



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO PASTEURIZADOR DE LECHE CON  
CAPACIDAD DE 50 LITROS PARA LA ESTACIÓN DE INVESTIGACIÓN DE LA  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, UBICADA EN EL CANTÓN CAYAMBE  
PROVINCIA DE PICHINCHA

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingenieros Mecánicos

**AUTORES:** ROMEL SAÚL LEMA JAMI

EDISON FABRICIO OCAÑA CABRERA

**TUTOR:** MILTON SALOMÓN JAMI LEMA

**Quito – Ecuador**

**2023**

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Romel Saúl Lema Jami con documento de identificación N° 1725090086 y Edison Fabricio Ocaña Cabrera con documento de identificación N° 1716825367; 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.

Quito, 03 de marzo del año 2023

Atentamente



---

**Romel Saúl Lema Jami**  
1725090086



---

**Edison Fabricio Ocaña Cabrera**  
1716825367

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

Nosotros, Romel Saúl Lema Jami con documento de identificación N° 1725090086 y Edison Fabricio Ocaña Cabrera con documento de identificación N° 1716825367, 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 y construcción de un prototipo pasteurizador de leche con capacidad de 50 litros para la estación de investigación de la Universidad Politécnica Salesiana, ubicada en el cantón Cayambe provincia de Pichincha”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Mecánicos, 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.

Quito, 03 de marzo del año 2023

Atentamente,

  
**Romel Saúl Lema Jami**  
1725090086

  
**Edison Fabricio Ocaña Cabrera**  
1716825367

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Milton Salomón Jami Lema con documento de identificación N° 1707254171, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PASTEURIZADOR DE LECHE CON CAPACIDAD DE 50 LITROS PARA LA ESTACIÓN DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, UBICADA EN EL CANTÓN CAYAMBE PROVINCIA DE PICHINCHA, realizado por Romel Saúl Lema Jami con documento de identificación N° 1725090086 y Edison Fabricio Ocaña Cabrera con documento de identificación N° 1716825367, 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.

Quito, 03 de marzo del año 2023

Atentamente,



**Ing. Milton Salomón Jami Lema M. Sc.**

**1707254171**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis es dedicada a mis papás, mis hermanos, familia y todos aquellos a los cuales me dieron la motivación y apoyo incondicional, son ellos los que me permitieron cumplir un sueño que deseaba desde niño con sus valores, consejos, comprensión y cariño que a lo largo de este tiempo han sido los pilares que formaron mi vida personal y profesional. Por lo cual estoy eternamente agradecido.

Esta tesis es una muestra de mi gratitud y de mi amor hacia todos ustedes. ¡Gracias por estar siempre a mi lado!

**Romel Saúl Lema Jami**

Esta tesis se la dedico de manera muy especial y con mucho amor a mis padres y a mis hijos, por brindarme todo su amor y apoyo incondicional, son ellos quienes me incentivaron y motivaron con su cariño, comprensión y consejos a seguir con este hermoso sueño que tuve desde muy niño, formando parte de mi felicidad y éxito profesional. Ellos son los que han velado siempre por mi felicidad, estabilidad y éxito en mis estudios, estoy seguro de que lo han hecho con todo el amor del mundo.

Este trabajo es mi muestra de agradecimiento y amor hacia ustedes por ser mi fortaleza y apoyo incondicional, con mucho amor para ustedes ¡Gracias por su infinito apoyo!

**Édison Fabricio Ocaña Cabrera**

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos expresar nuestra más sincera gratitud al ingeniero Milton Salomón Jami Lema por su invaluable apoyo y orientación durante el proceso de investigación y redacción de nuestra tesis. Su experiencia y conocimiento en el campo de la ingeniería nos han sido de gran ayuda para entender los conceptos y aplicarlos a nuestro trabajo. Además, su disposición para responder a nuestras preguntas y brindarnos consejos ha sido fundamental para poder avanzar en nuestra investigación. No puedo agradecerle lo suficiente por su paciencia y dedicación. Sin duda, esta tesis no habría sido posible sin su invaluable contribución.

**Romel Saúl Lema Jami y Édison Fabricio Ocaña Cabrera**

## Lista de contenidos

CAPÍTULO I. Marco Teórico.....	1
1.1. Producción de leche en el Ecuador.....	1
1.2. Diagrama de pasteurización.....	2
1.3. Procesos de pasteurización.....	3
1.3.1. Combinación tiempo/temperatura.....	4
1.4. Métodos tradicionales de pasteurización.....	5
1.4.1. Pasteurización lenta VAT o (LTLT).....	6
1.4.2. Pasteurización HTST.....	7
1.4.3. Pasteurización U.H.T.....	8
1.5. Calidad de leche y estándares de consumo.....	8
1.6. Descripción del proceso de pasteurización.....	9
1.7. Marmita.....	9
1.7.1. Tipos de marmita.....	9
1.7.2. Partes principales de una marmita.....	10
1.8. Sistema de calentamiento.....	11
1.8.1. Resistencias eléctricas.....	11
1.8.2. Tipos de resistencia eléctricas.....	12
1.8.3. Sistema de combustión y calentamiento por radiación (gas propano).....	14
1.9. Recipientes con chaquetas.....	15
1.9.1. Chaqueta.....	16
1.9.2. Recipientes enchaquetados con agitación mecánica.....	16
1.10. Agitadores mecánicos.....	17
1.10.1. Agitadores tipo hélice.....	19
1.10.2. Agitadores de paleta.....	19
1.10.3. Agitadores de turbina.....	20

1.11.	Materiales y accesorios para prototipo.....	21
1.11.1.	Acero inoxidable AISI 304 .....	21
1.12.	Soldadura TIG.....	22
1.12.1.	Varilla de aporte ER308.....	23
1.13.	Motorreductor coaxial.....	23
1.14.	Sistema de volteo .....	24
1.15.	Códigos Aplicables .....	25
CAPÍTULO II. Selección de alternativas del prototipo de pasteurización .....		26
2.	Estudio de alternativas de prototipo pasteurizador.....	26
2.1.	Alternativa A: .....	26
2.2.	Alternativa B: .....	27
2.3.	Alternativa C: .....	27
2.4.	Alternativa D .....	28
2.5.	Factores de comparación .....	28
2.6.	Valor de parámetros.....	29
2.7.	Propuesta de prototipo .....	30
2.8.	Componentes fundamentales del equipo .....	31
2.8.1.	Estructura metálica.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
2.8.2.	Tanque y chaqueta .....	32
2.8.3.	Sistema de agitación o emulsificación.....	32
CAPÍTULO III. Cálculos y diseño de pasteurizador .....		34
3.	Criterios de diseño.....	34
3.1.	Diámetro y altura en función de volumen .....	35
3.2.	Temperatura de diseño.....	37
3.3.	Presión teórica de diseño .....	37
3.4.	Presión de diseño .....	38

3.5.	Selección del espesor del tanque .....	38
3.6.	Base toriesférica.....	39
3.7.	Espesor de cabezal toriesférico.....	40
3.8.	Altura de la leche cruda alcanzada en el tanque .....	41
3.9.	Porcentaje de volumen ocupado .....	42
3.10.	Camisa del tanque .....	42
3.11.	Cálculos de esfuerzos en el tanque .....	44
3.12.	Cálculo de variables del equipo de agitación.....	45
3.13.	Cálculo de potencia en el agitador .....	47
3.14.	Cálculo de diámetro del eje para agitador.....	49
3.15.	Diseño del espesor de paletas.....	51
3.16.	Selección de chavetas.....	56
3.17.	Cálculo de esfuerzos para la estructura.....	58
3.18.	Cálculo de resistencias eléctricas .....	65
3.19.	Diseño del Sistema de descarga .....	67
3.20.	Diseño de conexiones soldadas.....	72
3.21.	Simulación .....	73
3.22.	Análisis computacional estático.....	74
3.23.	Técnicas de mallado.....	74
3.24.	Análisis estático de tanque .....	77
3.25.	Análisis estático de estructura.....	79
3.26.	Análisis estático de agitador .....	82
CAPÍTULO IV. Análisis de costos .....		85
4.1.	Costos directos.....	85
4.2.	Costos indirectos.....	87
4.3.	Costos totales del equipo .....	88

4.4. Análisis del valor actual neto ( <i>VAN</i> ) .....	88
4.5. Análisis de la tasa interna de retorno ( <i>TIR</i> ) .....	89
Conclusiones .....	91
Referencias Bibliográficas .....	93
ANEXOS.....	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diagrama leche pasteurizada .....	3
<b>Figura 2.</b> Tratamientos térmicos sobre las bacterias .....	5
<b>Figura 3.</b> Formas de marmitas .....	10
<b>Figura 4.</b> Elementos de una marmita .....	10
<b>Figura 5.</b> Resistencias planas .....	12
<b>Figura 6.</b> Resistencias tubulares de inmersión .....	13
<b>Figura 7.</b> Resistencias tubulares tipo M .....	14
<b>Figura 8.</b> Calentamiento mediante gas .....	15
<b>Figura 9.</b> Diagrama de prototipo pasteurizador .....	16
<b>Figura 10.</b> Agitación Mecánico .....	18
<b>Figura 11.</b> Tipos de flujo en contenedores .....	19
<b>Figura 12.</b> Agitador tipo hélice .....	19
<b>Figura 13.</b> Agitador tipo paleta .....	20
<b>Figura 14.</b> Agitador tipo turbina .....	20
<b>Figura 15.</b> Capa de óxido de cromo .....	21
<b>Figura 16.</b> Motorreductor coaxial con agitador .....	24
<b>Figura 17.</b> Marmita con sistema de volteo .....	25
<b>Figura 18.</b> Pasteurizador de 50 L. ....	31
<b>Figura 19.</b> Estructura principal de prototipo. ....	31
<b>Figura 20.</b> Tanque y chaqueta. ....	32
<b>Figura 21.</b> Agitador de paletas. ....	33
<b>Figura 22.</b> Esquema representativo del cuerpo del tanque. ....	35
<b>Figura 23.</b> Dimensiones del desarrollo tanque interno. ....	36
<b>Figura 24.</b> Dimensiones de un fondo toriesférico tipo Klopper .....	39
<b>Figura 25.</b> Dimensiones de tanque. ....	44
<b>Figura 26.</b> Geometría para reactores .....	46
<b>Figura 27.</b> Número de potencia en relación con el valor de Reynolds de agitadores .....	48
<b>Figura 28.</b> Geometría de paleta. ....	54
<b>Figura 29.</b> Representación de fuerzas en el eje del agitador como cuerpo libre .....	56
<b>Figura 30.</b> Chaveta paralela S/DIN-6885/1 .....	56
<b>Figura 31.</b> Soporte de prototipo. ....	63

