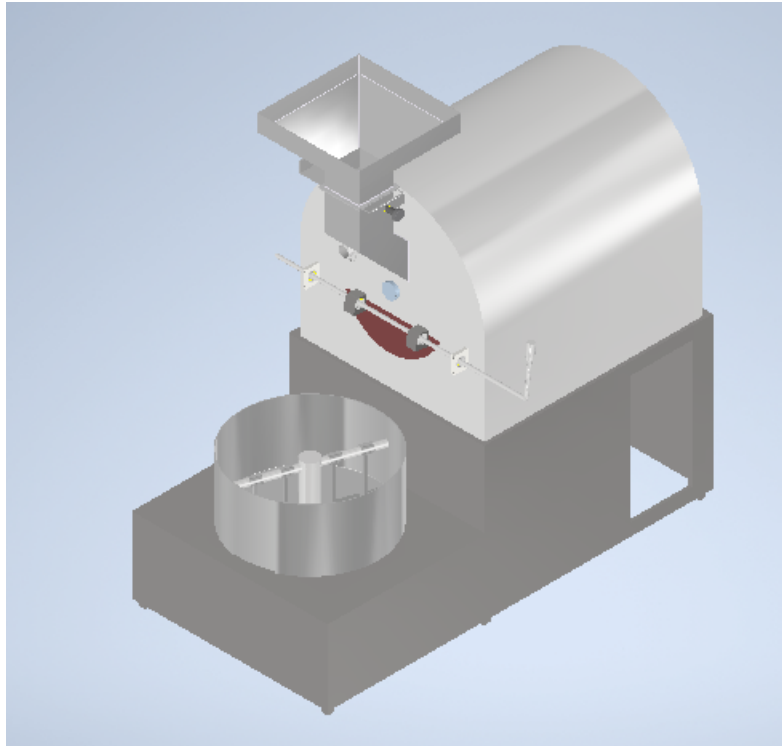
### 7.2. Proponer el diseño mecatrónico de una tostadora de cacao para productores minoristas

En esta sección, se desarrolló un diseño de tostadora de tambor que utiliza gas licuado de petróleo (GLP) como fuente de energía para tostar las semillas de cacao, como la que se puede observar en la Figura [24]. El enfoque se centró en satisfacer las necesidades específicas

de Chocotics, la empresa en cuestión, y se eligió este diseño debido a que se ajustaba más al presupuesto disponible para su construcción. La tostadora de tambor resultante permitirá a Chocotics llevar a cabo el proceso de tostado de manera eficiente y asequible, lo que es esencial para producir cacao de calidad.

#### **Figura 24**

*Diseño de la propuesta de la tostadora.*



**Fuente:** *Elaboración propia*

### **7.3. Realizar un estudio de la factibilidad económica para la construcción de una máquina tostadora de cacao de costo reducido para productores minoristas**

Se hizo un estudio para ver si sería viable económicamente construir la máquina tostadora de cacao diseñada, pensada especialmente para productores pequeños. En ese estudio, se revisaron cuidadosamente los costos de materiales, elementos, dispositivos, maquinaria adquirida y procesos de manufactura. También se exploraron diferentes opciones para reducir gastos sin sacrificar la calidad y eficiencia del equipo. Al comparar estos costos con el precio de comprar

una máquina ya hecha en el mercado, se encontró que construir la tostadora diseñada es una decisión más rentable para los productores minoristas.

## 8. Conclusiones

La consecución exitosa del objetivo general de diseñar una máquina tostadora de cacao de bajo costo es un logro importante en la búsqueda de soluciones accesibles para los productores minoristas. Se ha demostrado con esta iniciativa que es factible crear una maquinaria eficiente y económica que sea compatible con las necesidades y capacidades financieras de los pequeños productores. La mejora de la calidad del cacao y la competitividad en el mercado se fomentan al facilitar el acceso a la tecnología de tostado, lo que puede tener un impacto positivo en la sostenibilidad económica de las comunidades cacaoteras.

Este enfoque adaptable también permite a los productores minoristas experimentar y mejorar continuamente su proceso de tostado a medida que adquieren más conocimientos y experiencia en la manipulación de la tostadora. La retroalimentación constante y la capacidad de realizar ajustes precisos en la temperatura a lo largo del proceso de tostado pueden resultar en mejoras significativas en la consistencia y homogeneidad del producto final. Además, la velocidad del tambor como parámetro fijo juega un papel esencial en el proceso de tostado, ya que asegura una distribución uniforme del calor. Esta uniformidad en el tostado contribuye a obtener un producto final de calidad y permite a los productores mantener estándares constantes en su oferta.

El diseño de la tostadora de cacao se adaptó a los recursos y las necesidades del productor minorista Chocotics. Buscando ofrecer una máquina accesible y funcional, la propuesta de diseño considera tanto la eficiencia en el tostado como la viabilidad económica. Este diseño es una herramienta que podría aumentar la capacidad de producir y mejorar la calidad del cacao tostado, contribuyendo al crecimiento sostenible de la industria cacaotera local.

La evaluación detallada de la viabilidad económica de la máquina tostadora propuesta ayudó a las decisiones de inversión y producción al identificar desafíos potenciales y oportunidades para reducir costos y mejorar la eficiencia del proceso de construcción.

## 9. Recomendaciones

Se recomienda realizar una investigación exhaustiva de los tipos de tostadoras disponibles en el mercado y las tecnologías emergentes. Examinar alternativas que podrían brindar nuevas posibilidades para mejorar el proceso de tostado y obtener resultados más eficientes y consistentes. Se sugiere la creación de un sistema de control de temperatura que pueda ajustarse a la curva de tostado del cacao para mejorar el diseño de la tostadora de cacao. Esto garantizaría una tostada constante del cacao, lo que aumentaría significativamente la calidad del producto final. Esta funcionalidad, que incluye un mecanismo de velocidad variable del tambor, permitiría ajustar las condiciones de tostado según las necesidades específicas de cada lote de cacao. Por ejemplo, se podría reducir la velocidad del tambor para concentrarse en la calidad del tostado o aumentar la velocidad del tambor para aumentar la producción. La capacidad de ajustar la velocidad del tambor permite un mayor control sobre el proceso y permite adaptar el tostado a diferentes variedades de cacao o materia prima.

Antes de llevar a cabo las mejoras propuestas, es esencial llevar a cabo un análisis exhaustivo de los costos y la viabilidad económica. Para tomar decisiones informadas y asegurarse de que el diseño sea asequible y rentable para los productores minoristas, es necesario evaluar el impacto de estas mejoras en la inversión inicial y los ahorros a largo plazo. Es fundamental trabajar en equipo con productores y especialistas de la industria. En el proceso de diseño, obtenga comentarios útiles sobre las mejoras propuestas y aprenda sobre las necesidades específicas de los productores para asegurarse de que la tostadora se adapte de manera óptima a las condiciones reales del mercado.

