



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

**DISEÑO MECATRÓNICO DE UNA TOSTADORA DE CAFÉ DE LECHO  
FLUIDIZADO PARA PRODUCTORES MINORISTAS**

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

AUTORES: BELÉN NAYELI URIARTE PATIÑO  
MATEO SEBASTIAN GÓMEZ RUIZ

TUTOR: ING. JULIO CÉSAR LOJA QUEZADA PhD.

Cuenca – Ecuador

2024

# CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Belén Nayeli Uriarte Patiño con documento de identificación N° 2350151987 y Mateo Sebastian Gómez Ruiz con documento de identificación N° 0105942775; 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.

Cuenca, 16 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Belén Nayeli Uriarte Patiño  
2350151987



---

Mateo Sebastian Gómez Ruiz  
0105942775

## **Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana**

Nosotros, Belén Nayeli Uriarte Patiño con documento de identificación N° 2350151987 y Mateo Sebastian Gómez Ruiz con documento de identificación N° 0105942775, 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 MECATRÓNICO DE UNA TOSTADORA DE CAFÉ DE LECHO FLUIDIZADO PARA PRODUCTORES MINORISTAS.", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera en Mecatrónica / 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.

Cuenca, 16 de febrero del 2024

Atentamente,



Belén Nayeli Uriarte Patiño  
2350151987



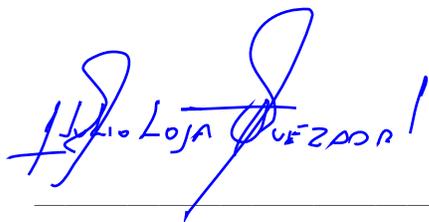
Mateo Sebastian Gómez Ruiz  
0105942775

# 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 MECATRÓNICO DE UNA TOSTADORA DE CAFÉ DE LECHO FLUIDIZADO PARA PRODUCTORES MINORISTAS., realizado por Belén Nayeli Uriarte Patiño con documento de identificación N° 2350151987 y Mateo Sebastian Gómez Ruiz con documento de identificación N° 0105942775, 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.

Cuenca, 16 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Ing. Julio Cesar Loja Quezada, Ph.D  
0102595527

# Dedicatoria

## *Belén Nayeli*

El presente trabajo de titulación no solo representa el esfuerzo y dedicación de mi propia labor académica, sino que es un testimonio tangible del apoyo inquebrantable que he recibido a lo largo de este arduo camino. Por esta razón, quisiera dedicar este proyecto principalmente A Dios, Jesús y a la Virgen, quienes han sido mi fuente inagotable de bendiciones y guía día a día en todo este proceso.

En particular a mi madre Gisella Patiño, quien no solo ha sido testigo de mis innumerables horas de estudio, sino que también ha sido mi fortaleza para siempre seguir adelante, superar desafíos y nunca rendirme en esos momentos en los que pensé que ya no podía más. Reconozco el incomparable apoyo de mi abuelito Jorge Patiño, quien ha contribuido de manera invaluable a mi crecimiento intelectual y emocional. También quiero agradecer a mi papá, William Uriarte, por todas las oportunidades que me dio durante este tiempo en la universidad, pues cabe recalcar que este trabajo es el resultado de mis esfuerzos personales, destacando que cada experiencia vivida, han contribuido de manera importante a mi crecimiento y desarrollo personal.

Además, quiero expresar mi agradecimiento a alguien que fue significativa en mi vida durante este tiempo. Finalmente, no quiero dejar de reconocer la valiosa aportación de mis mejores amigas, mi hermana, y amigos, quienes han sido una aliada inquebrantable y una gran compañía en el proceso.

## *Mateo Sebastián*

El presente trabajo de titulación representa la culminación de una hermosa etapa de mi vida, como lo fue la vida universitaria, que ha representado un sacrificio enorme por parte de mis padres Joselo y Gloria, a quienes les dedico esto, y que mas allá de cualquier inconveniente que pudiera suscitarse siempre han visto por mi bien y mi porvenir lo cual ciertamente me convierte en una persona privilegiada.

En segunda instancia, agradezco a mi familia en general, tíos, primos, abuelos, etc; por ser unas personas increíbles y que siempre de alguna u otra forma han estado presentes en toda mi vida, a ellos les expreso mi mas sincera gratitud.

A mis amigos Josué, Mateo, Renato y Adrián que siempre han estado allí durante estos 5 años por formar parte de este proceso de enseñanza, y que con sus ocurrencias han sabido hacer este camino, mas ameno y llevadero; y también a Sofia que ha sido una persona que durante el tiempo que nos llevamos, ha sabido motivarme para lograr cualquier objetivo que me proponga.

Finalmente, este logro lo dedico a mi abuela Raquel Angelita Quezada Amaya, que es la persona por la cual estudie esta hermosa carrera, la razón y motivación principal por la que he llegado hasta este punto, y que aunque ahora no se encuentra aquí conmigo, se que estaría orgullosa de lo que he logrado.

# Agradecimientos

## *Belén Uriarte*

Quiero dar las gracias a la vida, por lo que fui, por lo que soy, por lo que tengo, por lo que aprendo, por lo vivido, por las sonrisas en los momentos difíciles, por los abrazos que son abrigo, gracias por regalarme atardeceres, así como por todo lo que recibo y lo que está por venir.

Un agradecimiento especial a mi madre, ella ha sido mi roca, empujándome a seguir adelante en este viaje desafiante cuando las cosas se ponían difíciles. A mi querido abuelito, cuya sabiduría y apoyo inquebrantable, han sido fuentes de inspiración que han guiado mi camino académico. En general a mi familia y modelos a seguir, por su sacrificio y por brindarme las bases para alcanzar mis metas. También, quiero agradecer sinceramente a mis dos personas especiales que, a lo largo de mi trayectoria académica, dejaron una huella imborrable en mi vida y que, aunque ya no estén físicamente con nosotros, su influencia perdura en cada página de este trabajo.

Este logro no solo es mío, sino de toda la familia que ha estado a mi lado, ofreciendo apoyo emocional y motivación constante. Gracias por ser mi red de seguridad y por celebrar conmigo cada paso hacia este logro académico.

## *Mateo Gómez*

Agradezco a Dios y a la vida por mantenerme con salud y haber llegado a este punto de mi carrera y vivir experiencias muy bonitas.

Un agradecimiento especial a mi familia, a mis padres, tíos, primos, abuelos; por haber estado siempre apoyándome y demostrando una preocupación genuina ante cualquier circunstancia que pudiera presentarse.

También agradezco a mi tutor del presente trabajo de titulación, el Ing. Julio Loja, por haber sido de apoyo para nosotros y saber guiarnos durante todo este proceso que va desde el planteamiento de la problemática hasta el desarrollo de la misma.

Finalmente, un agradecimiento a todos los docentes que conforman la carrera de Mecatrónica de la Universidad Politécnica Salesiana, y que me han demostrado que no todo significa una calificación o un número, y que mas allá de eso están los valores salesianos, siendo parte fundamental del método de enseñanza de esta institución.

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

# Índice

<b>Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación</b>	<b>I</b>
<b>Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana</b>	<b>II</b>
<b>Certificado de dirección del trabajo de titulación</b>	<b>III</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>IV</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>VI</b>
<b>Resumen</b>	<b>XV</b>
<b>Abstract</b>	<b>XVI</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Problema</b>	<b>2</b>
2.1. Antecedentes . . . . .	2
2.2. Descripción del problema . . . . .	3
2.3. Importancia y alcances . . . . .	4
2.4. Delimitación . . . . .	4
2.4.1. Espacial o geográfica . . . . .	4
2.4.2. Temporal . . . . .	4
2.4.3. Sectorial o institucional . . . . .	5
2.5. Problema General . . . . .	5
2.6. Problemas Específicos . . . . .	5
<b>3. Objetivos</b>	<b>5</b>
3.1. Objetivo General . . . . .	5
3.2. Objetivos Específicos . . . . .	5
<b>4. Marco Teórico</b>	<b>6</b>
4.1. Tueste . . . . .	6
4.1.1. Tipos de tueste . . . . .	6
4.2. Ventajas y limitaciones con respecto al proceso de tostado . . . . .	7

4.2.1.	Factores que intervienen en el tostado del café . . . . .	8
4.2.2.	Temperatura en fases de tostado . . . . .	9
4.2.3.	Humedad en Tostado de Café . . . . .	10
4.3.	Exploración de principios de funcionamiento de una tostadora de café de lecho fluido . . . . .	10
4.3.1.	Ventilador Centrifugo . . . . .	11
4.3.2.	Métodos de Calentamiento de Aire . . . . .	13
4.3.3.	Factores que afectan la uniformidad . . . . .	16
4.4.	Métodos de control y monitoreo empleados en el proceso de tostación del café	19
4.4.1.	Control PID . . . . .	19
4.4.2.	Control Electrónico de Falla de Flama . . . . .	21
4.4.3.	Lógica Difusa . . . . .	22
4.5.	Análisis De Costos . . . . .	23
4.5.1.	Elementos Normalizados: . . . . .	23
4.5.2.	Mano de Obra: . . . . .	23
4.5.3.	Costos Materiales: . . . . .	24
4.5.4.	Costos indirectos: . . . . .	24
4.5.5.	Costo de la maquinaria: . . . . .	24
<b>5.</b>	<b>Marco metodológico</b>	<b>24</b>
5.1.	Tipos de tostadora de lecho fluido . . . . .	24
5.2.	Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño mecatrónico de una tostadora de café de lecho fluido para productores minoristas . . . . .	27
5.2.1.	Aspectos a considerar para el diseño de una tostadora de lecho fluido	27
5.3.	Diseño Mecánico . . . . .	30
5.3.1.	Ventilador Centrifugo . . . . .	31
5.3.2.	Calefactor . . . . .	43
5.3.3.	Plato distribuidor . . . . .	49
5.3.4.	Dimensionamiento del Ciclón Separador . . . . .	52
5.3.5.	Material seleccionado . . . . .	55
5.3.6.	Acople Rectángulo-Circular . . . . .	55
5.3.7.	Tubería de Calefacción . . . . .	56
5.3.8.	Codos . . . . .	57
5.3.9.	Lecho . . . . .	58
5.3.10.	Tubos de conexión . . . . .	59

5.3.11. Compuerta . . . . .	62
5.3.12. Ciclón Separador . . . . .	63
5.3.13. Plancha . . . . .	64
5.3.14. Estructura Metálica . . . . .	65
5.4. Diseño Eléctrico/Electrónico . . . . .	66
5.4.1. PLC Siemens LOGO . . . . .	66
5.4.2. Módulo de expansión logo . . . . .	68
5.4.3. Variador de Frecuencia . . . . .	69
5.4.4. Sensor temperatura . . . . .	69
5.4.5. Termocupla tipo K . . . . .	69
5.4.6. Termistor PTC . . . . .	70
5.4.7. Termómetro por resistencia (RTD) de platino . . . . .	70
5.4.8. Sensor velocidad de aire . . . . .	71
5.4.9. Tubo E+E transmisor velocidad viento sensor EE650-T2A6L200 . . . . .	71
5.5. Diseño de Control . . . . .	72
5.5.1. Control Manual . . . . .	72
5.5.2. Control Automático . . . . .	73
5.6. Análisis Económico . . . . .	77
5.6.1. Costos de diseño . . . . .	77
5.6.2. Costos de Materiales y Componentes . . . . .	78
5.6.3. Costos Generales . . . . .	81
<b>6. Resultados</b>	<b>81</b>
6.1. Parámetros para el diseño mecánico, eléctrico y de control de una tostadora de café de lecho fluido . . . . .	81
6.2. Diseño mecánico de una tostadora de café de lecho fluido . . . . .	82
6.2.1. Lecho Acero Inoxidable . . . . .	82
6.2.2. Tuberías y Acoples . . . . .	83
6.2.3. Estructura Metálica . . . . .	83
6.3. Diseño General de la Tostadora de Café . . . . .	85
6.4. Diseño eléctrico de una tostadora de café de lecho fluido . . . . .	86
6.5. Diseño control de una tostadora de café de lecho fluido . . . . .	91
6.6. Costos Generales de una tostadora de café de lecho fluido . . . . .	92
<b>7. Conclusiones</b>	<b>92</b>

<b>8. Recomendaciones</b>	<b>93</b>
<b>Referencias</b>	<b>98</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>99</b>

# Lista de Tablas

- 1. Porcentaje de Compuestos en Muestra de Café . . . . . 15
- 3. Propiedades Elegidas . . . . . 29
- 4. Condiciones físicas del aire . . . . . 30
- 5. Parámetros a 220 °C . . . . . 30
- 8. Costos de Diseño . . . . . 78
- 9. Costos de Materiales . . . . . 78
- 10. Costos de Materiales . . . . . 79
- 11. Costos de Fabricación . . . . . 80
- 12. Costos Generales . . . . . 81
- 13. Matriz de consistencia . . . . . 100
- 14. Variable dependiente . . . . . 102
- 15. Cronograma de actividades. . . . . 104

## Lista de Figuras

1.	Tostadora de Cafe . . . . .	11
2.	Ventilador Centrífugo . . . . .	12
3.	Tipos de Ventiladores Centrífugos . . . . .	12
4.	Intercambiador Tubular . . . . .	13
5.	Intercambiador Enfriado por Aire . . . . .	14
6.	Intercambiador Tipo Placa . . . . .	14
7.	Resistencia Eléctrica . . . . .	16
8.	Platos de distribución de aire . . . . .	17
9.	Tipos de Lecho Fluido . . . . .	18
10.	Diagrama de Bloques . . . . .	20
11.	Control PID . . . . .	20
12.	Control Electrónico VG310 . . . . .	21
13.	Control Lógica Difusa . . . . .	22
14.	Control Lógica Difusa Lazo Cerrado . . . . .	23

## Resumen

**E**l presente trabajo de titulación, se enfoca en proponer un diseño mecatrónico de una máquina tostadora de café de lecho fluido, con el fin de generar información relevante sobre esta tecnología y que sea de utilidad para pequeños y medianos productores de café.

Se llevó a cabo una exhaustiva revisión bibliográfica centrada en ecuaciones y conceptos de fluidización, como resultado de esta revisión junto con los criterios de tostado y cantidad de café, se logró determinar con éxito los parámetros de diseño, como velocidad mínima de fluidización, presión, caudal, altura de la cámara de tostado.

Para la cantidad de 10 kg de café y un tiempo de 10 minutos se realizaron los cálculos correspondientes de caudal y presión que permitieron la elección de un ventilador centrífugo. Además, esta información se utilizó para seleccionar el diámetro y espesor de la tubería y un sistema de calefacción por resistencia eléctrica que se adapte a este sistema.

El sistema de control de la máquina se lo divide en dos, uno manual y otro automático del tipo ON/OFF, el primero se lo emplea para controlar la velocidad del ventilador centrífugo mediante un variador de frecuencia con ayuda de un potenciómetro y el segundo se centra en un control de temperatura para alcanzar la temperatura de tostado de 220 °C, mediante el uso de una función de transferencia de primer orden. Tomando en consideración el sistema de control, se seleccionó un PLC correspondiente.

Como resultado del diseño mecánico y el uso de simulaciones de elementos finitos, se logró comprobar un funcionamiento adecuado de la cámara de tostado ante la presión de trabajo y, por otro lado, comprobar la resistencia de la estructura de soporte ante las cargas gravitacionales.

Finalmente con respecto al análisis de costos, estos fueron determinados considerando el tiempo de diseño e investigación bibliográfica, mediante proformas y revisión de catálogos que involucran los costos de componentes y fabricación de cada elemento que conforma la máquina tostadora.

**Palabras clave:** lecho fluido, parámetros, costos, factibilidad.

## Abstract

This degree project proposes a mechatronic design for a fluidized bed coffee roasting machine. The aim is to provide relevant information about this technology that can be useful for small and medium coffee producers.

A comprehensive bibliographic review was conducted to focus on fluidization equations and concepts. Based on this review, along with the roasting criteria and coffee quantity, the design parameters were successfully determined. These parameters include minimum fluidization speed, pressure, flow, and height of the roasting chamber.

The flow and pressure calculations were performed based on a 10 kg coffee quantity and a 10-minute time frame, resulting in the selection of a centrifugal fan. This data was also used to determine the appropriate diameter and thickness of the piping, as well as an electric resistance heating system suitable for this setup.

The machine's control system is divided into two types: manual and automatic ON/OFF. The manual system controls the speed of the centrifugal fan using a frequency variator and a potentiometer. The automatic system focuses on temperature control, specifically reaching a roasting temperature of 220°C, using a first-order transfer function. A corresponding PLC was selected based on the control system.

The mechanical design and finite element simulations confirmed the roasting chamber operates properly under working pressure. Additionally, the support structure was verified to withstand gravitational loads.

Finally, with respect to the cost analysis, these were determined considering the design time and bibliographic research, by means of proformas and review of catalogs that involve the costs of components and manufacturing of each element that makes up the roasting machine.

**Keywords:** fluidized bed, parameters, costs, feasibility.

# 1. Introducción

**E**l café ecuatoriano, reconocido internamente a nivel nacional por su sabor y calidad, ha sido producido durante décadas mediante métodos tradicionales que han pasado de generación en generación. Sin embargo, en la actualidad, la industria cafetalera del país se enfrenta a desafíos significativos en la fase de tostación del grano, donde se utilizan tecnologías que podrían rechazar mejoras y reemplazos.

Las tostadoras manuales y semiautomáticas de tambor, si bien han sido pilares fundamentales en la producción de café, están quedando rezagadas ante la creciente demanda y las expectativas del mercado. La falta de proyectos técnicos enfocados en impulsar la fase de tostación ha resultado en una carencia de avances significativos en la maquinaria utilizada en este proceso.

Asimismo, la escasez de información a nivel nacional sobre nuevas tecnologías de tostado y la ausencia de investigaciones dedicadas a este aspecto esencial del cultivo del café han limitado el acceso a conocimientos y prácticas innovadoras. Esto ha llevado a que muchos productores y tostadores sigan dependiendo de técnicas tradicionales, a pesar de las posibilidades de mejora que se encuentran disponibles.

Un desafío adicional es la alta inversión que representa la adquisición de maquinaria más moderna y eficiente. La importación de equipos, como las tostadoras de lecho fluido, resulta costosa y poco accesible para muchos productores del sector cafetalero. Esta situación ha obstaculizado la adopción de tecnologías de tostado de vanguardia que podrían impulsar la calidad y competitividad del café ecuatoriano en los mercados internacionales.

En este contexto, es imperativo abordar la problemática que enfrenta la fase de tostación del café ecuatoriano. El motivo de esta investigación es examinar las razones detrás del uso continuado de métodos tradicionales, identificar las limitaciones actuales en materia de tecnología y acceder a información, y proponer soluciones que permitan una transición hacia prácticas de tostado más avanzadas y sostenibles.

Al implementar mejoras en la etapa de tostación, no solo se elevará la calidad del café ecuatoriano, sino que también se abrirán oportunidades con el fin de mejorar la competitividad en el ámbito global. Asimismo, se fomentará la innovación y el crecimiento sostenible de la industria cafetalera, beneficiando tanto a los productores como a los consumidores.

En las próximas secciones, se explorará en detalle la situación actual de la tostación del café en Ecuador, se analizarán las tecnologías disponibles y las barreras que dificultan su adopción. Además, se propondrán estrategias para superar estos obstáculos y promover un desarrollo más dinámico y próspero para esta cafetera industrial valiosa.

## 2. Problema

### 2.1. Antecedentes

La situación cafetera actual en Ecuador, tanto antes y después de la pandemia, tiende al decremento constante de la producción del café nacional, debido a varios factores como los económicos y comerciales que involucran al precio del mercado.

Heredia Sáenz, Daniel Humberto and Robalino Cevallos, Jefferson Hernán (2021) mencionan que el sector cafetero ecuatoriano enfrenta varios desafíos, como los elevados costos de producción, reducidos precios internacionales, escaso beneficio económico, la baja productividad, el limitado apoyo gubernamental y asignación de recursos para mejorar la productividad y rendimiento. No obstante, el café ecuatoriano se distingue por sus atributos tales como la calidad, sabor y aroma, lo que supone una oportunidad de crecimiento comercial y económico si se implementan las estrategias y tecnologías adecuadas.

Según, Pruna Estrella (2022), el problema de este bajo rendimiento en el país puede ser causado por el aspecto tecnológico en la producción de café, concluyendo que el 80 % de plantaciones en Ecuador se desenvuelven de manera tradicional y poco tecnificada, un 15 % producen café de forma semi-tecnificada y solo el 5 % lo hace de manera totalmente tecnificada.

Teniendo en cuenta esto es necesario desarrollar proyectos que ayuden a la producción y elaboración del café, como lo es el caso del proceso de tostación del grano de café por lecho fluido mediante flujo de aire caliente.

Un sistema de lecho fluido se caracteriza por ser un fenómeno físico en donde existen partículas que quedan suspendidas en un fluido que puede ser un gas o líquido, el mismo pasa entre estas partículas permitiendo que su comportamiento sea similar al de un fluido, posee varias aplicaciones a nivel industrial, incluyendo algunas partes del proceso de elaboración del café, como el secado y tostado. (Lupaca, 2019)

En Ecuador el café muchas veces es sometido a altas temperaturas empleando diferentes métodos de tostado, provocando en muchas ocasiones que el grano de café pierda sus atributos organolépticos.

Se presentan a continuación proyectos de desarrollo, tanto a nivel nacional como internacional, que comparten similitudes en sus objetivos con la propuesta planteada.

En el artículo “Análisis del efecto del control de la temperatura en una tostadora de café de lecho fluido” de Campo Ceballos, Sotelo, Dorado Ipia, y Gaviria López (2020), efectuado en la Universidad Distrital Francisco José Caldas, se concluyó que el implementar un sistema

para controlar la temperatura en la tostadora de café de lecho fluido, reduce los tiempos del proceso, según el tipo de grado de tostado que se desee alcanzar, siendo este un valor añadido que los caficultores puedan emplear para aumentar su beneficio económico.

En la tesis “Tostadora automática para granos de quinua mediante flujo de aire caliente“ (Lupaca, 2019) elaborado en la Pontificia Universidad Católica del Perú, los autores concluyeron que se logró diseñar una máquina de tostado por lecho fluido para la quinua en donde el operario tiene la libertad de modificar parámetros como temperatura, tiempo de tostado y tiempo de enfriado con el fin de alcanzar los diferentes tipos de tueste de la quinua; este trabajo refleja lo importante que es ofrecer mayor accesibilidad a las características que influyen en la elaboración de un producto, y puede ser perfectamente aplicable al tueste del café.

En el trabajo “Diseño de un Tostador de Café mediante flujo de aire caliente para la empresa CAFÉ INDERA“ (Palacios, 2016) se planteó sustituir la tostadora de tambor de la empresa y diseñar una tostadora de lecho fluido que emplee el aire caliente, concluyendo así que este sistema puede cumplir los requerimientos operacionales de CAFÉ INDERA que son de 450 kg de café tostado a la semana.

Una ventaja del sistema de lecho fluido frente a otros métodos de tueste, es la homogeneidad y rapidez del tueste, permitiendo obtener distintas tonalidades de café, gracias a la alta superficie de contacto que se crea por el movimiento constante de las partículas. (Palacios, 2016)

No obstante, hay ciertas consideraciones en este trabajo que pueden ser tomadas en cuenta para el desarrollo de nuestro proyecto, como que al no poseer una densidad exacta del grano de café se empleó estimaciones de manera experimental obteniendo una densidad de  $304.5 \text{ kg/m}^3$ , lo que permite dimensionar la tolva de la máquina y el sistema de lecho fluido, desencadenando así los parámetros iniciales que tendrá la máquina para su propuesta de diseño.

Dado lo antes mencionado referente a los aportes y vacíos que existen con respecto a las tostadoras de café de lecho fluido y teniendo en cuenta la situación actual cafetera del país junto con sus problemáticas precedentes, se plantea a continuación la descripción del problema del presente tema de investigación junto con la importancia y alcance que tendrá la misma.

## **2.2. Descripción del problema**

Actualmente, en la producción de café ecuatoriano aún se emplean métodos tradicionales que cuentan con tecnologías que podrían ser mejoradas o reemplazadas como tostadoras manuales y tostadoras semiautomáticas de tambor, la razón de esto es debido a la falta de

proyectos técnicos que impulsen la fase de tostación del café, la escasez de nuevos tipos de maquinaria e información a nivel nacional, como tostadoras de lecho fluido y lo costoso que resulta la importación de equipos a nivel general.

### **2.3. Importancia y alcances**

La relevancia de realizar el diseño de un prototipo de tostadora de lecho fluido es ayudar a productores de café de escala reducida y mediana, con el propósito de que en una futura implementación, por su parte, se optimice la producción de tostado del café y, además, brindarles otro tipo de proceso de tostado como lo es el lecho fluido que genera un grano homogéneo y le permite conservar sus propiedades organolépticas al mismo. Es muy importante destacar la relación entre la maquinaria empleada para tostar café y las personas que lo cultivan, debido a que todo se hace para garantizar la calidad del café tostado: si el café es excelente, los consumidores lo preferirán, lo que a su vez dará reconocimiento y prestigio a distintos productores de café.

A diferencia de otras técnicas de tueste que producen humo a partir de residuos, estos dispositivos minimizan la contaminación durante el proceso de tueste.

El alcance del proyecto llegará hasta la obtención de parámetros de diseño, el diseño mecatrónico de la máquina y un análisis de costos general, con el fin de ayudar a los productores minoristas determinar la factibilidad de construir un prototipo de estas características.

### **2.4. Delimitación**

El problema de estudio se delimitará en las siguientes dimensiones:

#### **2.4.1. Espacial o geográfica**

El diseño mecatrónico de este proyecto se realizará para las zonas en un rango de 1000 a 1500 metros de altura en los valles andinos. Loja, Orellana, Sucumbíos, Manabí y Guayas.

#### **2.4.2. Temporal**

El proyecto se desarrollará en un tiempo estipulado de seis meses a partir de la aprobación de este proyecto, que corresponde a un aproximado de 400 horas, que es el tiempo estimado de las asignaturas de TT1 y TT2.

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

El diseño del prototipo será desarrollado en la Universidad Politécnica Salesiana.

## **2.5. Problema General**

- ¿Cuál será el diseño idóneo para una maquina tostadora de café de lecho fluido para productores minoristas?

## **2.6. Problemas Específicos**

- ¿Se puede determinar los parámetros iniciales para el diseño mecatrónico de la tostadora de café de lecho fluido para productores minoristas?
- ¿Es posible proponer el diseño mecánico, electrónico y de control que garantice un proceso adecuado de tostado?
- ¿Se puede realizar un análisis económico de los costos de construcción e implementación de una tostadora de café de lecho fluido?

# **3. Objetivos**

## **3.1. Objetivo General**

- Diseñar una máquina tostadora de café de lecho fluido para productores minoristas.

## **3.2. Objetivos Específicos**

- Determinar parámetros iniciales para el diseño mecatrónico de la tostadora de café de lecho fluido para productores minoristas.
- Proponer el diseño mecánico, electrónico y de control que garantice un proceso adecuado de tostado.
- Realizar un análisis económico de los costos de construcción e implementación de una tostadora de café de lecho fluido.

## 4. Marco Teórico

### 4.1. Tueste

La etapa de tueste desempeña un papel sumamente esencial en el proceso de mejora de las cualidades organolépticas, aquellas que apreciamos mediante los sentidos, como los aromas y sabores, ofreciendo un producto de calidad, también se lo realiza con el objetivo de facilitar la eliminación de la cascarilla, la temperatura empleada típicamente en el proceso de tueste oscila entre 100 °C y 150 °C. Se lo realiza a través de un equipo tostador de convección que utiliza circulación de aire caliente (Aldas-Morejón, Otero-Tuarez, Revilla-Escobar, Laura-Carrillo, y Sánchez-Aguilera, 2023)

#### 4.1.1. Tipos de tueste

Las clasificaciones convencionales de tueste del grano de café abarcan niveles claro, medio y oscuro, definiendo el tueste claro como aquel en el que se ha sometido el grano a menor tiempo de tostado, y el oscuro como aquel que ha sido expuesto al período más prolongado de tostado. Adicionalmente, factores independientes del grano de café también inciden en la modificación del pH del producto final. Diversas técnicas de preparación del café, que varían desde procesos manuales hasta mecanizados, presentan características particulares que influyen en la composición química de la infusión resultante. (Cárdenas, Mora, y Murillo, s.f.)

Existen muchos de los tipos de tueste y esto se da a través de un buen proceso logístico, son los siguientes:

**Tueste Claro:** Este procedimiento conlleva un proceso de caramelización de impacto reducido, lo que resulta en la preservación predominante del sabor original durante el tueste. En granos de café de alta calidad, este método contribuye a una experiencia sensorial mejorada al potenciar el sabor original sin afectarlo de manera significativa.

En contraste, cuando se aplica este mismo proceso de tueste a granos de café de baja calidad, la falta de calidad se hace evidente. La amargura resultante genera una astringencia que impide disfrutar de una taza de café de calidad. (Pilca Sanunga, Paredes Suárez, y cols., 2021)

**Tueste Oscuro:** El grano exhibe un tono oscuro con perfiles sensoriales destacados por

su amargor, y se manifiestan de manera más pronunciada notas aceitosas y astringentes. (Bernabé Dávila y Rivera Calongos, 2018)

**Tueste Lento:** Se logra mediante un proceso de tostado a temperaturas moderadas durante un período prolongado. La interpretación del concepto de "tueste lento" puede variar según la máquina de tostado empleada y la perspectiva del operador respecto a la velocidad del proceso.

**Tueste Rápido:** Se alcanza mediante un proceso de tostado a elevadas temperaturas durante un intervalo temporal reducido. Se designaría como "tueste rápido" cualquier proceso de tostado que logre obtener un color de 45 Agtron en un período de tiempo igual o inferior a 6 minutos.

## 4.2. Ventajas y limitaciones con respecto al proceso de tostado

El análisis físico y sensorial del café describe sus principales características de su calidad que comprenden los granos excelsos y los sensoriales como son el aroma, cuerpo y su calidez. Los aspectos más importantes evaluados dentro de la calidad física del café son: Cenizas totales, humedad, cafeína y sólidos solubles del extracto acuoso. (Párraga Cobeña y Zambrano Flores, 2022)

Un recurso actualmente empleado por las empresas, no solo con el propósito de destacar sus productos en términos de mercadotecnia, sino también para demostrar su compromiso con la responsabilidad social, son las certificaciones. Entre las más frecuentemente mencionadas se encuentran Comercio Justo y Esencial Costa Rica, seguidas por Carbono Neutro, Nama Café (aunque no constituye una certificación en sí misma, sino un distintivo), ISO 9001 y la marca país del ICAFE. (Café Costa Rica). (Díaz Porras y cols., 2022)

En este caso realizaron una encuesta en la cual se consultó sobre las ventajas y desventajas de las certificaciones. Respecto a las ventajas, en la encuesta obtuvieron que 15 de las 17 empresas con certificaciones mencionan ventajas, entre las cuales está el reconocimiento debido a que se mencionan con mayor frecuencia, junto con el tema de la garantía al consumidor y con el cumplimiento de las normas. Sin embargo, el resto de las empresas ubican desventajas limitantes al no contar con el uso de certificaciones, como consecuencia presentan la falta de reconocimiento por parte de los consumidores.

Otro aspecto destacado se relaciona con la transformación en la cultura del consumidor, dado el creciente interés y conocimiento por parte de este hacia el café de alta calidad. Paralelamente, se observa una importancia similar en el énfasis de la calidad como un factor diferenciador, influido por la presencia de cafés que han sido sometidos a procesos artesanales y que exhiben una calidad superior. (Díaz Porras y cols., 2022)

#### **4.2.1. Factores que intervienen en el tostado del café**

En la industria del café, el procedimiento de tostado se emplea con el fin de desarrollar las propiedades organolépticas específicas del café y establecer condiciones óptimas para obtener una bebida de alta calidad. Estos efectos beneficiosos son influenciados de manera determinante por las condiciones de tostado. Dichas condiciones están representadas por las variables de tiempo y temperatura, y son sensibles a diversos factores, tales como el grado de tostado requerido, el tipo de tostador utilizado, las características de la materia prima en términos de tipo, variedad, densidad y humedad, así como los efectos derivados del origen geográfico, la altitud, la cosecha y el procesamiento postcosecha del grano de café. (Ceballos y López, 2019)

La relación entre el color del grano y el nivel de tostado no sigue un patrón constante. Se han observado variaciones en el índice de color evaluado, lo que indica que, para una misma muestra, pueden existir dos tonalidades distintas. Aunque los procesos de tostado más oscuros generalmente se asocian con un mayor cuerpo del café debido a la presencia de aceites y compuestos orgánicos no volátiles, es importante señalar que tostar el café a temperaturas elevadas conlleva la pérdida de dulzura y la transformación de la acidez natural frutal en un perfil desagradable y amargo.

La percepción de la acidez es una característica fundamental en el perfil organoléptico del café y está sujeta a la influencia del origen del café, su variedad y el proceso de procesamiento de las cerezas de café. Aunque no se comprenden completamente los compuestos responsables de la acidez percibida, se reconoce que los ácidos cítrico, málico, acético, químico y principalmente clorogénico son las especies ácidas más abundantes en el grano de café y pueden contribuir a esta característica organoléptica.

En términos generales, los cafés cultivados a mayores altitudes o que han sido sometidos a un tratamiento húmedo posterior a la cosecha tienden a exhibir una mayor acidez. La percepción de la acidez está directamente vinculada a la cantidad total de ácidos presentes y extraídos, lo cual está principalmente condicionado por el grado de tostado. Es importante

destacar que una percepción excesivamente ácida puede considerarse como un defecto en el café. Además, es crucial tener en cuenta que los cafés altamente tostados y ligeramente tostados tienden a presentar una acidez percibida más baja. (Ceballos y López, 2019)

#### **4.2.2. Temperatura en fases de tostado**

En el curso del procedimiento de tostado, se consideran las siguientes etapas de tueste:

**Desecación o secado:** Ocurre en el punto de ebullición del agua, donde esta se transforma en vapor libre. Este proceso es fundamental para generar presiones internas iniciales. En esta fase inicial, los granos pueden transitar de un tono verde pálido brillante a un matiz amarillo.