<b>Figura 32.</b> Corte transversal de tubo cuadrado.....	64
<b>Figura 33.</b> Dimensiones del tornillo .....	70
<b>Figura 34.</b> Dimensiones del perfil de rosca .....	70
<b>Figura 35.</b> Geometría de tornillo sin fin y corona .....	72
<b>Figura 36.</b> Tipos de uniones soldadas .....	73
<b>Figura 37.</b> Mallado en tanque.....	75
<b>Figura 38.</b> Mallado de eje.....	75
<b>Figura 39.</b> Mallado de estructura.....	76
<b>Figura 40.</b> Simulación de esfuerzos en el tanque.....	77
<b>Figura 41.</b> Simulación de deformación en el tanque.....	78
<b>Figura 42.</b> Simulación tanque y factor de seguridad.....	78
<b>Figura 43.</b> Configuración de esfuerzos en estructura.....	79
<b>Figura 44.</b> Simulación de esfuerzos de Von Mises en estructura. ....	80
<b>Figura 45.</b> Simulación de deformación en estructura.....	81
<b>Figura 46.</b> Simulación de factor de seguridad en estructura. ....	81
<b>Figura 47.</b> Configuración de agitador. ....	82
<b>Figura 48.</b> Simulación de esfuerzos de Von Mises en agitador. ....	83
<b>Figura 49.</b> Simulación de deformación agitador. ....	83
<b>Figura 50.</b> Simulación de factor de seguridad en agitador.....	84

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Producción e inversión por estrato de leche.....	1
<b>Tabla 2.</b> Técnicas de pasteurización [9]. .....	6
<b>Tabla 3.</b> Propiedades del AISI 304 [21]. .....	22
<b>Tabla 4.</b> Selección de materiales para pasteurizador.....	22
<b>Tabla 5.</b> Composición varilla de aporte ER308 [24]. .....	23
<b>Tabla 6.</b> Factores considerados para la selección.....	29
<b>Tabla 7.</b> Valorización de los parámetros. ....	29
<b>Tabla 8.</b> Aplicación del método de factores determinantes.....	30
<b>Tabla 9.</b> Datos iniciales para el diseño del tanque.....	34
<b>Tabla 10.</b> Dimensiones de base toriesférica. ....	40
<b>Tabla 11.</b> Datos de diseño. ....	45
<b>Tabla 12.</b> Valores geométricos de agitador. ....	47
<b>Tabla 13.</b> Chavetas paralelas DIN-6885 [35]. .....	57
<b>Tabla 14.</b> Masas de los elementos. ....	58
<b>Tabla 15.</b> Factor de longitud efectiva [37]. ....	63
<b>Tabla 16.</b> Relación de esbeltez [37]. ....	65
<b>Tabla 17.</b> Especificaciones de equipo. ....	66
<b>Tabla 18.</b> Factores de carga y esfuerzos permisibles. ....	72
<b>Tabla 19.</b> Especificaciones de equipo. ....	73
<b>Tabla 20.</b> Cantidad de elementos del mallado en los componentes. ....	76
<b>Tabla 21.</b> Costo de materiales directos.....	85
<b>Tabla 22.</b> Costo uso maquinaria. ....	86
<b>Tabla 23.</b> Costo mano de obra.....	86
<b>Tabla 24.</b> Costo directo. ....	87
<b>Tabla 25.</b> Costo indirecto. ....	88
<b>Tabla 26.</b> Costo total. ....	88
<b>Tabla 27.</b> Criterios del VAN. ....	89
<b>Tabla 28.</b> Análisis de costos. ....	90
<b>Tabla 29.</b> Resumen financiero.....	90

## RESUMEN

En el documento presente se lleva a efecto el diseño y simulación de un prototipo pasteurizador de leche con el objetivo de procesar dicha materia prima para el consumo humano seguro, libre de patógenos que generalmente existen en la leche cruda que se produce en los campos ganaderos de la sierra ecuatoriana. Este proyecto se implementará en el Centro de Investigación de la Universidad Politécnica Salesiana en el cantón Cayambe provincia de Pichincha lo cual contribuye a mejorar la calidad de la leche que se consume.

En el capítulo I se realiza un marco teórico considerando algunos métodos de pasteurización por lo cual se optó por el proceso de L.T.L.T. (temperatura baja, tiempo corto), que consiste en el calentamiento del fluido a una temperatura promedio de 62 - 65 °C en un tiempo de 30 minutos, dentro de una marmita de acero inoxidable, posteriormente dar un enfriamiento rápido en el mismo recipiente hasta una temperatura de 15 °C y con la ayuda de un agitador para mantener una temperatura homogeneizada en todo el contenedor, con lo cual se puede utilizar la leche para su envase o procesamiento para otros derivados lácteos.

En el capítulo II se analiza diferentes alternativas para el diseño del prototipo pasteurizador tomando en cuenta que será de una producción limitada, ya que la finalidad del equipo es pasteurizar leche, para realizar investigaciones del comportamiento de la velocidad de enfriamiento, así como los tiempos de pasteurizado, para determinar higiene y calidad de la leche.

En el capítulo III se desarrolla el diseño del equipo para la capacidad volumétrica de 50 litros cumpliendo con los requerimientos solicitados por parte del C.I.S. (Centro de Investigación de la Universidad Politécnica Salesiana) y de la normativa INEN (Instituto Ecuatoriano De Normalización) vigente para el procesamiento de leche cruda en el Ecuador, validando el diseño mediante una simulación de cargas estáticas en ANSYS donde se puede obtener información para la construcción del prototipo.

Finalmente, el capítulo IV hace referencia al análisis financiero para validar que el prototipo sea rentable y cumpla con su funcionamiento.

**Palabras clave:** pasteurización, producción, diseño, calidad, leche.

## ABSTRACT

In the current document, the design and simulation of a milk pasteurizer prototype is conducted with the objective of processing said raw material for safe consumption, free of pathogens that generally exist in raw milk that is produced in the cattle fields of the Ecuadorian mountain range. This schema was implemented at the Research Center of the Salesian Polytechnic University in the Cayambe canton, Pichincha province, which contributes to improving the grade of the milk that is consumed.

In chapter I, a theoretical framework is carried out considering some pasteurization methods, for which the L.T.L.T. process was chosen. (low temperature, short time), which consists of heating the fluid to an average temperature of 62 - 65 °C in a time of 30 minutes inside a stainless steel kettle, later giving a rapid cooling in the same container until a temperature of 15 °C and with the help of a stirrer to maintain a homogenized temperature throughout the container, with which the milk can be used for packaging or processing for other dairy products.

In chapter II, different choice for the design of the pasteurizer prototype is dissect, considering that it will be of limited production, since the purpose of the equipment is to pasteurize milk, to carry out investigations of the conduct of the cooling speed, as well as the times of pasteurized, to determine hygiene and quality of milk.

In chapter III the design of the equipment for the volumetric ability of 50 liters is developed, complying with the requirements requested by the C.I.S. (Research Center of the Salesian Polytechnic University) and the INEN (Ecuadorian Institute for Standardization) regulations in force for the processing of raw milk in Ecuador, validating the design through a simulation of static loads in ANSYS where information can be obtained for the construction of the prototype.

Finally, chapter IV refers to the financial analysis to validate that the prototype is profitable and complies with its operation.

**Keywords:** pasteurization, production, design, quality, milk.

## INTRODUCCIÓN

La industria láctea en el Ecuador procesa derivados de la leche que son utilizados para la nutrición del ser humano por su alto contenido de vitaminas, minerales, grasas y nutrientes. También, existen derivados lácteos como el queso, yogurt, etc., los cuales se obtienen a partir de leche cruda que se procesa previamente en un pasteurizador para eliminar una cantidad importante de patógenos microscópicos que pueden provocar enfermedades mortales si se ingieren directamente.

En el cantón Cayambe se producen cerca de 60 000 litros de leche diariamente que son entregados en centros de acopio existentes, por lo que es considerado uno de los puntos geográficos con mayor producción de esta materia prima. Estos pequeños productores de las zonas rurales tienen un limitado nivel de producción artesanal, sin contar con canales de distribución en donde se pueda aprovechar elaborando productos lácteos con un valor agregado como son la leche pasteurizada, quesos, mantequilla u otras alternativas y de esta forma generar ganancias para el desarrollo social y económico local.

El uso del equipo adecuado acelera los procesos para generar productos de calidad; para la producción de leche pasteurizada se utiliza una marmita que permite elevar el producto a temperaturas específicas. En consecuencia, la necesidad de las comunidades es la de adquirir un equipo que cumpla adecuadamente con los parámetros establecidos con la entidad pertinente.

A través de la norma ASME sección VIII, se diseña un equipo pasteurizador de acero inoxidable AISI 304 con chaqueta para calentar leche hasta los 65 °C durante 30 minutos, posteriormente se dejará enfriar la leche pasteurizada con agua fría mediante una bomba, el sistema tiene un agitador para acelerar el proceso de homogenización progresiva de la temperatura.

## **ANTECEDENTES**

En cuanto a la producción, en el Ecuador se registró una producción de 6.5 millones de litros de leche cruda cada día registrados en el 2020, la dinámica social y económica en algunas regiones han hecho que su principal fuente de ingresos económicos es la venta directa de leche, las provincias de la sierra aportan un 64.31% de la producción total del país; de este volumen un 76.46% es vendida o entregado a los centros de acopio [1].

En el C.I.S de Universidad Politécnica Salesiana del cantón Cayambe, se encuentra desarrollando el proyecto para el uso, producción e innovación de leche y sus derivados, por lo cual requiere un prototipo pasteurizador de 50 litros para leche cruda proveniente de los productores de leche en la comunidad y determinar la calidad con el fin de replicar a mayor escala la producción de derivados lácteos.

Los productores y agricultores del cantón Cayambe serán beneficiados al tener un respaldo técnico de la elaboración, además de obtener el conocimiento del empaque, distribución y procesamiento a nivel industrial de los derivados obtenidos de zona agropecuaria que se considera uno de los más indispensables en cuanto a producción de leche.