## Referencias

- Alsimet.es. (2017). *Acero inoxidable: un imprescindible en la industria alimentaria* / alsimet. Descargado de <http://alsimet.es/es/noticias/acero-inoxidable-industria-alimentaria#:~:text=El%20acero%20inoxidable%20es%20el,y%20manganeso%20en%20menor%20medida>.
- Amaliyah, N., y Sunarti, S. (2018). *Analisis relationship marketing terhadap kepuasan pelanggan dan dampaknya pada loyalitas pelanggan (survei pada pelanggan java dancer coffee roaster)*. Jurnal Administrasi Bisnis.
- Andrade, J., y Rivera, J. (2019, Diciembre). *Propiedades físicas y químicas de cultivares de cacao theobroma cacao l. de ecuador y Perú*. [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-65422019000400001](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422019000400001). ((Recuperado en 29/03/2023))
- Anonimo. (2023). Factibilidad económica. <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/22832/Capitulo3.pdf>.
- Aranque, W., y Argüello, A. (2021). Cacao ecuatoriano, una fuente de oportunidades de negocio para emprendedores y pyme exportadoras. <https://www.uasb.edu.ec/observatorio-pyme/wp-content/uploads/sites/6/2021/04/ARTICULO-CACAO-FINAL-2-1.pdf> Consultado:20/12/2022.
- Araque, W., y Argüello, A. (2014, abril). *Agroindustria-elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería*. <https://www.uasb.edu.ec/observatorio-pyme/wp-content/uploads/sites/6/2021/04/ARTICULO-CACAO-FINAL-2-1.pdf>. ((Consultado:20/12/2022))
- Arciniega, R. (2014). *MÁQUINA TOSTADORA ROTATORIA DE MANÍ PARA LA INDUSTRIA ARTESANAL CON SISTEMA SEMIAUTOMÁTICO*.
- Arnulfo, L., y Pinzon, P. (2014). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TOSTADORA DE CAFÉ POR LECHO FLUIDIZADO*.
- Arvelo, M., González, D., Maroto, S., Delgado, T., y Mopntoya, P. (2017). *Manual técnico del cultivo de cacao buenas prácticas para latino america*. IICA, Representación Costa Rica.
- Bideli. (2023). Bideli. <https://coffeeoastco.com/collections/bideli/products/bideli-3kg-coffee-roaster>.
- Çengel, Y. A., y Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa: fundamentos y aplicaciones, cuarta edición*. McGraw-Hill Interamericana.
- ClimaArte. (s.f.). *Mantenimiento de calderas y limpieza de calentadores - climaarte*. <https://>

- climaarte.com/mantenimiento-calderas-limpieza-calentadores/. ((Accessed on 06/13/2023))
- Crespo, J. (2017, Dec). “*debe detenerse la entrada de material ccn-51 a venezuela*”: Luis valera / viva el cacao. Descargado de <https://vivaelcacao.com/debe-detenerse-la-entrada-de-material-ccn-51-a-venezuela-luis-valera/>
- Fontagro. (2021). Innovación tecnológica en cacao andino. <https://webstories.fontagro.org/cacao-andinonavigation> Consultado:20/12/2022.
- Fussiona. (s.f.). *Cómo realizar el mantenimiento de un reductor - fussiona*. <https://fussiona.com/2020/12/03/como-realizar-el-mantenimiento-de-un-reductor/>. ((Accessed on 06/13/2023))
- GIZ, L. P. (2023). *Catálogo de maquinaria para procesamiento de cacao*. [https://energypedia.info/images/0/08/Maquinaria\\_para\\_Cacao.pdf](https://energypedia.info/images/0/08/Maquinaria_para_Cacao.pdf).
- Gutiérrez, M. (2021). Tecnología de tostado del grano de cacao. <https://camcafeperu.com.pe/ES/articulo.php?id=122> Consultado:20/12/2022.
- INEN. (2005). Cacao en grano. requisitos. *NTE INEN 0176 (2006) (Spanish): Cacao en grano. Requisitos* Consultado:16/05/2023.
- Leon, M. (2018, 11). *Proceso de elaboración del chocolate*. <https://www.emaze.com/@alrctcicf/diapositiva-sobre-el-chocolate-M1V>. ((Recuperado el 07/05/2023))
- López, J. (s.f.). *Mantenimiento compresores de aire comprimido industrial*. <https://www.seguas.com/mantenimiento-preventivo-de-compresores-aire-industrial/>. ((Accessed on 06/13/2023))
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2013). Innovación tecnológica en cacao andino. <https://www.icco.org/wp-content/uploads/2019/07/CB-Ecuador.pdf> Consultado:20/12/2022.
- Ministerio de Cultura y Patrimonio. (2015, Mar). *El intenso color del cacao ecuatoriano – ministerio de cultura y patrimonio*. Descargado de <https://www.culturaypatrimonio.gob.ec/el-intenso-color-del-cacao-ecuatoriano/>
- NTN. (s.f.). *Cuidado y mantenimiento de los rodamientos*. [https://www.ntn-snr.com/sites/default/files/2019-11/ntn-care-and-maintenance3017-ii\\_s.pdf](https://www.ntn-snr.com/sites/default/files/2019-11/ntn-care-and-maintenance3017-ii_s.pdf).
- Ogata, K. (2018). *System dynamics*. Uttar Pardesh, India.
- Olmo, M. (2023). *Parallel axis theorem*. Descargado de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/ihoop.html>
- Osinergmin. (s.f.). *El gas natural y sus diferencias con el glp*. <https://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/hm000661.pdf>. ((Accessed on 06/19/2023))
- PNG EGG. (s.f.). *Elipsoide esferoide elipse afín transformación círculo, círculo, ángulo, esfera*



- png* / *pngegg*. <https://www.pngegg.com/es/png-hbcyy>. ((Accessed on 06/26/2023))
- Polidoro. (2019). *The superinvestors of graham-and-doddsville*. Descargado 2023-06-26, de <https://polidoro.com/en/product/tubular-burners/>
- Pozo, L. (2016). *Implementación de un sistema de control de perfil de calentamiento y agitación para un tostador por resistencias eléctricas con capacidad de 25 libras de café de quinua*. Universidad Técnica Del Norte.
- PROBAT. (2010). Manual de aplicaciones en la industria del café. *Consultado:19/04/2023*.
- Procon ingenieros. (s.f.). *Mantenimiento y ampliación de sistemas de control | programación y control automático*. <http://proconingenieros.com/mantenimiento-sistemas-de-control/>. ((Accessed on ))
- Rejas, V. (2021). *Cambios fisicoquímicos y organolépticos en el tostado del cacao*. Universidad Mayor Real, La Paz.
- República del Cacao. (Recuperado en 2022). Cacao nacional en la tierra del cacao. <https://republicadelcacao.com/es/blogs/news/cacao-nacional-in-the-motherland-of-cacao> Consultado:20/12/2022.
- Richard G, J. N., Budynas. (2012,2008). *Diseño en ingeniería mecánica de shigley novena edición*. McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES S.A. DE C.V.
- Siemens. (2023, 07). *S7-300 - global ebusiness - siemens ww*. <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/WW/Catalog/Products/5000013>. ((Accessed on 07/30/2023))
- Smith, C., y Corripio, A. (2014). *Control automático de procesos: teoría y práctica*. Limusa Wiley.
- Solumant. (s.f.). *Mantenimiento de motores eléctricos*. – *solumant*. <https://solumant.com/mantenimiento-de-motores-electricos/>. ((Accessed on 06/13/2023))
- Superintendencia de Compañías. (2021). *Elaboración de cacao, chocolate*. <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2021/fichas-sectoriales-2-trimestre/Ficha-Sectorial-Cacao.pdf>. ((Accessed on 07/05/2023))
- Technology, Z. R. I. (2023). Horno tostador de granos de cacao. [https://es.made-in-china.com/coffee-roasterchina/product\\_Cocoa-Bean-Roaster-Baking-Oven-LQ-100HX.html](https://es.made-in-china.com/coffee-roasterchina/product_Cocoa-Bean-Roaster-Baking-Oven-LQ-100HX.html).
- Tipán, L. (2009). *Diseño y construcción de una tostadora continua de cebada*.
- TSHS. (2020). Secador/tostador de lecho fluidizado continuo. <https://www.tsunghsing.com.tw/es/product/SecadorTostador-de-Lecho-Fluidizado-Continuo/continuousfluidizedbeddryer.html> Consultado : 19/04/2023.
- Villamizar de Borrero, F., y Hernández, J. E. (s.f.). Determinación de parámetros y simu-