**Caramelización:** Es la fusión de azúcar (fructosa a 128 °C; glucosa a 146 °C - 150 °C y sacarosa a 186 °C). Preparación de los compuestos para la reacción de Maillard.

**Transición térmica (crepitación o el primer crack):** Representa el inicio de la fase de cocción del grano. El primer crack desencadena una reacción química compleja, caracterizada por un sonido crepitante. Una vez iniciado este proceso, los granos experimentan un incremento en su tamaño original, alcanzando entre el 100 % y el 140 %, mientras comienzan a someterse a caramelización, adquiriendo una coloración marrón.

**Fase de pausa:** Interrumpir la fase de pausa, en este proceso disuelve el sonido crepitante, aunque la reacción química persiste. La duración de la pausa está directamente relacionada con la intensidad del calor suministrado por el tostador.

**Desarrollo del grano:** Marca el comienzo del proceso de tueste, caracterizado por la expansión y el brillo del grano. En esta fase, se observa un cambio de color hacia un tono de café medio. Durante este periodo, el grano experimenta una pérdida aproximada del 13 por ciento de su peso y emite una cantidad significativa de gases, principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Esta etapa se conoce como el segundo crack, evidenciado por sonidos crujientes adicionales, y conduce progresivamente a la deshidratación de los granos.

**Acabado y enfriamiento:** En esta etapa, las células del grano experimentan cristalización o petrificación, lo que resulta en la selladura de los poros del grano. Este proceso encapsula los

aromas y sabores inherentes al grano en su interior.

En consecuencia, se determina que ha transcurrido el tiempo óptimo, y para lograr un enfriamiento rápido de las partículas, se implementa la introducción de una considerable cantidad de aire frío. (Chancos Huaccachi, 2023)

#### **4.2.3. Humedad en Tostado de Café**

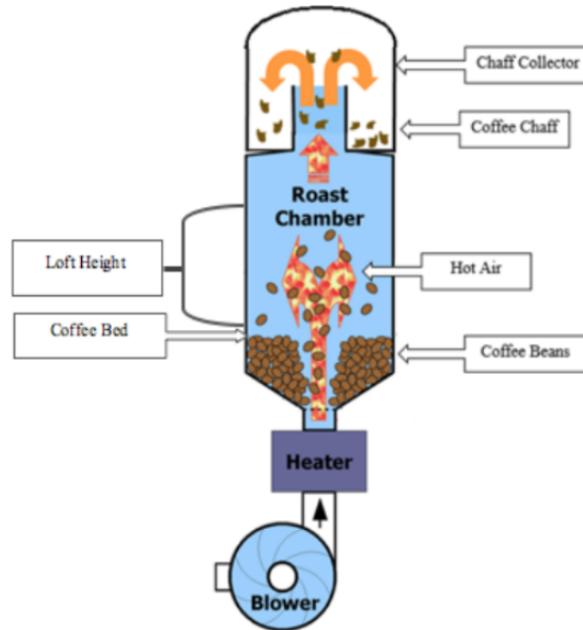
El porcentaje del café en la etapa de secado se le elimina el exceso de humedad en un 60%, para mantenerse en un rango aceptable entre 10 y 12%

### **4.3. Exploración de principios de funcionamiento de una tostadora de café de lecho fluido**

El principio de funcionamiento de una tostadora de café de lecho fluido se basa en 3 principales componentes como lo son el ventilador centrífugo, el calentador de aire y la cámara de almacenamiento. En primera instancia el ventilador centrífugo capta el aire del medioambiente que pasa por una tubería encontrándose con un calentador. Posteriormente, el aire caliente procede a entrar y expandirse dentro de la cámara de almacenamiento en donde el grano de café empieza a tostarse por convección. La presión del aire ejercida en este proceso permite que los granos de café se circulen por la cámara de almacenamiento, causando una mezcla y tostado uniforme. (Meana, Kimkiman, y Dulay, 2019)

**Figura 1**

*Tostadora de Café de Lecho Fluido.*



**Nota:** Se puede observar el principio de funcionamiento de una tostadora de café de lecho fluido de acuerdo a Meana, Kimkiman, y Dulay (2019).

#### 4.3.1. Ventilador Centrífugo

Un ventilador centrífugo según Pretel (2019) se caracteriza porque su flujo de salida es perpendicular al flujo de entrada y puede adaptarse a tres tipos de ventiladores de baja, media o alta presión. A continuación, en la figura 2 se puede apreciar un ejemplo de ventilador centrífugo.

## Figura 2

*Ventilador Centrífugo.*

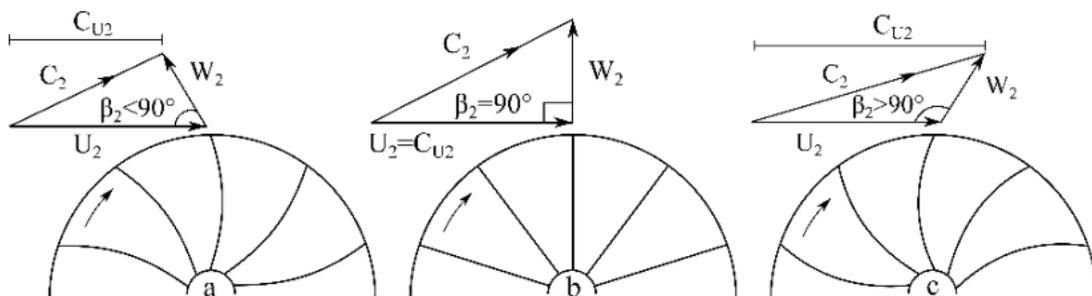


**Nota:** Se puede observar un ventilador centrífugo INDASEP (2020).

Pretel (2019) señala que el uso de ventiladores es muy utilizado en la industria, ya que puede lograr presiones de 3.695 PSI y caudales de 10 litros/sg. Los ventiladores centrífugos (Figura 3) deben su clasificación a la forma y posición de los álabes.

## Figura 3

*Tipos de Ventiladores Centrífugos.*



**Nota:** Se puede observar los tipos de ventiladores centrífugos. Diego Iván, Montes Gallardo and Raúl Lugo, Leyte and Alejandro Torres, Aldaco and Sergio Castro, Hernández and Helen Denise, Lugo Méndez (2018).

- Álabes Curvos hacia atrás: Sus álabes se encuentran en sentido contrario al sentido de

giro del ventilador, muy utilizados en aplicaciones industriales que requieren de mediana o gran potencia, al igual que los álabes rectos no retienen residuos y son silenciosos, igual que los ventiladores con álabes curvos hacia adelante. (de la Hoz, 2018)

- **Álabes Radiales Rectos:** Este tipo de ventiladores centrífugos se caracterizan por ser de un montaje sencillo, sin embargo, posee un rendimiento y eficiencia bajo. Son muy útiles para transportar materiales de diferente densidad debido a la ventaja que la forma de sus álabes no retienen el material.(de la Hoz, 2018)
- **Álabes Curvos hacia adelante:** Estos generan muy poca contaminación auditiva, y muy ocupados en sistemas ventilación o calefacción. Ofrecen un caudal más bajo, pero una mayor presión de aire; sin embargo, su eficiencia energética es baja.(de la Hoz, 2018)

#### 4.3.2. Métodos de Calentamiento de Aire

Parte fundamental de una tostadora de café de lecho fluido se encuentra en el método de calentamiento del aire en circulación, con el fin de lograr la transferencia de calor necesaria para el grano, existen varios de estos métodos que se mostraran a continuación.

##### **Intercambiadores de Calor**

Es un dispositivo empleado para la transferencia de calor entre dos fluidos, en el caso de la tostadora de café, los fluidos serían el aire succionado por el ventilador centrífugo y un medio de calentamiento externo. Según Epifanio (2021) hay varios tipos de intercambiadores de Calor y se mostrarán a continuación.

- **Intercambiadores de tubería doble:** Son los intercambiadores más sencillos que existen, ya que requieren de un área mínima para la transferencia de calor.

#### **Figura 4**

*Intercambiador Tubular*



**Nota:** Se puede ver la estructura de un Intercambiador de Calor Tubular. Rojo (2022).

- Intercambiadores enfriados por aire: Su costo de implementación es muy superior al de un intercambiador de calor que emplea agua como fluido de enfriamiento; sin embargo, el costo de operación se reduce a la potencia consumida por los motores de los ventiladores.

**Figura 5**

*Intercambiador Enfriado por Aire*



**Nota:** Se puede ver los componentes de un Intercambiador de Calor Tipo Placa. Angel (2019).

- Intercambiadores de tipo placa: Son muy empleados en la industria de procesos, consisten en placas metálicas paralelas con canales o pasajes para el flujo de los fluidos. El medio de calentamiento y el aire circulan en canales separados, lo que permite una transferencia de calor eficiente debido a la gran área de contacto entre los fluidos, en la (Figura 6) podemos observar un ejemplo de este tipo de intercambiadores.

**Figura 6**

*Intercambiador Tipo Placa*



**Nota:** Se puede ver los componentes de un Intercambiador de Calor Tipo Placa. MRF (2022).

### **Combustión Directa de Combustibles**

- Gas Licuado de Petróleo: Este tipo de combustible posee mayor poder calorífico que la biomasa, además de ofrecer una combustión más eficiente y limpia con menos emisiones

de carbono.

Laura, Nelson, y Aristofeles (2022) señala que, en el proceso de secado del café, se utilizó gas licuado de petróleo (GLP) como método de calefacción, en donde se busca analizar el efecto del secado con combustión directa sin intercambiadores de calor, ya que se desconoce los efectos que podría tener estos gases en el grano de café.

**Tabla 1**

*Porcentaje de Compuestos en Muestra de Café*

Compuesto	GLP		Testigo	
	Promedio	Error Estimación	Promedio	Error Estimación
1.2 Dimetil Benceno	0.05	0.05	0.81	0.26
1.3 Dimetil Benceno	0.12	0.14	1.30	0.29
1.4 Dimetil Benceno	0.03	0.03	0.23	0.09

**Nota:** Se puede observar el porcentaje de HAPS identificados en muestra de café. (Laura y cols., 2022).

### **Resistencia Eléctrica**

El uso de resistencias eléctricas como método de calentamiento es ampliamente utilizado en la industria en distintos procesos. Lupaca (2019) plantea ocupar una resistencia eléctrica como medio de calentamiento en un lecho fluido para una tostadora de quinua. Kevin (2019) menciona que la temperatura de trabajo es vital para el funcionamiento de un reactor de lecho fluido, ya que se requiere tanto sistemas de calentamiento como sistemas de manutención de temperatura. Aquí el autor emplea resistencia eléctrica (Fig. 9) e intercambiadores de calor como métodos de calentamiento, la finalidad de esto es que se logre la mayor cantidad de superficie de contacto entre el metal caliente y el gas de atmosfera.

## **Figura 7**

*Resistencia Eléctrica*



**Nota:** Se puede observar una resistencia eléctrica en forma de espiral. Kevin (2019).

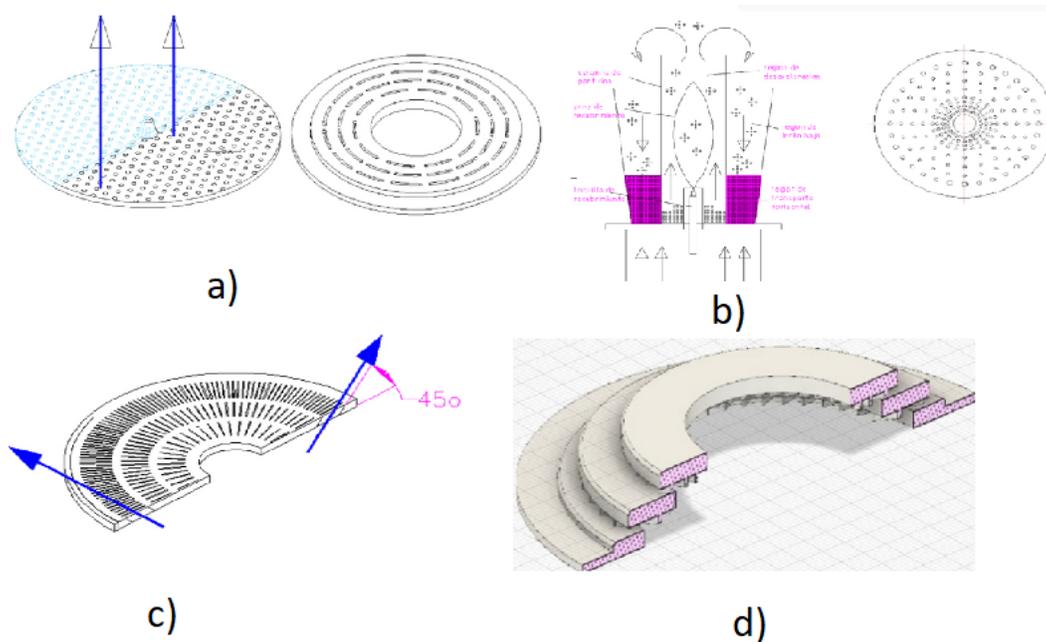
### **4.3.3. Factores que afectan la uniformidad**

#### **Distribución de aire**

La distribución de aire proporciona la forma en la que se suspenden los sólidos dentro del lecho fluido, y es ocupada ampliamente en varias industrias como la farmacéutica, química, combustión, entre otros. Los tipos de platos de distribución de aire y de lecho fluido se presentan a continuación.

## Figura 8

### Platos de Distribución de Aire



**Nota:** Se puede ver los distintos platos de distribución de aire. Delgado y cols. (2023).

- Axial Perforado: fue el diseño original cuando se desarrollaron los primeros lechos fluidos. En este plato, el aire pasa a través de él en forma transversal. La configuración de las perforaciones puede ser triangular o rectangular y raramente se puede ver en forma circular como se muestra en la Figura 8 a. (Delgado y cols., 2023)
- Borboteo: Presenta un patrón de flujo característico como se puede ver en la Figura 8 b. Dentro de la cámara de fluidización se coloca un tubo de borboteo, donde también se localiza la boquilla de recubrimiento por el fondo de la cámara. Este tubo permite tener dos regiones donde se puede variar el diferencial de presión entre el interior y exterior del tubo de borboteo. Debido a este diferencial se tiene un transporte de masa cíclico.
- Inclinado: En los platos radiales con inclinación (Figura 8 c), al cambiar el ángulo que se suministra el aire a la cámara también cambia el patrón de flujo. La

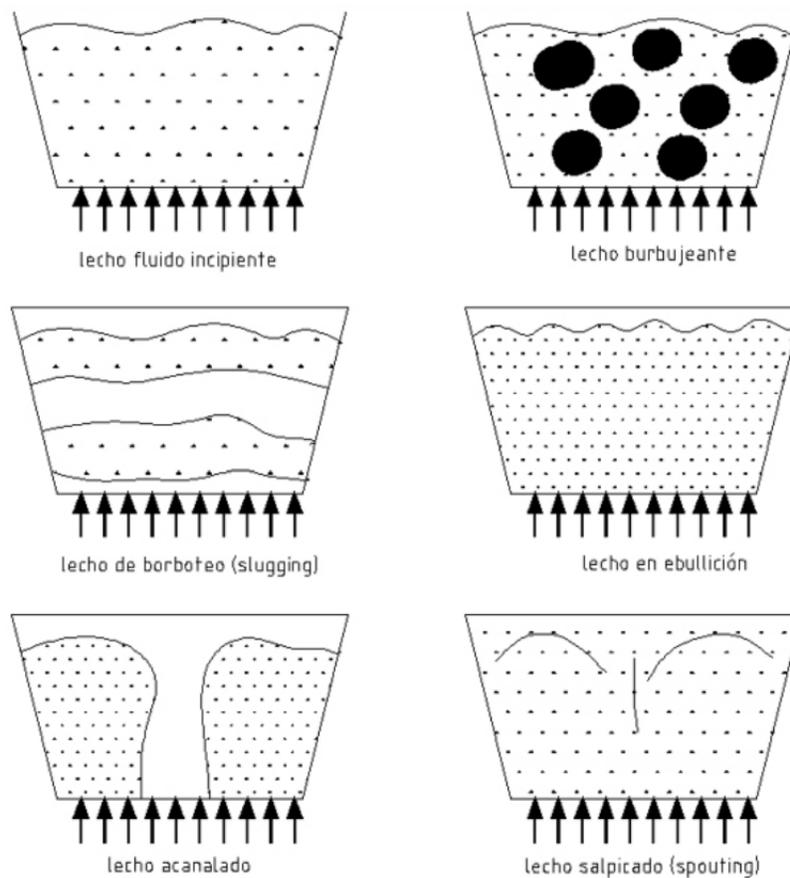
alimentación axial tiene el inconveniente que consume más potencia comparando con los otros tipos de platos de nueva generación, además, es difícil de controlar.

- Torbellino: Tiene la característica de crear movimientos giratorios en el lecho, como se muestra en la Figura 8 d.

Dado el tipo de plato a escoger, existirán varios tipos de lecho fluido, Dilip (2021) nos muestra en la Figura 9 las distintas formas que puede tener el flujo de aire dentro del lecho fluido.

**Figura 9**

*Tipos de Lecho Fluido*



**Nota:** Aquí se muestran los distintos tipos de lecho fluido. Dilip (2021).

### **Agitación del grano**

La agitación del grano se da directamente por la distribución de aire que exista en el lecho junto con la presión que genere el ventilador centrífugo, los efectos de una correcta agitación del grano provocaran la liberación de las propiedades organolépticas del café (aroma, sabor, cuerpo, dulzor) y también los diferentes tipos de tueste que se mencionaron anteriormente como:

- Tueste Claro
- Tueste Oscuro

#### **4.4. Métodos de control y monitoreo empleados en el proceso de tostación del café**

En el caso de una tostadora de café de lecho fluido, el sistema de control tendrá en cuenta a tres variables principales como:

- Temperatura: Se tendrá en cuenta la temperatura tanto del aire como del grano de café.
- Velocidad: Velocidad a la que se encontrara el ventilador centrífugo.
- Presión: Esta variable dependerá directamente de la velocidad del ventilador centrífugo y del diámetro o área de la tubería por donde circulará el aire caliente.

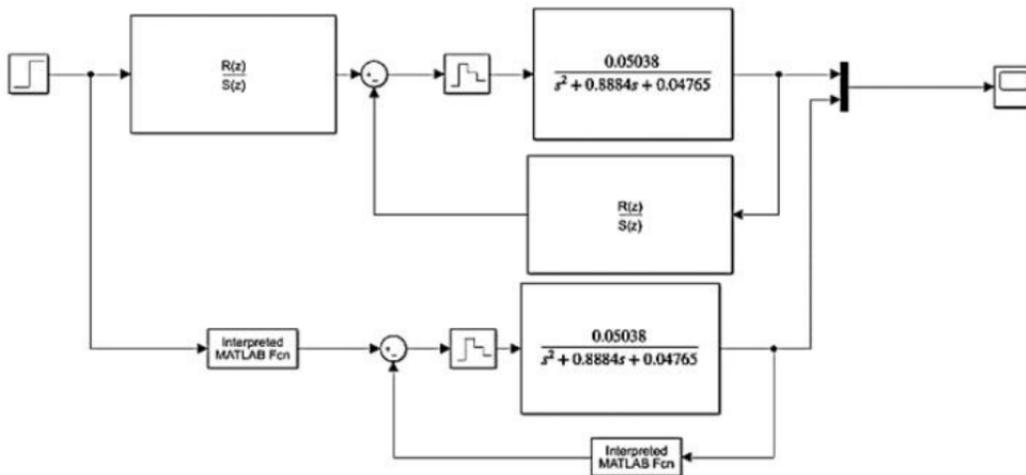
##### **4.4.1. Control PID**

El controlador PID es una estrategia de control ampliamente ocupada en la Industria, este posee tres componentes principales como la parte proporcional (P), derivativa (D) e integral (I); cada una de ellas cumple una función que permite que el sistema sea más robusto, más rápido o más lento.

Campo Ceballos y cols. (2020) Emplea el control PID para una tostadora de café de lecho fluido, con el fin de analizar el efecto que tiene el control de temperatura en este sistema, pudiendo controlarla exitosamente, en la Figura 10 se puede observar el diagrama de bloques y en la Figura 11 se aprecia la gráfica del sistema de control para diferentes perfiles de tostado.

**Figura 10**

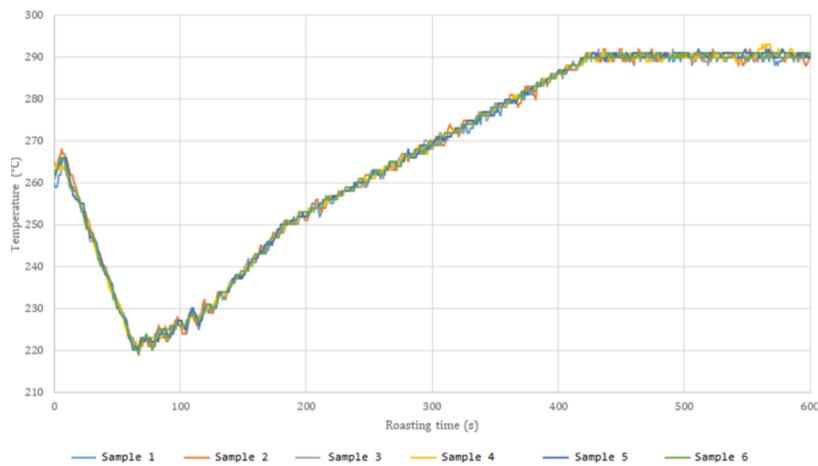
*Diagrama de Bloques*



**Nota:** Se observa el diagrama de bloques del control de temperatura. Campo Ceballos, Sotelo, Dorado Ipia, y Gaviria López (2020).

**Figura 11**

*Curva del Café*



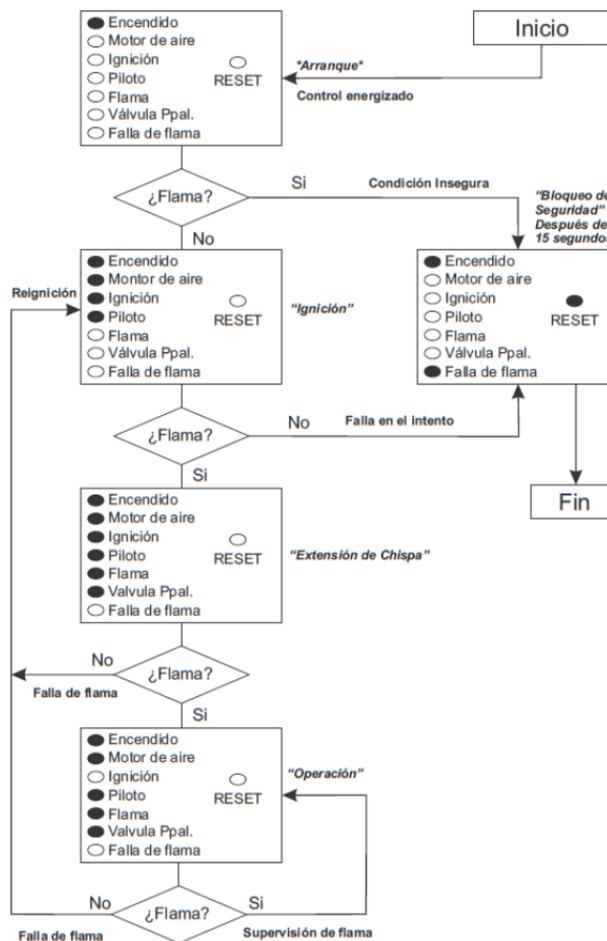
**Nota:** La presente gráfica muestra el control PID para diferentes perfiles de tostado. Campo Ceballos, Sotelo, Dorado Ipia, y Gaviria López (2020).

#### 4.4.2. Control Electrónico de Falla de Flama

Según Palacios (2016) este equipo electrónico de falla de flama está diseñado para controlar quemadores de GLP, empleando una varilla cantal como sensor. En la Fig. 12 se puede observar el diagrama lógico con el cual funciona este dispositivo.

**Figura 12**

*Control Electrónico VG310*



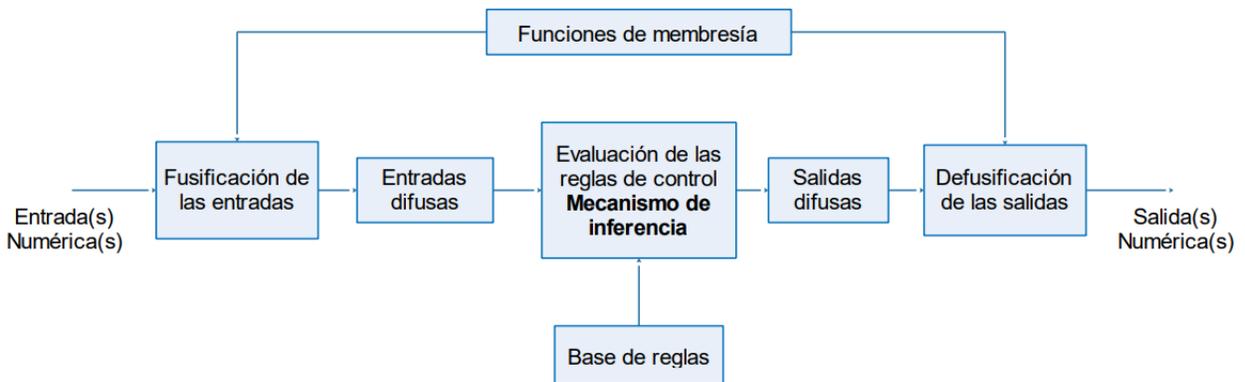
**Nota:** Se presenta el diagrama de flujo de un control electrónico de falla de flama. Palacios (2016).

### 4.4.3. Lógica Difusa

Según Diego (2021) la lógica difusa (FUZZY LOGIC), es un tipo de metodología de control que se encarga de mejorar las técnicas clásicas de control utilizando como principio fundamental la experiencia de las personas, su arquitectura se define en la Fig.13

**Figura 13**

*Control Lógica Difusa*

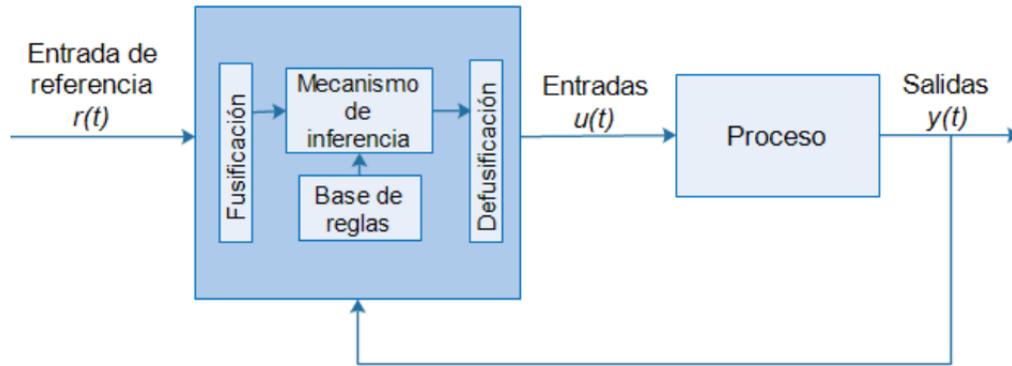


**Nota:** Se observa la arquitectura de un control de lógica difusa. Diego (2021).

Este tipo de controlador puede obtener información de temperatura, presión, velocidad y ofrecer la solución más conveniente, se lo puede tomar como un sistema que toma decisiones de manera artificial, su esquema se representa en la Fig. 14

**Figura 14**

*Control Lógica Difusa Lazo Cerrado*



**Nota:** Se muestra el control de lógica difusa en lazo cerrado. Diego (2021).

## 4.5. Análisis De Costos

Para una maquinaria en el análisis de costos se toma a consideración la mano de obra, incluye las horas hombre-máquina para la fabricación de cada uno de los elementos y distintas cotizaciones.

### 4.5.1. Elementos Normalizados:

Para determinar el costo de elementos normalizados, se realiza las cotizaciones en distintas casas comerciales, teniendo mayor perspectiva sobre su calidad y variedad. (Ortega Portilla, 2023)

### 4.5.2. Mano de Obra:

Aquí se prioriza el tiempo en función del operario y la máquina a emplearse. (Ortega Portilla, 2023)

#### **4.5.3. Costos Materiales:**

El procedimiento a seguir es similar a los elementos normalizados en donde se cotiza en distintas casas comerciales con el fin de averiguar su disponibilidad, calidad y variedad.(Ortega Portilla, 2023)

#### **4.5.4. Costos indirectos:**

Son costos indirectos aquellos que afectan a uno o más productos, y no pueden asignarse a una de las etapas productivas de una máquina.(Ortega Portilla, 2023)

#### **4.5.5. Costo de la maquinaria:**

Con los valores de los apartados anteriores, se suman y se obtiene el subtotal del costo de la máquina Hay que tener en cuenta costos como montaje de la máquina y diseño de la misma.(Ortega Portilla, 2023)

## **5. Marco metodológico**

### **5.1. Tipos de tostadora de lecho fluido**

Las tostadoras de café descritas a continuación se distinguen por su sistema de lecho fluido y tambor, lo que les confiere una eficiencia notable en el proceso de tostado. Además, presentan una serie de características estándar que las hacen funcionalmente más rentables en la industria del café. Con una capacidad de tostado que varía entre 5 kg y 25 kg de café, tanto en su estado verde como en almendra, estas máquinas ofrecen una capacidad de producción adecuada para adaptarse a diferentes escalas de operación. Además, su capacidad de programación permite ajustar fácilmente los perfiles de tostado según las especificaciones precisas de cada lote, mejorando ligeramente la calidad del producto final

**Tabla 2**

*Características Generales Tostadoras Lecho Fluido*

Características Generales					
Item	Descripción	Voltaje	Potencia	Método de Calefacción	Costos
1	ING Roast 12		90 W		\$4600
2	ING Roast 25	220 V	186 W	GLP	\$4170
3	ING Roast 50				\$5000
4	Guangzhou Roast Machine		90 w		\$3500

**Nota:** Tabla de características generales de una tostadora de café de lecho fluido.

A nivel industrial existen un sinnúmero de sistemas de tueste:

**Figura 15**

*Tostadora de lecho fluido ING ROAST 12*



**Nota:** Tostadora de lecho en suspensión con movimiento radial, capacidad de 48 kg/hr, marca Ingesecc (2023a).

**Figura 16**

*Tostadora de lecho fluido ING-ROAST-50*



**Nota:** Tostadora de lecho con una capacidad de 25 kilos de café verde o almendra, marca. Ingesecc (2023b).

**Figura 17**

*Tostadora de lecho fluido Semiautomática Guangzhou Roast Machine*



**Nota:** Tostadora de lecho fluido de 1 kg a 2 kg. Freezepanda (2024).

## Figura 18

*Tostadora de lecho fluido ING-ROAST-25*



**Nota:** Tostadora de lecho en suspensión con sistema de cargue neumático a través de PLC, capacidad de máxima de 22 Kg y tiempo de tueste aproximada con el sistema de enfriamiento de 15 minutos, marca INGROAST (2020).

## 5.2. Establecimiento de los parámetros iniciales para el diseño mecatrónico de una tostadora de café de lecho fluido para productores minoristas

### 5.2.1. Aspectos a considerar para el diseño de una tostadora de lecho fluido

Para la selección del tipo de tostadora de lecho fluido se tomó en consideración una serie de criterios aportados por los productores minorista, expuestos a continuación:

- Tueste por cargas o tandas: La tostadora de lecho fluido debe tener una capacidad de manejo de 10 kg de café por proceso o ciclo. Esta cantidad se seleccionó específicamente para satisfacer las necesidades de los productores minoristas, alineándose con la práctica comúnmente utilizada por la mayoría de los tostadores de tamaño medio o pequeño. La cantidad indicada coincide con la producción diaria típica, considerando que los sacos

de café generalmente tienen una capacidad de 60 kg y el estándar para los productores minoristas es de 10 kg por lote. Con este método, se espera que la tostadora produzca aproximadamente 240 kg de café al día, con un promedio de 10 kg en 10 minutos.

- Velocidad en la cámara de tostado: Este parámetro es de suma importancia en el proceso de tostado, ya que si la velocidad en la cámara de tostado excede el límite establecido, existe el riesgo de que los granos de café sean arrastrados hacia la salida del ciclón, lo que podría resultar en pérdidas significativas de materia prima y comprometer la eficiencia del proceso. Por otro lado, si la velocidad es insuficiente, los granos de café no alcanzarán el estado de fluidización necesario para el tueste requerido. Esto llevaría a una tostación incompleta, afectando negativamente la calidad general del café. Por lo tanto, mantener la velocidad dentro de los parámetros óptimos es fundamental para asegurar un tostado adecuado y consistente en cada lote de café.

- Presión: Es importante considerar la presión que ofrece el ventilador centrífugo, así como la que se genera en la cámara de tostado, ya que nos permite saber la deformación que tendrá el material en caso de existir, así como el comportamiento del ventilador y aumentar o disminuir su potencia en caso de tener caídas de presión

- Temperatura: Se ha optado por fijar una temperatura de 220 °C, dado que a esta temperatura se produce un tueste medio oscuro que resalta las propiedades organolépticas del café, incluyendo su sabor y aroma característicos durante el proceso de tostado.