## **JUSTIFICACIÓN**

Los sistemas de producción ganaderos en Cayambe, provincia de Pichincha, en donde la captación de leche es la actividad económica de la mayor parte de los pequeños productores del sector, se requiere superar la integridad sanitaria de la materia prima en productos derivados con un valor agregado que puedan competir en mercados más grandes y así obtener beneficios con un desarrollo socioeconómico al aplicar técnicas de producción.

El presente proyecto será implementado en el C.I.S. de la UPS, que tiene como objetivo desarrollar programas para la comunidad; la información proporcionada por el centro de investigación será utilizada para producir todos los derivados procesados que se obtienen en base de la leche cruda.

Para que la leche sea considerada apta para el consumo humano o procesamiento de derivados debe encontrarse dentro de las cuantificaciones expedidas según las normas INEN vigentes en el país, en el cual se debe constatar los datos técnicos de la leche entre las medidas establecidas, dichos parámetros son evaluados acorde con la “NTE INEN 10:2012 Norma Técnica Ecuatoriana- Instituto Ecuatoriano de Normalización” [2]

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Diseñar y simular un prototipo pasteurizador de leche con capacidad de 50 litros para la Estación de Investigación de la Universidad Politécnica Salesiana, ubicada en el cantón Cayambe.

### **Objetivos Específicos**

1. Analizar la situación actual del procedimiento de pasteurización del Centro de Investigación de la UPS e identificar la alternativa viable para satisfacer la necesidad del proceso.
2. Mediante el Diseño y la simulación estática del prototipo pasteurizador determinar las especificaciones volumétricas y sanitarias necesarias, que cumplan con el proceso de pasteurización.
3. Seleccionar los materiales y elementos mecánicos adecuados para que el prototipo pasteurizador cumpla con los requerimientos técnicos.
4. Validar mediante simulación estática los parámetros de diseño para el funcionamiento del equipo en el Centro de Investigación de la UPS ubicado en el cantón Cayambe.
5. Evaluar la factibilidad económica de la implementación del prototipo pasteurizador.

## CAPÍTULO I.

### Marco Teórico

#### 1.1. Producción de leche en el Ecuador

La explotación industrial del sector lechero en el cantón Cayambe se encuentra rezagada por la falta de implementaciones tecnológicas, buenas prácticas de higiene y dirección de un proyecto para que los pequeños productores obtengan mayores réditos.

Los derivados lácteos son una parte esencial de la industria alimentaria de Ecuador y se producen en granjas y plantas de procesamiento en todo el país. Algunos de los productos lácteos más populares producidos en Ecuador incluyen queso, yogur, mantequilla y leche en polvo. Estos productos se venden en los mercados locales y extranjeros y contribuyen significativamente a la economía nacional.

Según la información proporcionada por el INEC la explotación de leche cruda al día es de 6.15 millones de litros, con un promedio diario por vaca de 5.6 litros [1]. La región Sierra tiene un aporte del 76.8% total de producción, seguido por la región costa con el 15.35%. En la Tabla 1 se puede apreciar la intervención de los productores y campesinos con el volumen de leche que es extraído de forma artesanal y con Buenas Prácticas de Producción (BPP) suficientes para ser aceptados por la normativa INEN 10:2012.

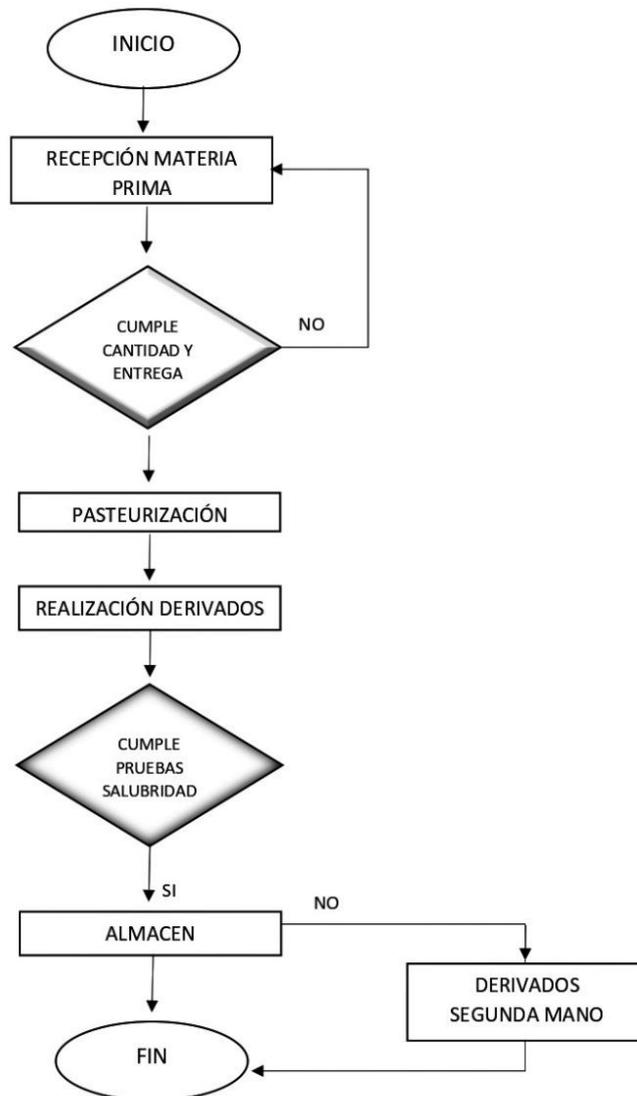
**Tabla 1.** Producción e inversión por estrato de leche.

<b>Estrato</b>	<b>% Participación Producción Nacional Leche</b>	<b>Producción total de leche (litros/día)</b>	<b>Costos Producción USD (ctvs./litros)</b>	<b>Nivel Tecnología</b>	<b>Aplica BPP</b>
<b>Pequeño Productor</b>	33.6 11.7	1780010 621372	18-26	Bajo	Poco a Nulo
<b>Mediano Productor</b>	17.8 14.6	943389 774546	27-35	Tecnificada	Poco a Medio
<b>Grande Productor</b>	11.1 11.2	588393 59421	36-45	Altamente Tecnificada	Medio a Alto

Al analizar el aspecto tecnológico con el que cuentan los productores pecuarios, se puede apreciar que el sector artesanal e informal cuenta con una capacitación técnica mínima, carecen de procesos de pasteurización, utilización de calderos de una capacidad limitado e inferior volumen para producir derivados lácteos, mientras que de manera tecnificada se puede hacer uso de ordeño mecánico con tanques fríos de almacenamiento para ser transportados hacia las plantas de pasteurización donde la producción en línea permite que se obtenga la mayoría de derivados lácteos.

### **1.2. Diagrama de pasteurización**

En la figura 1 se describe los procesos por el cual pasa la leche cruda para que pueda ser procesada y se convierta en un producto seguro para el consumo del ser humano y posterior elaboración de derivados lácteos. El proceso inicia en la recepción de la materia prima donde el paso siguiente es la de verificar la calidad de la materia prima, en la fase de pasteurización se agregan o se eliminan los nutrientes, se estandariza el tamaño de las partículas de grasas, para lo cual el líquido es apto para el proceso de pasteurización de acuerdo con el método de inoculación que se dispongan. El producto obtenido es analizado según los parámetros de la NTE de pasteurización donde se verifican que los indicadores como la fosfatasa alcalina y encima peroxidasa se encuentren en los parámetros establecidos.



**Figura 1.** Diagrama leche pasteurizada [3].

### 1.3. Procesos de pasteurización

El proceso de pasteurización tiene como finalidad destruir los microorganismos patógenos que causan padecimientos graves a la salud del ser humano, mediante el aumento controlado de la temperatura cerca de 63° C para erradicar este tipo de organismos microscópicos, pero sin alterar las propiedades físicas que se aprecian de la leche [4].

El proceso de pasteurización de la leche posee dos objetivos importantes: el primero es para obtener un alimento seguro para la ingesta de los seres humanos; y el segundo, para extender el

intervalo de consumo de la leche y de los productos derivados. La pasteurización minimiza enzimas indeseables y otros microorganismos que deterioran la leche, en este sentido, se incrementa la calidad y duración de almacenamiento de la producción láctea.

Las exigencias mínimas de temperatura y tiempo en la fase de pasteurización de la leche están sustentadas en aquellos requeridos para extinguir en número las bacterias patogénicas más termo resistentes: Salmonela, Coxiella Burnetii y Mycobacterium Tuberculosis los cuales son ejemplos microorganismo presentes de productos lácteos contaminados que provocan enfermedades respiratorias que son altamente mortales [5].

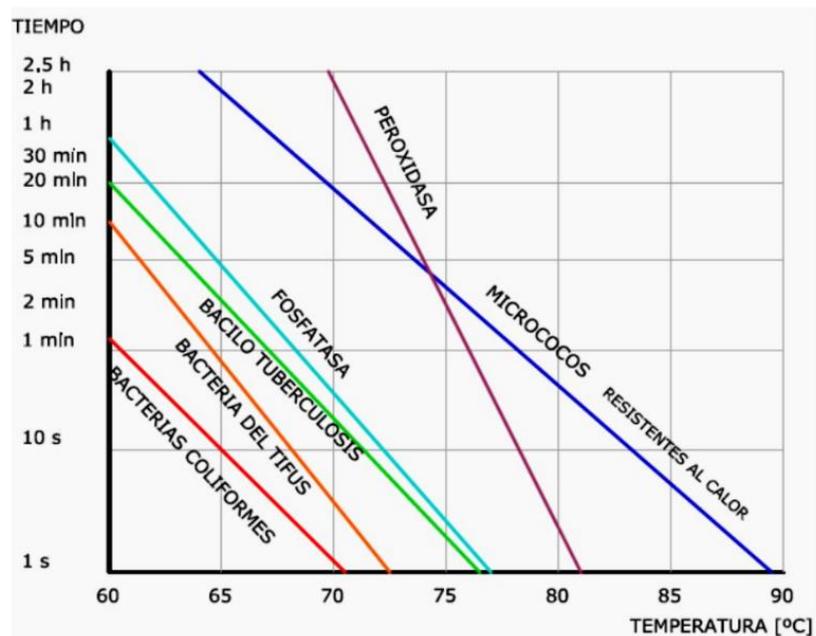
### **1.3.1. Combinación tiempo/temperatura**

La conjugación entre tiempo y temperatura para la pasteurización se debe manejar minuciosamente, ya que de estos parámetros dependerá el éxito del procedimiento. Los patógenos principales que afectan las propiedades organolépticas de la leche, como son el Mycobacterium que provoca tuberculosis, las bacterias de tify y coliformes totales.