lación matemática del proceso de secado de cacao (theobroma cacao). *Ingeniería e Investigación*.

VULCANO TEC. (2023). Tostador rotativo. <https://vulcanotec.com/maquinaria/tostador-rotativo/> Consultado:19/04/2023.

# **ANEXOS**

## Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica

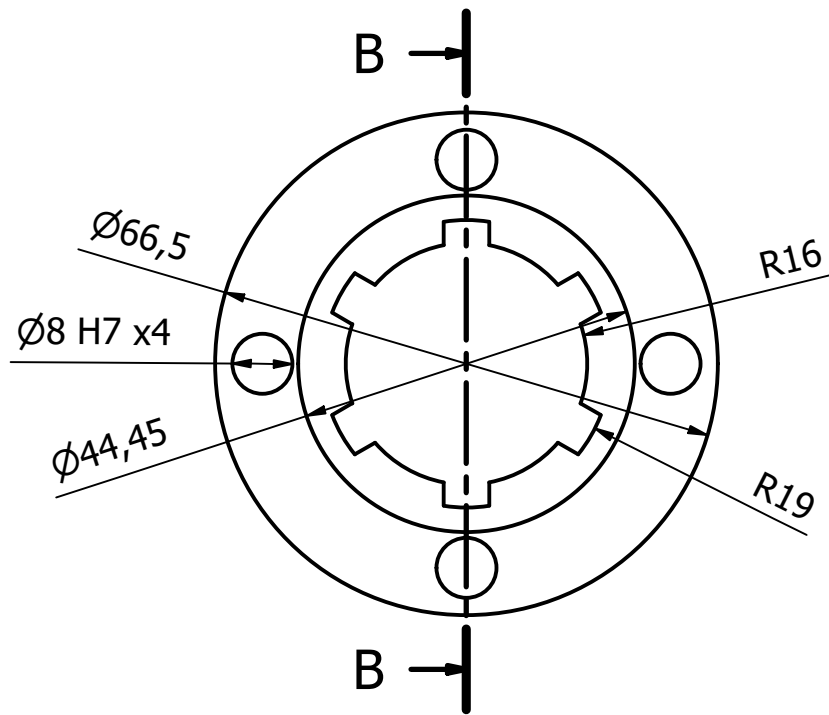
Tabla 27

*Matriz de consistencia.*

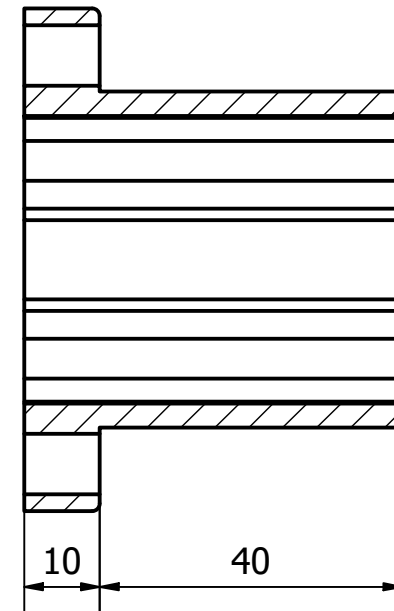
MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Cuál es el diseño adecuado de una máquina tostadora de cacao de un costo reducido para productores minoristas?	Diseñar una máquina tostadora de cacao de bajo costo para productores minoristas.	El diseño de una máquina tostadora de cacao permitirá reducir los costos para productores minoristas.	-VI: Diseño. -VD: Calidad.	El cacao en Ecuador .
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Se podrá establecer los parámetros para el proceso de tostado de cacao para obtener la calidad deseada?	Establecer los parámetros iniciales para el tostado de cacao para productores minoristas.	Se establecerán los parámetros para el proceso de tostado de cacao para productores minoristas para obtener la calidad deseada del mismo.	-VI: Parametros. -VD: Calidad.	Proceso del Tostado de Cacao
¿Se podrá realizar un diseño de una tostadora de cacao para productores minoristas?	Proponer el diseño de una tostadora de cacao para productores minoristas.	Se establecerá un diseño de la tostadora de cacao para productores minoristas.	-VI: Diseño. -VD: Calidad.	Diseño mecatrónico
¿Es adecuado realizar un estudio de factibilidad económica para la construcción de una máquina tostadora de cacao?	Realizar un estudio de la factibilidad económica para la construcción de una máquina tostadora de cacao de costo reducido para productores minoristas.	Se estudiará la factibilidad económica para la construcción de una máquina tostadora de cacao de costo reducido para productores minoristas.	-VI: Factibilidad económica. -VD:Calidad.	Factibilidad Económica


**Nota:** La matriz de consistencia presentada facilita identificar la relación que existe entre las variables y los objetivos además de como se relaciona con el marco teórico referencial.