- Velocidad en el ciclón: La velocidad del ciclón es un parámetro importante que nos ayuda a dimensionar el mismo y conocer el número de vueltas que tendrán que girar las partículas para lograr ser expulsadas.

- Materiales: Se propone desarrollar una tostadora de café por lecho fluido rentable en términos de materiales relacionados con grado alimenticio, garantizando su viabilidad para una futura construcción. Esto implica la selección cuidadosa de materiales que cumplan con los estándares de seguridad alimentaria, sin comprometer la eficiencia y durabilidad del equipo. El diseño debe enfocarse en la eficiencia a exposición en altas temperaturas y la facilidad de limpieza, para garantizar un funcionamiento óptimo y

cumplir con las regulaciones sanitarias pertinentes.

- Propiedades fisicoquímicas del grano de café: Estas propiedades físico-químicas e hidrodinámicas del café son la base fundamental para el diseño de la máquina, ya que con estos datos se puede determinar la velocidad de fluidización y el dimensionamiento de la cámara de tostado.

A continuación se mostrará la tabla 3 que contiene las propiedades hidrodinámicas del café elegidas, esto según el Anexo D.

**Tabla 3**

*Propiedades Elegidas.*

<b>Denominación</b>	<b>Cantidad</b>
Densidad empacada	640.12 kg/m <sup>3</sup>
Diámetro equivalente	6.4 mm
Esfericidad	0.67
Porosidad	0.63
Calor Especifico	1.935 J/g°C
Humedad Inicial	12%
Humedad Final	4%

**Nota:** En la tabla se observa las características físicas del café.

Una vez determinados los requerimientos físicos, se tiene que analizar las condiciones físico-ambientales del aire en la cual la tostadora estará operando.

Las condiciones elegidas para el aire a una temperatura de 25 °C, según el Anexo E y Anexo F se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4***Condiciones físicas del aire 25 °C.*

<b>Condiciones físicas Aire</b>	<b>Cantidad</b>
Densidad	1.184 kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad Dinámica	1.849x10 <sup>-5</sup> N/sm <sup>2</sup>
Calor Específico	0.63 J/gC°

**Nota:** En la tabla se observa las características físicas del aire.(*Temper*, s.f.)

Según el Anexo E y empleando interpolación lineal, la densidad que tendrá el aire dentro de la cámara de tostado a una temperatura 220 °C será.

**Tabla 5***Parámetros a 220 °C*

<b>Temperatura °C</b>	<b>Densidad kg/m<sup>3</sup></b>	<b>Viscosidad Dinámica</b>
200	0.646	2.57x10 <sup>-5</sup>
220	0.720	2.056x10 <sup>-5</sup>
300	0.616	2.93x10 <sup>-5</sup>

**Nota:** En la tabla se observa los parámetros del aire a 220°C.

De este modo obtenemos la densidad a 220 °C que es igual a 0.720 kg/m<sup>3</sup>.

### **5.3. Diseño Mecánico**

Para el diseño mecánico, se consideran los parámetros iniciales mencionados anteriormente, tales como: cantidad, velocidad en la cámara de tostado, presión, temperatura,

velocidad en el ciclón, materiales, propiedades físico-químicas del grano de café, entre otros. Basándose en esta información, se procede a seleccionar cuidadosamente los componentes principales de la máquina, tales como el ventilador centrífugo, el elemento calefactor y el plato distribuidor. Posteriormente, se llevan a cabo los cálculos pertinentes para determinar las medidas necesarias que garanticen un diseño óptimo y eficiente de la máquina.

### **Capacidad de Cámara Tostadora**

Según, Vargas Cajamarca, Quezada Campoverde, García Batista, y Carvajal Romero (2021), la Asociación Nacional de Exportadores de café reporta que la demanda nacional de café para el año 2019 fue de 2'200.000 en sacos de café de 60 kg, de los cuales el 54.54% se destinaron en la producción de la industria, 36.36% para exportación y el 9% para el consumo interno.

Esto nos sugiere que generalmente los sacos de café vienen en proporción de 60 kg, la capacidad de nuestra máquina será de 10 kg, teniendo una producción ideal de un saco de 60 kg por hora.

#### **5.3.1. Ventilador Centrífugo**

##### **Caudal necesario**

Para la presente aplicación, el caudal dependerá mucho de la cantidad de café que se desea tostar y de las propias características de la tostadora de café, también ayudará a asegurar que el lecho fluido se mantenga estable, lo que implica determinar la velocidad mínima de fluidización y el área de la sección transversal de la tubería, como se indica en la ecuación 1.

$$Q = u_{mf} \cdot A_{TT} \quad (1)$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal (m}^3/\text{s)}$$

$$u_{mf} = \text{Velocidad Mínima de Fluidización (m/s)}$$

$$A_{TT} = \text{rea Transversal de la Tubería (m}^2\text{)}$$

Con el fin de determinar el caudal que se requiere que posea el ventilador centrífugo, es necesario conocer la velocidad mínima de fluidización y el área transversal por donde pasara el aire, son características que en conjunto con los parámetros anteriormente establecidos se determinaran a continuación,

### **Velocidad mínima de fluidización**

Esta es una característica o propiedad de una partícula, en la cual es sensible a variaciones de densidad, forma, tamaño.

Según Palacios (2016) el inicio de la fluidización empieza cuando el peso de las partículas es igualado por la caída de presión, teniendo como resultado:

$$\text{Fuerza de arrastre} = \text{Peso de partículas}$$

Se lo expresa en la ecuación 2, de la siguiente manera:

$$\frac{\Delta P_{lecho}}{L_{mf}} = [(1 - \varepsilon_{mf})(\rho_s - \rho_g)g] \quad (2)$$

Donde:

$\Delta P_{lecho}$  : Presión del lecho

$L_{mf}$  : Longitud minima de fluidizacion

$\varepsilon_{mf}$  : Porosidad minima

$\rho_s$  : Densidad de partícula

$\rho_g$  : Densidad del gas

Sin embargo, Ergun relaciono la caída de presión del lecho en una determinada altura  $L$  con los parámetros físicos de una partícula  $d_p$ , obtenemos la ecuación 3 (Kunii y Levenspiel, 1969), se formula de la forma:

$$\frac{\Delta P_{\text{lecho}}}{L_{\text{mf}} \cdot g} = 150 \left( \frac{(1 - \varepsilon_{\text{mf}})^2 \cdot (\mu \cdot u_0)}{\varepsilon_{\text{mf}}^3 \cdot (d_p \cdot \phi)^2} \right) + 1.75 \frac{(1 - \varepsilon_{\text{mf}})}{\varepsilon_{\text{mf}}^2} \cdot \frac{\rho_g \cdot (u_0)^2}{\phi \cdot d_p} \quad (3)$$

Donde:

$d_p$  : Diámetro de las partículas

$u_0$  : Velocidad del gas

$\mu$  : Viscosidad dinámica

Con la combinación de las ecuaciones anteriores 2 y 3 despejando la expresión, se presenta de esta forma Ecuación 4, Kunii y Levenspiel (1969), la cual resulta en una ecuación cuadrática de velocidad mínima de fluidización  $u_{\text{mf}}$  para sólidos isotrópicos:

Donde:

$$\frac{1.75}{\varepsilon_{\text{mf}}^3 \cdot \phi} \frac{d_p \cdot \mu_{\text{mf}} \cdot \rho_g^2}{\mu} + 150 \frac{(1 - \varepsilon_{\text{mf}})}{\varepsilon_{\text{mf}}^3 \phi^2} \frac{d_p \cdot u_{\text{mf}} \cdot \rho_g}{\mu} = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2} \quad (4)$$

Obteniendo la ecuación 5 y 6 en términos adimensionales Kunii y Levenspiel (1969), la primera es el número de Reynolds para partículas y la segunda es el número de Arquímedes o Coeficiente de arrastre de las partículas con el gas fluido, y queda expresado de esta manera:

$$\frac{1.75}{\varepsilon_{\text{mf}}^3 \phi} Re^2 + 150 \frac{(1 - \varepsilon_{\text{mf}})}{\varepsilon_{\text{mf}}^3 \phi^2} Re = Ar$$

$$Re_p = \frac{d_p \cdot u_{\text{mf}} \cdot \rho_g}{\mu} \quad (5)$$

$$Ar = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2} \quad (6)$$

Resolviendo la ecuación 4 con los datos de la tabla 1 y 2, obtenemos la velocidad mínima de fluidización:

$$\frac{1.75}{\epsilon_{mf}^3 \cdot \phi} \frac{d_p \cdot \mu_{mf} \cdot \rho_g^2}{\mu} + 150 \frac{(1 - \epsilon_{mf})}{\epsilon_{mf}^3 \phi^2} \frac{d_p \cdot u_{mf} \cdot \rho_g}{\mu} = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2}$$

$$1.75((d_p)^2 \cdot \mu_{mf}^2 \cdot \rho_g^2) + 150 \frac{1 - \epsilon_{mf}}{\phi} \cdot d_p \cdot \mu \cdot \mu_{mf} \cdot \rho_g = d_p^3 \cdot \rho_g \cdot (\rho_s \cdot \rho_g) g \cdot \epsilon_{mf}^3 \phi$$

$$1.75(\mu_{mf}^2) + 0.369(\mu_{mf}) - 6.563 = 0$$

Se manifiesta en la ecuación 7 y 8 de la siguiente forma:

$$U_{mf1} = 1.84 m/s \quad (7)$$

$$U_{mf2} = -2.8 m/s \quad (8)$$

Para determinar la velocidad terminal Kunii y Levenspiel (1969), en la ecuación 9 la cual es la velocidad máxima en la cual si se la sobrepasa los granos pueden salir del sistema, pero antes se tiene que calcular el coeficiente de arrastre, su estimación está basado correlaciones experimentales.

$$C_D = \frac{24}{Re} \left[ 1 + \left( 8.171 e^{-4.0566\phi} \right) Re^{0.0964+0.5565\Phi} \right] + \frac{73.69 Re \left( e^{-5.0748\Phi} \right)}{Re + 5.37 e^{6.2122\Phi}} \quad (9)$$

$$C_D = 0.870$$

Con el coeficiente de arrastre determinado se obtiene la velocidad terminal en el lecho,

ecuación 10.

$$u_t = \sqrt{\frac{4d_p(\rho_s - \rho_g)g}{3\rho_g C_D}} \quad (10)$$

$$u_t = 9.25 \text{ m/s}$$

Según Londoño (2006), uno de los tantos parámetros para diseñar un ciclón tangencial es ocupar un diámetro del ciclón uniformador  $D_c$  con valores  $\leq 1\text{ m}$  de diámetro, para efectos prácticos se escogió un diámetro con un valor de 0.5 m.

Para determinar el diámetro de la entrada de aire, se parte de una tabla de diseño de ciclones, si consideramos al lecho como un ciclón uniformador en donde tenemos:

**Tabla 6**

*Dimensionamiento de un ciclón*

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de Ciclón		
		Stairmand	Swift	Echeverri
Diámetro del Ciclón	$D_c/D_c$	1.0	1.0	1.0
Diámetro de salida de partículas	$B/D_c$	0.375	0.4	0.5

**Nota:** Tabla de Dimensiones de un ciclón. Londoño (2006).

### Relación entrada-salida

$$\frac{B}{DC} = 0.375$$

En donde conocemos que el valor de  $D_c = 0.5\text{ m}$ , por lo tanto:

$$B = 0.375(0.5)$$

$$B = 0.187\text{ m}$$

$$A_{TT} = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A_{TT} = \frac{\pi(0.187)^2}{4}$$

$$A_{TT} = 0.0274\text{ m}^2$$

## Caudal

Con los datos obtenidos y haciendo referencia a la ecuación 1, para obtener el caudal tenemos la ecuación 11 a continuación:

$$Q = U_{op} \cdot A_{TT} \quad (11)$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal } (m^3/s)$$

$$U_{op} = \text{Velocidad de Operación } (m/s)$$

$$A_{TT} = \text{Área Transversal de la Tubería } (m^2)$$

$$Q = 0.0274m^3(5.555m/s)$$

$$Q = 0.152m^3/s$$

## Dimensionamiento del Lecho

Para determinar la altura del lecho usamos la ecuación 14, esta nos explica que lo primero es determinar el volumen del café tostado, sabiendo que la densidad empacada es de  $640 \text{ kg/m}^3$ , según J. Sánchez, Anaya, Gutiérrez, Vizcarra, y ENCB-IPN (2013), cuando se tuesta el café entre  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $230 \text{ }^\circ\text{C}$  ocurre una pérdida de masa del café de aproximadamente el 14%, y una densidad próxima a  $447 \text{ kg/m}^3$ , tenemos:

$$V_{ct} = \frac{m_{ct}}{\rho_{ct}} \quad (12)$$

Donde:

$V_{ct}$  : Volumen de café tostado

$m_{ct}$  : Masa café a tostar

$\rho_{ct}$  : Densidad del café tostado

$$V_{ct} = \frac{10kg}{447kg/m^3}$$

$$V_{ct} = 0.0223m^3$$

Una vez tenemos el volumen del café tostado se determina el volumen del lecho con la ecuación 13 y 14, se toma en cuenta que el volumen del café, si bien en cierto pierde densidad, en cambio, su volumen aumenta al 50%, por lo tanto, el volumen del café tostado será:

$$V_{ct2} = V_{ct} \cdot 1.5 \quad (13)$$

$$V_{ct2} = 0.223m^3 \cdot 1.5$$

$$V_{ct2} = 0.0334m^3$$

$$V_L = \frac{V_{ct2}}{1 - \epsilon_0} \quad (14)$$

Donde:

$V_L$  : Volumen Lecho Empacado

$V_{ct2}$  : Volumen de café tostado 2

$\epsilon_o$  : Porosidad café empacado

$$V_L = \frac{0.0334m^3}{1 - 0.51}$$

$$V_L = 0.0681m^3$$

Este valor nos permitirá determinar una primera altura, que corresponde al lecho empacado, y el área transversal como tal, por lo tanto, obtenemos la ecuación 15.

$$V_L = \pi r^2 \cdot L_1 \quad (15)$$

$$L_1 = \frac{V_L}{\pi r^2}$$

$$L_1 = \frac{0.0681m^3}{\pi 0.5^2}$$

$$L_1 = 0.347m$$

Con este dato se propone la ecuación 16 con la cual determinamos la altura mínima de fluidización, que relaciona las porosidades del café empacado como fluido y la longitud

del lecho.

$$L_{mf} = \frac{L_1}{\frac{1-\epsilon_{mf}}{1-\epsilon_o}} \quad (16)$$

Donde:

$L_{mf}$  : Longitud mínima de fluidización

$L_1$  : Longitud lecho empacado

$\epsilon_{mf}$  : Porosidad mínima fluidización

$\epsilon_o$  : Porosidad café empacado

$$L_{mf} = \frac{0.347}{\frac{1-0.63}{1-0.51}}$$

$$L_{mf} = 0.459m$$

Para determinar las caídas de presión existentes en el lecho, es importante determinar la constante de fluidización que en este caso es  $K$  dicho por Wen y Yu Kunii y Levenspiel (1969) explicado en la ecuación 17, relacionando la porosidad del grano con la velocidad mínima de fluidización nos dice lo siguiente:

$$K = \frac{U_{mf}(1 - \epsilon_{mf})}{(\epsilon_{mf}^3)} \quad (17)$$

Donde:

$U_{mf}$  : Velocidad mínima de fluidización

$K$  : Constante de Fluidización

$\epsilon_{mf}$  : Porosidad mínima de fluidización

$$K = \frac{1.849(1 - 0.63)}{(0.63^3)}$$

$$K = 2.737$$

Una vez obtenido la constante de fluidización, se determina, mediante la ecuación 18

Kunii y Levenspiel (1969), la porosidad de los granos de café en operación. Es decir, cuando se encuentran en movimiento fluido, tenemos:

$$K \cdot \frac{\epsilon_{op}}{3(1 - \epsilon_{op})} = U_{op} \quad (18)$$

Reemplazando los datos:

$$2.74 \cdot \frac{\epsilon_{op}}{3(1 - \epsilon_{op})} = 5.55$$

$$2.74\epsilon_{op}^3 + 5.55\epsilon_{op} - 5.55 = 0$$

$$\epsilon_{op} = 0.77$$

Con la porosidad de operación, se da énfasis a la ecuación 19, Kunii y Levenspiel (1969) con ello podemos determinar la longitud de operación del lecho:

$$L_{op} = \frac{(1 - \epsilon_{mf})(L_{mf})}{1 - \epsilon_{op}} \quad (19)$$

Donde:

$L_{op}$  : Longitud de Operación

$L_{mf}$  : Longitud mínima de fluidización

$\epsilon_{op}$  : Porosidad de operación

$\epsilon_{mf}$  : Porosidad mínima de fluidización

$$L_{op} = \frac{(1 - 0.63)(0.459)}{1 - 0.77}$$

$$L_{op} = 0.73m$$

Mediante el presente dato, se puede calcular la caída de presión existente en el lecho

fluido realizada en la ecuación 20 Kunii y Levenspiel (1969).

$$\Delta P_{lecho} = L_{op}(1 - \epsilon_{op})[(\rho_{ct} - \rho_g) \cdot g] \quad (20)$$

Donde:

$\Delta P_{lecho}$  : Presión ejercida en el lecho

$L_{op}$  : Longitud de operación

$\epsilon_{op}$  : Porosidad de operación

$\rho_{ct}$  : Densidad café tostado

$\rho_g$  : Densidad del gas

$g$  : Gravedad

$$\Delta P_{lecho} = 0.73(1 - 0.77)[447 - 0.720] \cdot 9.81]$$

$$\Delta P_{lecho} = 735.067 Pa$$

Cuando el aire pasa por el calentador, se da un incremento de velocidad debido a la expansión del aire. Esta velocidad extra puede ser calculada en la ecuación 21 Cengel y Cimbala (2006), con la relación existente entre las densidades del fluido a distinta temperatura:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (21)$$

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1.184}{0.720}$$

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = 1.64$$

En esta parte solo se toma el 0.64 que interpretándolo, nos quiere decir que tenemos un incremento de la velocidad del 64% con respecto a la velocidad de entrada.

### **Presión Total**

Para el cálculo de la presión total, se parte de la ecuación de Bernoulli para determinar

las caídas de presión existente, tomando en cuenta las perdidas primarias y secundarias que se pueden dar en el sistema.

$$P_T = \Delta P_{lecho} + \frac{\rho g \cdot U_o^2}{2} + h_{fp} + h_{fs} + z\rho g \quad (22)$$

Donde:

$P_T$  : Presión Total

$h_{fp}$  : Perdida primaria

$h_{fs}$  : Perdida secundaria

$\Delta P_{lecho}$  : Presión en el lecho

$U_{op}$  : Velocidad de operación

$\rho_g$  : Densidad del gas

$z$  : Altura

$g$  : Gravedad

Partimos de las perdidas secundarias, que en este caso, tendremos un codo a 90°, este posee una constante K de perdida de carga, igual a K=0.291, por lo tanto:

$$h_{fs} = \frac{K \cdot \rho_g \cdot U_o^2}{2} \quad (23)$$

Donde:

$h_{fs}$  : Perdida secundaria

$K$  : Constante de perdida de carga

$U_{op}$  : Velocidad de operación

$\rho_g$  : Densidad del gas

$$h_{fs} = \frac{0.291 \cdot 0.720 \cdot 5.55^2}{2}$$

$$h_{fs} = 3.22 Pa$$

Ahora continuamos con las pérdidas primarias, para esto hay que determinar un factor de fricción, este depende del número de Reynolds y del diámetro de la sección, en este caso sería de la tubería.

$$h_{fp} = f \cdot \rho_g \cdot \frac{8L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^5} \quad (24)$$

El factor de fricción es:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{0.0015}{3.71(D)} + \frac{3.74^{0.9}}{Re}\right)\right)^2} \quad (25)$$

Reemplazando los datos del número de Reynolds tenemos:

$$Re = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v \cdot D} \quad (26)$$

$$Re = 66769.85$$

Reemplazando en la ecuación 24 para el factor de fricción, tenemos:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{0.0015}{3.71(0.187)} + \frac{3.74^{0.9}}{66769.85}\right)\right)^2}$$

$$f = 0.022$$

Obtenido el factor de fricción, determinamos la pérdida de carga primaria.

$$h_{fp} = 0.022 \cdot 0.720 \cdot \frac{8(0.8) \cdot 0.152^2}{\pi^2 \cdot 0.187^5}$$

$$h_{fp} = 1.037 Pa$$

Con la pérdida primaria obtenida, procedemos a calcular la presión total, reemplazando estos datos:

$$P_T = 735.067 + \frac{0.720 \cdot 5.55^2}{2} + 1.037 + 3.22 + (0.3 \cdot 0.720 \cdot 9.81)$$

$$P_T = 752.531 Pa$$

Con los resultados de la presión existente se puede determinar la presión estática

y dinámica con la ayuda de una tabla que relacione estas características, la presión dinámica que se manejara será de 1.7 mmca dando como resultado una presión estática de 75.3 mmca.

Con los datos anteriores, el ventilador centrífugo seleccionado para esta aplicación es de la marca Sisteven, modelo ST 9/4, y posee las siguientes características:

- Ventilador de simple aspiración
- Envoltente en chapa de acero galvanizado
- Turbina con álabes curvas hacia adelante
- Trifásico de 220/400 V a 50 Hz
- Temperatura máxima de aire a transportar -20 C a 85 C
- Potencia de 2.2 kWh
- Velocidad máxima 2400 RPM
- Caudal Máximo 3500  $m^3/h$

### **5.3.2. Calefactor**

En 2020 fue realizado un trabajo de grado de Lenin (2016) dirigido a la 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. En este trabajo se determinó la implementación de un sistema de control por medio del calentamiento con el uso de resistencias eléctricas, para obtener un calentamiento más preciso y manejable. Esta máquina puede tostar café de quinua con una capacidad de 25 libras a una temperatura de 180 °C en 45 minutos. Para obtener una temperatura estable de 80 °C, se implementó un controlador PID por el método de sintonización Turner.

En la Universidad Técnica del Norte se realizó también un trabajo realizado por Luis (2019), el cual trata de un sistema de control para mejorar el desempeño de una máquina tostadora de café. El trabajo presenta la implementación de un módulo de control en máquinas tostadoras para automatizar el calentamiento del sistema. Este módulo cuenta con un sensor de temperatura para la regulación en un rango de 20 a 255 °C y en un

tiempo de 1 a 30 minutos. Además, controla los procesos de carga y descarga, control de gas y resistencias eléctricas y el sistema de enfriamiento. Como resultado, se consiguió una mayor eficiencia de calentado y precisión en el control con la instalación de tres resistencias eléctricas.

**Ley de Enfriamiento de Newton** Se emplea la Ley de Enfriamiento de Newton, con el fin de determinar una temperatura promedio que se podría emplear para el calentamiento del proceso de tostado, estableciendo así, condiciones de frontera.

$$T_D = T_{MAX} + (T_{inicial} - T_{MAX})e^{(k \cdot t_s)} \quad (27)$$

Donde:

$T_D$  : Temperatura deseada

$T_{MAX}$  : Temperatura máxima

$T_{inicial}$  : Temperatura inicial

$k$  : Constante de tiempo

$t_s$  : Tiempo deseado

Sabemos que deseamos tostar el café a 220 °C en 10 minutos y nuestra temperatura inicial es de 25 °C; se planteará una temperatura máxima de 250 °C que corresponde al café con un grado de tueste oscuro, por lo tanto:

$$220 = 250 + (25 - 250)e^{(k \cdot 600)}$$

$$\frac{220-250}{-225} = e^{k(600)}$$

$$-0.13 = e^{k(600)}$$

$$\ln(-0.13) = k(600)$$

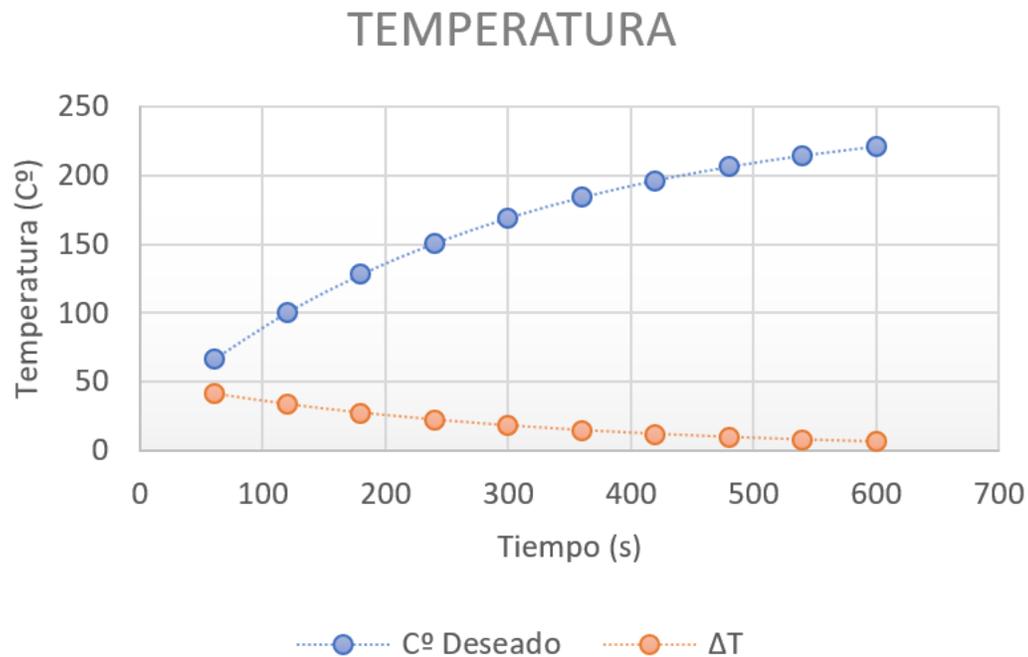
$$k = -0.0034$$

Con la constante de tiempo obtenida, se puede ir variando el tiempo por minuto para obtener una curva de cambio de temperatura.

$$T_D = 250 + (25 - 250)e^{(-0.0034 \cdot t_s)}$$

**Figura 19**

*Curva Calentamiento*



**Nota:** Curva calentamiento por minuto.

Con estos resultados obtenemos una temperatura promedio de 163.50 °C, con un aumento promedio de temperatura de 19.6 °C, por lo que decidimos que el calentador tendrá un incremento promedio de al menos 30 °C por minuto.

Para determinar la resistencia a utilizar se debe calcular la potencia necesaria para calentar la cámara de tostado hasta alcanzar la temperatura requerida para tostar el café.

Para este propósito se usa la ecuación 28, se representa de esta forma:

$$q = m_c \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (28)$$

En donde,

$C_p$  = Calor específico

$m_c$  = masa a calentar

$\Delta T$  = Cambio de temperatura

$q$  = Calor

### **Calor específico del café pergamino basándonos en método de las mezclas:**

Para calcular el calor específico del café pergamino dentro del intervalo de humedad del grano que va desde el 10% hasta el 12% de humedad base (bh), obtenemos la ecuación 31:

$$C_p = 1.3556 + 5.7859CH_1 \quad (29)$$

Donde:

$C_p$  : Calor específico,  $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{K}^{-1}$

$CH_1$  : Contenido de humedad, decimal, bs

El calor específico del café es de  $C_p = 1.9325 \text{ kJ}/^\circ\text{C}$

Utilizando los valores calculados en las ecuaciones anteriores y considerando un aumento de temperatura con una masa de café de 10 Kg, se puede determinar la ecuación 30, expresa la cantidad de calor requerida por la resistencia.

$$q = m_c \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (30)$$

$$q = 10 \cdot 1.9325 \cdot (138.5)$$

$$q = 2639 \text{ KJ}$$

Con el calor determinado, para un tiempo de 10 min de tostado, se obtiene la potencia necesaria para el tueste de 10 kg de café, por parte del calentador.

$$\frac{q}{t} = \frac{2639KJ}{10 \cdot 60}$$

$$\frac{q}{t} = 4.3kW$$

Este resultado es una buena aproximación de la potencia que se requerirá para que el café pase de 25 °C a 220 °C, en un tiempo de 10 minutos.

Se conoce la potencia, el área superficial y la temperatura promedio, pero se desconoce el coeficiente de transferencia de calor, por ello se lo determinará teniendo en cuenta el número de Reynolds, el número de Prandtl y el número de Nusselt.

$$Re = \frac{\rho_g (U_o) (D)}{u_{dinámica}}$$

Donde:

$Re$  : Número de Reynolds

$T_D$  : Densidad del gas

$U_{op}$  : Velocidad de Operación

$\mu_d$  : Viscosidad dinámica

$$Re = \frac{1.184(5,55)(0,187)}{1,849 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 66458,3$$

El número de Reynolds nos indica que el fluido va a ser del tipo turbulento, ya que se lo considera de este tipo cuando el número de Reynolds es  $Re > 4000$ .

Ahora se determinará el número de Prandtl, que relaciona el calor específico, viscosidad dinámica y la conductividad térmica.

$$Pr = \frac{C_{paire} \cdot \mu_d}{\lambda} \quad (31)$$

Donde:

$Pr$  : Numero de Prandlt  
 $Cp_{aire}$  : Calor especifico del aire  
 $\mu_d$  : Conductividad Térmica

$$Prldt = \frac{1007 (1,849 \times 10^{-5})}{0,025}$$
$$Prldt = 0.744$$

Conociendo el número de Reynolds y Prandtl podemos determinar el número de Nusselt, este último será específicamente para flujo turbulento y con un factor de calentamiento  $n=0.4$ .

$$Nu = 0.0023(Re^{0.8})(Pr^{0.4}) \quad (32)$$

$$Nu = 0.0023(66458.3^{0.8})(0.744^{0.4})$$

$$Nu = 147.36$$

Finalmente, con la ecuación 33 obtenemos el coeficiente de transferencia de calor  $h$ .

$$h_{aire} = \frac{Nu \cdot \lambda}{D} \quad (33)$$

Donde:

$h_{aire}$  : Coeficiente de transferencia de calor  
 $Nu$  : Numero de Nusselt  
 $D$  : Diámetro de Tubería

Reemplazando:

$$h_{aire} = \frac{147.36 \cdot 0.02}{0.187}$$

$$h_{aire} = 15.8 \frac{W}{m^2C}$$

Una vez con el coeficiente de transferencia de calor obtenido, podemos determinar la longitud que tendrá el calentador, tenemos:

$$Q = A_s h_{aire} \Delta T$$

Donde:

$Q$  : Potencia

$h_{aire}$  : Coeficiente de transferencia de calor

$A_s$  : Area Superficial

$\Delta T_{prom}$  : Temperatura promedio

Reemplazando:

$$Q = A_s \cdot 15.8 \cdot \Delta T_{prom}$$

$$4.3 = \pi \cdot 0.15 \cdot L \cdot 15.8 \cdot 195$$

$$L = \frac{4.3 \times 10^3}{15.8 \cdot 0.15 \cdot \pi \cdot 195}$$

$$L = 2.9m$$

Se tomará solo el 55% de esta longitud, por el hecho de que se supondrá que la resistencia eléctrica será helicoidal, tiene espacios vacíos. El calentador, en este caso la resistencia eléctrica, tendrá las siguientes características:

- Longitud de 1.6 cm
- Potencia 4.4 kW

### 5.3.3. Plato distribuidor

El plato distribuidor, como ya se mencionó, posee varias configuraciones que pueden ser ejecutadas de acuerdo con los requerimientos de fluidización que se requiera en el lecho, una

de las principales características de diseño del plato, es la cantidad y dimensión de los orificios que lo conforman y la presión existente en el plato distribuidor.

Para determinar la presión existente en el lecho es importante tomar en cuenta la ecuación 34, esta nos explica la importancia de saber que en el distribuidor según Kunii y Levenspiel (1969) existen variaciones de entre 0.2 a 0.4 es decir, el 20% o 40% de la presión existente en el lecho; sin embargo, se empleara la aproximación de Pell, que nos dice que esta variación de presión es equivalente a 0.5 la presión del lecho, por lo tanto:

$$\begin{aligned}\Delta P_d &= (0.5)P_{\text{lecho}} \\ \Delta P_d &= (0.5) \cdot 735.067 Pa \\ \Delta P_d &= 367.533 Pa\end{aligned}\tag{34}$$

Sabiendo la presión que se resta en el distribuidor hay que definir las dimensiones y número de orificios, que en este caso es la cantidad, velocidad y dimensión que tendrán los orificios del plato distribuidor. Para esto es necesario la ecuación 35 para calcular el número de Reynolds del lecho para con este dato, obtener el coeficiente de orificios:

$$Re_{\text{lecho}} = \frac{d_t u_{op} \rho_g}{u}\tag{35}$$

Donde:

$$\begin{aligned}d_t &= \text{Diámetro Total} \\ u_{op} &= \text{Velocidad de operación} \\ \rho_g &= \text{Densidad del gas} \\ u &= \text{Viscosidad dinámica}\end{aligned}$$

Reemplazando los datos obtenemos que el número de Reynolds del lecho es:

$$\begin{aligned}Re_{\text{lecho}} &= \frac{0.5(5.55)(0.720)}{2.056 \times 10^{-5}} \\ Re_{\text{lecho}} &= 97178.98\end{aligned}$$

Según Kunii y Levenspiel (1969), el Reynolds al ser mayor a 3000 se sugiere que su coeficiente de orificio sea de 0.6 expresados en la ecuación 36.