En la Figura 2 se muestra las combinaciones posibles de temperatura y tiempo que hacen posible erradicar los microorganismos, por ejemplo, se debe conservar la leche a una temperatura de 70 °C en intervalo de 20 segundos para destruir en mayor número la población de bacterias que provocan tuberculosis, o mantener las condiciones a 65 °C por 2 minutos y así eliminar el mismo tipo de patógeno. El eje Y de la variable de temperatura no tiene un comportamiento lineal, sin embargo, para efecto de símil en el comportamiento de eliminación de los microorganismos se elaboró de esta manera [6].

Se encuentran otros elementos que alteran a la leche en características organolépticas y tiempo de vida, a estos microorganismos no se dieron importancia al momento del consumo por parte del ser humano, por lo que no existía un procedimiento específico que permitiera combatir las bacterias y microbios. En la actualidad se vienen desarrollando variantes de tratamientos térmicos para el procesamiento de leche, los cuales son de mayor rigor que los utilizados en la eliminación de los patógenos de esta materia prima, estos consideran una vida de anaquel

altamente prolongado sin modificar en grandes proporciones las demás características fisicoquímicas de la leche [7].



**Figura 2.** Tratamientos térmicos sobre las bacterias [6].

#### 1.4. Técnicas tradicionales de pasteurización

Para el tratamiento sanitario de la leche existen varias técnicas o métodos con el objetivo de eliminar la mayor parte de población de microorganismos causantes de enfermedades que se encuentran presentes en los productos lácteos, los métodos de pasteurización; en algunos casos, siguen los principios básicos del método desarrollado por Pasteur, este método lleva el nombre en honor del que ha modificado el proceso logrando variantes para otros fines [8].

Generalmente, se denomina a otros procesos como pasteurización, los cuales se tienen que diferenciar como es la esterilización, donde se utiliza calor o productos químicos que afectan directamente la calidad y el método de radiación UV que es efectivo únicamente en la superficie de los productos.

La técnica utilizada para pasteurizar leche se diferencia según la aplicación en conjunto del tiempo y temperatura para el tratamiento, los cuales afectan mínimamente al sabor, aspecto visual y reducir el contenido de nutrientes y vitaminas. Actualmente, se conocen de tres procesos básicos principales cuyas condiciones son mostradas en la Tabla 2 en función del proceso de la variación de tiempo y temperatura.

**Tabla 2.** Técnicas de pasteurización [9].

<b>Proceso</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Tiempo</b>	<b>Conservación</b>	<b>Duración</b>
L.T.L.T.				
Temperatura baja Tiempo largo	65° C	30 minutos	En frio	4-5 días
H.T.S.T				
Temperatura alta Tiempo corto	75° C	15 segundos	En frio	15-25 días
U.H.T.				
Ultra alta temperatura Tiempo corto	140° C	3 segundos	A temperatura ambiente	5-6 meses (*) en envase cerrado

#### **1.4.1. Pasteurización lenta VAT o LTLT**

También es conocida como pasteurización a bajas temperaturas y discontinuas por retención de un único lote de materia prima para procesar. Es realizada elevando la temperatura de la leche a 62.8 °C de temperatura y sostenerla en un periodo durante 30 minutos como mínimo, se recomienda la agitación a velocidad constante de un equipo adecuado y propiamente operado dentro del rango de tiempo. La variable considerada de temperatura en la pasteurización varía sustancialmente según el producto en el reactor [4].

La ventaja que destaca este método es de mantener en forma considerable las propiedades físicas y visuales de la leche, no modifica ni destruye el valor nutritivo y la capa de crema.

El efecto de disminución de microorganismos con este método está cerca del 95% de eliminación y no es adecuado usarlo cuando la leche cruda tiene una alta presencia en el conteo de microorganismos.

El método LTLT se evidencia en plantas artesanales, y especialmente para pasteurizar subproductos derivados de la leche, tales como cremas, leches con sabores y mezclas para helado que producidos en escala limitada [9].

### **Ventajas de la pasteurización VAT**

- Elimina levaduras que provocan fermentación
- El valor nutricional de la leche se mantiene
- El tiempo de consumo se prolonga máximo una semana

### **Desventajas de la pasteurización lenta**

- Se requiere un tiempo de enfriamiento lento hasta 24 horas
- El volumen de leche pasteurizado se limita en forma estacionario hasta el enfriamiento
- Tiene una efectividad del 95% para eliminar los microorganismos

#### **1.4.2. Pasteurización HTST**

Es conocida como pasteurización alta y en varias fuentes técnicas se le denomina HTST (alta temperatura y tiempo corto). Este método consiste en alcanzar un rango de temperatura de la leche entre 72-77 °C durante un tiempo de 15 segundos en un equipo apropiado y debidamente operado, la temperatura de pasteurizado para otros productos diferentes de la leche es variable.

Una de las ventajas de este método de pasteurizado es la capacidad volumétrica, que puede llegar a procesar leche entre 1000 a 10000 litros de leche durante 1 hora, motivo por el cual se debe que actualmente es el sistema más óptimo. La capacidad efectiva de eliminar microorganismos patógenos con este sistema es del 99.5% y las modificaciones en los elementos que constituyen la leche son intrascendentes, el pasteurizado de tipo acelerado es muy eficiente para la administración de la temperatura, éste recupera en las secciones de regeneración del sistema entre el 70 y 90% [10].

### **Ventajas del método HTST**

- Los equipos para realizar este proceso se encuentran alineados específicamente en lo que se refiere al costo de mantenimiento
- El sistema cerrado evita agentes externos en el proceso
- El tiempo de consumo aumenta significativamente al mantener a una temperatura de refrigeración menor a 8 °C

## **Desventajas de pasteurizado HTST**

1. Los controles requieren técnicos permanentes para supervisar la producción
2. La leche debe estar refrigerada en todas las fases de pasteurización para evitar contaminación dentro del sistema cerrado
3. Tiene un tiempo máximo de consumo entre 3-4 días desde que es abierto el empaque

### **1.4.3. Pasteurización U.H.T**

El tratamiento de pasteurización llamado UHT es una conexión de sistemas que permiten la preservación de alimentos que generalmente son líquidos de niveles de acidez bajo por medio de una exposición de calor en un breve tiempo, generalmente a temperaturas en un rango de 135 a 140 °C. Esto provoca la esterilización de una tasa alta de microorganismos que permitirían de otro modo afectar la vida de consumo del producto y afectar la salud del ser humano.

El tratamiento mediante la técnica UHT se considera un proceso de flujo continuo que se da en un sistema cerrado donde se previene que el producto no sea contaminado por microorganismos externos de la maquina y presentes en el aire. La materia prima atraviesa segmentos de calentamiento y enfriamiento en inmediata secuencia. El modo de envasado estéril debe evitar el reingreso de organismos vivos microscópicos al producto, siendo este último una parte inherente al proceso.

### **1.5. Calidad de leche y estándares de consumo**

Las condiciones nutritivas de la leche y sus derivados lácteos la ubican entre los alimentos de la canasta básica por ser un excelente aporte nutritivo, pero la extracción desde el interior de la ubre hasta la llegada al consumidor como punto final, medio prolongado según la ubicación del punto de partida, se somete necesariamente a un elevado número de riesgos, como llegan a ser: el desarrollo desmedido e incontrolado de microorganismos, vacas productoras con enfermedades no tratadas, recipientes de transporte que afectan el color o sabor, la presencia de sustancias ajenas a las buenas prácticas de ganadería; todo esto va a afectar de una forma significativa a la calidad higiénica del producto donde se toman en cuenta aspectos como la higiene química, identificación de presencia microbiana y estética [11].

## **1.6. Descripción del método de pasteurizado**

En consecuencia, la viscosidad de la leche para la transferencia de calor es un factor importante por su variación con la temperatura y los instrumentos en las marmitas que controlan el calentamiento, razón por la cual los elementos son importantes, además de medios adecuados para realizar la agitación para homogenizar el calor. Sin embargo, esta homogenización del calor no debe superar los 100 rpm y se consigue de forma más efectiva utilizando un tanque interior con una camisa aislada, por el que actúa como medio donde circula el fluido de calentamiento y el agua de refrigeración. Para minimizar maniobras donde se exponga a contaminación, la misma marmita se utilizará para calentar y enfriar.

Posteriormente del proceso de pasteurización, de manera inmediata se realiza el enfriamiento del alimento pasteurizado a una temperatura de 10 a 13 °C, a través de un enfriamiento térmico, ya sea de manera natural, convección de aire o refrigerando con agua fría por el espacio formado entre tanque y chaqueta [12].

## **1.7. Marmita**

Las marmitas son recipientes de uso industrial o cocinas comunes que se utilizan para cocer alimentos al vapor o al horno. En el contexto de la pasteurización, las marmitas son utilizadas para alcanzar una temperatura específica en la leche y eliminar patógenos mediante el uso de calor.

Para pasteurizar la leche en una marmita se necesita que el material sea en acero inoxidable sanitario de buena calidad y un instrumento para medir la temperatura de la leche.

### **1.7.1. Tipos de marmita**

Los equipos de pasteurizado pueden clasificarse de acuerdo con su forma, en la tapa inferior que pueden ser torisféricas o semiesféricas como se muestra en la Figura 3, los elementos de pasteurización con el fondo semiesférico son utilizados para evitar que los residuos se adhieran en la base del tanque y de esta forma ayuda a la limpieza de las superficies [13].

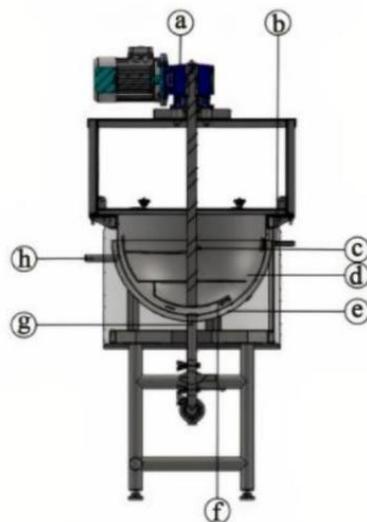


**Figura 3.** Formas de marmitas [13].

### 1.7.2. Partes principales de una marmita

Según Chacaguasay et al. [14] los elementos que componen una marmita con fondo semiesférico están ilustrados en la Figura 4.