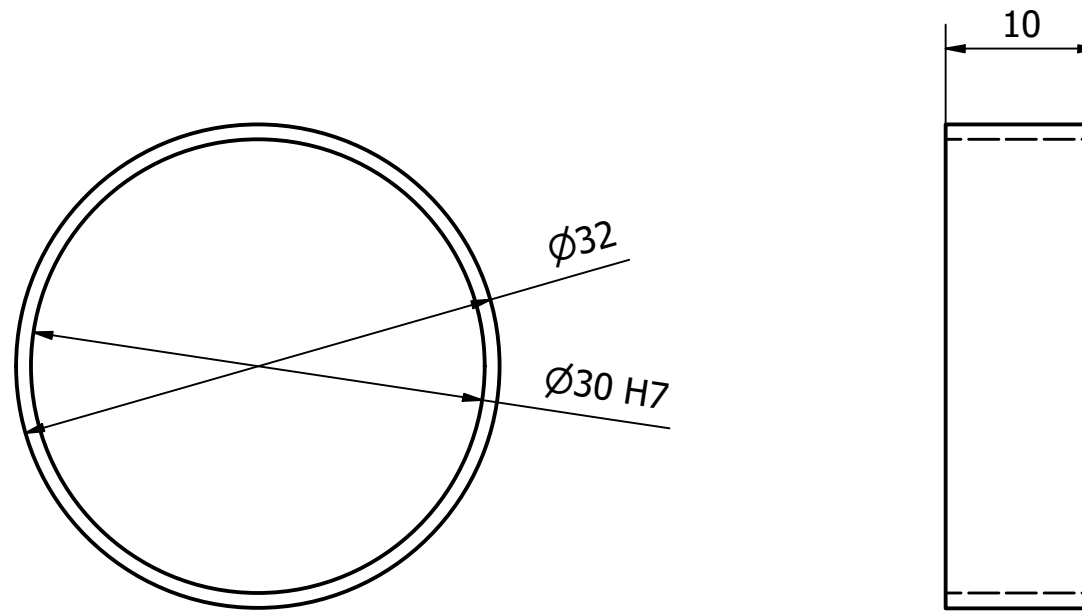
## **Anexo B: Planos de la máquina**



B-B ( 1 : 1 )

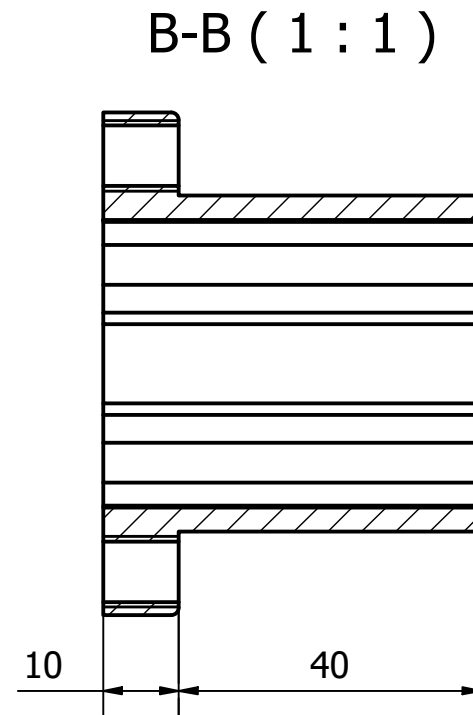
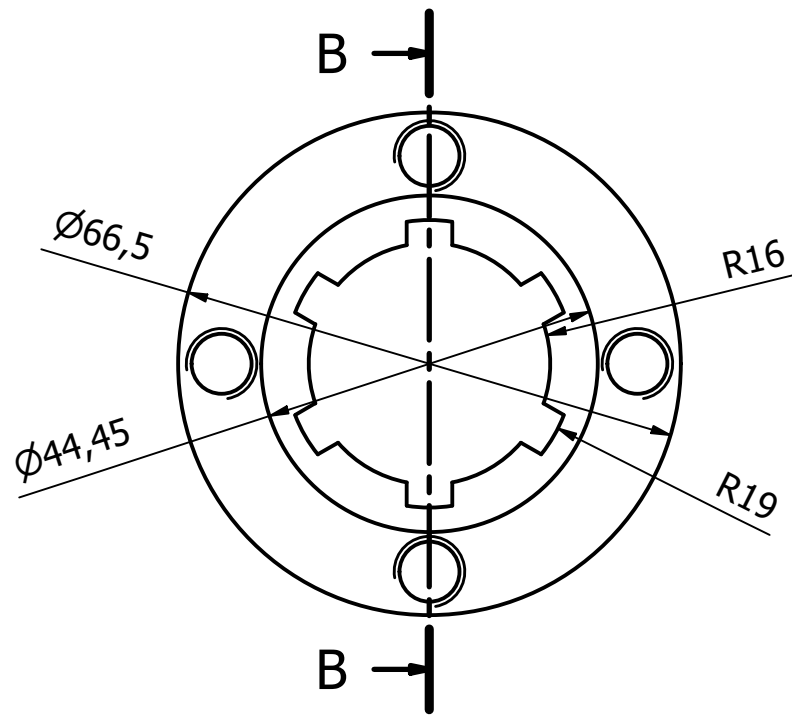


----				Steel		
POS	Cant.	Denominación		Material	Norma	Notas
WorkInProgress		Fecha	Nombre			
Dibujado		10/05/2023	elias			
Revisado						
Escala		Proyecto:				
1 : 1						
Lamina:	1					