Por lo tanto:

$$C_{d,or} = 0.6 \quad (36)$$

Con los cálculos anteriores, se puede determinar la velocidad a la que el gas pasara por cada orificio y para ello se emplea la relación existente entre el coeficiente del orificio, la presión existente en el distribuidor expresada en la ecuación 37 y la densidad del gas, expuesto por Kunii y Levenspiel (1969) .

$$u_{or} = C_{dor} \left( \frac{2\Delta P_d}{\rho_g} \right) \quad (37)$$

$$u_{or} = 0.6 \left( \frac{2 \cdot 347.533}{0.720} \right)^{0.5}$$

$$u_{or} = 19.171 m/s$$

Una vez sabemos que la velocidad que circulara por los orificios del distribuidor será de 19.71 m/s, se determina el número de orificios que tendrá el mismo, para esto se impuso un diámetro de orificio de 3 mm expuesto en la ecuación 38 que corresponde al 50% del diámetro del café seco, tenemos:

$$N_{or} = \frac{4U_{op}}{\pi \cdot u_{or} \cdot d_{or}} \quad (38)$$

$$N_{or} = \frac{4 \cdot 1.184}{\pi \cdot 19.171 \cdot 0.003}$$

$$N_{or} = 13578$$

La distribución de los agujeros será de manera triangular, esto con el fin de obtener una mayor uniformidad al momento de tostar, es importante determinar la distancia entre centros que existe, para esto se relaciona el número de orificios anteriormente calculados, el área del plato distribuidor y el diámetro de orificios, según la ecuación 39.

$$L_{ct} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot r^2}{3^{1/3} \cdot N_{or}}} \quad (39)$$

Donde:

$L_{ct}$  : Longitud de Centros

$r$  : Radio del plato

$N_{or}$  : Número de orificios

$g$  : Gravedad

Reemplazado los datos anteriores, tenemos:

$$L_{ct} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi \cdot 0.25^2}{3^{1/3} \cdot 13578}}$$

$$L_{ct} = 4.086mm$$

#### 5.3.4. Dimensionamiento del Ciclón Separador

Para el dimensionamiento del ciclón separador de partículas, es importante conocer las dimensiones generales de la cascarilla de café tostado, esta sería una restricción para elegir el ciclón adecuado.

Según, Enma, Dolores, y Margarita (2018), las dimensiones de la cascarilla del café varían entre 0.59 mm y 3.3 mm. Por lo que se empleara un ciclón convencional tipo Swift, que a diferencia de los de alta eficiencia, se caracterizan por separar partículas mayores a 100  $\mu$ m.

Se sabe que los ciclones convencionales trabajan con velocidad que varían de entre 15 m/s a 27 m/s, por lo que la velocidad media de entrada del ciclón será de 21 m/s.

**Tabla 7***Dimensionamiento de un ciclón convencional*

<b>Dimensión</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Tipo de Ciclón</b>
		<b>Swift</b>
Diámetro del Ciclón	Dc/Dc	1.0
Diámetro de salida de partículas	B/Dc	0.4
Altura de Entrada	a/Dc	0.5
Ancho de Entrada	b/Dc	0.25
Diámetro de Salida	Ds/Dc	0.6
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1.75
Altura parte cónica	z/Dc	2.0
Altura total del Ciclón	H/Dc	3.75
Factor de configuración	G	381.79
Número de Vórtices	N	5.5

**Nota:** Tabla de Dimensionamiento del ciclón convencional. (Londoño, 2006).

Con el fin de obtener el diámetro del ciclón es necesario determinar el área de entrada, se toma de referencia el caudal que es de  $0.152 \text{ m}^3/\text{s}$  , por lo tanto:

$$A_E = \frac{Q}{V_E} \quad (40)$$

$$A_E = \frac{0.152}{21}$$

$$A_E = 0.0072 \text{ m}^2$$

Según la figura 25, podemos determinar el diámetro relacionando las secciones a y b con el área de entrada, tenemos:

$$A_E = a \cdot b$$

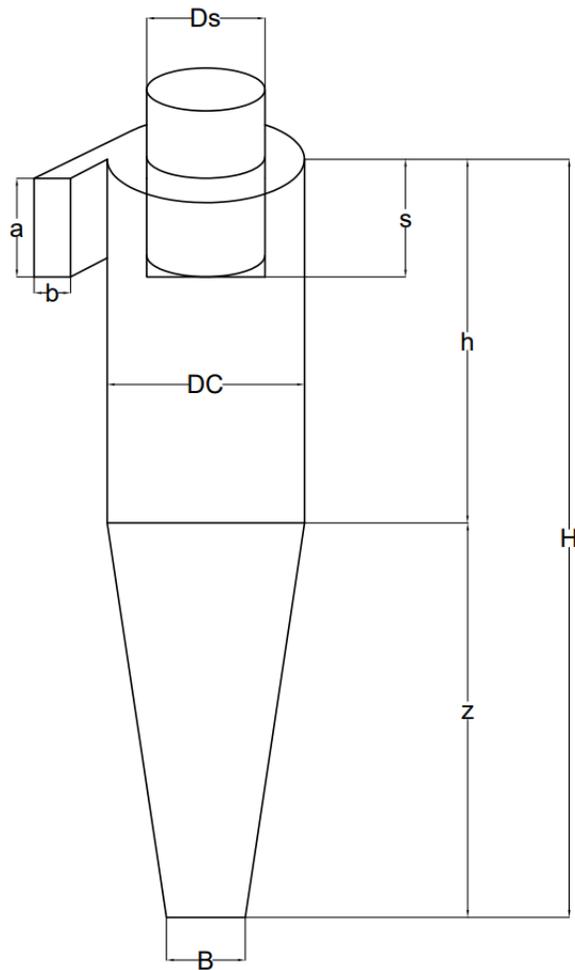
$$0.0072 = DC \cdot (0.5) \cdot DC \cdot (0.5)$$

$$DC = 0.268m$$

Con este diámetro en consideración, podemos obtener todas las medidas del ciclón separador, tenemos:

**Figura 20**

*Medidas de un ciclón convencional*



**Nota:** Medidas ciclón convencional.

$a : 0.0135 \text{ m}$   
 $b : 0.067 \text{ m}$   
 $s : 0.135 \text{ m}$   
 $h : 0.472 \text{ m}$   
 $z : 0.54 \text{ m}$   
 $B : 0.10 \text{ m}$   
 $G : 381.8$   
 $D_s : 0.162 \text{ m}$   
 $H_t : 1.012 \text{ m}$   
 $N : 5.5$

### **5.3.5. Material seleccionado**

Se ha tomado la decisión estratégica de emplear el Acero Inoxidable AISI 316 como material principal en el diseño de la tostadora de lecho fluido. La elección de este material se fundamenta en sus propiedades excepcionales que lo destacan como un recurso idóneo para cumplir con los requisitos específicos de la norma ISO 9001.

El numeral 8 de la norma ISO 9001/2015, establece la planificación y los controles operacionales que se deben aplicar a los procesos, los cuales pueden contribuir a la disminución de afectaciones a la salud generada por no cumplir las buenas prácticas de manufactura que garantizan la inocuidad alimentaria.(M. X. Sánchez, 2020)

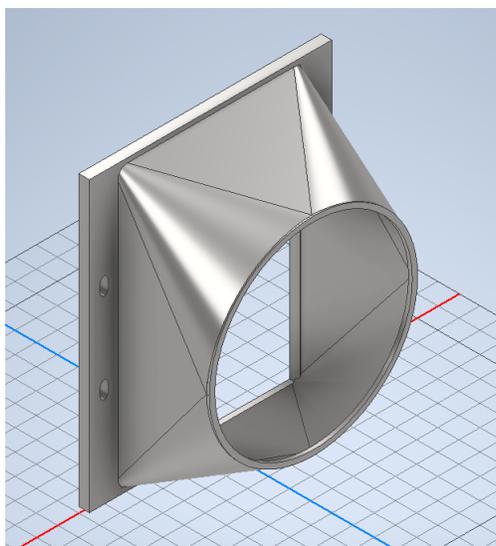
### **5.3.6. Acople Rectángulo-Circular**

Este acople tiene la función principal de transportar el aire saliente del ventilador, hacia la tubería, estará fabricado en chapa de acero galvanizado de 1.5 mm de espesor, tendrá unión con el ventilador y una brida de acoplamiento, así mismo las longitudes generales serán de

273.2 x 229.2 x 107.5 mm, estas medidas se obtuvieron tomando de referencia las medidas generales que posee el ventilador centrífugo ST 9/4 según su catálogo.

### **Figura 21**

*Acople Rectángulo-Circular*



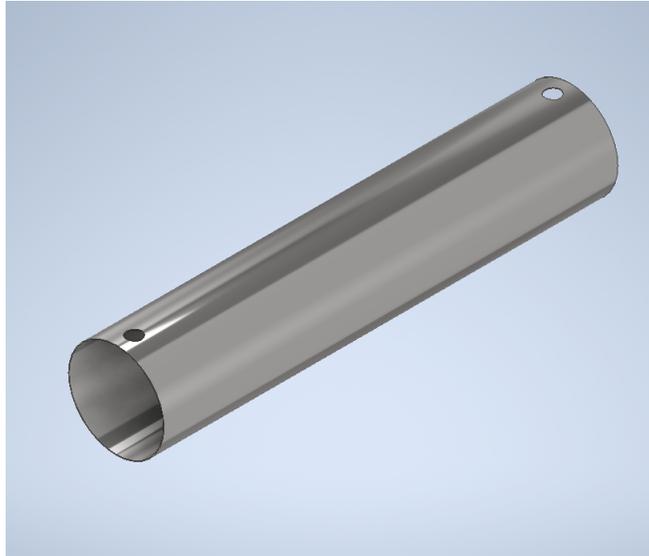
**Nota:** Acople de salida de aire.

### **5.3.7. Tubería de Calefacción**

La tubería de calefacción hacer referencia a la sección de la máquina por donde estará conectada la resistencia eléctrica que proporciona el calor al café, esta tubería estará construida de acero inoxidable AISI 316 de grado alimenticio con un espesor de 1.5 mm y una longitud de 160 cm, contará con dos agujeros en sus extremos con un diámetro de 2 cm por donde los terminales de la resistencia eléctrica pasará.

## Figura 22

### *Tubería de Calefacción*



**Nota:** Tubería donde se ubicara la resistencia eléctrica.

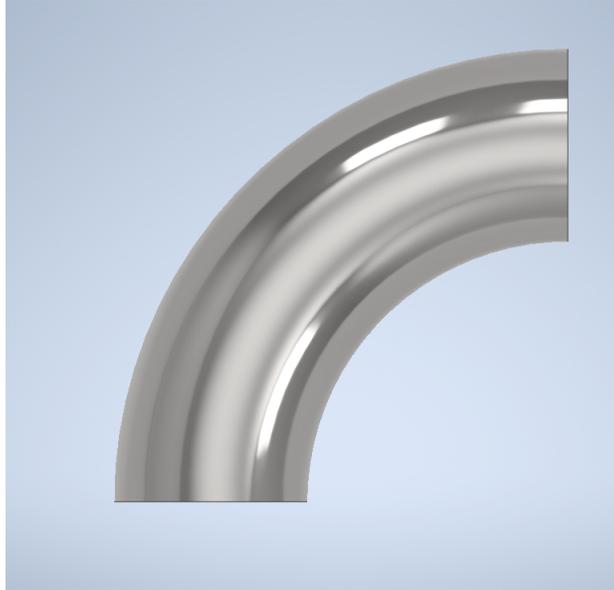
### 5.3.8. Codos

Los codos son elementos mecánicos que sirven para trasladar un fluido, ya sea líquido o gaseoso en una dirección diferente, para la presente aplicación servirá para trasladar el aire caliente proveniente de la resistencia eléctrica hacia el tanque uniformador o lecho.

El codo en cuestión tendrá un radio externo de 451.05 mm y un radio interno de 258.95 mm y un espesor de 1.5 mm.

## Figura 23

*Codo 90 grados*



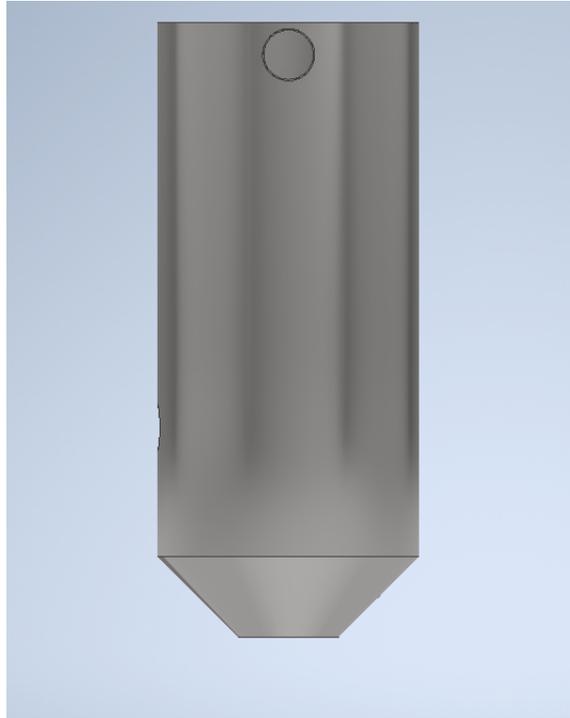
**Nota:** Codo que permite el cambio de dirección del aire caliente.

### 5.3.9. Lecho

Para el diseño del lecho en donde se encontrara el café, se decidió por un acero AISI 316 de grado alimenticio con un espesor de 1.5 mm, el mismo tendrá conexión a una brida de acoplamiento a la tubería y en su interior se encontrará el plato distribuidor, las medidas generales del lecho serán 118 x 50.5 cm.

## Figura 24

*Lecho de acero inoxidable*



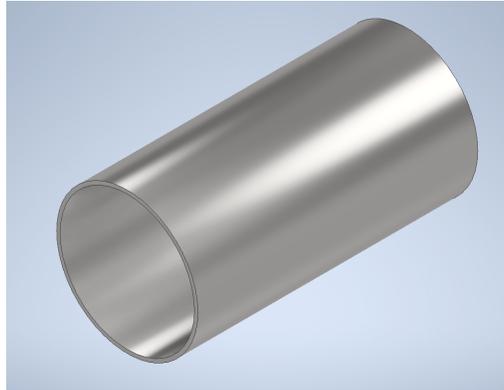
**Nota:** Lecho donde se tostara el café.

### 5.3.10. Tubos de conexión

Los tubos de conexión tendrán un espesor de 1.5 mm y cada uno estará unido hacia la otra parte mediante una brida de acoplamiento, tomando en cuenta esto, el primer tubo de conexión es el que conecta el lecho con el ciclón, sus medidas generales serán un diámetro externo de 101 mm y una longitud de 200 mm, la segunda tubería estará distribuida en forma de U, está con el objetivo de transportar el aire limpio de salida del ciclón hacia la entrada de aire que se da antes del calentamiento, sus medidas generales serán de 165 mm de diámetro exterior y una longitud 874 mm.

**Figura 25**

*Tubo de Conexión*



**Nota:** Tubo de conexión al ciclón.

**Figura 26**

*Tubo de Conexión en U*

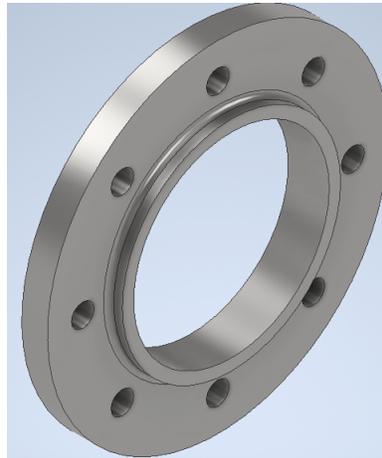


**Nota:** Tubo de conexión en U.

Las bridas de acoplamiento se utilizan para unir secciones circulares en distintos procesos industriales, para determinar las medidas de las distintas bridas que conforman parte de la máquina se empleó de referencia la norma ASME 16.1 para bridas Slip-On, en donde mediante interpolación lineal se obtuvo las medidas generales para cada brida.

**Figura 27**

*Brida Acople*



**Nota:** Brida de unión con ventilador.

**Figura 28**

*Brida Ciclón*



**Nota:** Brida de unión con el ciclón.

## Figura 29

*Brida salida de aire*



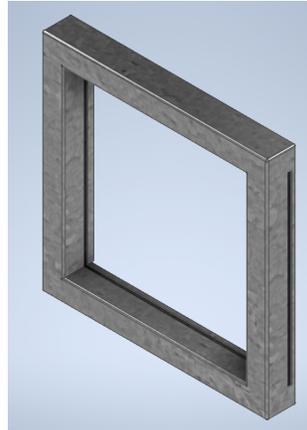
**Nota:** Brida de salida de aire limpio.

### 5.3.11. Compuerta

Esta compuerta, tanto de entrada como de salida del café, está ubicada en el tanque del lecho, estará fabricada de una plancha de acero galvanizado con una superficie interna de 9.8 x 9.8 cm y una externa de 12 x 12 cm

### **Figura 30**

*Compuerta de entrada y salida de café*



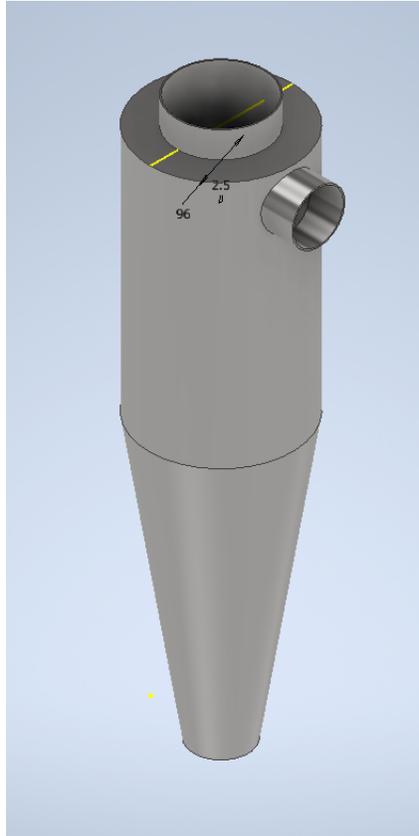
**Nota:** Compuerta.

#### **5.3.12. Ciclón Separador**

El ciclón separador será del tipo convencional, ya que permite la separación de partículas mayores a 100  $\mu\text{m}$ , estará construido en acero inoxidable AISI 316 tendrá un espesor de 1.5 mm y sus medidas generales son de 1.06 x 0.273 m.

### Figura 31

*Ciclón*



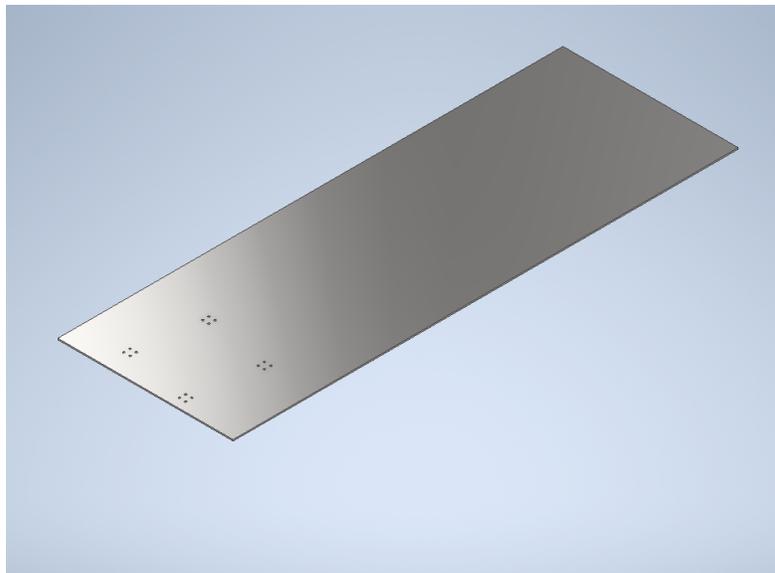
**Nota:** Ciclón Separador.

#### 5.3.13. Plancha

Se escogió una plancha de acero inoxidable antiderrapante, con el objetivo de proporcionar una mayor estabilidad a la maquinaria, esta plancha antideslizante tendrá las siguientes dimensiones generales de 2.45 x 0.85 mt, la plancha de acero inoxidable contará con agujeros, los mismos que servirán de soporte para el tanque de tostado.

### Figura 32

*Plancha de acero*



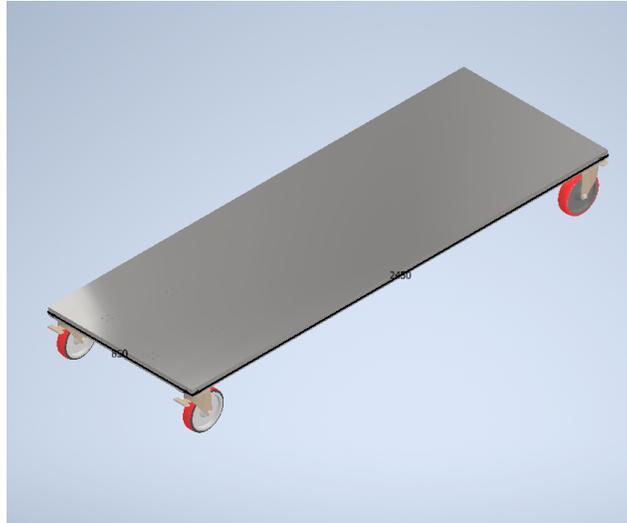
**Nota:** Plancha antideslizante.

#### 5.3.14. Estructura Metálica

Esta estructura servirá de soporte para ubicar la máquina tostadora de café, estará compuesta de una serie de tubos cuadrados de acero inoxidable AISI 304 de  $3/2 \times 3/2 \times 1/8$  in y de longitud variable, estos estarán soldados en cada esquina y a las llantas que sostendrán a la máquina.

### Figura 33

#### *Estructura Metálica*



**Nota:** Estructura Metálica.

## 5.4. Diseño Eléctrico/Electrónico

Para esta sección, se llevará a cabo la elaboración de un diagrama general que abarque las conexiones eléctricas y electrónicas de la máquina. Esto incluirá la selección de cada elemento esencial, como el controlador, las termocuplas, el sensor de velocidad y las fuentes de alimentación, con el objetivo de optimizar la eficiencia del diseño final. El diagrama proporcionará una representación visual clara de cómo estos componentes estarán interconectados dentro del sistema eléctrico/electrónico de la máquina, asegurando un funcionamiento óptimo y confiable.

### 5.4.1. PLC Siemens LOGO

La elección del PLC Siemens LOGO para el diseño eléctrico de la tostadora de café de lecho fluido se sustenta en consideraciones técnicas específicas que optimizan el control y la monitorización del proceso. El PLC LOGO, perteneciente a la familia Siemens, destaca por su arquitectura modular y su capacidad de programación basada en bloques funcionales, lo que facilita la configuración y adaptación a requisitos específicos de la tostadora. Su

diseño compacto y dimensiones reducidas hacen posible su integración en espacios limitados, ofreciendo flexibilidad en la disposición de los componentes eléctricos.

Logo! Basic está disponible para 12 V DC, 24 V DC, 24 V AC y a su vez, variante con pantalla de 8 entradas y 4 salidas. Cada variante está integrada en 4 unidades de división (TE), dispone de una interfaz de ampliación y facilita 33 funciones básicas y especiales, pre-programadas para la elaboración de su programa. (Arbieto Campos, 2017)

Todos los módulos Logo! Basic disponen de las siguientes conexiones para crear el programa:

Entradas digitales I1 hasta I24

Entradas analógicas AI1 hasta AI8

Salidas digitales Q1 hasta Q16

Salidas analógicas AQ1 y AQ2

Marcas digitales M1 hasta M24, M8: marcas de arranque

Marcas analógicas AM1 hasta AM6

Bits de registro de desplazamiento S1 hasta S8

4 teclas de cursor

16 salidas no conectadas X1 hasta X16.

**Figura 34**

*PLC Siemens LOGO*



**Nota:** 6ED1052-1CC08-0BA1 Siemens. MARXYPEZ (2023)

#### 5.4.2. Módulo de expansión logo

**Figura 35**

*6ED1055-1MB00-0BA2 Siemens*



**Nota:** Siemens. Casandrino (2023)

### 5.4.3. Variador de Frecuencia

Figura 36

6SL3210-5BB17-5UV1 Siemens



**Nota:** Siemens. SINAMICS (2023)

### 5.4.4. Sensor temperatura

Los granos de café se someten a un delicado proceso de tostado que requiere una temperatura máxima cuidadosamente controlada, establecida en 220 °C. Por esta razón, la termocupla es esencial para monitorear temperaturas superiores con precisión. Esta herramienta garantiza un tostado óptimo, permitiendo ajustes precisos para mejorar la calidad del café de manera consistente.

### 5.4.5. Termocupla tipo K

MARCA:KYORITSU REFERENCIA: 8408 Sensor de temperatura. Distancia de 1,400 mm, en rango de temperatura -40 °C a 600 °C (Aire, Gas). Aplica en los modelos 1051, 1052, 1061, 1062.

### Figura 37

*Termocupla tipo K/MODEL 8408*



**Nota:** Sensor de temperatura *Camei (2023)*.

#### 5.4.6. Termistor PTC

Estos termistores cerámicos calentados directamente tienen un coeficiente de temperatura positivo y están destinados principalmente para protección contra sobrecarga, sus rangos de temperatura varían entre  $-40$  a  $+175$  °C. (BCcomponents, 2023)

#### 5.4.7. Termómetro por resistencia (RTD) de platino

Los RTDs de platino son el tipo más común de RTD utilizado en aplicaciones industriales. Esto se debe a que el platino tiene una excelente resistencia a la corrosión, una excelente estabilidad a largo plazo y mide un amplio rango de temperaturas ( $-200$  a  $+850$  °C). (PR electronics S. L., 2023)

#### 5.4.8. Sensor velocidad de aire

La implementación de un sensor de velocidad de aire en el diseño de la tostadora de café de lecho fluido es esencial para monitorear y controlar adecuadamente el flujo del aire durante el proceso de tostado. Un sensor de velocidad de aire mide la velocidad del flujo de aire en tiempo real, proporcionando datos cruciales para garantizar condiciones óptimas de tostado y una distribución uniforme del calor.

#### 5.4.9. Tubo E+E transmisor velocidad viento sensor EE650-T2A6L200

El transmisor EE650 está diseñado para medir con precisión la velocidad del aire en m/s. Funciona según el principio del anemómetro de película caliente y cuenta con el innovador y muy robusto elemento sensor E+E VTQ fabricado con tecnología de película delgada combinada con moldeo por transferencia de última generación.

La construcción del cabezal sensor conduce a una dependencia angular muy baja que facilita la instalación. La brida de montaje permite un fácil ajuste de la profundidad de inmersión. (*Elektronik*, s.f.)

#### Figura 38

*Sensor EE650-T2A6L200*



**Nota:** Sensor de velocidad *Lapindustry* (2023).

## **5.5. Diseño de Control**

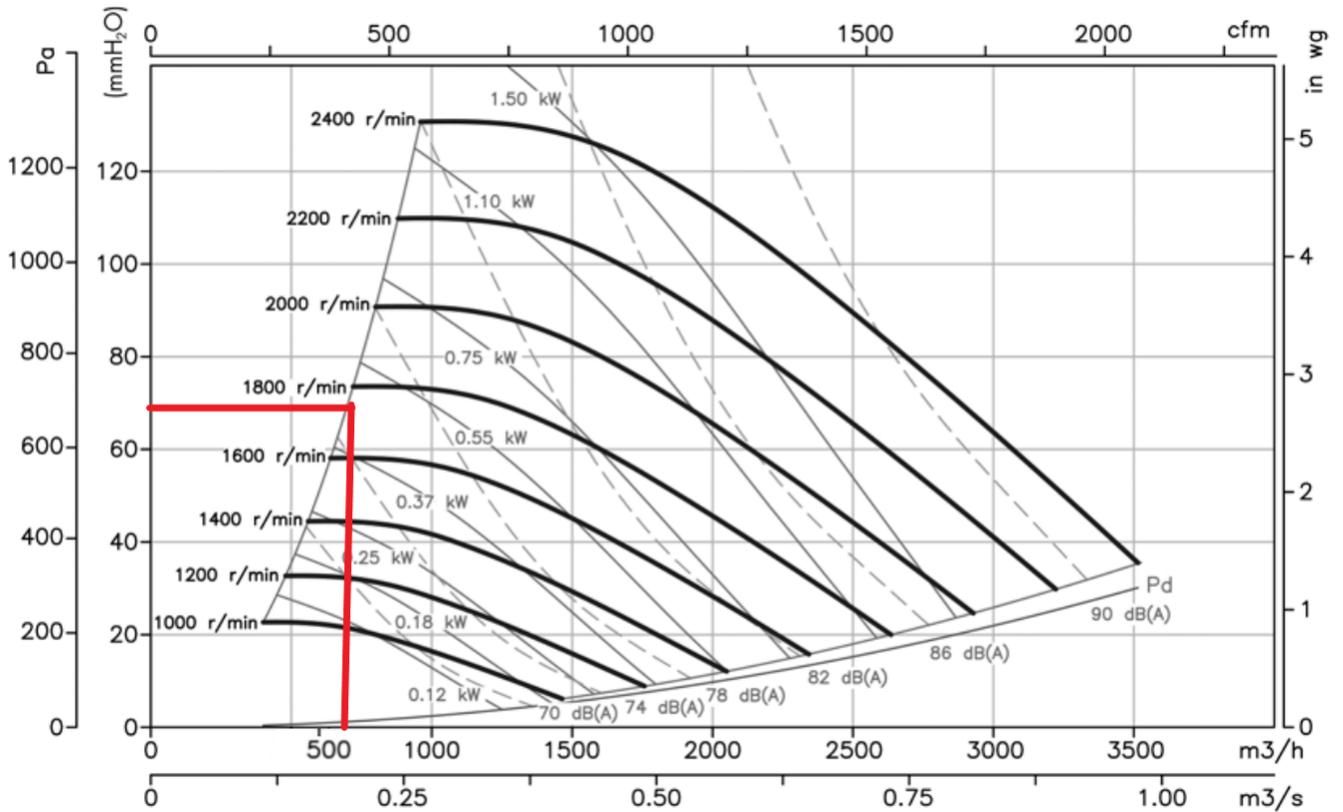
En la parte del diseño de control, se optó por un control manual por parte del ventilador, con el fin de variar manualmente la velocidad del mismo y el control de temperatura del café se la realizará de manera automática con el fin de que a los 10 min se logre el tostado de café a 220 °C.

### **5.5.1. Control Manual**

Para el control manual, se conecta el motor trifásico directo al variador de frecuencia, con esto podemos controlar las RPM que tendrá el ventilador, junto con un sensor de velocidad de aire ubicado en la parte superior del lecho, nos brindara un valor de la velocidad con la que el aire está actuando, y se regulara manualmente con una perilla.

**Figura 39**

*Ventilador Centrífugo*



**Nota:** Curva de Ventilador *Airprotek* (2023).

### 5.5.2. Control Automático

En el control automático, se determinó que la resistencia eléctrica se comporta como un sistema de primer orden con retraso, por lo tanto, y según lo establecido anteriormente en el sistema de calefacción, se requiere alcanzar una temperatura de 220 °C en el lecho:

$$G(s) = \frac{K}{(s + a)} \cdot e^{\theta s} \quad (41)$$

$$\text{Valor final} = 220$$

Para obtener la función de transferencia de un sistema de primer orden, requerimos de un tiempo denominado  $\tau$ , que será calculado basándonos en el tiempo de tueste final de 10 min. Se sabe entonces que nuestro tiempo de establecimiento será  $4\tau = 600$  sg.

$$\tau = \frac{600}{4} \quad (42)$$

$$\tau = 150s$$

El término  $a$ , de la ecuación 44 se determina de la siguiente forma.

$$a = \frac{1}{\tau} \quad (43)$$

$$a = \frac{1}{150}$$

$$a = 0.006$$

Con el resultado de la constante  $a$ , podemos determinar el numerador  $K$ .

$$K = 220 \cdot a \quad (44)$$

$$K = 220 \cdot 0.006$$

$$K = 1.32$$

Nuestra función de transferencia será la siguiente:

$$G(s) = \frac{1.32}{s + 0.006} \quad (45)$$

También es importante determinar la función de transferencia del sensor que nos ayudara con la retroalimentación.