- a) Motorreductor para agitador
- c) Caratula de control
- d) Recipiente interior
- e) Chaqueta
- f) Sistema de agitado
- g) Unidad de descarga
- h) Suministro de agua caliente



**Figura 4.** Elementos de una marmita [13].

## **1.8. Sistema de calentamiento**

Para ejecutar el calentamiento del producto a pasteurizar, se lo puede realizar directamente mediante elementos eléctricos, gas propano. Los pasteurizadores pequeños tienen una eficacia hasta el 95%, y el tiempo total para pasteurizar es de 60 a 90 minutos, incluyendo el enfriamiento [15].

### **1.8.1. Resistencias eléctricas**

La resistencia eléctrica es una característica referida al conductor eléctrico que se opone a los electrones que circulan en el elemento conductor mediante una fuerza, esta propiedad es muy importante dentro de las instalaciones eléctricas, limitando y controlando el diferencial de potencia y la cantidad de corriente eléctrica en el sistema.

La unidad de medida para la resistencia eléctrica es el Ohm ( $\Omega$ ). La principal propiedad para estos materiales es la resistencia física a la electricidad, la misma que varía dependiendo de ciertas características como son:

- Grosor: a más calibre el elemento conductor menor es la impedancia
- Extensión: a mayor longitud, mayor es la impedancia
- Conductancia: si la resistividad es baja, la conductividad será mayor
- Temperatura: la resistencia será mayor cuando la temperatura de alta

El objetivo de la resistencia eléctrica es generar la caída del voltaje que se transmite a través de ellas, el cual se convierte en calor, disipado por este elemento esto es proporcional al voltaje y el valor de la resistencia, este tipo de dispositivos eléctricos son muy utilizados en procesos de calentamiento como hornos, secadores, marmitas, etc. Para el calentamiento de las resistencias el elemento calentador (alambre) se encuentra internamente en el cuerpo de la resistencia (tubo) y está recubierto con una superficie protectora de tipo metálica o cerámica, para que a partir de esta superficie el calor se transmita por conducción, convección o radiación a la zona que se desea calentar [16].

El principal fundamento nace de los experimentos de James Joule, acerca de los efectos de la potencia eléctrica sobre el elemento conductor exponiendo de esta manera la conocida ley de Joule que dice: [17]

- “La cantidad de calor producido por una corriente que pasa por un conductor es proporcional al cuadrado de la cantidad de corriente que fluye en el circuito, cuando la resistencia eléctrica del cable y el tiempo que fluye la corriente es constante [15].”
- “La cantidad de calor producido es proporcional a la resistencia eléctrica del cable cuando la corriente en el circuito y el tiempo que fluye la corriente es constante [15].”
- “El calor generado debido al flujo de corriente es proporcional al tiempo que la corriente fluye, cuando la resistencia y la cantidad de corriente son constantes [15].”

### 1.8.2. Tipos de resistencia eléctricas

#### Resistencia plana

Como su nombre lo indica, las resistencias planas poseen una configuración geométrica en forma de lámina plana, la cual se puede adaptar a la forma de las superficies una vez que se coloque y se fije al medio que se desea calentar [17].



**Figura 5.** Resistencias planas [17].

En la Figura 5 se observa el alambre de conducción eléctrica que es el encargado de generar el calor en esta resistencia eléctrica, éstas pueden fabricarse en diversas formas y tamaños dependiendo del espacio para su colocación cuando hayan sido fijadas no se recomienda remover las ya que el alambre interno tiende a fracturarse.

Tienen diversas aplicaciones en la industria con son:

- Calentamiento de aire (hornos).
- Secado.
- Sustentadores de calor para alimentos (placas calientes).
- Incubadoras.
- Fundición.
- Mordazas en máquinas selladoras.

- Calentamiento de tanques.
- Termoformado.
- Precalentamiento en procesos de soldadura.

### **Resistencias tubulares de inmersión**

Estas resistencias están diseñadas para ceder calor directamente al medio a calentar como el agua, aire o cualquier otro tipo de líquido que se requiera calentar como parte de un determinado proceso. Este tipo de resistencias, como se muestra en la figura 6, utilizan las mismas sustancias a calentar como refrigerante ya que al no transferir calor se funden en pocos minutos, generando así daños severos y en muchos casos destruyéndose.

Su aplicación en el calentamiento de fluidos o líquidos en procesos de producción industrial que requieren alto consumo de potencia y control.



**Figura 6.** Resistencias tubulares de inmersión [17].

El tipo de recubrimiento varía las características de las resistencias, cada una de estas es diseñada y fabricada para certificar su durabilidad proporcionando así una mejor transferencia de calor [19].

- Acero Inoxidable

Este material cuenta con la capacidad para soportar una temperatura máxima de 650 °C y se manejan para procesos alimenticios o sustancias corrosivas, existiendo dos tipos de materiales a suministrar los cuales son el tipo AISI 304 o AISI 316.

- Incoloy

Pueden soportar hasta 870 °C de temperatura como máximo, en condiciones de radiación de calor que requieran temperaturas elevadas, condiciones o elementos corrosivos en donde el acero inoxidable no es resistente

### **Resistencias tubulares externas**

Estos elementos tienen rangos de capacidades que permiten sean aptas para una extensa variedad de aplicaciones como: aire circulante y superficies externas. Usualmente se utilizan en ductería para aire a presión continua, cuartos de bombas, torres de control, recipientes cerrados, hornos de secado y otros. Cada una de las resistencias se puede fabricar para soportar temperaturas en rangos de 30 °C a 800 °C.[16].

Adicionalmente se dota de un cuerpo para condicionar el flujo de calor como aleta que forma un bloque continuo que se coloca en la totalidad de la resistencia a manera de disipador con la finalidad de generar una gran superficie de contacto e incrementar sustancialmente la superficie de transferencia de calor. Ver figura 7.



**Figura 7.** Resistencias tubulares tipo M [17].

Cada resistencia puede ser diseñada para diversas finalidades, para prácticamente cualquier aplicación de calentamiento. El material de recubrimiento, corriente de operación, potencia consumida y dimensión o forma física puede ser diseñada y manufacturada para requisitos particulares dependiendo de la necesidad.

### **1.8.3. Sistema de combustión y calentamiento por radiación (gas propano)**

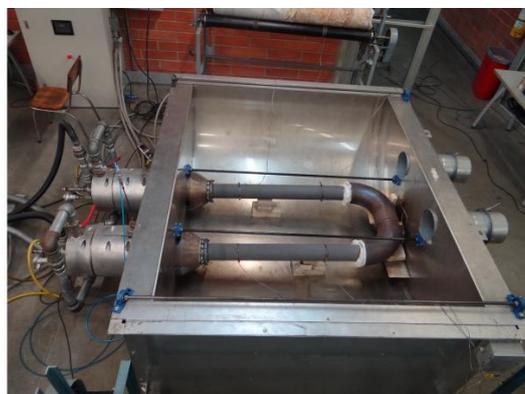
Los sistemas de combustión constan de dos partes principales: el quemador y la equipo que permiten intercambio térmico mediante radiación y disposición de la carga. El quemador consta

de un sistema dotado con combustible capaz de generar una generación de calor conocida como fuente, es un sistema cerrado de variables externas y permitiendo que el calor generado permanezca en el interior lo que evita pérdidas de calor por los conductos y transiciones, además de reducir los costos por imprevistos.

La unidad de transferencia de calor se encuentra dispuesto por tubos cilíndricos de metal o de otros elementos como carburo de silicio que se acoplan a la descarga de los quemadores. Estos tubos al ser sometidos a una fuente de calor por los gases de combustión emiten radiación térmica hacia las fronteras que limitan el sistema. Para ampliar la eficiencia de la transferencia térmica, los tubos están instalados en el punto focal de un reflector metálico con forma entre circular y semiparabólica, de manera que la radiación proporcionada desde los tubos se dirige hacia la región de carga y presenta un factor de visión mayor.

El quemador utiliza la carga de energía disponible para generar temperaturas superiores a los 200 °C, además ayuda a reducir costos en consumo de combustible superiores al 20%. Esto también implica reducciones superiores al 20% en las emisiones de gases que afectan considerablemente el efecto de gas invernadero por la expulsión de CO<sub>2</sub> [17].

El quemador de la figura 8, utiliza gas natural de origen fósil como combustible, o de origen renovable como el biogás y el gas de síntesis, garantiza que reduzcan la liberación de material en forma de partículas al ambiente, así como menores fuentes de gases contaminantes como el CO<sub>2</sub>.



**Figura 8.** Calentamiento mediante gas [17].

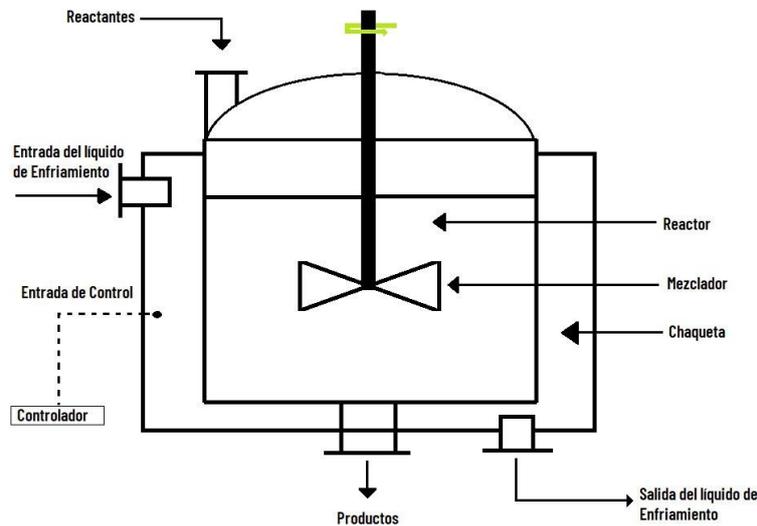
### **1.9. Recipientes con chaquetas**

El encamisado de un tanque se conforma con frecuencia para recipientes que necesitan mantenimiento frecuente o para los recubrimientos de fibras o vidrio que tiene dificultad de ser

equipados con serpentines internos. La camisa pierde necesidad de un serpentín interno lo que minimiza el uso de materiales adicionales.

### 1.9.1. Chaqueta

Se designa como chaqueta o enchaquetado de un recipiente. El objetivo de este elemento es de cambiar y sostener la temperatura dentro del cilindro al calentar o enfriar el contenido. Los diferentes elementos se representan en la figura 9.