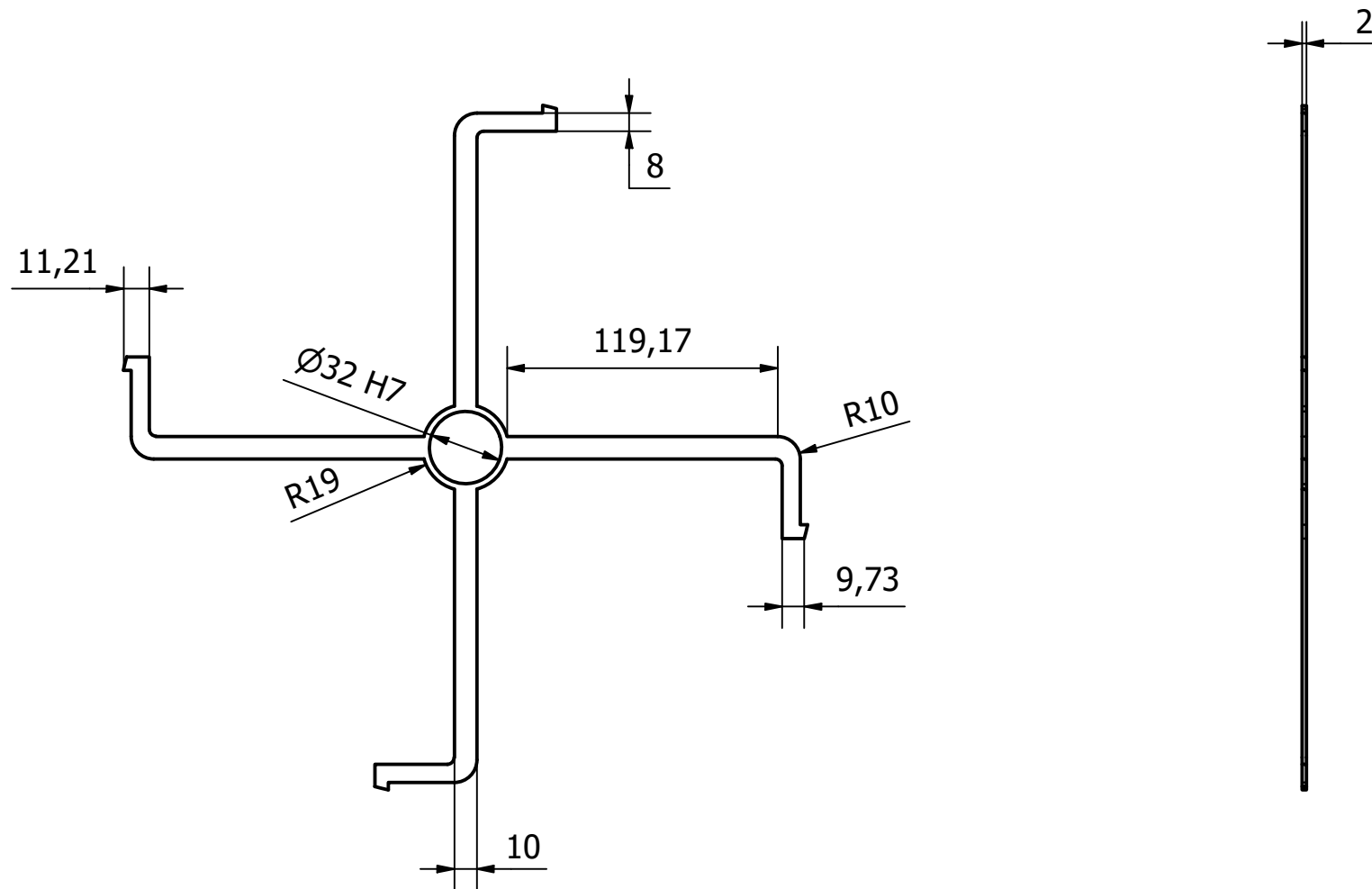
Acople en el cual las espas seran


-----			Stainless Steel AISI 304		soldadas y unidas al eje interno del tambor.
POS	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
Released	Fecha	Nombre	 CHOCOTICS		
Dibujado	22/07/2023	E.LÓPEZ-G.SOLÓRZANO			
Revisado		ING. JULIO LÓJA			
			Acople en el cual las espas seran soldadas y unidas al eje interno del tambor.		
Escala		Proyecto:	TOSTADORA DE CACAO		
2 : 1		<h2>Acople cuchillas</h2>			
Lamina:	1				

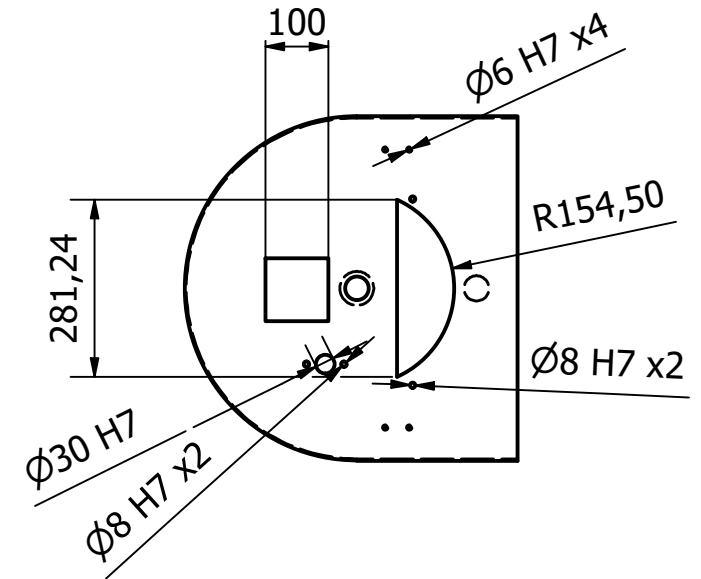
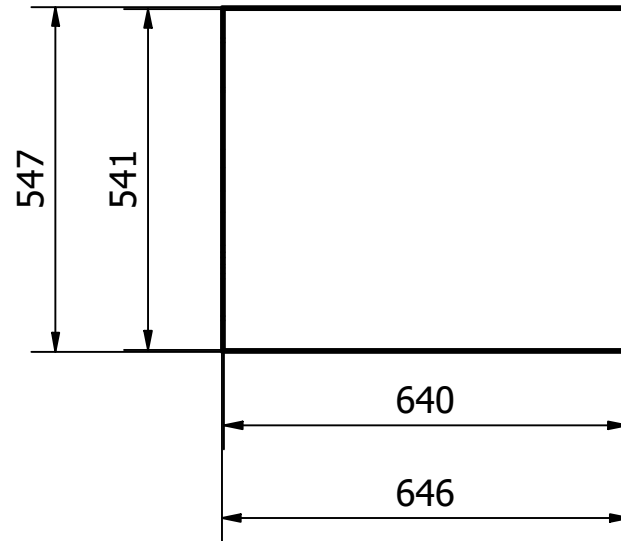
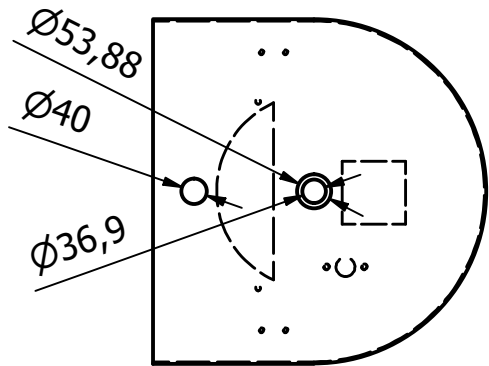



----				Steel AISI 4150		
POS	Cant.	Denominación		Material	Norma	Notas
Released	Fecha	Nombre			CHOCOTICS	
Dibujado	10/05/2023	E.LÓPEZ-G.SOLÓRZANO				
Revisado		ING.JULIO LÓJA				
Escala		Proyecto: TOSTADORA DE CACAO				
1 : 1						
Lamina:	1	<b>ACOPLE EJE ESTRIADO</b>				

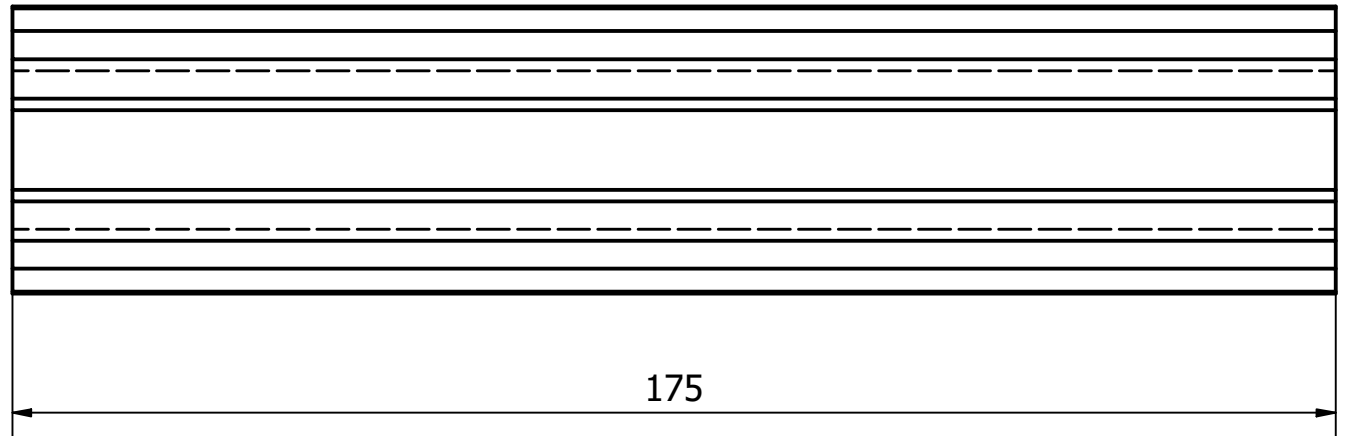
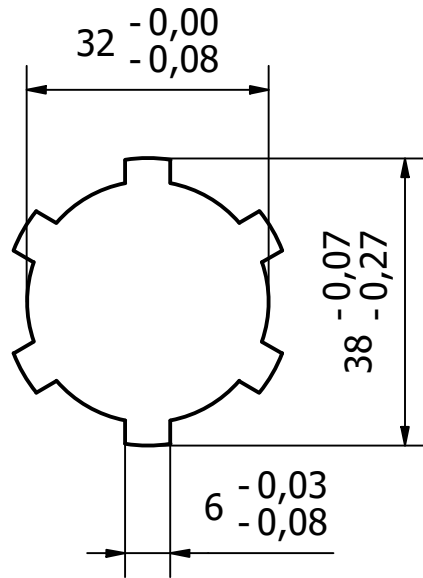