Se sabe que la ecuación diferencial que modela el comportamiento de la termocupla tipo K, es la siguiente:

$$T_p \frac{dT_m}{dt} + T_m = T \quad (46)$$

$$\tau_p = \frac{m \cdot C_P}{Ah} \quad (47)$$

Donde:

$m$  = Masa termocupla

$C_P$  = Calor termocupla

$A$  = Área termocupla

$h$  = Coeficiente convección

$$m = 0,100 \text{ kg}$$

$$A = 0,0048 \text{ m}^2$$

$$C_P = 0,488 \frac{\text{kJ}}{\text{kgC}^\circ}$$

$$h = 19 \frac{w}{\text{m}^2\text{C}^\circ}$$

Reemplazando obtenemos

$$Tp = 0,535$$

Entonces

$$T_p \frac{dT_m}{dt} + T_m = T$$

$$T(t) = 0,535 \frac{dT_m}{dt} + T_m(t)$$

Aplicando Laplace

$$T(s) = 0,535sT_m(s) + T_m(s) \tag{48}$$

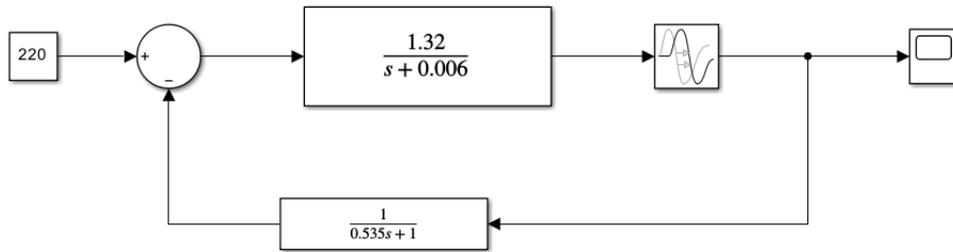
$$T(s) = T_m(s)[0,535 + 1]$$

$$\frac{T_m(s)}{T(s)} = \frac{1}{0,535s + 1}$$

$$G(s) = \frac{1}{0,535s + 1} \quad (49)$$

**Figura 40**

*Diagrama de Bloques*

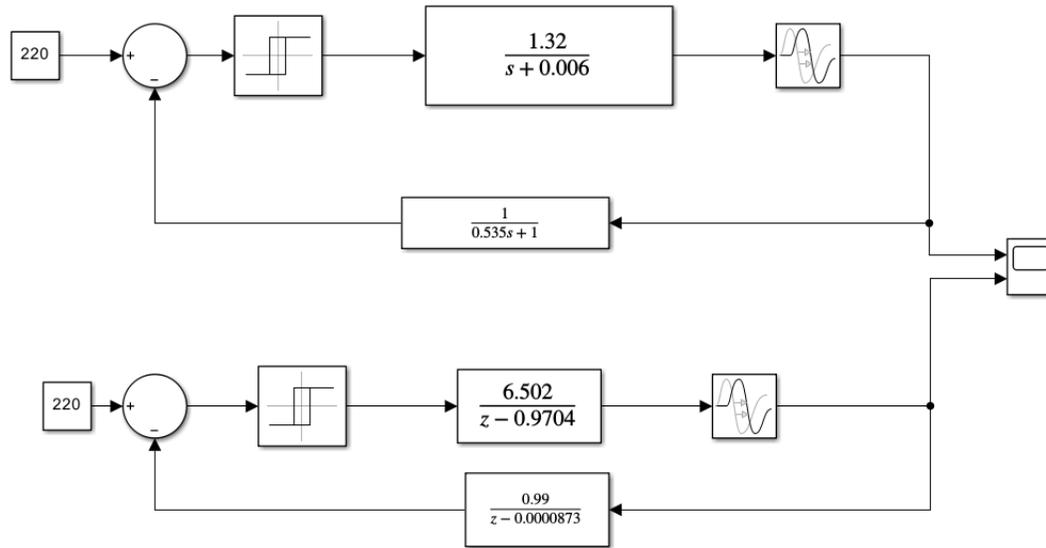


**Nota:** Diagrama de Bloques y Función de transferencia

Se discretizó ambas funciones de transferencia, teniendo como resultado el siguiente diagrama de bloques.

**Figura 41**

*Diagrama de Bloques*



**Nota:** Diagrama de Bloques y Función de transferencia discretizada

## 5.6. Análisis Económico

En el presente apartado se realizará un análisis económico que involucra los costos de diseño, componentes, materiales y fabricación de la tostadora de café.

### 5.6.1. Costos de diseño

El diseño de la máquina es parte fundamental para la creación de este proyecto, ya que podemos tener una idea clara del funcionamiento y distribución de los distintos componentes y materiales a emplear.

**Tabla 8***Costos de Diseño.*

<b>Costos de Diseño</b>				
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
1	Diseño General	170	\$5	\$850

**Nota:** En la tabla se observa el costo por la cantidad de horas de diseño.**5.6.2. Costos de Materiales y Componentes**

Los costes relacionados con materiales y componentes hace referencia al precio unitario y cantidad de cada una de las partes que la forman, tanto componentes ya fabricados como materiales que servirán para su fabricación.

**Tabla 9***Costos de Materiales.*

<b>Costos de Componentes</b>				
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo U.</b>	<b>Costo Total</b>
1	Ventilador Centrífugo ST 9/4	1	\$ 450.00	\$ 450.00
2	Resistencia Eléctrica	1	\$ 900.00	\$ 900.00
3	Llantas	4	\$ 20.00	\$ 20.00
4	PLC Siemens 6ED1052-1FB08-0BA1 LOGO!	1	\$ 180.00	\$ 180.00
5	Módulo ampl. 6ED1055-1MB00-0BA2 Siemens	1	\$ 122.35	\$ 122.35
6	Termocupla tipo K 8408 KYORITSU	1	\$ 29.00	\$ 29.00
7	Tubo Transmisor Velocidad EE650-T2A6L200	1	\$ 368.00	\$ 368.00
8	Variador de frecuencia 6SL3210-5BB17-5UV1	1	\$ 227.59	\$ 227.59
<b>TOTAL</b>				<b>\$2,297</b>

**Nota:** En la tabla se observa el costo de los componentes.

**Tabla 10***Costos de Materiales.*

<b>Costos de Materiales</b>				
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
1	Placa 40 mm 35x35 cm	1	\$ 90.00	\$ 90.00
2	Placa 41 mm 30x 30 cm	1	\$ 80.00	\$ 80.00
3	Placa 35 21x 21 cm	1	\$ 35.00	\$ 35.00
4	Plancha 1.5 mm	2	\$ 40.00	\$ 80.00
5	Plancha 1.5 mm 1.22x2	1	\$ 40.00	\$ 40.00
6	Tubo 101 mm long 20 cm	1	\$ 3.50	\$ 3.50
7	1 plancha 6 mm 2,44x0.85 m	1	\$ 220.00	\$ 220.00
8	Plancha 1.5 mm 10x14.5 cm	1	\$ 3.00	\$ 3.00
9	Pedazo de plancha 1.5 mm	1	\$ 8.00	\$ 8.00
10	Pedazo de plancha 1.5 mm	1	\$ 12.00	\$ 12.00
Total				\$ 571.50

**Nota:** En la tabla se observa el costo por material y la cantidad del mismo.

**Tabla 11***Costos de Fabricación.*

<b>Costo de Fabricación</b>				
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
1	Perforaciones 22.2 mm	22	\$ 1.00	\$ 22.00
2	Corte con plasma 40 mm	4	\$ 20.00	\$ 80.00
3	Torno máquina	6	\$ 20.00	\$ 120.00
4	Corte de plasma 41 mm	3	\$ 20.00	\$ 60.00
5	Corte de plasma 35 mm	2	\$ 20.00	\$ 40.00
6	Corte de plasma	12	\$ 1.50	\$ 18.00
7	Rolada en 2 mm	11	\$2.00	\$ 22.00
8	Suelda 2 mm	11.5	\$ 5.00	\$ 57.50
9	Rolada en 1.5 mm diam 27 cm	1	\$ 3.00	\$ 3.00
10	Rolada en 1.5 mm diam 16 cm	1	\$ 2.00	\$ 2.00
11	Rolada en 1.5 mm conica	1	\$ 8.00	\$ 8.00
12	Rolada en 1.5 mm diam 10 cm	1	\$ 2.00	\$ 2.00
13	Cortes en 1.5 mm	5	\$ 0.50	\$ 2.50
14	Corte con plasma en 1.5 mm	5.5	\$ 1.50	\$ 8.25
15	Corte de tubo	1	\$ 0.50	\$ 0.50
16	Rolada en 1.5 mm diam 50 cm	1	\$ 60.00	\$ 60.00
17	Rolada en 1.5 mm conica	1	\$ 4.00	\$ 4.00
18	Rolada en 1.5 mm diam 10 cm	1	\$ 0.50	\$ 0.50
19	Tubo cuadrado (1 1/2X1X1/2X1/8)	11.18	\$ 5.00	\$ 55.90
20	Soldado de tubo	2	\$ 10.00	\$ 20.00
21	Perforaciones 9.53 mm	16	\$ 1.00	\$ 16.00
22	Corte en 1.5 mm	4	\$ 0.50	\$ 2.00
23	Dobleces plancha de 1.5 mm	8	\$ 0.50	\$ 4.00
24	Ranuras	2	\$ 0.25	\$ 0.50
25	Corte de plancha 1.5 mm	1	\$ 0.50	\$ 0.50
			Total	\$ 609.15

**Nota:** En la tabla se muestra los costos por fabricación.

### 5.6.3. Costos Generales

Tabla 12

*Costos Generales.*

<b>Costos Generales</b>		
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo Total</b>
1	Costo de Diseño	\$ 850
2	Costo de Fabricación	\$ 562.65
3	Costo de Componentes	\$ 2297
4	Costo de Materiales	\$ 571.50
Total		\$ 4281.15

**Nota:** En la tabla muestra el costo general.

## 6. Resultados

### 6.1. Parámetros para el diseño mecánico, eléctrico y de control de una tostadora de café de lecho fluido

Los resultados que engloban los parámetros para el diseño mecatrónico de una tostadora de café de lecho fluido se resumirán a continuación según el análisis teórico-matemático del punto 5.2.

Para empezar a realizar el diseño general de la tostadora de café es importante saber la velocidad a la que las partículas, en este caso los granos de café, empiecen a comportarse como un fluido, se determinó que la velocidad mínima de fluidización corresponde a 1.84 m/s y con una velocidad de operación de 5.5 m/s, la altura máxima que alcanzara el café en su estado de fluidización será de 73 cm de alto, esto nos sugiere que el tanque o lecho tendrá que tener una altura mayor.

Con lo expuesto anteriormente se seleccionó un ventilador centrífugo de la marca Sisteven 9/4 que es el que nos entrega un caudal máximo de  $3500 \text{ m}^3/h$  con una potencia máxima de 2.2 kW y entregando presiones de aire superiores a las 735 Pa, que es la presión que existirá en el lecho.

Con respecto a la resistencia, que es el método de calefacción que se empleara, esta tendrá una longitud aproximada de 1.6 cm de largo, una potencia superior a 4.4 kW y tendrá forma de espiral, se escogió esta forma porque calienta un segmento largo de manera uniforme.

El ciclón separador será del tipo Swift-Convencional, ya que como se mencionó en el apartado 5.3.10 permite separar partículas superiores a 100  $\mu\text{m}$  y tendrá dimensiones generales de 1.06 x 0.273 m.

Finalmente, la última parte principal de la tostadora de café es el plato distribuidor, este tendrá una distribución triangular con el fin de garantizar uniformidad al momento de tostar el café, los agujeros en cuestión serán de 13600 en una superficie plana de 50 cm de diámetro, la separación entre agujero y agujero será de 4.86 mm.

## **6.2. Diseño mecánico de una tostadora de café de lecho fluido**

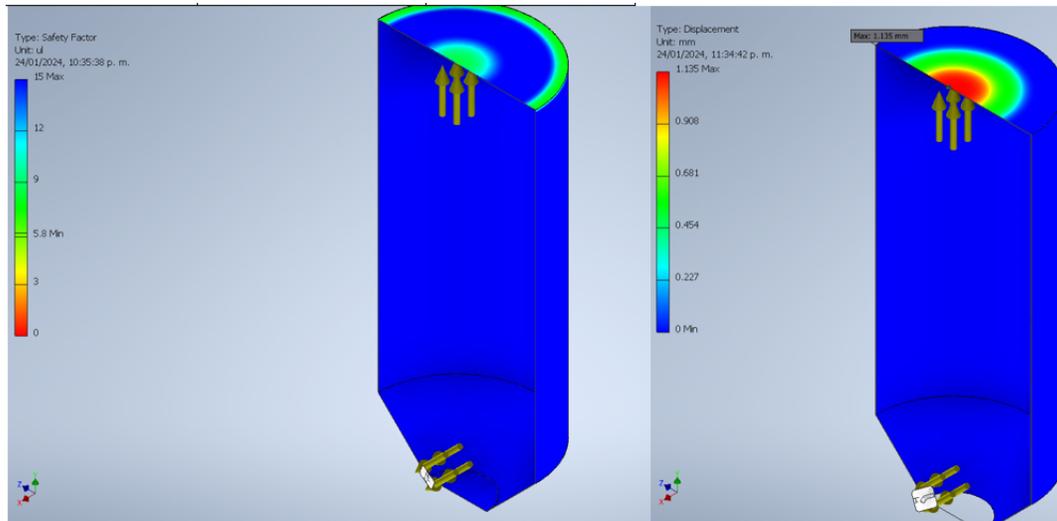
Como parte del diseño mecánico, las partes que conforman la tostadora de café se realizaron en el software Autodesk Inventor 2023, y algunas de estas partes se simuló sus esfuerzos y presiones, con el fin de garantizar funcionalidad en una implementación posterior.

### **6.2.1. Lecho Acero Inoxidable**

Como resultado de la simulación de la presión que existe en el lecho, se concluyo que el espesor de 1.5 mm es más que apropiado para el tanque, teniendo un desplazamiento máximo en sus extremos de 1.13 mm y resistiendo una presión de 19.25 MPa, lo cual no representa ningún peligro, ya que el factor de fluencia del acero inoxidable AISI 316 es de 276 MPa.

## Figura 42

*Simulación de estrés y presión*



**Nota:** Simulación

### 6.2.2. Tuberías y Acoples

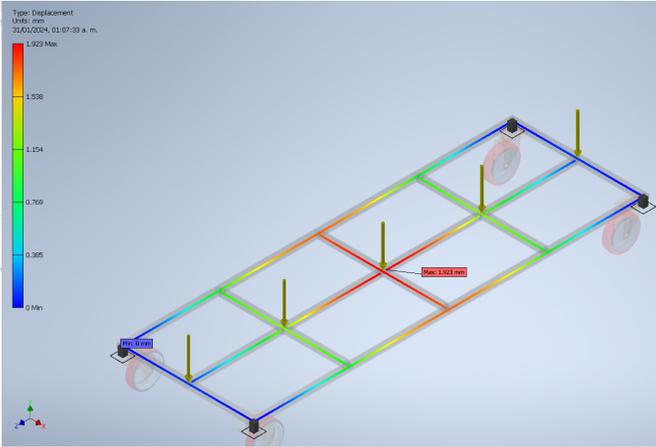
Todos los tubos y acoples tendrán un espesor de 1.5 mm y estarán soldadas a las bridas de acoplamiento a una distancia interna de 1 cm, las mismas fueron diseñadas bajo la norma ASME 16.1

### 6.2.3. Estructura Metálica

Como se mencionó anteriormente, la estructura metálica estará compuesta de tuberías cuadradas de acero inoxidable, con el fin de soportar todo el peso de la máquina como tal, según los datos de Autodesk Inventor 2023, la máquina como tal tendrá una masa de 215 Kg incluido los 10 kg del café, con este dato se simuló las fuerzas distribuidas que se tendrán en la sección central de la estructura, con el fin de corroborar su resistencia, hay que rescatar que la máquina tendrá de soporte 4 llantas en sus extremos.

**Figura 43**

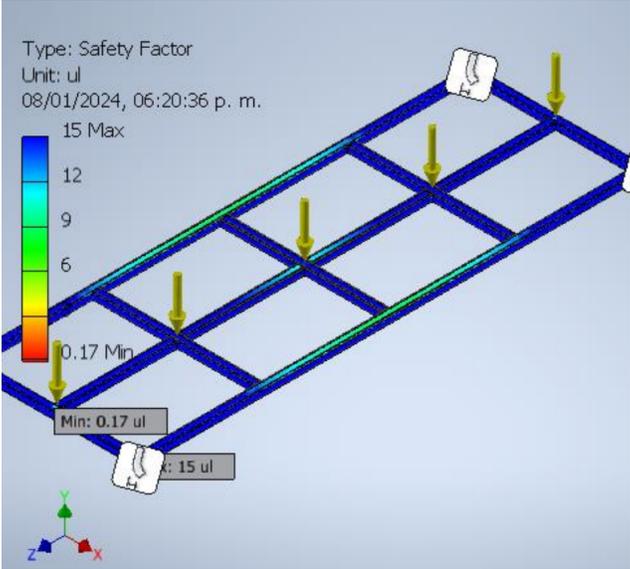
*Simulación de desplazamiento*



**Nota:** Simulación

**Figura 44**

*Simulación de factor de seguridad*



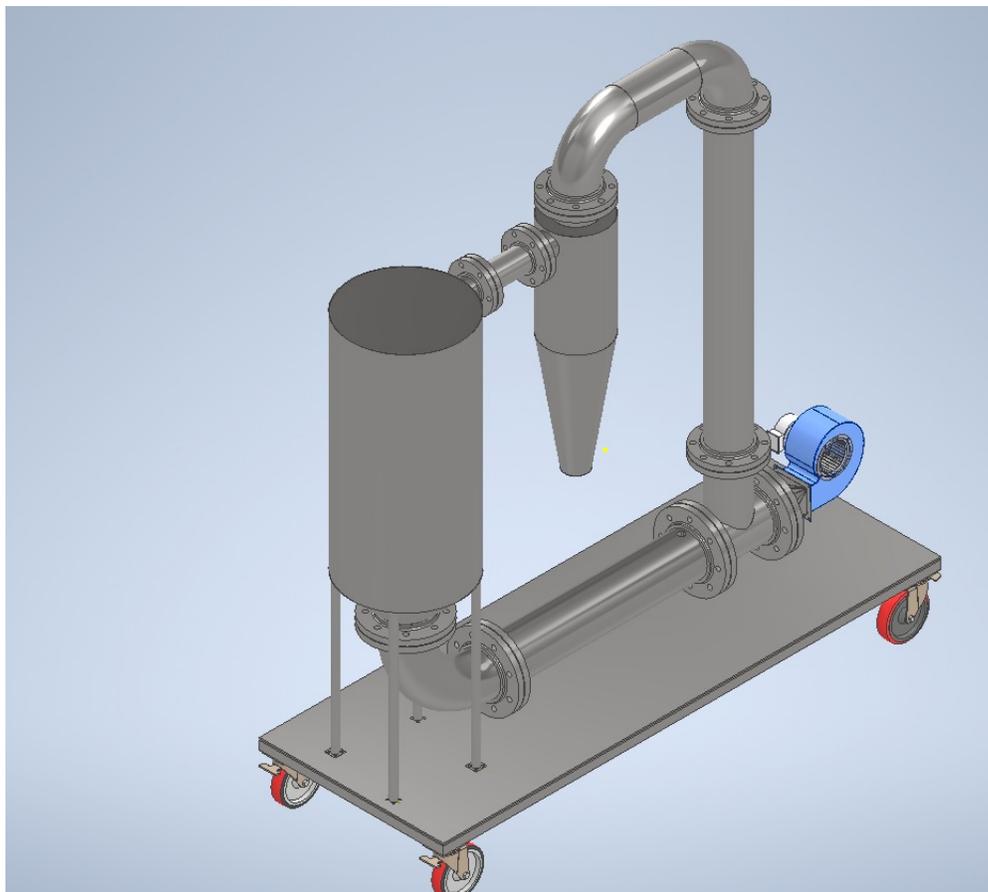
**Nota:** Simulacion

### 6.3. Diseño General de la Tostadora de Café

El diseño general de la máquina tostadora de café estará compuesta en su mayoría de acero inoxidable AISI 316 de grado alimenticio, sus diferentes partes se encontrarán unidas mediante bridas de acoplamiento soldadas, aparte de que posibilita el fácil mantenimiento de la máquina y reemplazar cualquier subsistema de la misma sin comprometer otras partes funcionales,

#### Figura 45

*Diseño General Máquina tostadora de café*

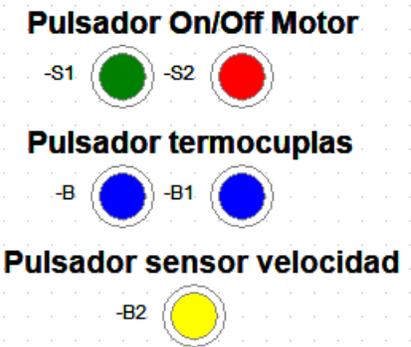


**Nota:** Esquema General

**6.4. Diseño eléctrico de una tostadora de café de lecho fluido**

**Figura 46**

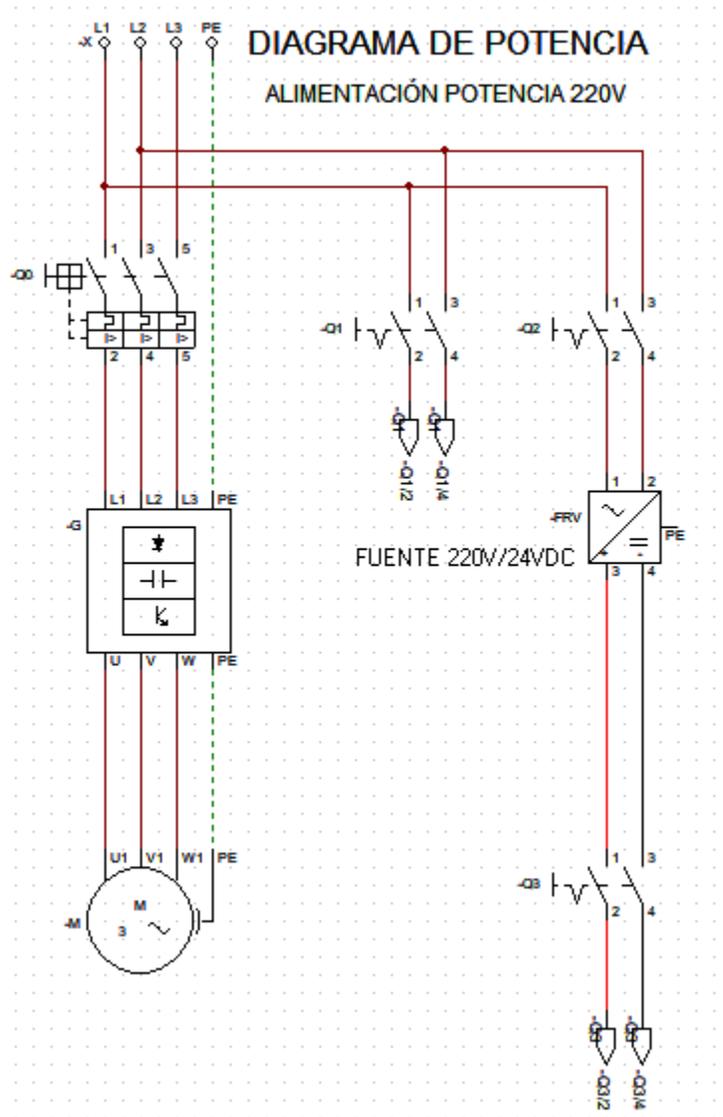
*Diagrama de control (PLC Logo-Siemens)*



**Nota:** Simulación

**Figura 47**

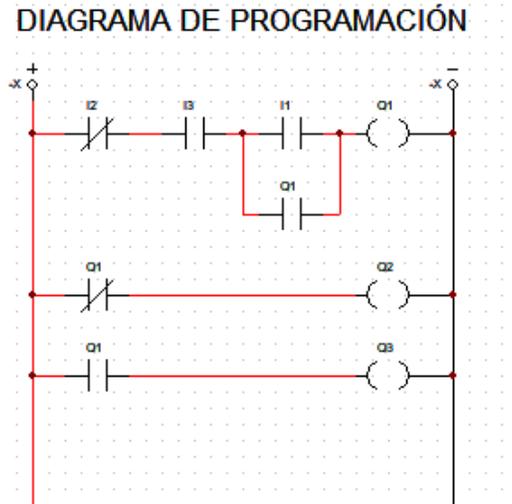
*Conexión diagrama de potencia (Motor)*



**Nota:** Simulación

**Figura 48**

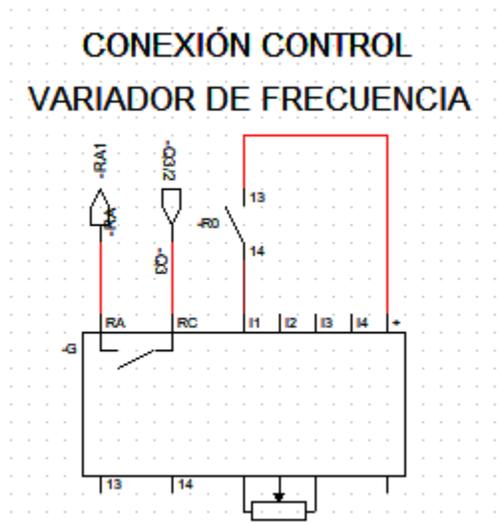
*Conexión diagrama de programación (Motor)*



**Nota:** Simulación

**Figura 49**

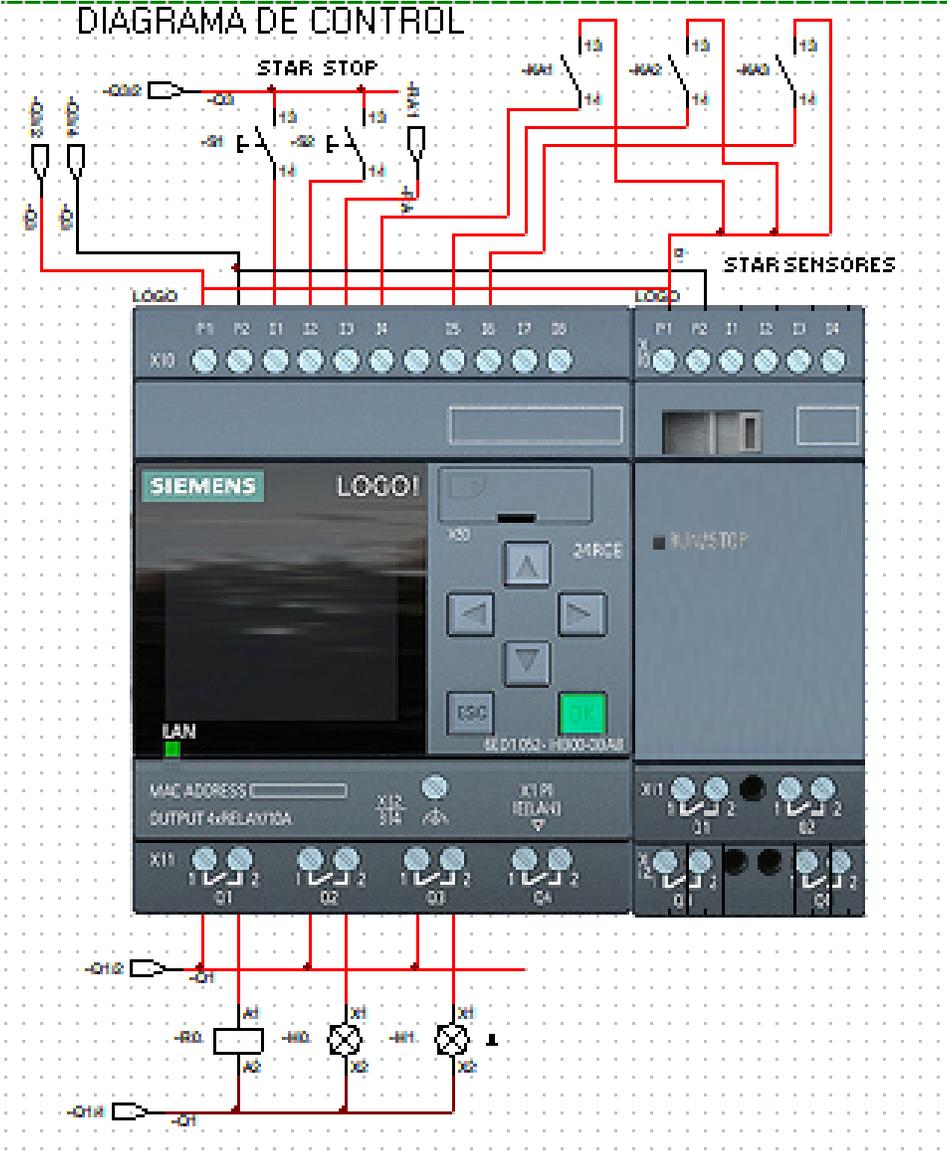
*Conexión y control variador de frecuencia*



**Nota:** Simulación

Figura 50

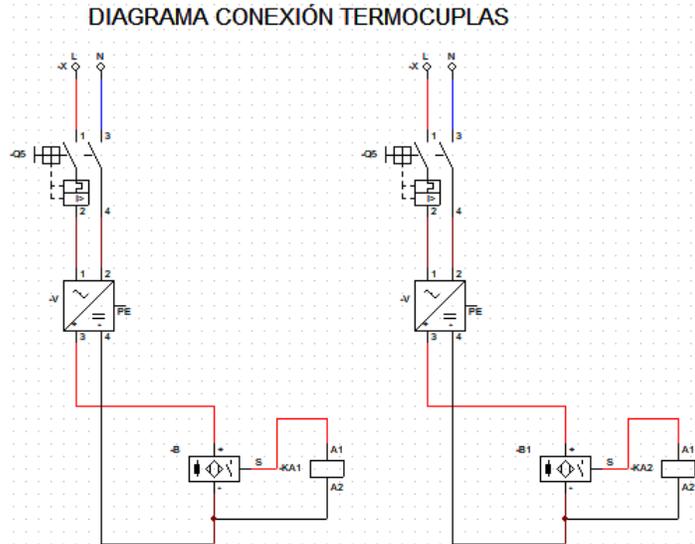
Diagrama de control (PLC Logo-Siemens)



Nota: Simulación

**Figura 51**

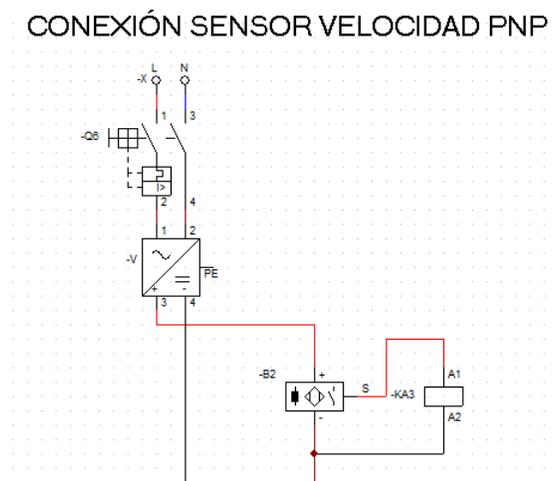
*Conexión termocuplas tipo K*



**Nota:** Simulación

**Figura 52**

*Conexión sensor velocidad*



**Nota:** Simulación

## 6.5. Diseño control de una tostadora de café de lecho fluido

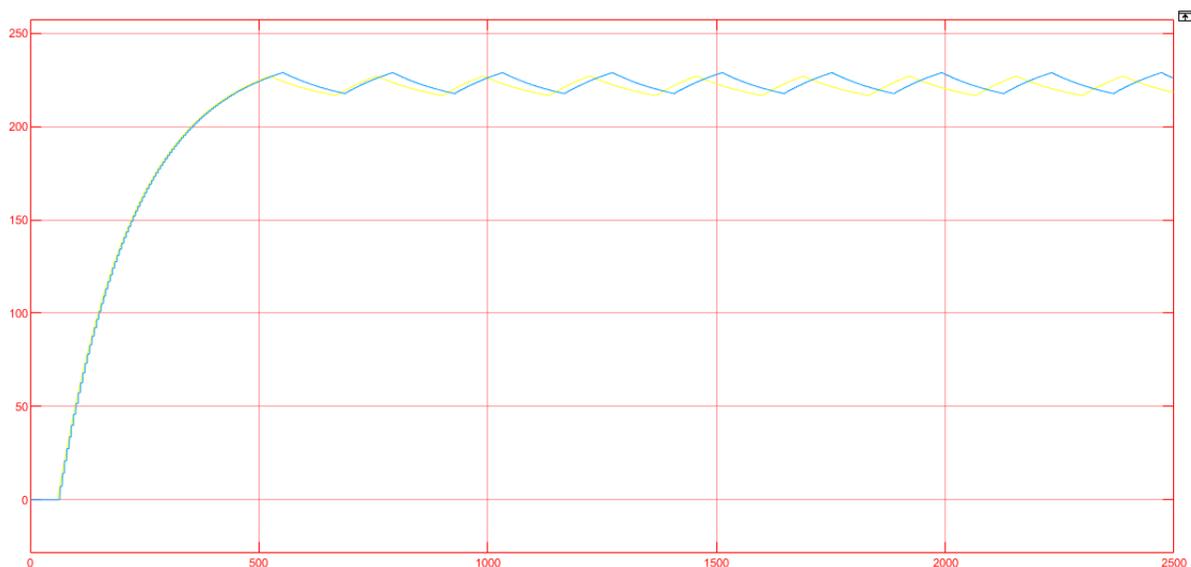
Como se mencionó anteriormente, el control la tostadora será manual por parte del ventilador y automático por parte de la resistencia eléctrica.

El control manual del ventilador se muestra a continuación en el software CADESIMU en el cual el variador de frecuencia permite manipular las RPM del mismo.

El control automático tomará los valores del setpoint, que en este caso será 220 °C de temperatura y se regulara automáticamente mediante un control on/off, teniendo una variación de  $\pm 2^\circ\text{C}$  es decir, que la resistencia eléctrica se estará prendiendo y apagando cuando se encuentre en estos rangos específicos.

### Figura 53

*Control ON/OFF*



**Nota:** Simulación

Se procede a la obtención de la Figura 58, la cual visualiza la representación gráfica de la curva correspondiente a la función de transferencia de sistema, tanto discreto como continuo. Este análisis se lleva a cabo con el propósito de demostrar el efecto del retardo aplicado, que en este caso específico se ha fijado en un intervalo temporal de 1 minuto.

## **6.6. Costos Generales de una tostadora de café de lecho fluido**

La implementación de una tostadora de café de lecho fluido no solo implica la adquisición de equipos especializados, sino también una evaluación exhaustiva de los costos asociados. Esta evaluación es crucial para garantizar una gestión eficiente y sostenible de la operación. El análisis integral realizado se basa en una revisión bibliográfica exhaustiva que abarca los aspectos mecánicos, eléctricos y de control, así como la consideración de la mano de obra involucrada en el proceso.

Se ha priorizado la optimización de costos en todas las áreas posibles, reconociendo la importancia de mantener una inversión equilibrada y rentable. Después de un meticuloso proceso de evaluación, el costo resultante para la implementación de la tostadora de café de lecho fluido se estima en 4551,09 dólares. Este monto demuestra ser una tarifa competitiva en comparación con máquinas existentes o similares en el mercado, lo que refuerza la viabilidad económica de la iniciativa.