**Figura 9.** Diagrama de prototipo pasteurizador [14].

Se utilizan ampliamente por la fácil limpieza de manera habitual del contenedor, así como tanques en los cuales instalar generadores eléctricos tipo serpentín en el interior se vuelve dificultoso. Esta forma de marmita proporciona un mejoramiento del coeficiente global de transferencia térmica que los serpentines colocados externamente. Contrariamente, el área restringida disponible para llevar a cabo la transmisión de calor, así como el fluido no se mantiene homogéneo estas propiedades en el interior de la camisa.

### 1.9.2. Recipientes enchaquetados con agitación mecánica.

La agitación en marmitas implica homogenizar un fluido por medios mecánicos para que genere traslación interna en diferentes direcciones dadas las características del líquido o sólido en el recipiente interno. La agitación puede ser de:

- Mezcla líquidos miscibles
- Disolución de sólidos y líquidos (ej.: azúcar y agua)

- Mejoramiento de transferencia de calor
- Distribución de partículas finas en un líquido

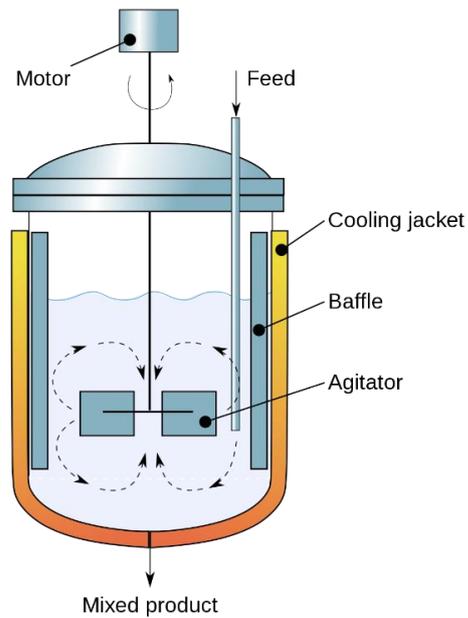
Generalmente, el equipo técnico consiste en un contenedor abierto o cerrado, en la parte superior del tanque existe un agitador, desde la parte superior se instala un eje con paletas el cual está potenciado por un motor eléctrico, acoplado a través de un sistema de engranajes reductores. Las proporciones dimensionales del tanque varían dependiendo de la naturaleza del sistema que agita los fluidos. La base del tanque tiene aristas que deben ser redondeados con el objetivo de reducir los cantos o regiones en las cuales impiden el flujo continuo del fluido. La altura alcanzada del fluido en el interior del tanque es aproximadamente igual al diámetro del tanque según la norma de construcción ASME.

### **1.10. Agitadores mecánicos**

Los agitadores tienen una amplia variedad de aplicaciones, como la mezcla de químicos, la fabricación de farmacéuticos, la producción de alimentos líquidos procesados y el tratamiento de aguas. Estos dispositivos son esenciales para asegurar la homogeneidad y la cualidad de la materia prima con objeto de mejorar la capacidad de las actividades de producción.

Hay varios tipos y configuraciones de agitadores mecánicos, incluyendo agitadores de eje vertical, agitadores de eje horizontal, agitadores de paletas y agitadores de lóbulos. Cada tipo de agitador se utiliza en función del tipo de líquido o sólido que se está moviendo y las características del recipiente o tanque.

El agitador como dispositivo mecánico permite que se forme cierto tipo flujo en diversas orientaciones dentro del procedimiento, permitiendo que uno o varios líquidos circulen por todo el recipiente y el producto que se encuentra al interior del cilindro se encuentre en constante circulación, este flujo debe ser específico para cada tipo de fluido. Ver figura 10.



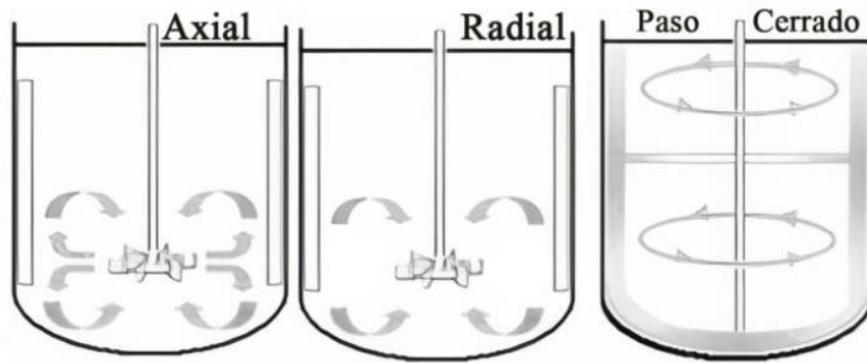
**Figura 10.** Agitación Mecánico [18].

El agitador consta con otros dispositivos mecánicos que forman subsistemas que se utiliza para entremezclar varios líquidos o gases, estos elementos son empleados en diversas operaciones en industrias químicas, tratamiento de agua, farmacéuticas, entre otras [18].

- Tipos de flujos

Los tipos de flujos creados al interior de un contenedor provocado por el accionamiento de un agitador son ilustrados en la Figura 11, se relacionan fundamentalmente con los patrones de flujo que son [19] :

- Flujo paralelo al eje
- Flujo radial o tangencial
- Flujo paso cerrado



**Figura 11.** Tipos de flujo en contenedores [19].

Además de clasificar a los agitadores por el tipo de flujo se los puede agrupar por el tipo de geometría dependiendo del proceso y fluidos que se estén utilizando.

### **1.10.1. Agitadores tipo hélice**

Los agitadores con la configuración tipo hélice, que se presentan en la figura 12, son parte del tipo que genera una componente en sentido axial con referencia al eje para fluidos de viscosidad baja y de velocidades altas que corresponde a los valores de trabajo entre 1000 y 1700 rpm para hélices pequeñas y 400 hasta 800 rpm para hélices grandes. Los de tipo hélice se usan en tanques de dimensiones de alta capacidad para el trabajo eficiente, donde la dirección del flujo que impulsa la hélice es desviada por el fondo del tanque y las paredes del recipiente. Pueden disponerse de uno o más hélices sobre el mismo eje, para crear una elevada turbulencia se colocan hélices en sentido apuesto.



**Figura 12.** Agitador tipo hélice [19].

### **1.10.2. Agitadores de paleta**

Es el más simple en cuanto a su geometría que se caracterizan por sus hojas cortas que giran sobre un eje vertical, cuya sección transversal generalmente tiene forma rectangular, que pueden girar desde 200 hasta 3000 rpm lo cual permite se cree un flujo de componente radial

que impulsa al fluido hacia las paredes del tanque, además, si la paleta tiene una inclinación de hasta  $45^\circ$  se adiciona una componente axial.

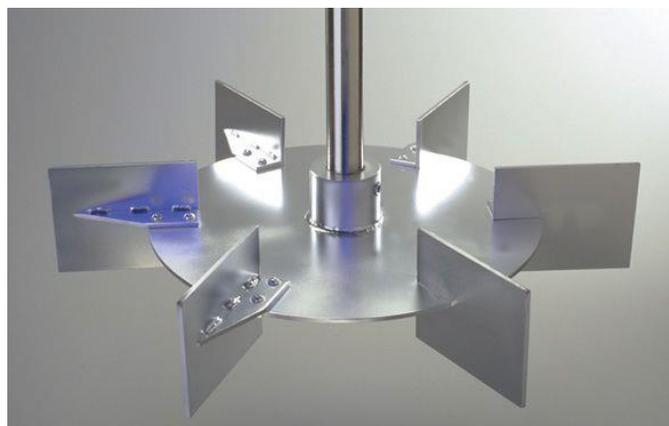
Las paletas de la figura 13 suelen adoptar la forma del fondo del tanque lo que provoca que existe una mínima de distancia entre la paleta y la superficie donde se encuentra el líquido, mismas que son recomendadas cuando existen sólidos y sea necesario que evitar depósitos en la base.



**Figura 13.** Agitador tipo paleta [19].

### 1.10.3. Agitadores de turbina

Se refiere al agitador mostrado en la figura 14 conformado por paletas múltiples, estas palas pueden ser rectas, curvas, verticales o inclinadas; utilizadas para fluidos viscosos generando flujos radiales y tangenciales, mismos que dan lugar a vórtices y torbellinos que se pueden minimizar con placas deflectoras en las paredes del contenedor. El diámetro nominal de la turbina se encuentra entre el 30 y 50% del diámetro interior del contenedor.



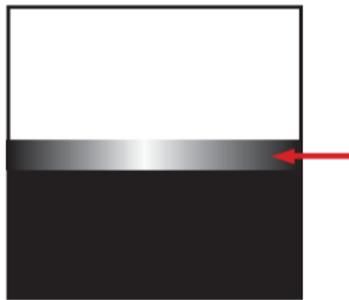
**Figura 14.** Agitador tipo turbina [19].

### 1.11. Materiales y accesorios para el prototipo

El prototipo estará construido de un material sólido y duradero por lo cual se decide utilizar el acero inoxidable AISI 304 con soldadura TIG por sus características de acabado y pureza, que garantice la calidad y durabilidad con el mejor proceso de manufactura para impedir la acumulación de restos de la materia prima y fácil limpieza. La pasteurizadora está constituida por la camisa, donde estará el fluido de enfriamiento y el contenedor donde estará la leche para llevar dicho fluido hasta la temperatura donde los microorganismos reduzcan su presencia con la ayuda del agitador con paletas para que la transferencia de calor sea homogénea y de acuerdo con la norma establecida hasta alcanzar la temperatura seleccionada.

#### 1.11.1. Acero inoxidable AISI 304

Los aceros inoxidables se denominan a las aleaciones con bajo contenido de carbono, un 18% de cromo con 0.08% de carbono [20]. Según otros fabricantes de aceros contienen un mayor porcentaje de níquel como segundo componente de aleación. Una de las características de este acero es su alta resistencia a la corrosión, esto es debido a que se deposita una fina capa de óxido de cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) en la superficie del acero conocida como la zona pasivizada que se muestra en la figura 15 [20].



**Figura 15.** Capa de óxido de cromo [20].

Acerca de las aplicaciones que provee el acero inoxidable AISI 304 con una estructura compuesta de 19%Cr10%Ni, se denominan aceros inoxidables austeníticos, siendo estos usados principalmente en la industria alimentaria, química, generación de hidroeléctricas, así como en distintos campos en los cuales la exigencia por parte de la industria hace que el mercado de los materiales se encuentre en constante investigación para desarrollar aleaciones que cumplan con las normas internacionales y mantener bajos los costos de producción dentro del sector metalúrgico [21]. Ver tabla 3.