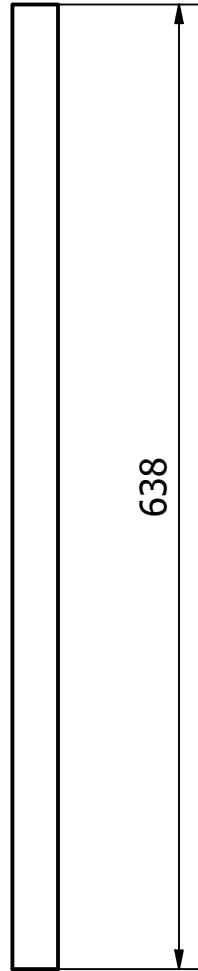
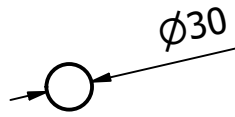
----				Stainless Steel AISI 304		
POS	Cant.	Denominación		Material	Norma	Notas
Released		Fecha	Nombre	 CHOCOTICS		
Dibujado		22/07/2023	E.LÓPEZ-G.SOLORZANO			
Revisado			ING. JULIO LÓJA			
Escala		Proyecto:		TOSTADORA DE CACAO		
1 : 3						
Lamina:	1	<b>ASPAS INTERNAS</b>				



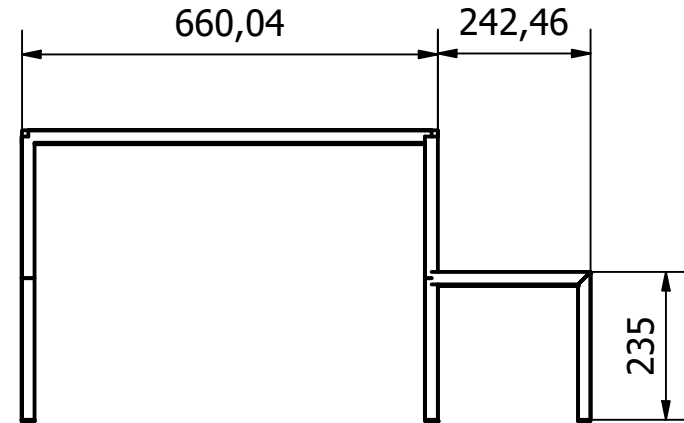
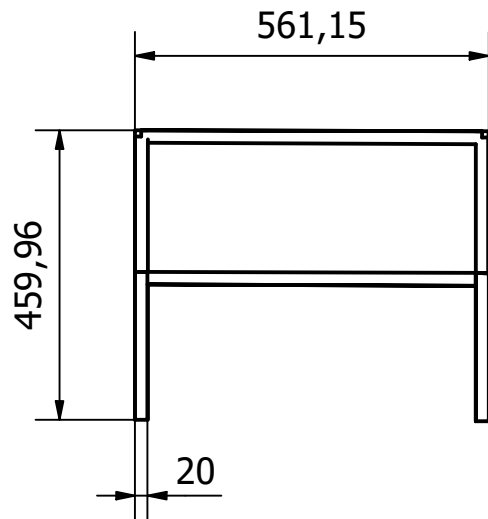
----			Aluminum 6061-AHC		
POS	Cant.	Denominación		Material	Norma
Released		Fecha	Nombre	CHOCOTICS  CHOCOTICS	
Dibujado		04/05/2023	E.LÓPEZ G.SOLÓRZANO		
Revisado			ING. JULIO LÓJA		
Escala		Proyecto: TOSTADORA DE CACAO			
1 : 12		<h2>CARCASA EXTERIOR</h2>			
Lamina:	1				




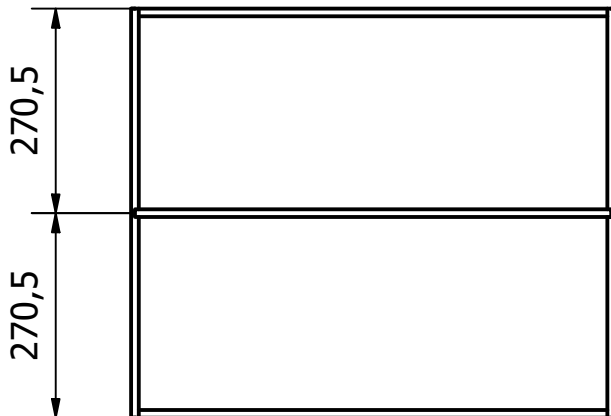
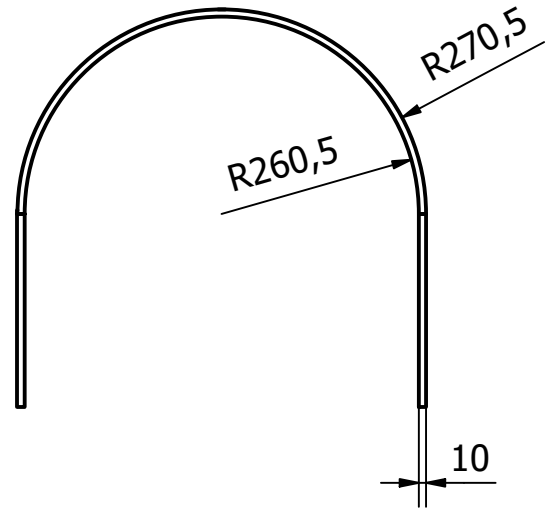
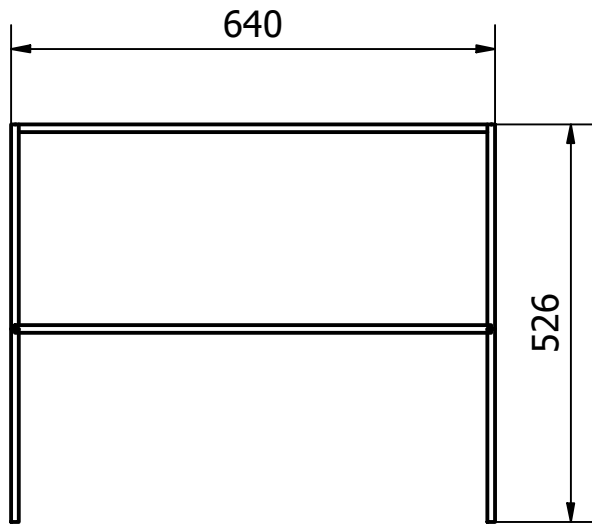
----				Steel AISI 4150		
POS	Cant.	Denominación		Material	Norma	Notas
Released	Fecha	Nombre		 CHOCOTICS		
Dibujado	09/03/2023	E.LÓPEZ-G.SOLÓRZANO				
Revisado		ING. JULIO LÓJA				
Escala		Proyecto: TOSTADORA DE CACAO				
1 : 1						
Lamina:	1	<b>EJE ESTRIADO</b>				