Esta cifra no solo refleja la eficiencia en la gestión de costos, sino también la capacidad de ofrecer una solución rentable sin comprometer la calidad y la funcionalidad del equipo. La implementación de la tostadora de café de lecho fluido se presenta como una inversión estratégica que no solo cumple con los estándares técnicos requeridos, sino que también se posiciona como una opción financiera atractiva para aquellos involucrados en la industria del café.

## **7. Conclusiones**

En conclusión, mediante la aplicación de un riguroso análisis a través de un modelo matemático, se ha corroborado la viabilidad del diseño mecatrónico en el contexto nacional. Este resultado se sustenta en la consideración meticulosa de parámetros iniciales de diseño, tales como la temperatura, flujos de aire, densidad, presión, calor específico, así como la capacidad de gestionar una carga de 10 kg de café por proceso o ciclo, entre otros factores relevantes.

En adición, es imperativo subrayar que la integración entre el diseño mecánico, el diseño electrónico y el diseño de control constituye un elemento clave para garantizar un funcionamiento eficiente y la captura precisa de datos. Este enfoque integrado sienta las bases para una implementación futura más avanzada, haciendo uso de sensores específicos como la termocupla y el sensor de velocidad de viento. Estos dispositivos sensoriales desempeñan un papel crucial al validar la idoneidad del proceso de tostado, al proporcionar mediciones detalladas y en tiempo real.

El diseño mecánico, en particular, debe ser meticuloso sobre todo en la parte matemática que ha permitido elegir distintos componentes de la máquina mediante ecuaciones de fluidización y de termodinámica, para asegurar la sincronización adecuada con los componentes electrónicos y de control. La interacción entre estas tres disciplinas es esencial para garantizar la eficacia del sistema en conjunto, sentando las bases para una adaptabilidad y mejora continua en futuras implementaciones, aprovechando las capacidades de los sensores especializados para perfeccionar el proceso de tostado.

En última instancia, al llevar a cabo un análisis económico que abarca tanto los costos de construcción como los relacionados con la implementación del diseño de la tostadora de café de lecho fluido, se puede concluir que esta máquina es financieramente viable.

## **8. Recomendaciones**

Se sugiere llevar a cabo un análisis de control especializado, enfocado específicamente en la implementación de un lazo cerrado, en colaboración con sensores físicos como las termocuplas tipo K. El objetivo principal de este análisis consiste en asegurar la estabilización precisa de la temperatura a 220°C, necesaria durante la fase de tueste medio oscuro, donde las propiedades organolépticas del café alcanzan su máxima expresión perceptiva.

Adicionalmente, se hace necesario considerar la integración del sensor de velocidad de aire en este proceso. La combinación sinérgica de estos dos sensores, junto con la utilización del PLC Siemens Logo, permite llevar a cabo una verificación exhaustiva del análisis matemático subyacente. Es crucial subrayar que esta validación se logra principalmente a través de iteraciones experimentales basadas en pruebas y errores, en lugar de depender únicamente de un respaldo teórico.

## Referencias

- Airprotek. (2023, noviembre). *Ventilador centrífugo*. <https://airprotek.com.ec/ventiladores-industriales/ventiladores-centrifugos/127>. (Accessed: 2024-2-15)
- Aldas-Morejón, J., Otero-Tuarez, V., Revilla-Escobar, K., Laura-Carrillo, M., y Sánchez-Aguilera, D. (2023). Incidencia del tostado sobre las características fisicoquímicas y alcaloides de la cascarilla de cacao (theobroma cacao) y su efecto en las propiedades organolépticas de una infusión. *Agroindustrial Science*, 13(1), 15–21.
- Angel, A. M. M. (2019, agosto). *Chillers enfriados por aire*. <https://www.acrlatinoamerica.com/201908158862/productos/aire-acondicionado-y-ventilacion/chillers-enfriados-por-aire.html>. ACR Latinoamérica. (Accessed: 2023-6-5)
- Arbieto Campos, J. R. (2017). Automatización de un sistema de mezclado de pintura mediante el plc siemens logo 230rc, como alternativa para reducir los tiempos muertos originados por el actual proceso manual.
- BCcomponents, V. (2023, septiembre). *PTCCL - 30 V / 60 V series*. <https://www.mouser.ec/datasheet/2/427/ptccl130v60vseries-1762761.pdf>. (Accessed: 2024-1-1)
- Bernabé Dávila, L., y Rivera Calongos, C. (2018). Diseño de una máquina tostadora de café mediante flujo del aire caliente en lecho fluidizado para una capacidad de una tonelada.
- Camei, S. A. (2023, noviembre). *Termocupla tipo K/Temperature probe*. <https://www.camei.com.ec/shop/product/ky-8408-termocupla-tipo-k-temperature-probe-1393>. (Accessed: 2024-2-15)
- Campo Ceballos, D. A., Sotelo, B., Dorado Ipia, H. F., y Gaviria López, C. A. (2020, 24). Análisis del efecto del control de la temperatura en una tostadora de café de lecho fluido. *Visión Electrónica*, 14(2), 255–263.
- Cárdenas, D. B., Mora, G. N., y Murillo, H. C. (s.f.). Comparación del nivel de acidez del café preparado mediante tres métodos y dos niveles de tueste.
- Casandrino, N. A. (2023, noviembre). *Módulo ampl. LOGO! DM8 12/24r*. [https://www.plc-city.com/shop/es/siemens-simatic-logo-expansion-modules/6ed1055-1mb00-0ba2-nfs.html?SubmitCurrency=1&id\\_currency=3&feed\\_country=EC&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQiAta0tBhCwARISAN\\_x-3LiL65aKmNoXII1g9\\_2EfvQvLmZ21Us47CMPiUTkujlr9XUts2IhAaAr7KEALw](https://www.plc-city.com/shop/es/siemens-simatic-logo-expansion-modules/6ed1055-1mb00-0ba2-nfs.html?SubmitCurrency=1&id_currency=3&feed_country=EC&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAta0tBhCwARISAN_x-3LiL65aKmNoXII1g9_2EfvQvLmZ21Us47CMPiUTkujlr9XUts2IhAaAr7KEALw)

- \_wCB. (Accessed: 2024-2-15)
- Ceballos, D. A. C., y López, C. A. G. (2019). Optimización de las condiciones de tiempo y temperatura en el proceso de tostado de café del cauca, teniendo en cuenta la percepción del consumidor. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería*.
- Cengel, Y., y Cimbala, J. (2006). *Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones*. Nueva York, NY, Estados Unidos de América: McGraw-Hill.
- Chancos Huaccachi, T. (2023). Efecto de la temperatura y tiempo de tostado en la calidad sensorial de café de tres variedades producidos en el vraem.
- de la Hoz, J. M. S. (2018). *ESTUDIO PARAMÉTRICO DE UN VENTILADOR CENTRÍFUGO INDUSTRIAL a TRAVÉS DE LA HERRAMIENTA CFD FLUENT EN ANSYS* . Universidad del Atlántico, Colombia.
- Delgado, A., Gordillo, G., González, H., Santamaría, J., García, E., y Delgado, R. (2023). Análisis del patrón de flujo de un lecho fluidizado utilizando diseños alternativos de platos de distribución de aire. *Perfiles*, 1(29), 16–29.
- Díaz Porras, R. A., Delgado Ballesteros, A., Villalobos Moya, K., Jiménez Porras, G., Jiménez Naranjo, J., y González Díaz, J. (2022). Empresas tostadoras de café: caracterización, estrategias y empresas tostadoras de café: caracterización, estrategias y problemas que enfrentan: análisis comparativo: Gam y regiones cafetaleras de los santos y valle occidental, costa rica.
- Diego, R. (2021). *Diseño DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO BASADO EN LÓGICA DIFUSA PARA EL PROCESO DE TUESTE DE CAFÉ EN LA EMPRESA MOMOTUS CAFÉ S.A.S* . CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA, Cauca.
- Diego Iván, Montes Gallardo and Raúl Lugo, Leyte and Alejandro Torres, Aldaco and Sergio Castro, Hernández and Helen Denise, Lugo Méndez . (2018). Efectos del factor de deslizamiento en el impulsor centrífugo. *MEMORIAS DEL XXIV CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM*.
- Dilip, P. (2021). *Handbook of pharmaceutical granulation technology*. Bosa Roca, Estados Unidos de América: CRC Press.
- Elektronik*. (s.f.). [https://www.epluse.com/fileadmin/data/product/ee650/BA\\_EE650\\_e.pdf](https://www.epluse.com/fileadmin/data/product/ee650/BA_EE650_e.pdf). (Accessed: 2024-1-17)
- Enma, M., Dolores, S., y Margarita, P. (2018). Caracterización de la biomasa vegetal “cascarilla de café”.
- Epifanio, R. (2021). Tipos de intercambiadores de calor. *Con-Ciencia Serrana Boletín Científico de la Escuela Preparatoria Ixtlahuaco*, 3(5), 3–4.

- Freezepanda, G. (2024, febrero). *Guangzhou freezepanda technology Co.,Ltd - freezing&commercial catering equipment, renewable energy equipment*. <https://freezepanda.en.alibaba.com/index.html?spm=a2700.details.0.0.1ca15cf8EWQX5L&from=detail&productId=62311303726>. (Accessed: 2024-2-15)
- Heredia Sáenz, Daniel Humberto and Robalino Cevallos, Jefferson Hernán. (2021). *Análisis correlacional de los rendimientos del sector cafetalero y el crecimiento económico del ecuador. perspectiva antes y después de la pandemia*. Universidad Católica Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.
- INDASEP. (2020, mayo). *VENTILADORES CENTRÍFUGOS DE MEDIA PRESIÓN*. <https://www.tecno-indasp.com/productos/ver/ventiladores-centrifugos-media-presion/>. (Accessed: 2023-10-15)
- Ingesecc. (2023a, noviembre). *Tostadora de lecho fluido ING-ROAST-12*. <https://www.ingesecltda.com/product/tostadora-de-lecho-fluido-ing-roast-12/>. (Accessed: 2024-2-15)
- Ingesecc. (2023b, noviembre). *Tostadora de lecho fluido ING-ROAST-50*. <https://www.ingesecltda.com/product/tostadora-de-lecho-fluido-ing-roast-50/>. (Accessed: NaN-NaN-NaN)
- INGROAST. (2020, abril). *Tostadora de lecho fluido ING-ROAST-25 - ingesecc*. <https://www.ingesecltda.com/product/tostadora-de-lecho-fluido-ing-roast-25/>. (Accessed: 2023-10-17)
- Kevin, T. (2019). *Diseño y construcción de un reactor de lecho fluidizado para lograr la pirólisis continua de biomasa local*. Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.
- Kunii, D., y Levenspiel, O. (1969). *Fluidization engineering*. Woburn, MA, Estados Unidos de América: Butterworth-Heinemann.
- Lapindustry. (2023, noviembre). *Sensor EE650-T2A6L200*. <https://www.ebay.com/itm/274057230351>. (Accessed: 2024-2-15)
- Laura, Q., Nelson, R., y Aristofeles, O. (2022). EFECTO DEL SECADO CON COMBUSTIÓN DIRECTA DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP) SOBRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRANO DE CAFÉ. *Revista Cenicafe*, 73.
- Lenin, P. (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* (Tesis de Master no publicada). Universidad Técnica del Norte, Ibarra.
- Londoño, C. A. E. (2006). Diseño óptimo de ciclones. *Revista Ingenierías Universidad*

- de Medellín* 5(9), 123–139.
- Luis, B. (2019). *Sistema de control para mejorar el desempeño de una máquina tostadora de café* (Tesis de Master no publicada). Universidad Tecnica del Norte, Ibarra.
- Lupaca, M. (2019). *Tostadora automatica para granos de quinua mediante flujo de aire caliente*. Pontificia Universidad Catolica del Peru, Peru.
- MARXYPEZ. (2023, noviembre). *Logo 8 siemens quito sellado, precio negociable plc garantía*. [https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-558350856-logo-8-siemens-quito-sellado-precio-negociable-plc-garantia-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-558350856-logo-8-siemens-quito-sellado-precio-negociable-plc-garantia-_JM). (Accessed: 2024-2-15)
- Meana, V., Kimkiman, N., y Dulay, A. (Eds.). (2019). *Design, fabrication, and performance evaluation of a Batch-Type fluidized bed coffee roaster for Small-Scale coffee growers* (Vol. 79) (n.º 2). Mountain Journal of Science and Interdisciplinary Research.
- MRF. (2022, julio). *Intercambiadores de calor 101 - tercera parte: Placas y Armazón(Plate & frame)*. <https://www.mrfpr.com/post/intercambiadores-de-calor-placas-y-armaz{ó}n-plate-frame>. (Accessed: 2023-6-5)
- Ortega Portilla, S. R. (2023). *Diseño y construcción de un prototipo de máquina hiladora para queso de pasta hilada tipo mozzarella: construcción de un prototipo de máquina hiladora para queso de pasta hilada tipo mozzarella*. (B.S. thesis). Quito: EPN, 2023.
- Palacios, G. (2016). *Diseño de un tostador de cafe mediante flujo de aire caliente para la empresa CAFE INDERA*. Universidad Nacional de Loja, Loja.
- Párraga Cobeña, D. T., y Zambrano Flores, D. E. (2022). *Evaluación en la implementación de buenas prácticas de manufactura para mejorar la calidad del café procesado en la microempresa. "alicia roque"* (B.S. thesis). Calceta: ESPAM MFL.
- Pilca Sanunga, D. A., Paredes Suárez, B. S., y cols. (2021). *Sabor a memoranzas: inclusión del café en la cocina mexicana* (B.S. thesis). Quito.
- PR electronics S. L. (2023, diciembre). *Los fundamentos de los sensores de temperatura RTD*. <https://www.prelectronics.com/es/los-fundamentos-de-los-sensores-de-temperatura-rtd/>. PR Electronics. (Accessed: 2024-1-1)
- Pretel, Y. (2019). *Diseño DE UN VENTILADOR CENTRÍFUGO PARA SECADO DE PELLETS DE PLÁSTICO RECICLADO EN LA EMPRESA CONSORCIO RECICLADOR DEL NORTE S.A.C*. Universidad Cesar Vallejo, Peru.
- Pruna Estrella, D. S. (2022). *El sector cafetalero ecuatoriano y su orientación hacia la exportación, periodo 2015–2021* (B.S. thesis). PUCE-Quito.

- Royo, P. C. (2022, febrero). *¿qué es un intercambiador de calor tubular?* <https://www.timejust.es/actualidad/que-es-un-intercambiador-de-calor-tubular/>. (Accessed: 2023-6-5)
- Sánchez, J., Anaya, I., Gutiérrez, G. F., Vizcarra, M., y ENCB-IPN, T. S. P. (2013). Estudio hidrodinámico del tostado de café (coffea arabica l.) en un reactor de lecho fluidizado.
- Sánchez, M. X. (2020). *Sistema de gestión de la calidad en la industria alimentaria, herramienta para controlar un problema de salud pública*. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/36422>. (Accessed: 2024-2-15)
- SINAMICS. (2023, noviembre). *6SL3210-5BB17-5UV1 siemens*. [https://www.plc-city.com/shop/es/siemens-sinamics-v20-converters/6sl3210-5bb17-5uv1-nfs.html?SubmitCurrency=1&id\\_currency=3&feed\\_country=EC&gad\\_source=1&gclid=Cj0KCQiAta0tBhCwARIsAN\\_x-3IveAs5gc\\_\\_3yH-15CrzoPeLwAyy4mI3yC\\_A06IsZb9EP1rulliWCwaAkp2EALw\\_wcB](https://www.plc-city.com/shop/es/siemens-sinamics-v20-converters/6sl3210-5bb17-5uv1-nfs.html?SubmitCurrency=1&id_currency=3&feed_country=EC&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAta0tBhCwARIsAN_x-3IveAs5gc__3yH-15CrzoPeLwAyy4mI3yC_A06IsZb9EP1rulliWCwaAkp2EALw_wcB). (Accessed: 2024-2-15)
- Temper*. (s.f.). <https://tempergdl.com.mx/catalogo/producto/resistencia-electrica-banda-mica>. (Accessed: 2023-11-28)
- Vargas Cajamarca, J., Quezada Campoverde, M., García Batista, M., y Carvajal Romero, H. (2021). Análisis de mercado para el procesamiento y comercialización de café tostado y molido, cantón marcabelí. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 4(2), 99–106.

# ANEXOS

## Anexo A: Matriz de Consistencia Lógica

Tabla 13

Matriz de consistencia.

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Cuál será el diseño idóneo para una máquina tostadora de café de lecho fluidizado para productores minoristas?	Diseñar una maquina tostadora de café de lecho fluido para productores minoristas.		-VI: Diseño. -VD: Brindar otra alternativa para el proceso de tostado.	Diseño de tostadora de café de lecho fluido.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES	MARCO TEÓRICO
¿Se puede determinar los parámetros iniciales para el diseño mecánico de las tostadoras de café de lecho fluidizado para productores minoristas?	Determinar parámetros iniciales para el diseño mecatrónico de la tostadora de café de lecho fluido para productores minoristas		-VI: Parámetros iniciales. -VD: Diseño mecatrónico.	Proceso de tueste del café. Tipos de tueste Principios de funcionamiento.
¿Es posible proponer el diseño mecánico, electrónico y de control que garantice un proceso adecuado de tostado?	Proponer el diseño mecánico, electrónico y de control que garantice un proceso adecuado de tostado.		-VI: Diseño. -VD: Proceso de tueste.	Análisis matemático previo al diseño.
¿Se puede realizar un análisis económico de los costos de construcción e implementación de una tostadora de café de lecho fluido?	Realizar un análisis económico de los costos de construcción e implementación de una tostadora de café de lecho fluido.		-VI: Diseño mecatrónico. -VD: Análisis económico.	Costos de construcción e implementación de la máquina tostadora de café.

**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: Operacionalización de Variables**

La tabla 14 presenta la operacionalización de la variable dependiente: tiempo de operación.

**Tabla 14**

*Variable dependiente.*

<b>VARIABLE DEPENDIENTE: PROCESO DE TUESTE</b>				
<b>Dimensiones</b>	<b>Definiciones</b>	<b>Indicador</b>	<b>Magnitud</b>	<b>Instrumento de medición o Fuente</b>
Tiempo de tueste	<p><b>Definición conceptual:</b> Se lo define como la duración en efectuar una tarea en condiciones preestablecidas.</p> <p><b>Definición operacional:</b> Se la concibe como la duración operacional de la máquina en realizar el proceso de tostado de cafe.</p>	Tiempo	Segundos	Cálculos
Temperatura de tueste	<p><b>Definición conceptual:</b> Es la expresión que determina el grado de frío o calor de un cuerpo o del ambiente.</p> <p><b>Definición operacional:</b> Se la concibe como la duración operacional de la máquina en realizar el proceso de tostado de cafe.</p>	Temperatura	Celsius	Cálculos
Velocidad Ventilador	<p><b>Definición conceptual:</b> Se la define como la magnitud física que expresa el espacio recorrido por un móvil en la unidad de tiempo.</p> <p><b>Definición operacional:</b> Es la velocidad que necesitara el ventilador centrífugo para obtener la suficiente presión que permitirá efectuar un lecho fluido.</p>	Velocidad	m/s	Cálculos

**Nota:** La tabla presenta las definiciones de las dimensiones de la variable dependiente utilizada en la investigación, .

# Anexo C: Cronograma y Actividades

**Tabla 15**

*Cronograma de actividades.*

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																										
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				HORAS
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Determinar los <b>parámetros iniciales</b> que posibilitará el <b>diseño mecatrónico</b> de una tostadora de cafe de lecho fluido para productores minoristas	Revisión del proceso de tostado de café.	X	X																							25
	Revisión bibliográfica de Tostadoras de café de lecho fluido.	X	X																							35
	Identificación de los elementos principales que conforman una tostadora de café de lecho fluido.		X	X																						35
	Establecimiento de parámetros iniciales de una maquina tostadora de café de lecho fluido.			X	X																					30
Proponer el <b>diseño</b> mecánico, electrónico y de control que garantice que un <b>proceso adecuado de tueste</b> .	Elaboración del diseño mecánico.				X	X	X	X																		60
	Elaboración del diseño electrónico.						X	X	X	X																55
	Elaboración del diseño de control.									X	X	X	X													55
	Revisión de los diseños elaborados.													X	X	X	X									15
	Depuración de los diseños elaborados.														X	X	X									15
Realizar un <b>análisis de los costos de construccion e implementación</b> de una <b>máquina tostadora de café de lecho fluido</b> .	Evaluar los costos de construcción de una maquina tostadora de cafe de lecho fluido.																			X	X	X	X			15
	Evaluar los costos de implementación de una maquina tostadora de cafe de lecho fluido..																				X	X	X	X		
	Redacción de documento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	45
<b>Total de horas empleadas</b>																							400			

FOI

**Nota:** La tabla presenta las actividades para cumplir con los objetivos planteados.

## Anexo D: Propiedades Hidrodinámicas del Café

**Tabla 16**

*Propiedades hidrodinámicas del café*

<b>Características Físicas</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Largo mm	9.6	+ - 0.7
Ancho mm	7.1	+ - 0.5
Altura mm	4.0	+ - 0.5
Peso Unitario	0.16	+ - 0.002
Volumen medio unitario	1.3	+ - 0.03
Densidad Aparente	1222.0	+ - 0.04
<b>Parámetros Hidrodinámicos</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Densidad Empacada	640.12	+ - 10.61
Esfericidad	0.67	+ - 0.04
Diámetro equivalente	6.4	+ - 0.005
Porosidad en lecho empacado	0.51	+ - 0.009
Porosidad en condiciones mínima de fluidización	0.63	+ - 0.01
Velocidad mínima de fluidización teórica a 26 °C	2.10	+ - 0.07
Velocidad mínima de fluidización teórica a 220 °C	2.70	+ - 0.08
Velocidad mínima de fluidización experimental a 26 °C	2.0	+ - 0.15

**Nota:** En la tabla se observa las características hidrodinámicas del café.

## Anexo E: Propiedades del Aire a Diferente Temperatura

Tabla 17

*Propiedades del aire a diferente temperatura*

Temperatura (C°)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad u (N*s/m <sup>2</sup> )	Viscosidad cinemática v (m <sup>2</sup> /s)	Velocidad del Sonido (m/s)
0	1.292	1.72	$1.33 \times 10^{-5}$	331
20	1.204	1.81	$1.51 \times 10^{-5}$	343
200	0.746	2.57	$3.45 \times 10^{-5}$	436

**Nota:** Tabla de propiedades del aire a diferente temperatura. (J. Sánchez y cols., 2013).

## Anexo F: Propiedades del Aire a Diferente Altura

Tabla 18

*Propiedades del aire a diferente altura*

Altitud (m)	Temperatura (C°)	Presión (Pa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Velocidad del Sonido (m/s)
0	288.2	101.3	1.225	340
500	284.9	95.43	1.167	338
100	281.7	89.95	1.112	336

**Nota:** Tabla de propiedades del aire a diferentes alturas. (J. Sánchez y cols., 2013).

## Anexo G: Características Ventilador Centrifugo



## ES

**ST, STR:** Ventiladores centrífugos de simple aspiración a transmisión, con salida de eje y turbina con álabes hacia adelante  
**STR F400:** Ventiladores centrífugos de simple aspiración a transmisión, con salida de eje y turbina con álabes hacia adelante, homologados F-400/2h  
**STT:** Ventiladores centrífugos de simple aspiración a transmisión, equipados con motor eléctrico, conjunto de poleas, correas, protectores y turbina con álabes hacia adelante  
**CA-ST:** Unidades de ventilación con turbina de álabes hacia delante aisladas acústicamente, equipadas con ventiladores de la serie ST, sobre amortiguadores de goma

### Ventilador:

- Envoltorio en chapa de acero galvanizado
- Turbina con álabes hacia adelante, en chapa de acero galvanizado
- Estructura en chapa de acero galvanizado, con aislamiento térmico y acústico (CA-ST)
- Prensaestopas para entrada de cable (CA-ST)

### Motor:

- Motores de eficiencia IE2 para potencias iguales o superiores a 0,75kW e inferiores a 7,5kW, excepto monofásicos, 2 velocidades y 8 polos
- STT y CA-ST: Motores de eficiencia IE2 e IE3 para potencias iguales o superiores a 7,5kW, excepto monofásicos, 2 velocidades y 8 polos
- Motores clase F, con rodamientos a bolas protección IP55
- Trifásicos 230/400V, 50Hz (hasta 5,5CV) y 400/690V, 50Hz (Potencias superiores a 5,5CV)
- Temperatura máxima del aire a transportar: ST y STT: -20°C +85 °C CA-ST: -20°C +60°C

### Acabado:

- Anticorrosivo en chapa de acero galvanizado

### Bajo demanda:

- Diferentes posiciones de boca de impulsión
- Bobinados especiales para diferentes tensiones
- Con motores de 2 velocidades

## DE

**ST, STR:** Einseitig saugende Radialventilatoren mit Riemenantrieb, Achsenausgang und Laufrad mit vorwärts gekrümmten Schaufeln  
**STR F400:** Einseitig saugende Radialventilatoren mit Riemenantrieb, Achsenausgang und Laufrad mit vorwärts gekrümmten Schaufeln, zugelassen für F-400/2h  
**STT Einseitig saugende Radialventilatoren mit Riemenantrieb, Elektromotor, Baugruppe aus Riemenscheiben und Riemen und Laufrad mit vorwärts gekrümmten Schaufeln**  
**CA-ST:** Belüftungssysteme mit Laufrad mit vorwärts gekrümmten Schaufeln, schallisoliert, mit Ventilatoren der Serie ST auf Schwingungsdämpfern aus Gummi

### Ventilator:

- Gehäuse aus verzinktem Stahlblech
- Laufrad mit vorwärts gekrümmten Schaufeln, aus verzinktem Stahlblech
- Struktur aus verzinktem Stahlblech, wärme- und schallisoliert (CA-ST)
- Stopfbüchse zur Kabeleinführung (CA-ST)

### Motor:

- Motoren der Effizienzklasse IE2 für Leistungen von 0,75 kW bis 7,5 kW, außer Wechselstrommotoren mit 2 Drehzahlen und 8 Polen
- STT und CA-ST: Motoren der Effizienzklasse IE2 und IE3 für Leistungen ab 7,5 kW, ausgenommen Wechselstrommotoren mit 2 Drehzahlen und 8 Polen
- Motoren der Isolierklasse F mit Kugellager, Schutzart IP55
- Drehstrommotoren (230/400 V, 50 Hz bis 5,5 PS und 400/690 V, 50 Hz für Leistungen über 5,5 PS)
- Höchsttemperatur der beförderten Luft: ST und STT: -20°C bis +85 °C CA-ST: -20°C bis +60°C

### Beschichtung:

- Korrosionsfest aus verzinktem Stahlblech

### Auf Anfrage:

- Verschiedene Positionen der Ausblasöffnung
- Spezialwicklungen für verschiedene Spannungen
- Motoren mit 2 Drehzahlen

## EN

**ST, STR:** Single-inlet, belt-driven centrifugal fans with axis outlet and impeller with forward-facing blades  
**STR F400:** Single-inlet, belt-driven centrifugal fans with axis outlet and impeller with forward-facing blades, certified for F-400/2h  
**STT:** Single-inlet, belt-driven centrifugal fans with electric motor, pulley, belt kit and standardised protectors and impeller with backward-facing blades.  
**CA-ST:** Soundproof ventilation units with forward-facing blades, fitted with ST series fans on rubber dampers

### Fan:

- Galvanised sheet steel casing
- Impeller with forward-facing blades made from galvanised sheet steel
- Galvanised sheet steel structure with thermal insulation and soundproofing (CA-ST)
- Stuffing-box for cable input (CA-ST)

### Motor:

- IE2 efficiency motors for capacities equal to or over 0.75kW and below 7.5kW, except single-phase, 2 speed and 8 pole motors
- STT and CA-ST: IE2 and IE3 efficiency for 7.5kW and larger motors. Except for 1Ph, 2 speed and 8 pole motors.
- Class F motors with ball bearings, IP55 protection
- Three-phase 230/400V, 50Hz (up to 5.5CV) and 400/690V, 50Hz (power over 5.5CV)
- Max. temperature of air for transport: ST and STT: -20°C +85 °C CA-ST: -20°C +60°C

### Finish:

- Anticorrosive galvanised sheet steel.

### On request:

- Different outlet positions
- Special windings for different voltages
- With two speed motors

## FR

**ST, STR:** Ventilateurs centrifuges à simple aspiration par transmission avec sortie d'axe et turbine à pales vers l'avant  
**STR F400:** Ventilateurs centrifuges à simple aspiration par transmission avec sortie d'axe et turbine à pales vers l'avant, homologué F-400/2h  
**STT:** Ventilateurs centrifuges à simple aspiration par transmission, équipés d'un moteur électrique, d'un ensemble de poulies, de courroies de protection et d'une turbine avec les pales vers l'avant  
**CA-ST:** Appareils de ventilation avec turbine à pales vers l'avant isolés acoustiquement, équipés de ventilateurs de la gamme ST, sur amortisseurs en mousse

### Ventilateur :

- Gaine en tôle d'acier galvanisé
- Turbine avec pales vers l'avant en tôle d'acier galvanisé
- Structure en tôle acier galvanisé avec isolation thermique et acoustique (CA-ST)
- Presse-étoupe pour l'entrée des câbles (CA-ST)

### Moteur :

- Moteurs rendement IE2 pour puissances égales ou supérieures à 0,75 kW et inférieures à 7,5 kW, sauf monophasés, 2 vitesses et 8 pôles
- STT et CA-ST: Moteurs rendement IE2 et IE3 pour puissances égales ou supérieures à 7,5 kW, sauf monophasés, 2 vitesses et 8 pôles
- Moteurs classe F, avec roulements à billes, protection IP55
- Triphasés 230/400 V, 50Hz (jusqu'à 5,5 CV) et 400/690V, 50 Hz (puissances supérieures à 5,5 CV)
- Température maximum de l'air à transporter : ST et STT: -20°C +85 °C CA-ST: -20°C +60°C

### Finition :

- Anticorrosion en tôle acier galvanisé

### Sur demande :

- Différentes positions de bouche d'impulsion
- Bobinages spéciaux pour différentes tensions
- Avec moteurs à 2 vitesses

**Características técnicas**
**Technical characteristics**
**Technische Daten**
**Caractéristiques techniques**

Modelo Model Modell Modèle	Velocidad Speed Drehzahl Vitesse Máx (r/min)	Potencia instalada Installed Power Nenn-leistung Puissance installée Máx. (kW)	Caudal máximo Maximum Airflow Maximaler Volumenstrom Débit maximum (m <sup>3</sup> /h)	Temperatura del aire Air temperature Lufttemperatur Température de l'air (°C) min. máx.		Peso aprox. Approx. weight Ung. Gewicht Poids approx. (kg)
ST-9/4	2400	2,20	3500	-20	85	9,6
ST-10/5	2200	3,00	5600	-20	85	11,0
ST-12/6	1500	2,20	4800	-20	85	17,5
ST-15/7	1050	3,00	7400	-20	85	22,5
ST-18/9	920	4,00	10500	-20	85	33,0
STR 9/4	2400	2,20	3500	-20	85	9,6
STR 10/5	2200	3,00	5600	-20	85	11,0
STR STR-F400 12/6	1500	2,20	4800	-20	85	17,5
STR STR-F400 15/7	1050	3,00	7400	-20	85	22,5
STR STR-F400 18/9	920	4,00	10500	-20	85	33,0
STR STR-F400 20/10	850	5,50	15000	-20	85	71,0
STR STR-F400 22/11	1000	18,50	26000	-20	85	80,0
STR STR-F400 25/13	810	18,50	32000	-20	85	93,0
STR STR-F400 30/14	600	18,50	38000	-20	85	125,0