**Tabla 3.** Propiedades del AISI 304 [21].

<b>Propiedades</b>		
Propiedades Mecánicas	Módulo de Elasticidad (E)	190 [GPa]
	Resistencia de fluencia (Sy)	206 [MPa]
	Ultimo esfuerzo (Su)	517 [MPa]
	Resistencia a la Tracción	460–1100 [MPa]
Propiedades Físicas	Densidad	7930 [kg/m <sup>3</sup> ]
	Punto de Fusión	1400–1555 [°C]

Para la selección de materiales se va a tener en cuenta la disponibilidad en el mercado ecuatoriano que se encuentren vigentes, en la Tabla 4 se tomará el recuento de los conjuntos y subconjuntos que constituyen al equipo de acuerdo con su material.

**Tabla 4.** Selección de materiales para pasteurizador.

<b>Parte</b>	<b>Materiales</b>	<b>Forma</b>
Tanque	AISI 304	Plancha 2 mm
Chaqueta	AISI 304	Plancha 2 mm
Estructura principal	AISI 304	Tubo cuadrado 40mmx 2mm
Agitador	AISI 304	Eje solido 1 pulgada

### 1.12. Soldadura TIG

Para la soldadura denominada GTAW o TIG (Tungsten Inert Gas) se utiliza electrodo de tungsteno en estado puro o en aleación con torio máximo del 5%, este proceso utiliza un gas inerte, en este caso argón, para desplazar el aire circundante y crear una capa protectora con el fin de evitar la contaminación y oxidación mientras se produce el arco eléctrico, se caracteriza por ser principalmente utilizado para equipos y máquinas destinadas a la industria alimenticia. Este es el procedimiento más utilizado para obtener cordones de soldadura de calidad [22].

Las industrias alimentarias y específicamente de la producción láctea están fabricados en acero inoxidable por las características que otorga el mencionado material. Estos métodos de soldadura especializados se realizan mediante procesos sin modificar sus propiedades mecánicas. Mediante la soldadura TIG para la unión de elementos en acero inoxidable el más apropiado es el acero austenítico donde se debe evitar la sensibilización, carbonización, micro

fisura intergranular, influencia de temperatura por zonas y oxidación a elevadas temperaturas [23].

### 1.12.1. Varilla de aporte ER308

Material de aporte para inoxidable austenítico tipo 304 utilizando el proceso de soldadura TIG, esta varilla de diámetro calibrado tiene 0.02 % carbono, no permite la precipitación de carburos que provoca que las zonas cercanas a las soldaduras aumentando la resistencia a la corrosión por el empobrecimiento de cromo sin el uso de estabilizadores tales como columbio y titanio, razón por la cual esta varilla es idónea para la soldadura del acero inoxidable AISI 304, se puede observar en la Tabla 5 la composición química que caracteriza a este material [24].

**Tabla 5.** Composición varilla de aporte ER308 [24].

<b>Composición de varilla</b>			
<b>Componentes</b>	<b>Porcentaje (%)</b>	<b>Material</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Carbono (C)	0,02	Manganeso (Mn)	1,9
Silicio (Si)	0,38	Fosforo (P)	0,02
Azufre (S)	0,01	Cromo (Cr)	19,80
Níquel (Ni)	9,8	Molibdeno (Mo)	0,19

### 1.13. Motorreductor coaxial

El motorreductor de engranajes vertical de la figura 16, consta de dos partes: motor y reductor de velocidad mediante engranajes. El método de montaje es vertical, lo que significa que el motor y caja de engranajes están conectados a través de la brida de salida. El uso de un reductor nos proporciona unas RPM de salida más bajas, pero sin reducir significativamente la potencia nominal y aumentando el momento par de forma significativa.



**Figura 16.** Motorreductor coaxial con agitador [25].

#### **1.14. Sistema de descarga**

El sistema de volteo brinda la ventaja de rapidez en la operación de descarga del producto de una marmita, generalmente estos sistemas son compuestos por engranajes y ejes que transmiten movimiento en diferentes sentidos con una fuerza de transmisión que pueden ser calculados para una rotación más fluida y manejable, los trabajadores pueden maximizar su productividad y minimizar los riesgos.

El sistema de tornillo sinfín y corona permite el movimiento confiable a través de una manivela para dar paso al desplazamiento angular que provocara que el contenido del cilindro puede ser vertido en depósitos para continuar con la línea de producción. En la figura 17 se aprecia el sistema de volteo en una marmita.

Los aspectos geométricos importantes para el desarrollo del número de dientes y paso diametral de una corona helicoidal y tornillo sinfín se encuentra bajo la norma AGMA (American Gear Manufacturers Associations).



**Figura 17.** Marmita con sistema de volteo [25].

### **1.15. Códigos Aplicables**

La ASME (American Society of Mechanical Engineers) estableció normas, criterios y fórmulas de diseño de recipientes sometidos a presión, el cilindro interno y chaqueta del reactor toman como base las normas ASME sección VIII, considerando que el tanque está expuesto a presiones internas y partiendo de un acero que está incluido en los códigos ASME. El uso de acero inoxidable 304 es imperativo por sus características de resistencia a elevadas presiones y agentes contaminantes.

Dentro de la normativa ASME VIII UG-16, especifica el espesor mínimo del tanque en 1.5 milímetros. Además, la eficiencia de la soldadura se indica en sección UW-12 y UG-27 para los esfuerzos circunferenciales y longitudinales, ver apéndice 2 y 6.

La norma DIN 28011 describe las ecuaciones para la geometría de un fondo toriesférico, también conocido como fondo Klopper, de acero inoxidable o de baja aleación recomendados para tanques a presión, recipientes y calderas [26].

## CAPÍTULO II.

### Selección de alternativas del prototipo de pasteurización

En este capítulo se presentarán las alternativas para desarrollar el diseño y la selección de cada elemento cumpliendo con los objetivos de funcionamiento y operatividad para poder realizar la construcción del prototipo, se tomará en cuenta como criterio de diseño el método de calentamiento necesario tomando en cuenta el espacio físico del C.I.S. de la UPS, además de los siguientes puntos:

- 1. Costos de fabricación:** Deben permanecer bajos para que sea rentable y no superar el presupuesto estimado, debe mantener la calidad en la fabricación del equipo.
- 2. Facilidad de construcción e instalación:** El prototipo debe ser viable en cuanto a su construcción y que el montaje no requiera de personal altamente calificado lo cual hace fácil su implementación.
- 3. Fácil de operar:** La máquina debe ser simple de usar por el personal y estudiantes del Centro de Investigación de la UPS.
- 4. Fácil mantenimiento:** La ventaja del prototipo pasteurizador diseñado es que no requiere un mantenimiento complejo.

### 2. Estudio de alternativas de prototipo pasteurizador

Se propone varias alternativas para la selección del diseño del prototipo pasteurizador, en donde tomará en cuenta el proceso de calentamiento dentro de la chaqueta, por lo cual se utilizará el método cualitativo para dar un valor a los parámetros y así seleccionar la alternativa acorde a las necesidades requeridas.

A continuación, se considera las de alternativas de calentamiento que pueden ser usados en el prototipo pasteurizador:

#### 2.1. Alternativa A: resistencias eléctricas de inmersión

##### Descripción

Este tipo de resistencias eléctricas se utilizan para calentar agua, aceite y otros químicos los cuales están en contacto directo con la resistencia, pueden ser de alto o bajo consumo de corriente y de mantenimiento cada cierto tiempo, otra característica importante es su máximo

rendimiento energético, sí el fluido con el que están en contacto tiene elementos que se pueda adherir con el tiempo, formaran una capa lo cual impide el correcto funcionamiento.

#### **Ventajas**

- Calentamiento de volúmenes grandes
- Diseño compacto y reducido
- Trabajo a presiones elevadas
- Amplio rango de modelos

#### **Desventajas**

- Vida útil reducida
- Costo de fabricación alto
- Alto consumo eléctrico
- Mantenimientos periódicos

#### **2.2. Alternativa B: resistencias eléctricas exterior**

#### **Descripción**

Las resistencias eléctricas tubulares tipo M se utilizan en hornos industriales y artesanales por lo cual calientan espacios de volumen grandes, están diseñadas para que la transferencia de calor sea a través del aire por convección y requieren aislamiento para focalizar el calentamiento lo que permite un mejor aprovechamiento de la energía y menor uso de corriente eléctrica.

#### **Ventajas**

- Fabricación barata
- No requiere mantenimientos periódicos
- Amplio rango de modelos

#### **Desventajas**

- Vida útil reducida
- Pérdidas de calor
- Alto consumo eléctrico

#### **2.3. Alternativa C: vapor de agua**

## **Descripción**

Este tipo de calentamiento requiere de un caldero el cual produzca vapor de agua y sea dirigido hacia la chaqueta del prototipo, este método utiliza menor tiempo para la pasteurización de la leche por lo que sobrelleva a una mejor eficiencia en el uso de recursos.

### **1. Ventajas**

- Calentamiento rápido y homogéneo
- No tiene acumulación de elementos dentro de la chaqueta
- Pérdida de calor mínimo

### **2. Desventajas**

- Necesita de un caldero como fuente de calor
- Altas presiones de trabajo
- Utilización de mayor área de trabajo

## **2.4. Alternativa D: GLP**

### **Descripción**

Este sistema de calentamiento con respecto a las anteriores es más barato por el subsidio que existe del GLP, además de que es utilizado ampliamente en la industria y sobre todo para pasteurizadores de más de 100 litros.

### **Ventajas**

- Barato respecto a otros sistemas de calentamiento
- No requiere mantenimientos periódicos
- Eficiente transferencia de calor

### **Desventajas**

- Propenso a accidentes
- Riesgo de almacenamiento de GLP
- Sistemas de control más complejo

## **2.5. Factores de comparación**

Para la selección del método de calentamiento se ha considerado los factores como son: los costos, fácil construcción, operación versátil y repuestos, en la Tabla 6 se asigna valores porcentuales para cada uno de los factores a ser evaluados y de esta manera seleccionar

técnicamente la alternativa cumpliendo las condiciones donde el prototipo será instalado para la producción.

Los criterios considerados para la selección de diseño del prototipo serán principalmente por los costos de fabricación en la soldadura y accesorios que requieren; la siguiente consideración consiste en la facilidad de construcción y montaje al ser que la ubicación donde está destinado el equipo es el Centro de Investigación Salesiano en Cayambe con instalaciones sin preparación técnica previa para el equipo; la facilidad de operación es significativo al ser un equipo para el uso del personal académico y estudiantes con mínima preparación técnica en el uso de este tipo maquinaria; por último, la facilidad de mantenimiento precisa que sea de acceso fácil a los instrumentos para la limpieza e intercambio de partes del equipo correspondientes.