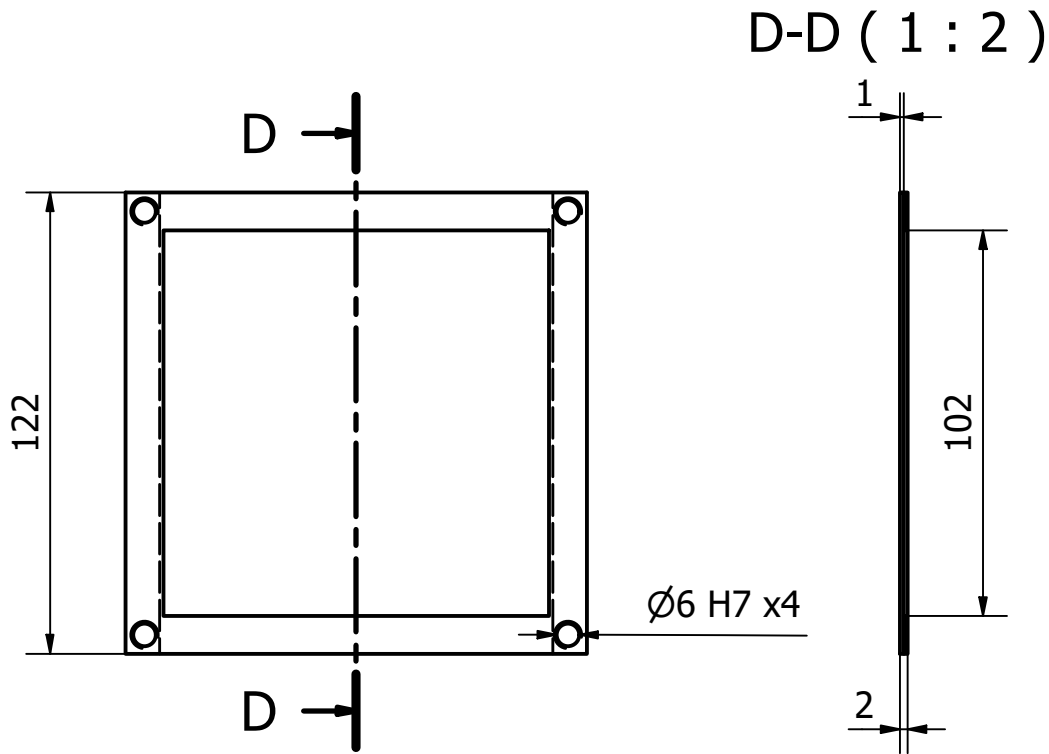
-----			Stainless Steel AISI 304		
POS	Cant.	Denominación	Material	Norma	Notas
Released	Fecha	Nombre	 CHOCOTICS		
Dibujado	22/07/2023	E.LÓPEZ-G.SOLÓRZANO			
Revisado		ING. JULIO LÓJA			
Escala		Proyecto: E.LÓPEZ-G.SOLÓRZANO			
1 : 5		<h1>EJE INTERNO DEL TAMBOR</h1>			
Lamina:	1				



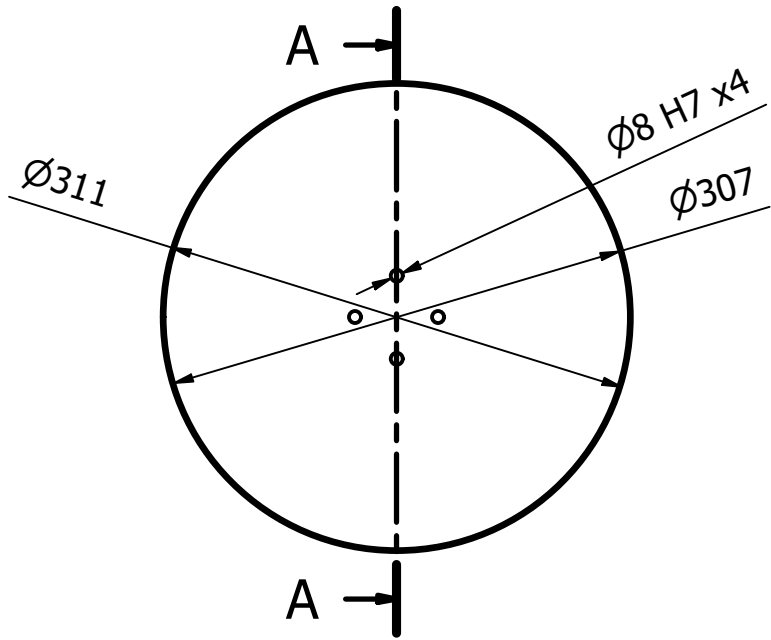
-----					
POS	Cant.	Denominación		Material	Norma
Released		Fecha	Nombre	 CHOCOTICS	
Dibujado		27/06/2023	E.LÓPEZ-G.SOLÓRZANO		
Revisado			ING.JULIO LÓJA		
Escala		Proyecto: TOSTADORA DE CACAO			
1 : 12		<b>ESTRUCTURA BASE DE LA TOSTADORA</b>			
Lamina:	1				



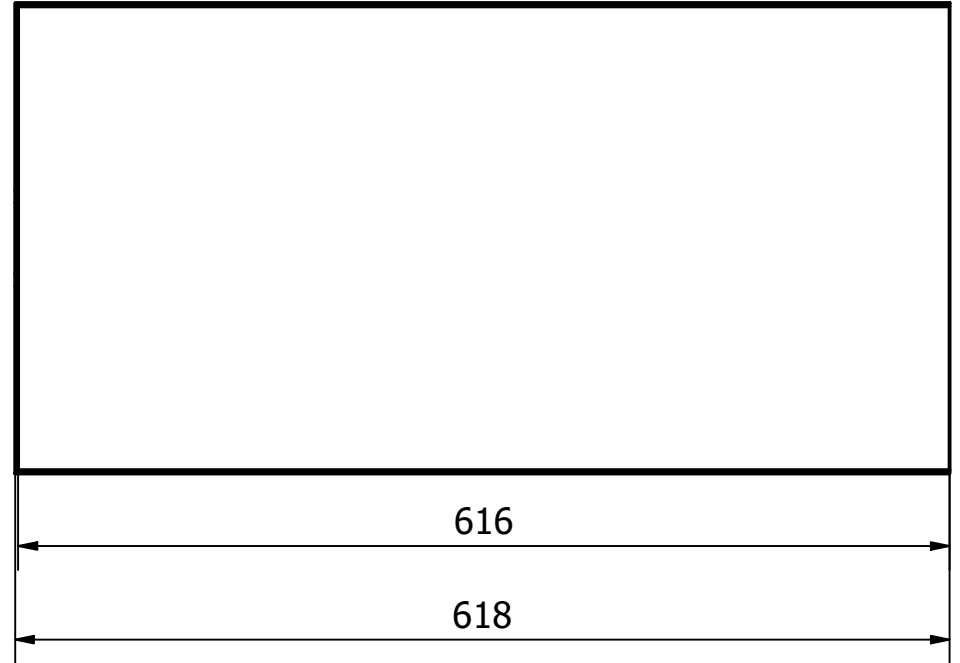
-----					
POS	Cant.	Denominación		Material	Norma
Released	Fecha	Nombre		 CHOCOTICS	CHOCOTICS
Dibujado	24/07/2023	E.LÓPEZ-G.SOLÓRZANO			
Revisado		ING. JULIO LÓJA			
Escala		Proyecto: TOSTADORA DE CACAO			
1 : 10		<h1>ESTRUCTURA DE LA CARCASA</h1>			
Lamina:	1				