Modelo Model Modell Modèle	Velocidad Speed Drehzahl Vitesse (r/min)	Intensidad máxima admisible Maximum admissible current Maximal zulässige Stromstärke Intensité maximum admissible 230V (A) 400V 690V			Potencia instalada Installed Power Nenn-leistung Puissance installée (kW)	Caudal máximo Maximum Airflow Maximaler Volumenstrom Débit maximum (m <sup>3</sup> /h)	Nivel presión sonora Sound pressure level Schalldruckpegel Niveau pression acoustique dB(A)	Peso aprox. Approx. weight Ung. Gewicht Poids approx. (kg)
STT CA-ST 9/4-0,25	970	0,96	0,55	0,18	1450	69	59	
STT CA-ST 9/4-0,33	1080	1,36	0,78	0,25	1600	71	62	
STT CA-ST 9/4-0,5	1230	1,84	1,06	0,37	1800	74	62	
STT CA-ST 9/4-0,75	1400	2,64	1,52	0,55	2050	77	65	
STT CA-ST 10/5-0,5	900	1,84	1,06	0,37	2300	69	63	
STT CA-ST 10/5-0,75	1030	2,64	1,52	0,55	2650	72	66	
STT CA-ST 10/5-1	1150	3,10	1,79	0,75	2950	74	67	
STT CA-ST 10/5-1,5	1300	4,03	2,32	1,10	3300	77	70	
STT CA-ST 10/5-2	1430	5,96	3,44	1,50	3650	79	73	
STT CA-ST 12/6-0,75	1000	2,64	1,52	0,55	2600	69	73	
STT CA-ST 12/6-1	1100	3,10	1,79	0,75	3100	71	74	
STT CA-ST 12/6-1,5	1250	4,03	2,32	1,10	3500	74	77	
STT CA-ST 12/6-2	1300	5,96	3,44	1,50	4250	77	80	
STT CA-ST 12/6-3	1500	8,36	4,83	2,20	4800	79	85	
STT CA-ST 15/7-1	800	3,10	1,79	0,75	4000	67	92	
STT CA-ST 15/7-1,5	850	4,03	2,32	1,10	4800	69	95	
STT CA-ST 15/7-2	920	5,96	3,44	1,50	5400	72	98	
STT CA-ST 15/7-3	1000	8,36	4,83	2,20	6400	75	103	
STT CA-ST 15/7-4	1050	10,96	6,33	3,00	7400	77	106	
STT CA-ST 18/9-1,5	750	4,03	2,32	1,10	5800	68	111	
STT CA-ST 18/9-2	790	5,96	3,44	1,50	6600	70	114	
STT CA-ST 18/9-3	800	8,36	4,83	2,20	8200	74	119	
STT CA-ST 18/9-4	850	10,96	6,33	3,00	9000	76	122	
STT CA-ST 18/9-5,5	920	14,10	8,12	4,00	10500	78	125	
STT CA-ST 20/10-2	650	5,96	3,44	1,50	8100	65	203	
STT CA-ST 20/10-3	690	8,36	4,83	2,20	10100	68	208	
STT CA-ST 20/10-4	750	10,96	6,33	3,00	11500	70	211	
STT CA-ST 20/10-5,5	790	14,10	8,12	4,00	13100	73	214	
STT CA-ST 20/10-7,5	850	11,60	6,72	5,50	15000	75	227	
STT CA-ST 22/11-3	580	8,36	4,83	2,20	11200	67	219	
STT CA-ST 22/11-4	610	10,96	6,33	3,00	13000	70	222	
STT CA-ST 22/11-5,5	650	14,10	8,12	4,00	15000	72	225	
STT CA-ST 22/11-7,5	690	11,60	6,72	5,50	17000	74	238	
STT CA-ST 22/11-10	750	14,20	8,20	7,50	19000	76	246	
STT CA-ST 22/11-10 IE3	750	13,90	8,06	7,5	19000	76	262	
STT CA-ST 22/11-15	830	20,20	11,60	11,00	22000	79	273	
STT CA-ST 22/11-15 IE3	830	20,90	12,10	11	22000	79	298	
STT CA-ST 22/11-20	910	27,50	15,90	15,00	24500	81	292	
STT CA-ST 22/11-20 IE3	910	27,90	16,20	15	24500	81	309	
STT CA-ST 22/11-25	1000	35,00	20,00	18,50	26000	83	322	
STT CA-ST 22/11-25 IE3	1000	35,10	20,30	18,5	26000	83	354	
STT CA-ST 25/13-4	520	10,96	6,33	3,00	14000	62	254	
STT CA-ST 25/13-5,5	550	14,10	8,12	4,00	17000	65	257	
STT CA-ST 25/13-7,5	590	11,60	6,72	5,50	19500	67	270	
STT CA-ST 25/13-10	620	14,20	8,20	7,5	23000	70	278	
STT CA-ST 25/13-10 IE3	620	13,90	8,06	7,5	23000	70	294	
STT CA-ST 25/13-15	690	20,20	11,60	11	26500	74	305	
STT CA-ST 25/13-15 IE3	690	20,90	12,10	11	26500	74	330	



**Erp**

Características del punto de máxima eficiencia (BEP)	BEP (best efficiency point) characteristics				Eigenschaften des besten Effizienzpunkts (BEP)			Caractéristiques du point de rendement maximal (BEP)		
	MC	EC	VSD	SR	$\eta_e$ [%]	N	(kW)	(m <sup>3</sup> /h)	(mmH <sub>2</sub> O)	(RPM)
22/11-25 IE3	C	S	NO	1,01	56,1%	57,3	6,682	12028	114,46	1000
25/13-4	C	S	NO	1,00	47,2%	52,3	1,546	6778	39,51	520
25/13-5,5	C	S	NO	1,00	48,2%	52,9	1,793	7169	44,20	550
25/13-7,5	C	S	NO	1,01	48,9%	53,1	2,181	7691	50,87	590
25/13-10	C	S	NECESSARY	1,01	49,4%	53,2	2,503	8082	56,17	620
25/13-10 IE3	C	S	NO	1,01	50,4%	54,2	2,456	8082	56,17	620
25/13-15	C	S	NECESSARY	1,01	50,5%	53,5	3,379	8994	69,57	690
25/13-15 IE3	C	S	NO	1,01	51,4%	54,4	3,320	8994	69,57	690
25/13-20	C	S	NECESSARY	1,01	51,3%	53,7	4,264	9776	82,20	750
25/13-20 IE3	C	S	NO	1,01	52,2%	54,6	4,195	9776	82,20	750
25/13-25	C	S	NECESSARY	1,01	51,5%	53,3	5,354	10558	95,87	810
25/13-25 IE3	C	S	NO	1,01	52,3%	54,1	5,273	10558	95,87	810
30/14-5,5	C	S	NO	1,00	50,3%	54,5	2,235	11535	35,79	400
30/14-7,5	C	S	NO	1,01	51,1%	54,8	2,640	12256	40,40	425
30/14-10	C	S	NECESSARY	1,01	51,8%	54,9	3,300	13265	47,33	460
30/14-10 IE3	C	S	NO	1,01	52,8%	55,9	3,238	13265	47,33	460
30/14-15	C	S	NECESSARY	1,01	52,9%	55,3	4,152	14419	55,91	500
30/14-15 IE3	C	S	NO	1,01	53,9%	56,3	4,079	14419	55,91	500
30/14-20	C	S	NECESSARY	1,01	54,0%	55,7	5,410	15861	67,66	550
30/14-20 IE3	C	S	NO	1,01	54,9%	56,7	5,322	15861	67,66	550
30/14-25	C	S	NECESSARY	1,01	53,8%	54,8	7,056	17303	80,52	600
30/14-25 IE3	C	S	NO	1,01	54,6%	55,6	6,950	17303	80,52	600

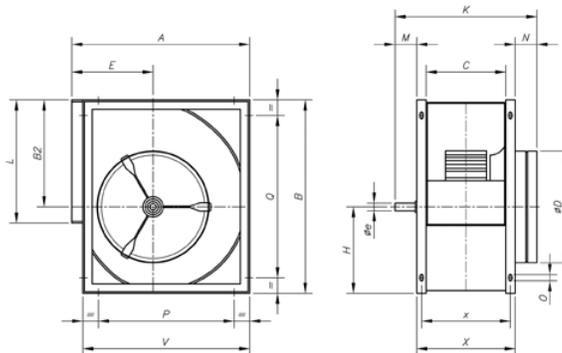
Dimensiones mm

Dimensions in mm

Abmessungen in mm

Dimensions mm

ST



	A	B	B2	C	øD	E	øe	H	K	L	M	N	O	P	Q	V	X	x
ST-9/4	388	402	218	169	270	183	20	184	361	263	42	90 9x17	214	214	358	229	201	
ST-10/5	428	450	246	182	290	202	20	204	374	292	42	90 9x17	254	254	398	242	214	
ST-12/6	498	532	290	210	325	230	25	242	435	345	75	90 9x17	324	324	468	270	242	
ST-15/7	583	632	348	269	400	265	25	284	494	404	75	90 9x17	406	406	553	329	301	
ST-18/9	694	756	415	301	475	323	25	341	526	482	75	90 9x17	520	608	664	361	333	

**Curvas características**

Q= Caudal en m<sup>3</sup>/h, m<sup>3</sup>/s y cfm.  
Pe= Presión estática en mmH<sub>2</sub>O, Pa e inwg.

**Characteristic curves**

Q= Airflow in m<sup>3</sup>/h, m<sup>3</sup>/s and cfm.  
Pe= Static pressure in mmH<sub>2</sub>O, Pa and in wg.

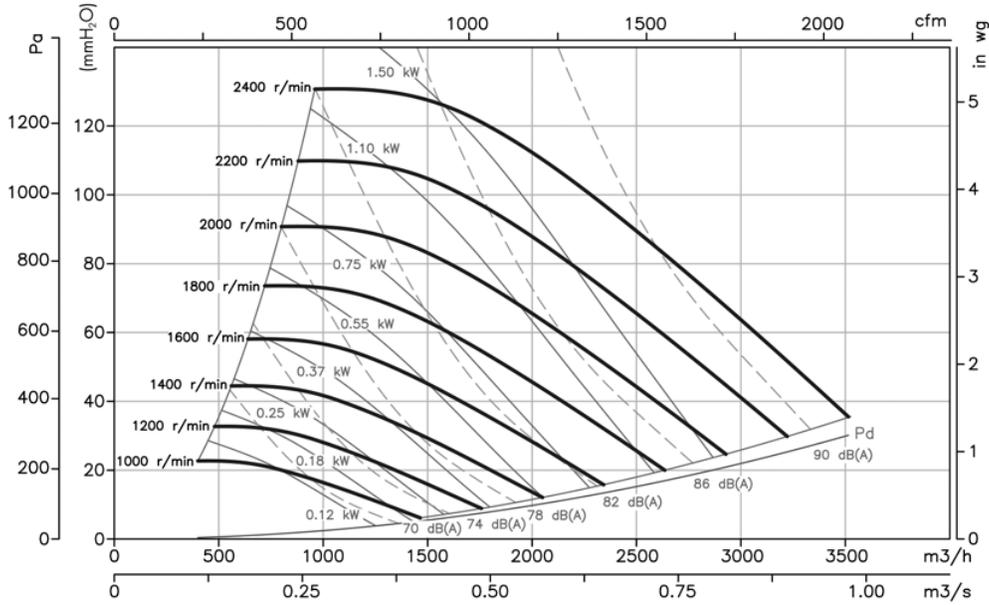
**Kennlinien**

Q= Volumenstrom in m<sup>3</sup>/h, m<sup>3</sup>/s und cfm.  
Pe= Statischer Druck in mmH<sub>2</sub>O, Pa und inWS

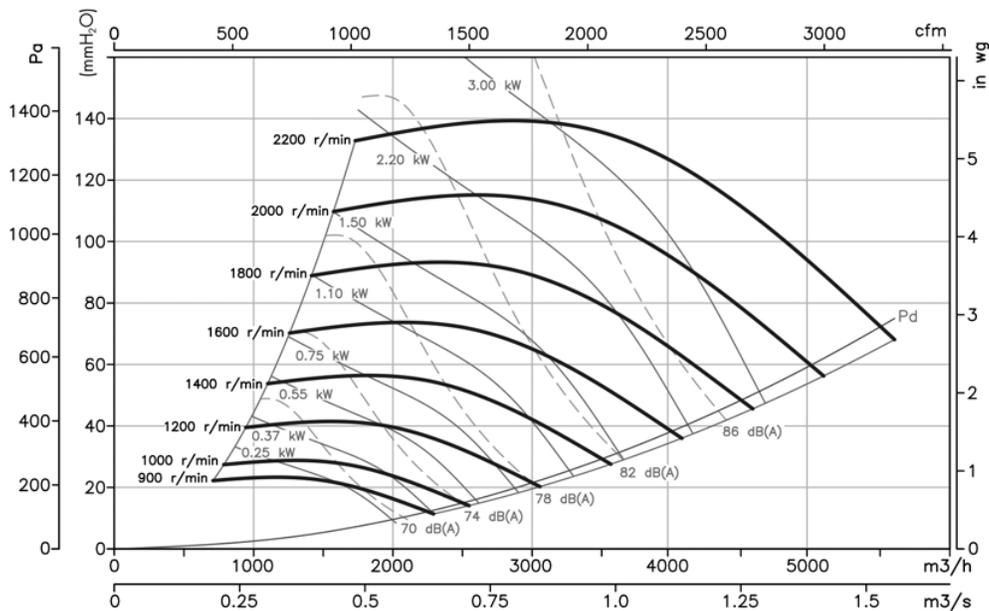
**Courbes caractéristiques**

Q= Débit en m<sup>3</sup>/h, m<sup>3</sup>/s et cfm.  
Pe = Pression statique en mmH<sub>2</sub>O, Pa et inwg.

9/4



10/5



# Anexo H: Proformas

### Proforma de Venta

Número 4476

Fecha 03/02/2024

Expira 11/02/2024

Cliente GOMEZ RUIZ MATEO SEBASTIAN

Dirección HUANCAVILCAS 2-60 Y CALLE APAVAS

Forma de Pago CONTADO

CI/RUC 0105942775

Telf 0990062244

#### Detalle

Código	Descripción	Unid.	Cantidad	Precio U.	Dcto	SubTotal
SOFO	PEDAZO PLANCHA 40MM	UN	1,0000	90,0000	0,00	90,00
Y246	PERFORACIONES	UN	22,0000	1,0000	0,00	22,00
SOLO	CORTE PLASMA 40MM	UN	4,0000	20,0000	0,00	80,00
NPI302	TORNEADO DE AROS	UN	6,0000	20,0000	0,00	120,00
HUI	PEDAZO PLANCHA 41MM	UN	1,0000	80,0000	0,00	80,00
HOI	CORTE PLASMA 41MM	UN	3,0000	20,0000	0,00	60,00
JOI	CORTE PLASMA 35MM	UN	2,0000	20,0000	0,00	40,00
HII01	PLANCHA 1.5MM	UN	1,0000	40,0000	0,00	40,00
HTI223	CORTE PLASMA 1.5 MM	UN	18,5000	1,5000	0,00	27,75
RIOI789	ROLADA EN 1.5MM	UN	11,0000	2,0000	0,00	22,00
RTY523	SUELDA EN PLANCHA 1.5MM	UN	11,5000	5,0000	0,00	57,50
GG002	ROLADA EN 1.5 DIAM 27 CM	UN	1,0000	3,0000	0,00	3,00
FTR005	ROLADA EN 1.5MM DIAM 16CM	UN	1,0000	2,0000	0,00	2,00
RTT002	ROLADA EN 1.5MM CONICA	UN	1,0000	8,0000	0,00	8,00

Proforma de Venta

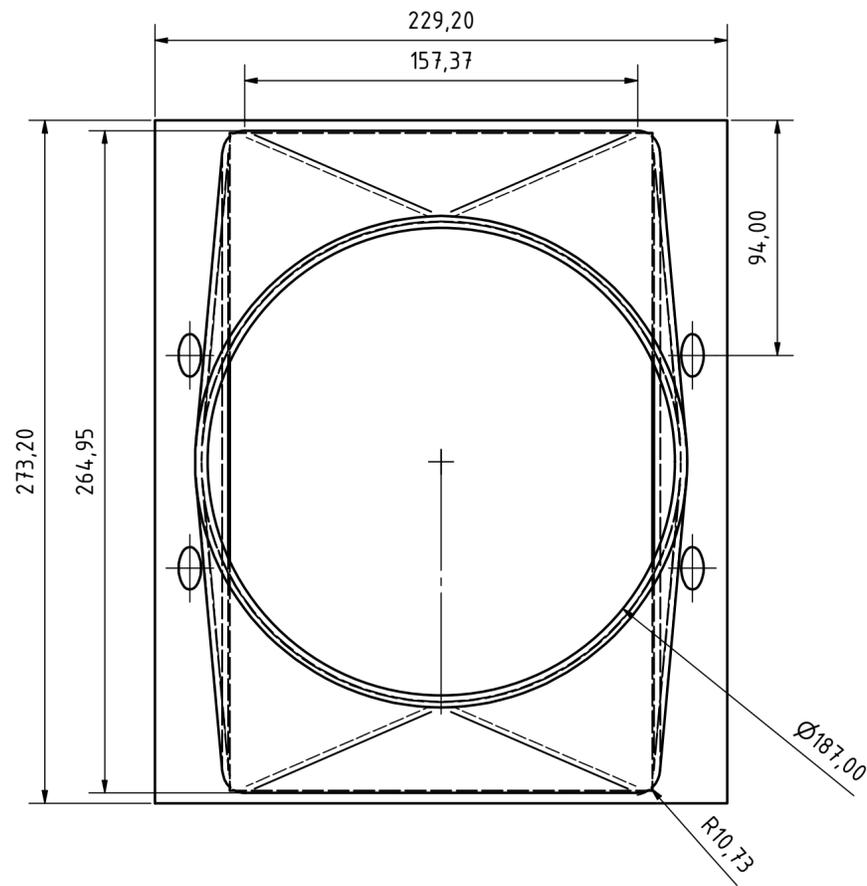
HIHI005	ROLADA EN 1.5MM DIAM 10CM	UN	2,0000	1,0000	0,00	2,00
HI101	PLANCHA 1.5MM	UN	2,0000	40,0000	0,00	80,00
YUI001	CORTE EN 1.5 MM	UN	5,0000	0,5000	0,00	2,50
WER004	TUBO 101MM LONG 20CM	UN	1,0000	3,5000	0,00	3,50
GG001	CORTE TUBO	UN	1,0000	0,5000	0,00	0,50
TRE004	ROLADA EN 1.5MM DIAM 50CM	UN	1,0000	60,0000	0,00	60,00
RTT002	ROLADA EN 1.5MM CONICA	UN	1,0000	4,0000	0,00	4,00
UUT005	PEDAZO PLANCHA 6MM 2.44 X0.85	UN	1,0000	220,0000	0,00	220,00
TUY004	TUBO CUADRADO 1 1/2X1/2X1/8	UN	11,1800	5,0000	0,00	55,90
HHU005	SOLDADO TUBO	UN	2,0000	10,0000	0,00	20,00
UUY003	PERFORACIONES 9.53MM	UN	16,0000	1,0000	0,00	16,00
OIU008	PEDAZO PLANCHA 10X14.5CM	UN	1,0000	3,0000	0,00	3,00
Y246	PERFORACIONES	UN	4,0000	0,2500	0,00	1,00
IIUU004	PEDAZO PLANCHA EN 1.5 MM	UN	1,0000	12,0000	0,00	12,00
YYUJN001	DOBLECES PLANCHA 1.5 MM	UN	8,0000	0,5000	0,00	4,00
U004	RANURAS	UN	2,0000	0,2500	0,00	0,50
RUI456	PEDAZO PLANCHA 35MM	UN	1,0000	35,0000	0,00	35,00
IIUU004	PEDAZO PLANCHA EN 1.5 MM	UN	1,0000	8,0000	0,00	8,00

Proforma de Venta

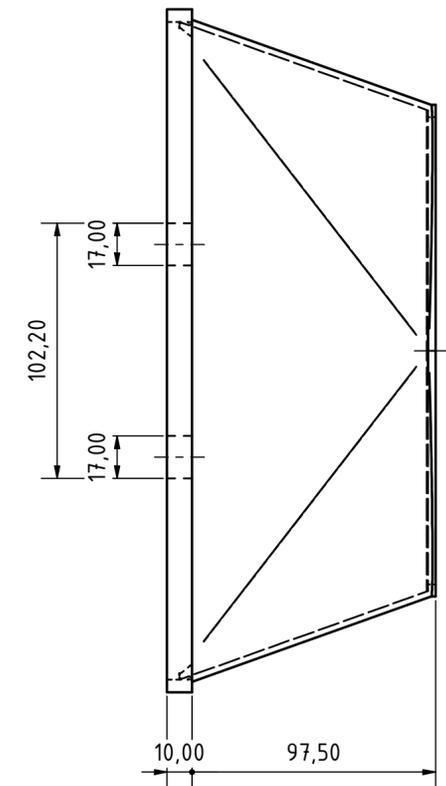
 Firma Autorizada	Total Base 0	0,00
	Total Base IVA	1.179,15
	IVA	141,50
	Total	1.320,65

# Anexo I: Planos de la Máquina

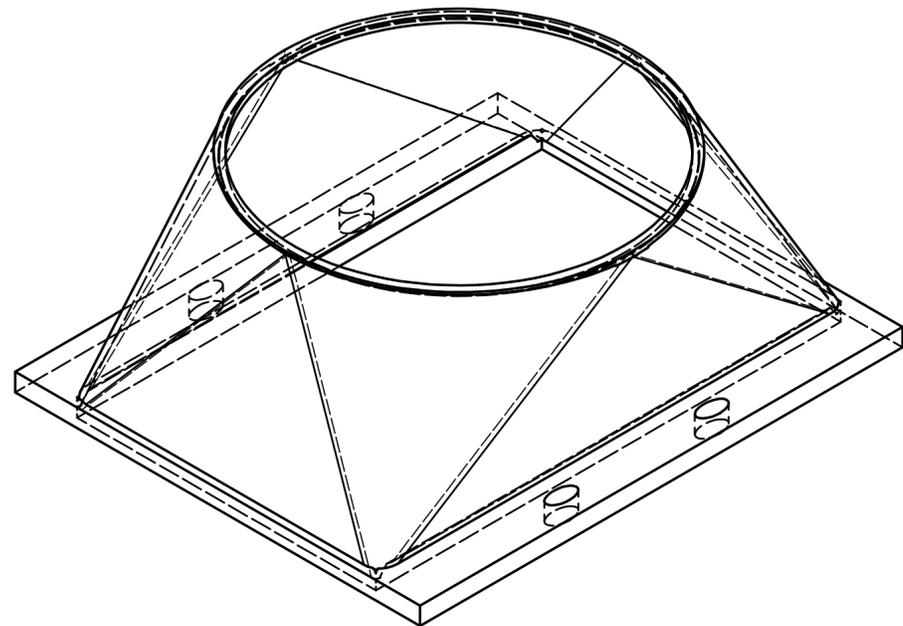
FRONT ( 1 : 2 )



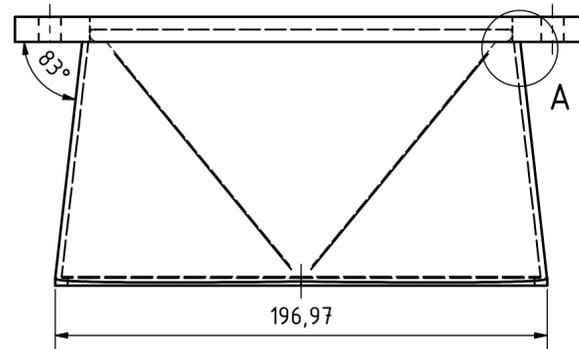
RIGHT ( 1 : 2 )



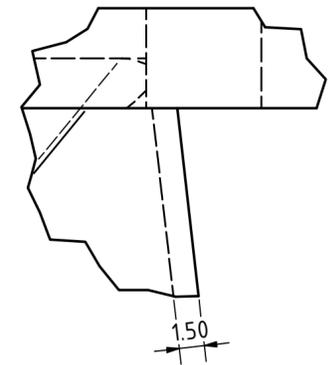
ISO ( 1 : 2 )



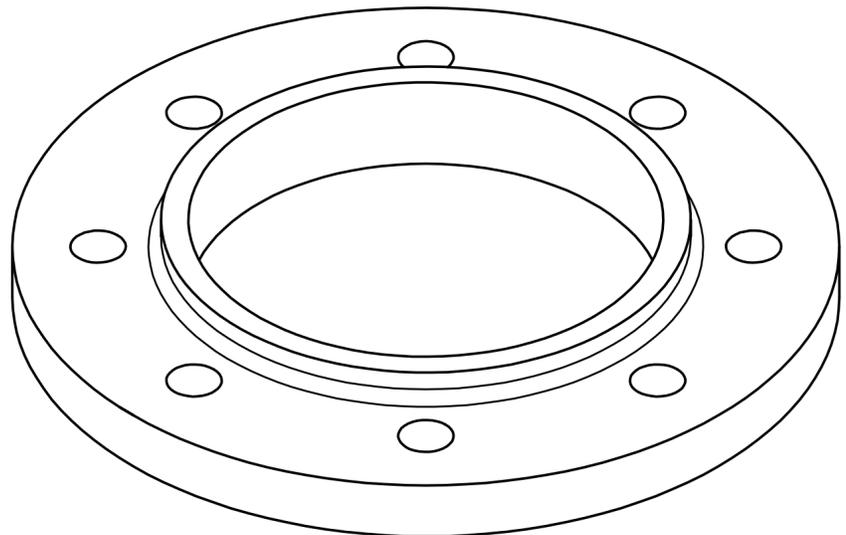
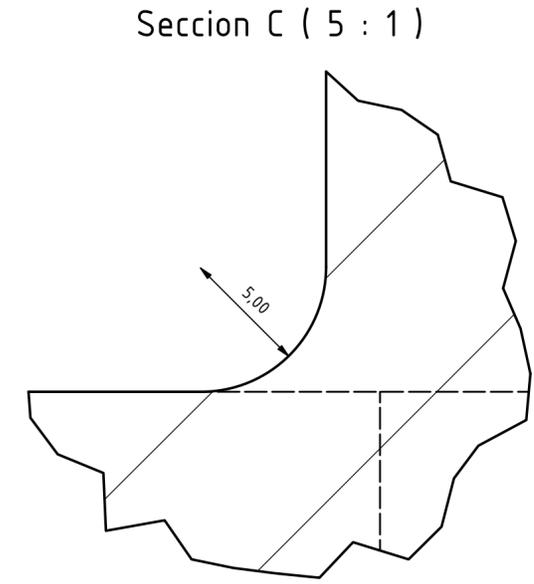
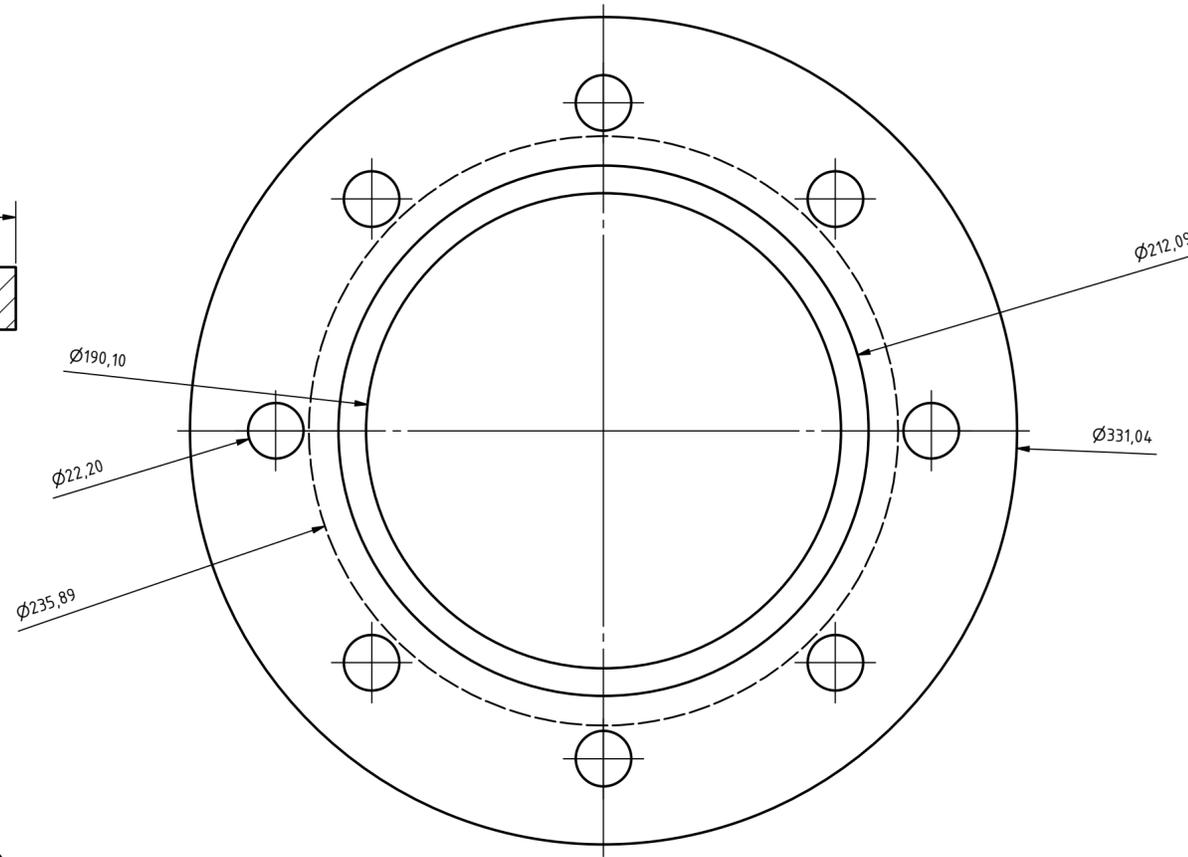
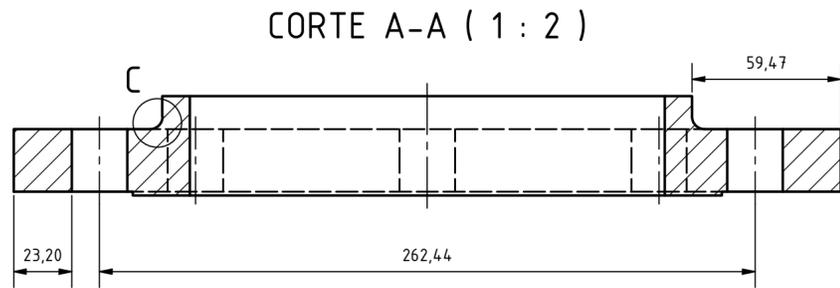
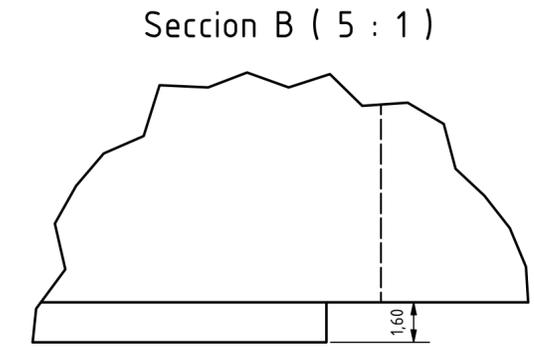
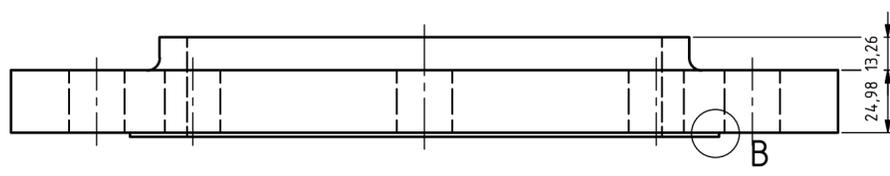
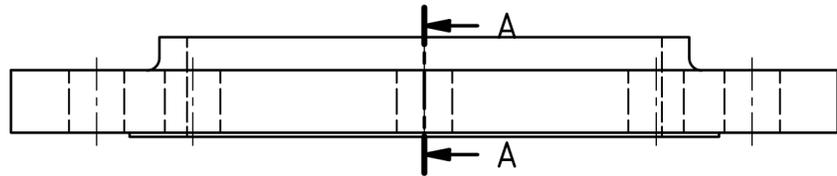
BOTTOM ( 1 : 2 )



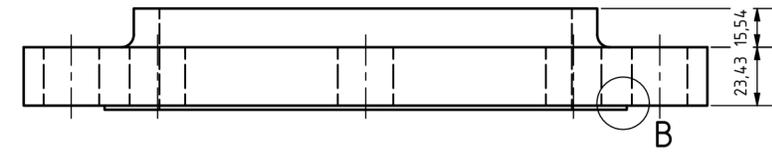
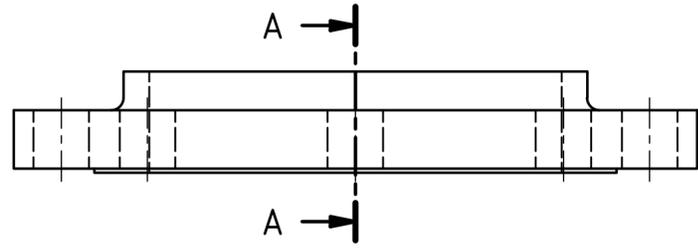
A ( 2 : 1 )



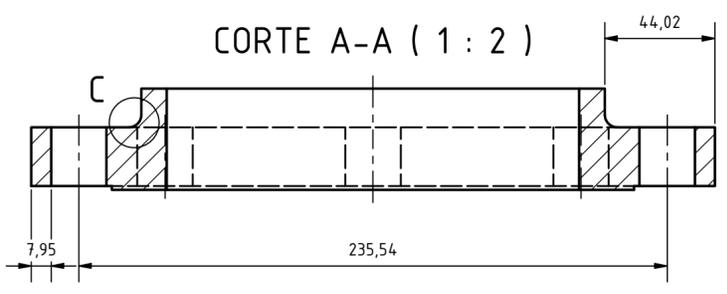
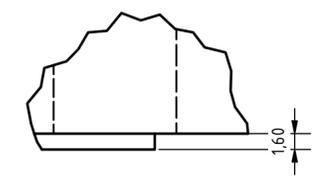
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	ACOPLE_RECTANGULO_CIRCULAR	AISI 316
		ACOPLE RECTANGULAR-CIRCULAR	
		1	1
		A2	