-----				Stainless Steel AISI 304	
POS	Cant.	Denominación		Material	Norma
Released	Fecha	Nombre		 CHOCOTICS	
Dibujado	19/07/2023	E.LÓPEZ-G.SOLÓRZANO			
Revisado		ING. JULIO LÓJA			
PLACA ENCARGA DE LA UNION DE LA TOLVA Y SU BASE					
Escala		Proyecto:			
1 : 2		<h1>PLACA DE UNIÓN</h1>			
Lamina:	1				

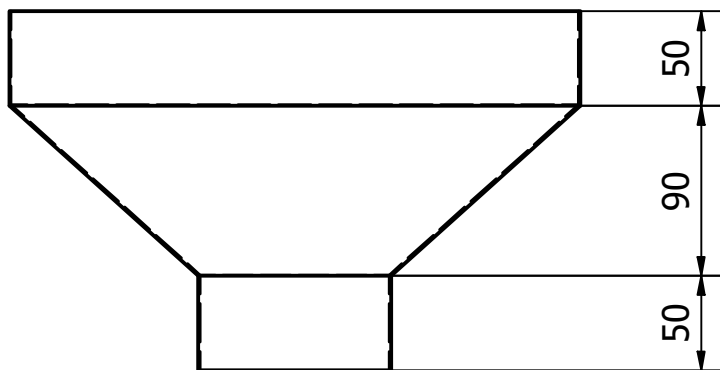
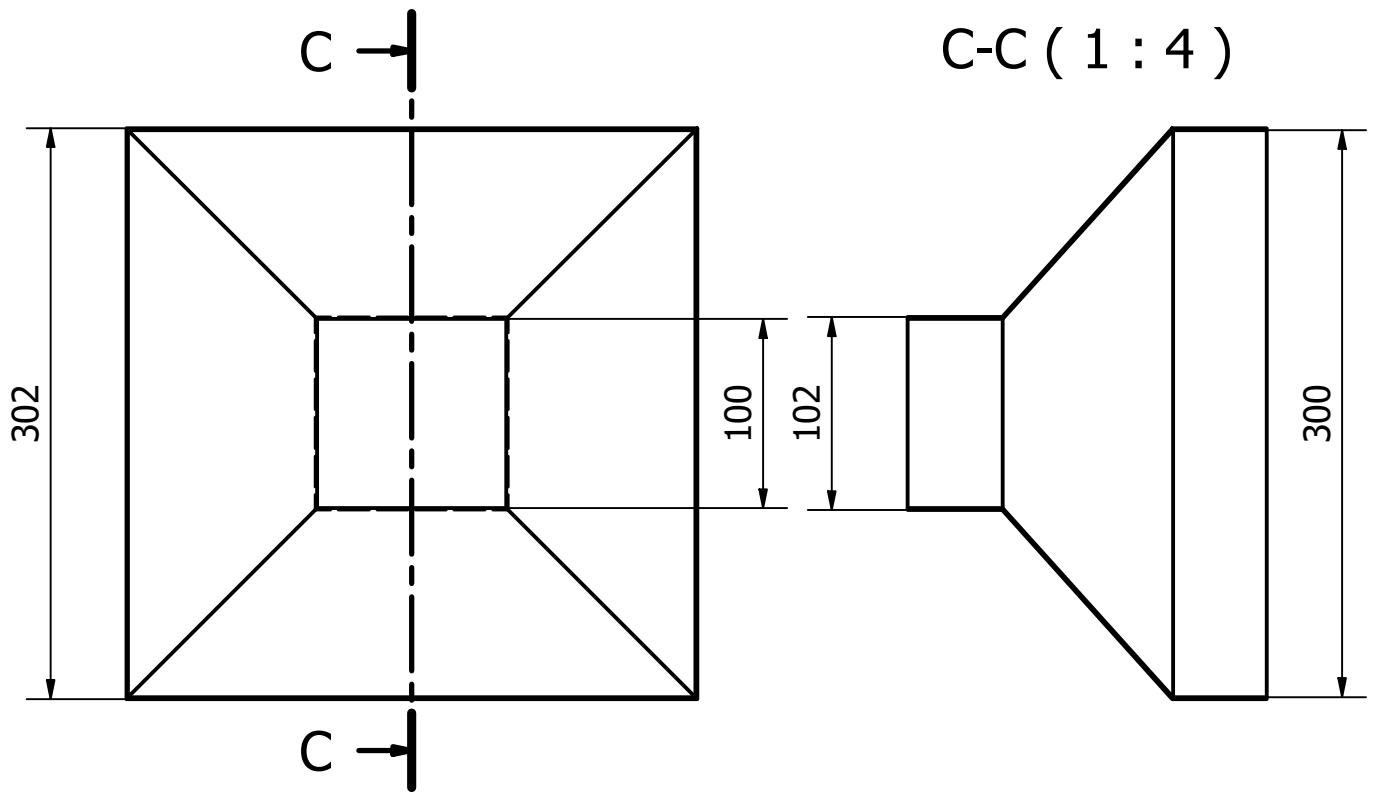



A-A ( 1 : 5 )



----				Stainless Steel AISI 304		
POS	Cant.	Denominación		Material	Norma	Notas
Released		Fecha	Nombre	 Chocotics		
Dibujado		02/03/2023	E. López-G. Solórznao			
Revisado		27/07/2023	Ing. Julio Loja			
Escala		Proyecto:				
1 : 5		<h1>Tambor</h1>				
Lamina:	1					





-----				Stainless Steel AISI 304		
POS	Cant.	Denominación		Material	Norma	Notas
Released	Fecha	Nombre			CHOCOTICS	
Dibujado	10/03/2023	E.LÓPEZ-G.SOLÓRZANO				
Revisado		ING.JULIO LÓJA				
Soldada por la parte interna.						
Escala		Proyecto: TOSTADORA DE CACAO				
1 : 4		<h1>TOLVA</h1>				
Lamina:	1					