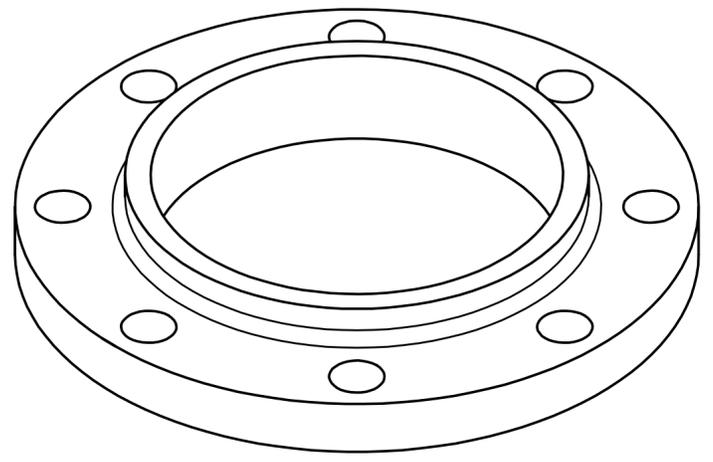
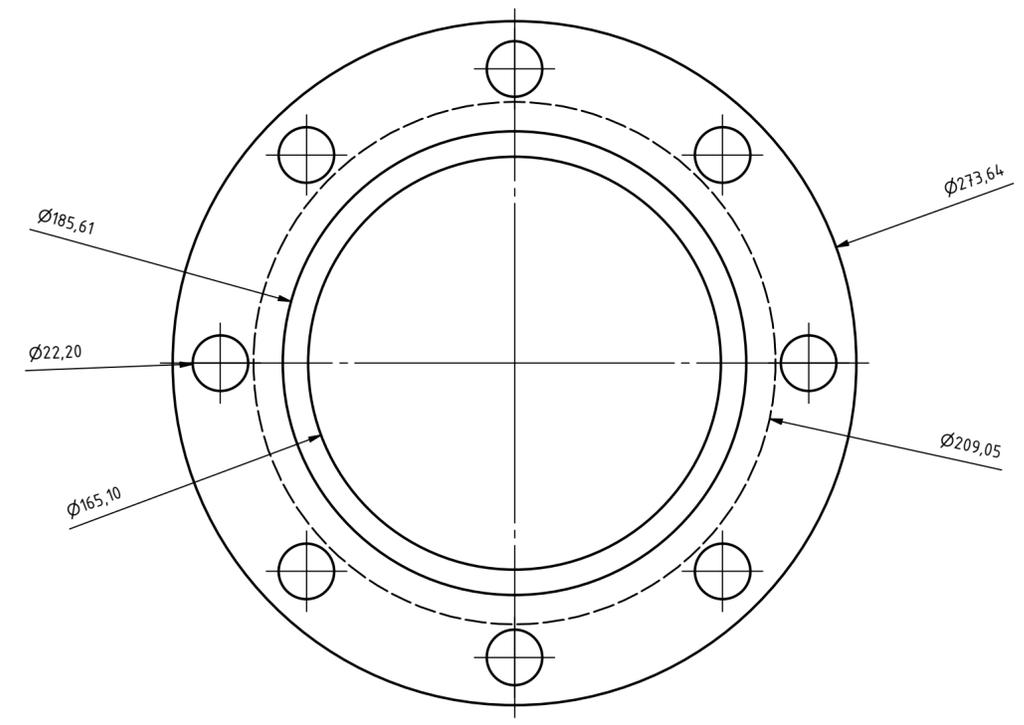
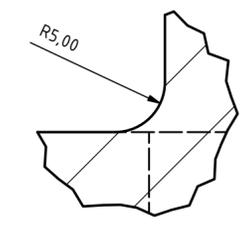
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	8	BRIDA_ACOPL	Acero Inox. 316
		Date	Name
		Drawn 20/12/23	Mateo Gomez
		Checked 24/02/24	Ing. Julio Loja
		Standard	
		BRIDA ACOPL	
		2	N2
		A2	
State	Changes	Date	Name



SECCION B ( 2 : 1 )



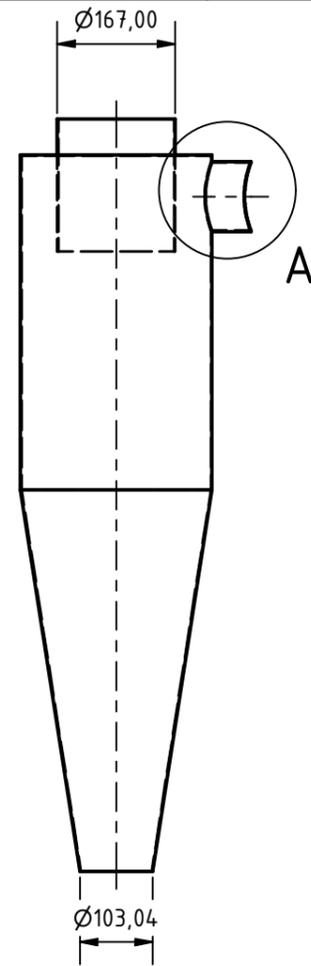
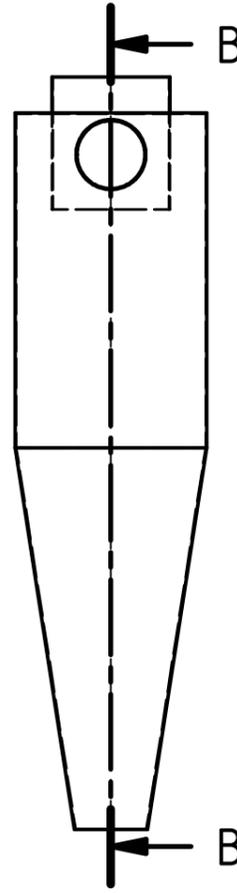
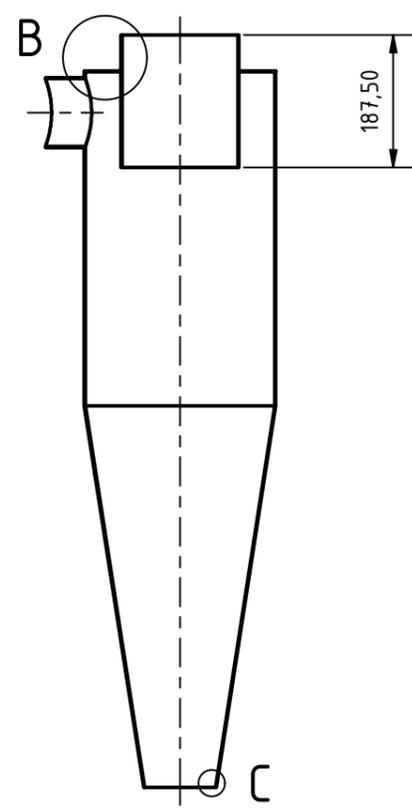
SECCION C ( 2 : 1 )



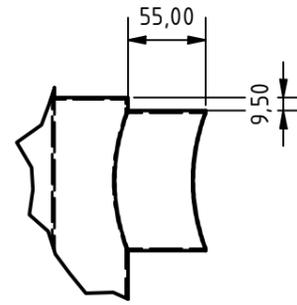
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	6	BRIDA_ACOPL_2	AISI 316
		Date	Name
		Drawn 20/12/23	Mafeo Gomez
		Checked 14/02/24	Ing. Julio Loja
		Standard	
			BRIDA ACOPL_2
			3
			N3
			A2



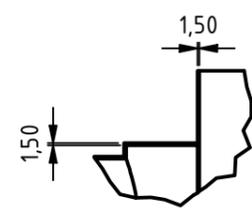
B-B ( 1 : 10 )



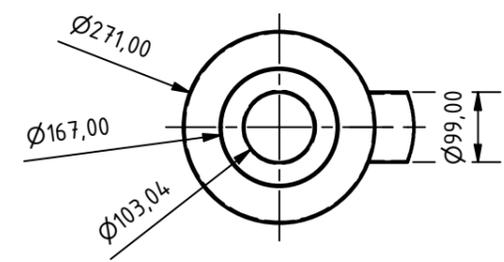
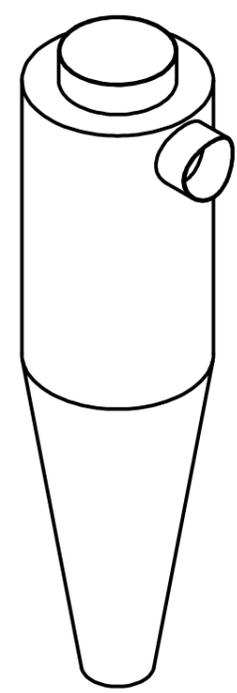
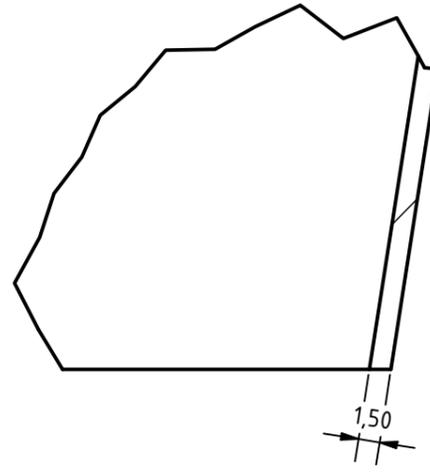
A ( 1 : 5 )



B ( 1 : 5 )



C ( 2 : 1 )



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	CICLON_LECHO	Acero AISI 316

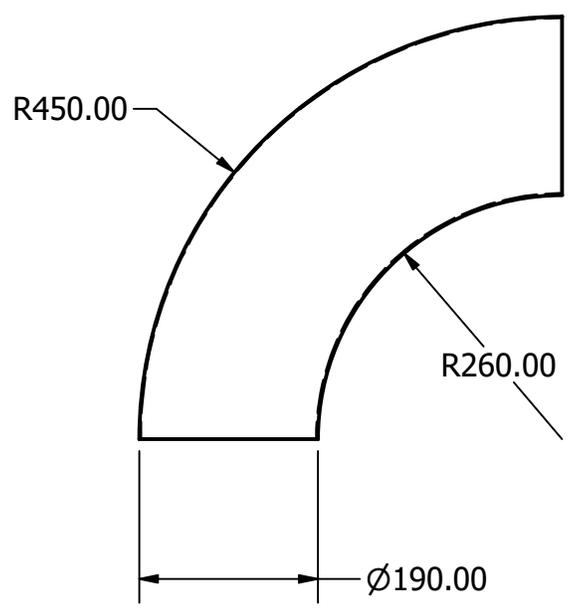
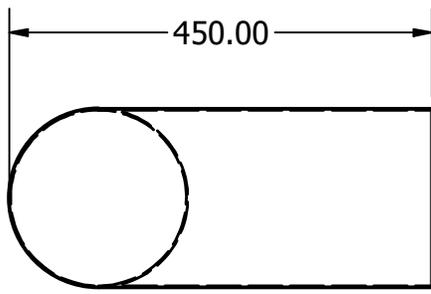
				CICLON	N5
				5	A3

State	Changes	Date	Name

2

1

PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	CODO_90



B

B

A

A

A

A

DRAWN	Mateo Gomez	29-12-23	TITLE  <b>CODO 90 -1</b>		
CHECKED	Ing. Julio Loja	14-02-24			
QA					
MFG					
APPROVED					
			SIZE	DWG NO	REV
			<b>A</b>	<b>6</b>	<b>1</b>
			SCALE	SHEET 6 OF 1	
			1 / 8		

2

1

1

2

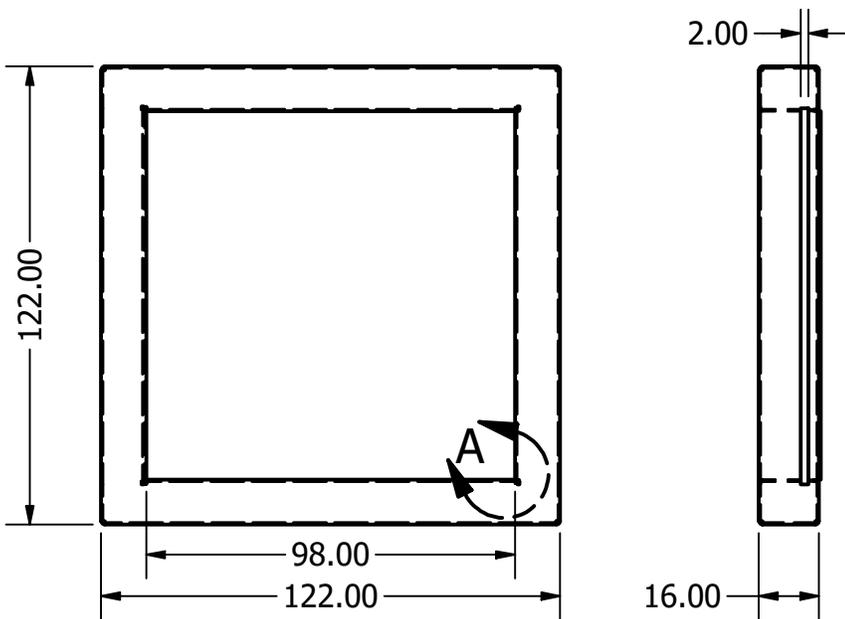
1

PARTS LIST

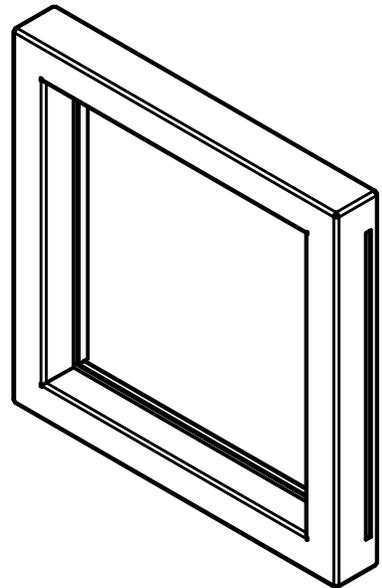
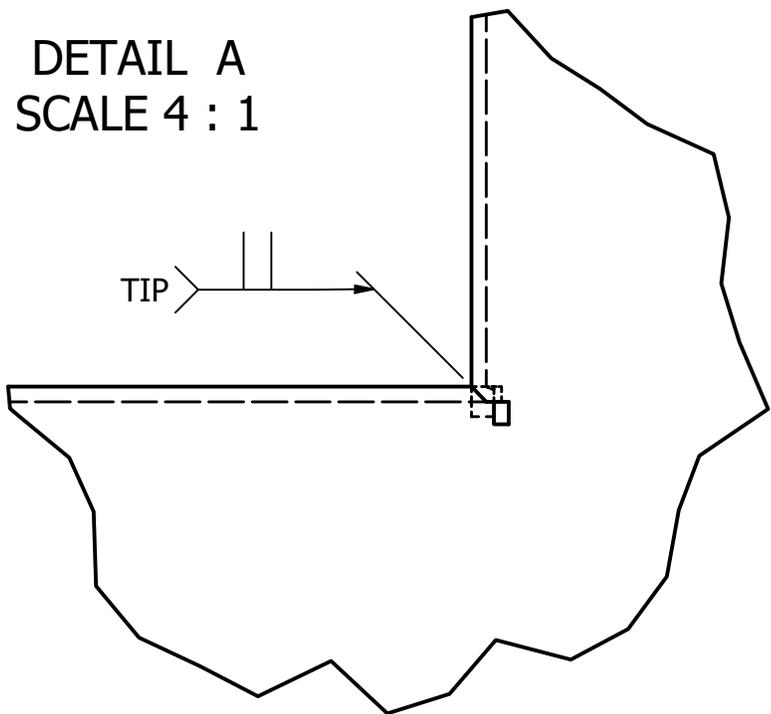
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	COMPUERTA

B

B



DETAIL A  
SCALE 4 : 1



A

A

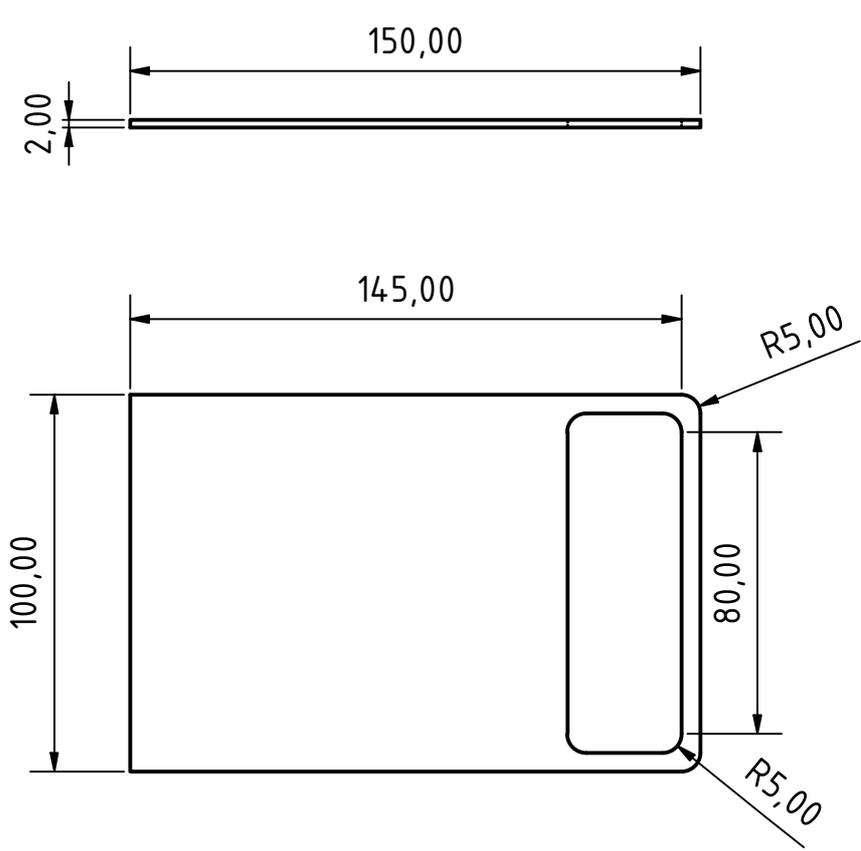
DRAWN	Mateo Gomez	29-12-23	TITLE  COMPUERTA		
CHECKED	Ing. Julio Loja	14-02-24			
QA					
MFG					
APPROVED					
		SIZE	DWG NO	REV	
		A	7	1	
		SCALE	1 / 2	SHEET 7 OF 1	

2

1

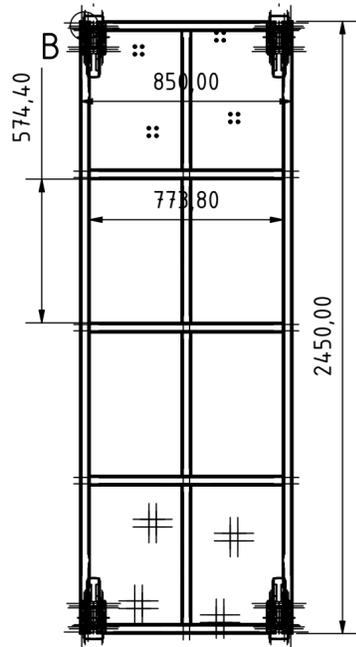


PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	MANIJA

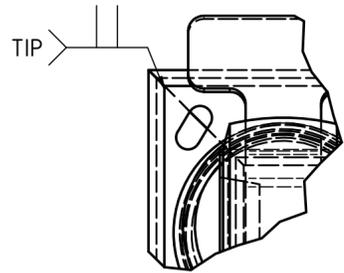


				Date	Name	MANIJA		
				Drawn	28-12-2023			Mateo Gomez
				Checked	14-02-2024			Ing. Julio Loja
				Standard				
						9	N9	
							A4	
State	Changes	Date	Name					

TOP ( 1 : 20 )



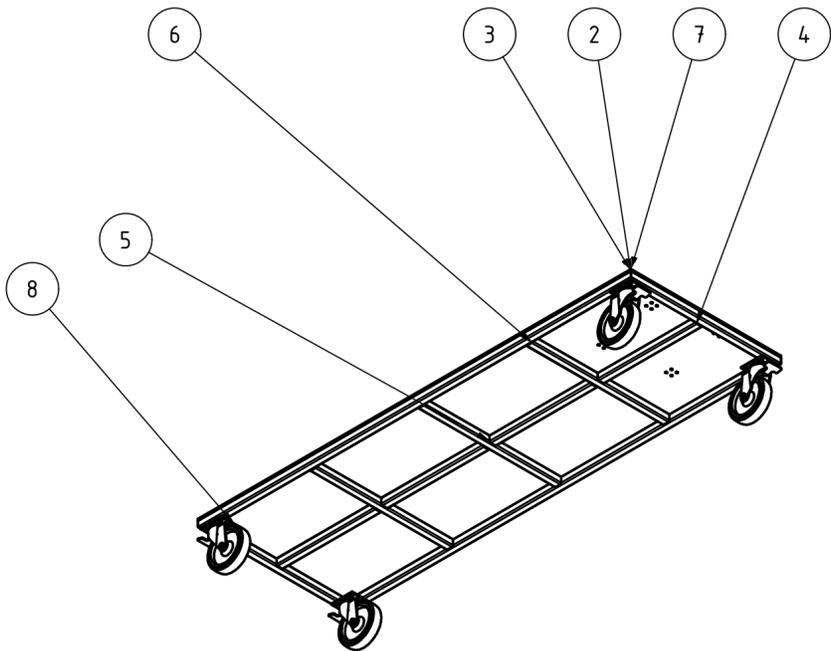
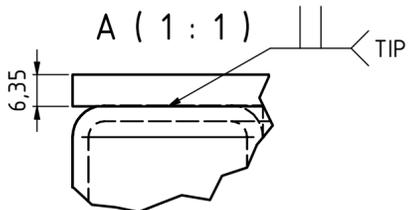
B ( 1 : 2 )



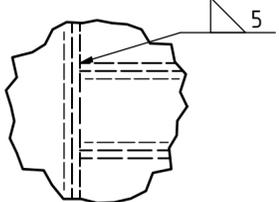
FRONT ( 1 : 20 )



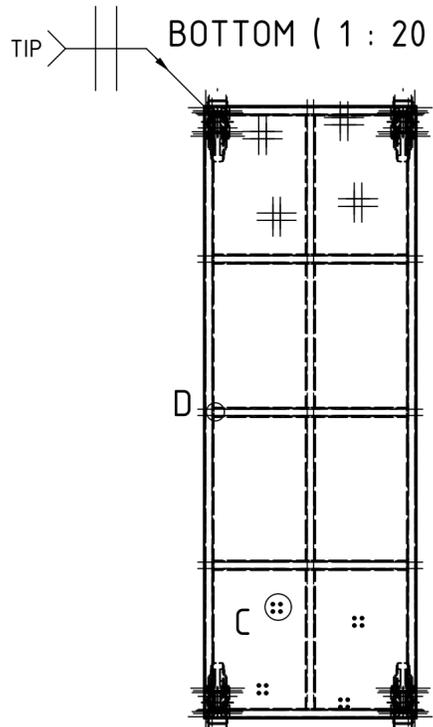
A ( 1 : 1 )



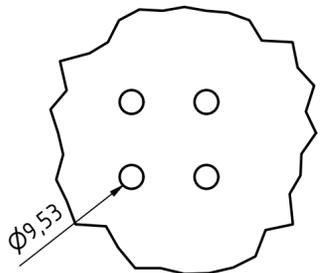
D ( 1 : 2 )



BOTTOM ( 1 : 20 )

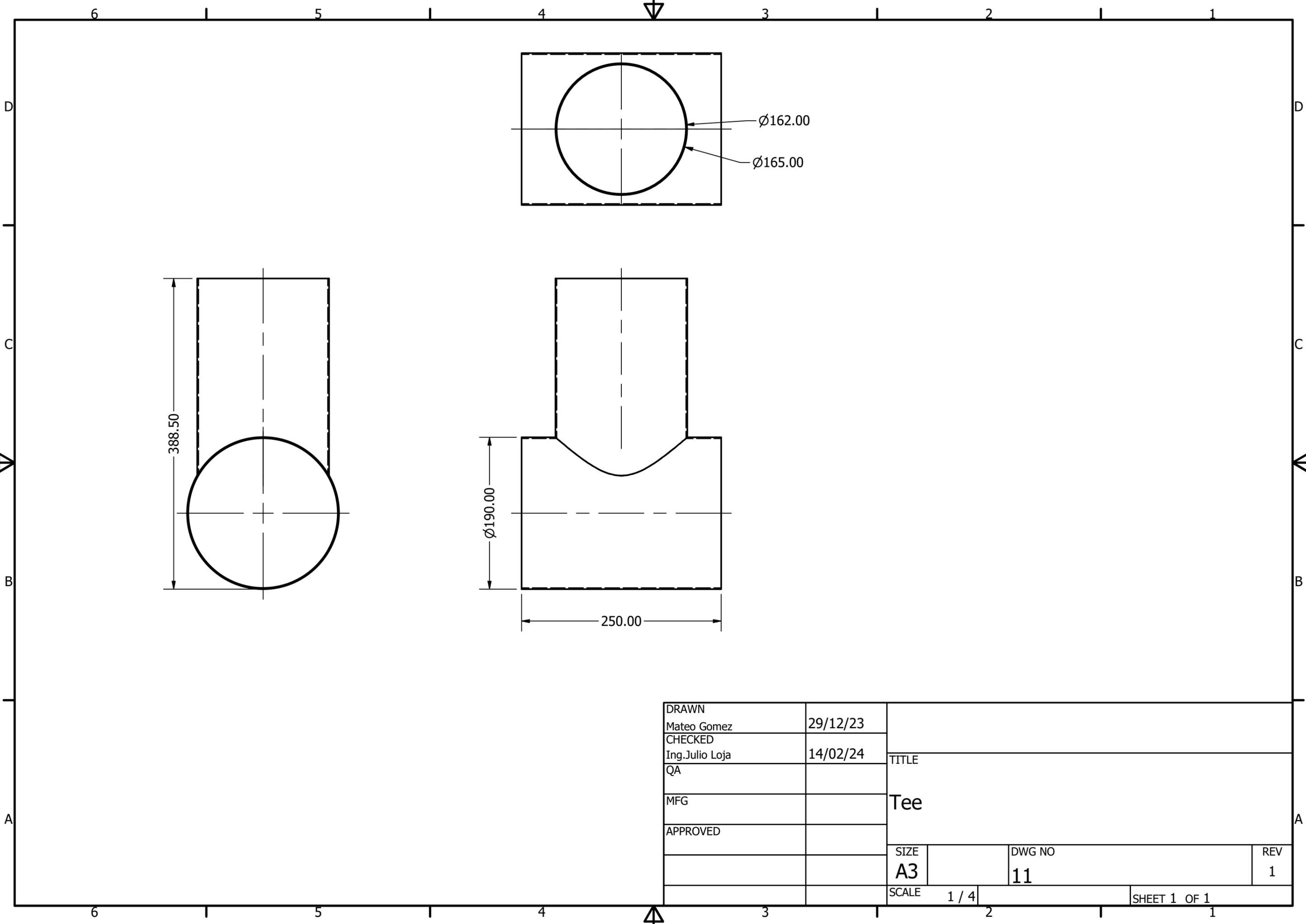


C ( 1 : 2 )

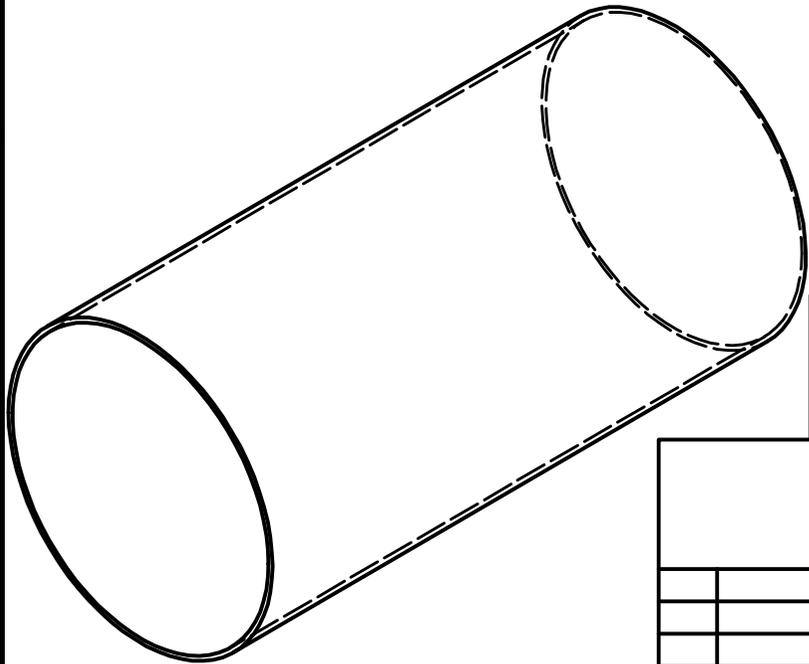
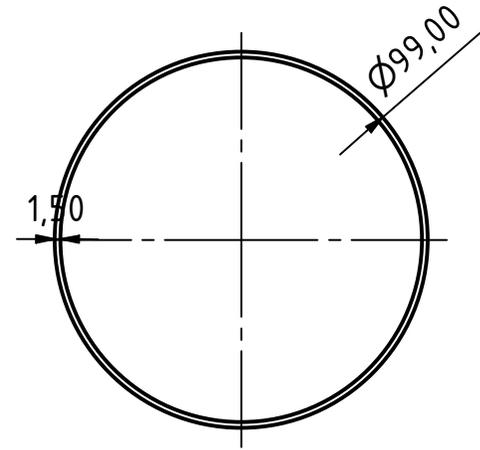
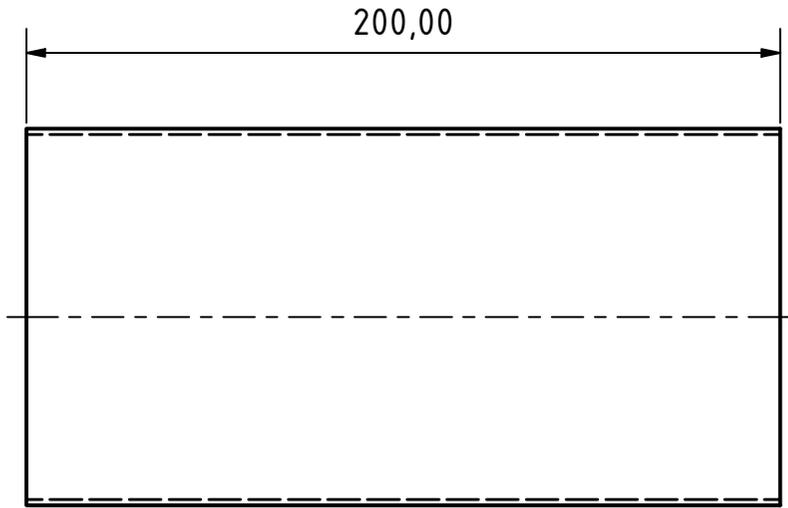


PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	MARCOSOPORTE1	
2	66.929 in	AISC HSS - (1 1/2x1 1/2x1/8) - 33.465	Square tube
3	192.913 in	AISC HSS - (1 1/2x1 1/2x1/8) - 96.457	Square tube
4	43.728 in	AISC HSS - (1 1/2x1 1/2x1/8) - 21.864	Square tube
5	45.228 in	AISC HSS - (1 1/2x1 1/2x1/8) - 22.614	Square tube
6	91.394 in	AISC HSS - (1 1/2x1 1/2x1/8) - 30.465	Square tube
7	1	PLANCHA	
8	4	RUEDA1	

Date		Name		SOPORTE	N10 A2
Drawn	29-12-23	mafeo			
Checked	14-02-24	Ing. Julio Loja			
Standard					
10					
State	Changes	Date	Name		



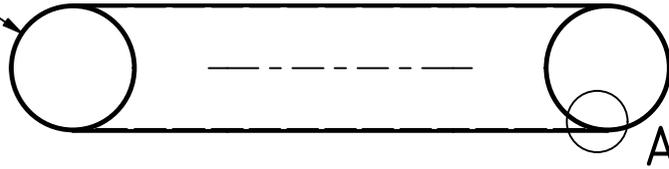
DRAWN	Mateo Gomez	29/12/23	TITLE		
CHECKED	Ing. Julio Loja	14/02/24			
QA					
MFG					
APPROVED			Tee		
			SIZE	DWG NO	REV
			A3	11	1
			SCALE	1 / 4	SHEET 1 OF 1



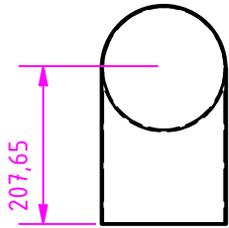
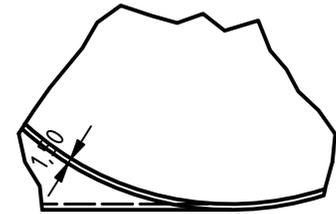
PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	TUBO_2	AISI 316

				Date	Name	TUBO 2		
				Drawn	23-12-23			Mateo Gomez
				Checked	14-02-24			Ing. Julio Loja
				Standard				
						11	N11	
							A3	
State	Changes	Date	Name					

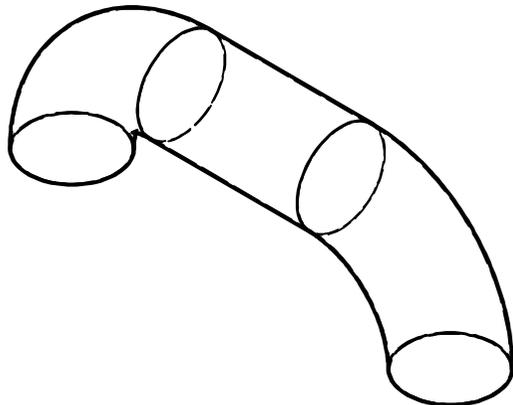
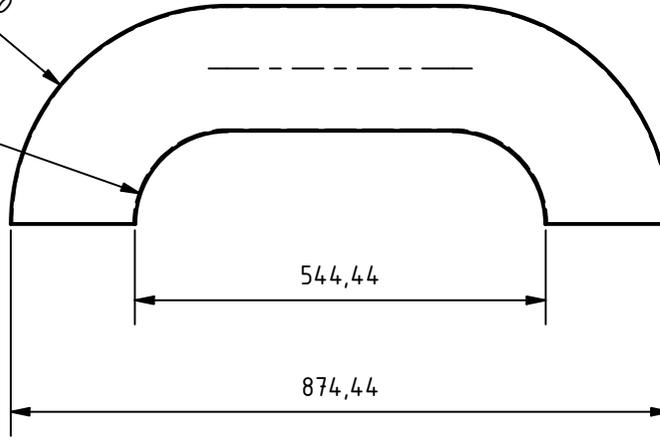
Ø165,00



A ( 1 : 2 )



R287,50  
R122,50



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
1	1	TUBO_REG1	ACERO INOX AISI 316

				Date	Name	TUBO U			
				Drawn	5-12-23				Mateo Gomez
				Checked	14-02-24				Ing. Julio Loja
				Standard					
						12	N12		
							A3		
State	Changes	Date	Name						