**Tabla 6.** Factores considerados para la selección.

<b>Factores</b>	<b>Peso relativo [%]</b>
Costos de manufactura	30
Facilidad de construcción e instalación	30
Facilidad de operación	25
Facilidad de mantenimiento	15

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

## 2.6. Ponderación de parámetros

Como se mencionó al inicio del proyecto que se proporcionará un valor para cuantificar a los parámetros con valores del 1-10, como se indica la distribución en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Valorización de los parámetros.

<b>Valor</b>	<b>Parámetro</b>
1-2	No aceptable
3-5	Poco aceptable
6-8	Bueno
9-10	Excelente

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

Finalmente, se aplica el método matriz de selección en la tabla 8 para determinar la alternativa que se ajusta a lo criterios establecidos para su construcción e instalación.

**Tabla 8.** Aplicación del método de factores determinantes.

Criterios	Peso relativo [%]	Alternativa de prototipo			
		A	B	C	D
Costos de fabricación	30	5	8	4	7
Facilidad de construcción y montaje	30	8	7	6	8
Facilidad de operación	25	9	8	6	7
Facilidad de mantenimiento	15	6	8	7	8
<b>Puntuación total</b>		<b>7</b>	<b>7.75</b>	<b>5.75</b>	<b>75</b>

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

Después de realizar el método de los factores ponderados se llegó a la conclusión de que la alternativa B, calentamiento con resistencias eléctricas internas y agitador de paletas, es la alternativa aceptada por su bajo costo de construcción y fácil mantenimiento.

### 2.7. Propuesta de prototipo

El diagrama de procesamiento de la leche presentado en la Figura 1 describe de una manera breve las acciones a realizar dentro de la pasteurización de la leche, teniendo en consideración el volumen objetivo de 50 L y un sistema de calentamiento mediante resistencias eléctricas tipo M, se propone la fabricación del prototipo representado en la Figura 18.



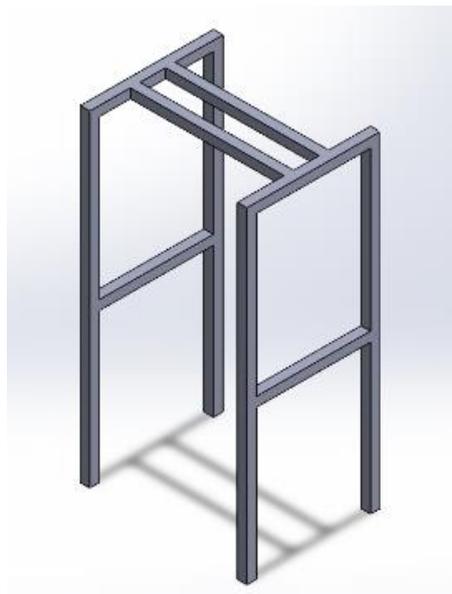
**Figura 18.** Pasteurizador de 50 L.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

## **2.8. Componentes fundamentales**

### **2.8.1. Bastidor**

Es una estructura metálica presentada en la figura 19 está diseñada para resistir los elementos que constituyen el prototipo utilizado, con un factor de diseño que evita que los esfuerzos tanto de cargas vivas como muertas afecten la estructura a largo plazo.

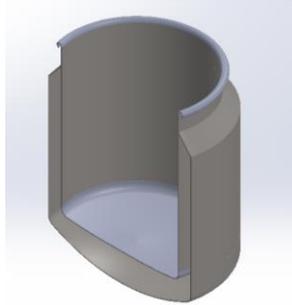


**Figura 19.** Estructura principal de prototipo.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

### 2.8.2. Tanque y chaqueta

El tanque es el recipiente que contiene la leche cruda para el proceso de pasterizado y la chaqueta es la que contiene el agua caliente a 62.3 °C, estos son elaborados con acero inoxidable AISI 304, el cual en sus propiedades y funciones sirve para la fabricación de este tipo de elementos [25]. Ver figura 20.



**Figura 20.** Tanque y chaqueta.

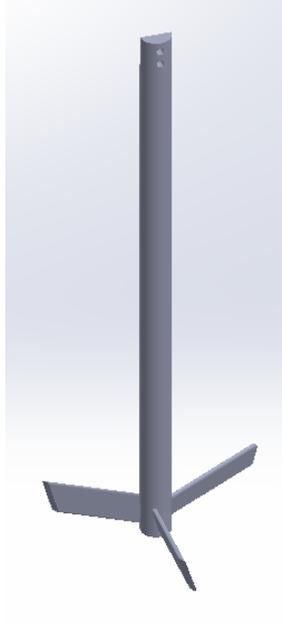
**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

El tanque interno se diseña con el fondo rebordado para evitar la acumulación de grasa y restos de leche en las aristas, también existe una separación de 40 mm entre la chaqueta y el tanque.

### 2.8.3. Sistema de agitación o emulsificación

En la figura 21 se muestra agitador diseñado que se encuentra instalado sobre un eje con proyección en voladizo y acoplado con pernos, el eje está impulsado por un motorreductor. El agitador crea un movimiento circular en el sistema, debido a la dinámica de fluidos el líquido circula a través del tanque y eventualmente retorna al agitador [26].

Por el volumen del tanque y la densidad de la leche se propone la utilización de un agitador tipo paletas con una inclinación de 10 grados que permiten la circulación y el calentamiento homogéneo de la leche. Además de contar con un sistema de ajuste lo que permite el desacoplamiento del eje.



**Figura 21.** Agitador de paletas.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

## CAPÍTULO III.

### Cálculos y diseño de pasteurizador

En el proyecto en desarrollo se plantea procesar un volumen de 50 litros de leche cruda para el Centro de Investigación de la Universidad Politécnica Salesiana, que se utilizará con propósitos de investigación de derivados lácteos, se debe tomar en cuenta algunos puntos, como: la temperatura inicial en el tanque de almacenamiento es de 15 °C, tener en consideración que la leche se encuentra en recipientes de transporte y posteriormente para la pasteurización debe sostenerse a una temperatura controlada de 63 °C en lapso de 30 minutos para concluir el proceso; Cayambe se encuentra en una altura de aproximadamente 2800 metros considerados desde el nivel del mar y la presión atmosférica de 14.9 PSI; la marmita donde se encontrará la leche está fabricada con una base torisférica y una chaqueta, el calentamiento interno del recipiente se realiza mediante resistencias eléctricas.

### 3. Criterios de diseño

El diseño propuesto que se encuentra acorde a los parámetros técnicos de funcionamiento, contenidos en la tabla 9, requiere análisis previos para la fabricación del prototipo, el diseño preliminar permite verificar el ensamble total para el método de construcción adecuado, tomando en cuenta la capacidad de carga, material, personal de trabajo, técnicas de manufactura y a su vez la viabilidad financiera necesaria. La fase de diseño y análisis computacional tiene como función buscar la mejor solución para solventar la problemática actual que existe entre los pequeños productores a través de la pasteurización, que en este contexto se da por la falta de los equipos técnicos adecuados.

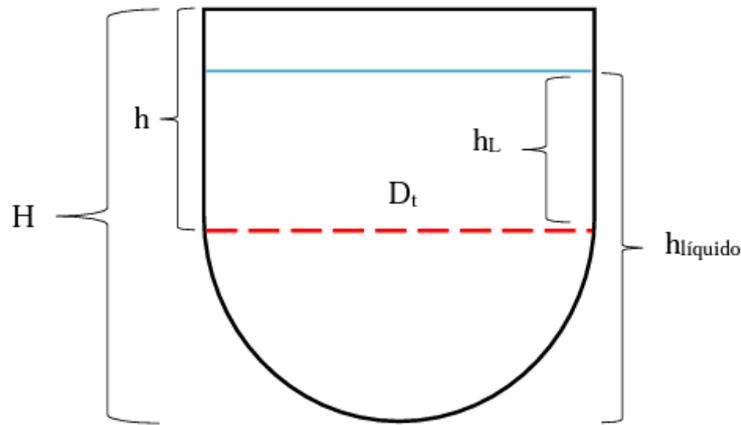
**Tabla 9.** Datos iniciales para el diseño del tanque.

<b>Característica</b>	<b>Valores</b>
Capacidad	50 litros
Cuerpo	Cilíndrico
Base	Toriesférica
Fluido de trabajo	Leche
Fluido de Calentamiento	Agua
Temperatura de operación	63 - 65 °C

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

### 3.1. Diámetro y altura en función de volumen

Para el diseño del equipo se evalúa la capacidad volumétrica en la planificación previa a partir del esquema de la figura 22, obteniendo el diámetro interior del tanque. Sin embargo, al realizar el cálculo por el volumen solicitado presupone que será llenado hasta el límite, por lo que tendrá como resultando el desbordamiento de la materia prima, se plantea que el volumen total de diseño con un factor de ampliación, de modo que el volumen sea 30% adicional del volumen total ocupado y de esta manera se previene evitar el desbordamiento de la leche.



**Figura 22.** Esquema representativo del cuerpo del tanque.

El volumen para este prototipo será de 50 litros que equivale a  $0.050 \text{ m}^3$  que será tomado como el valor de volumen real, de la cual parte el cálculo para el diseño del tanque con su respectiva camisa. Además, se asume un 30% como factor del volumen real para el volumen de diseño.

$$V_{\text{diseño}} = V_{\text{real}} + V_{\text{real}} \cdot 0.3 \quad (1)$$

$$V_{\text{diseño}} = 0.065 \text{ m}^3$$

Donde,  $V_{\text{diseño}}$  será la suma del  $V_{\text{real}}$  de  $0.0050 \text{ m}^3$  y el 30% del  $V_{\text{real}}$  para evitar el rebosamiento del fluido dentro del tanque durante el proceso de calentamiento.

Tomando en cuenta que el espacio físico donde se va a implementar el prototipo tiene una altura de 3 m, se considera una altura de almacenamiento de 0.480 metros en el cilindro para mitigar peligros ergonómicos por parte de los operadores al llenar el tanque con materia prima, tomando como base esta premisa se obtiene el diámetro del tanque mediante la ecuación (2).

$$V_{diseño} = \pi \cdot r_{tanque}^2 \cdot h_{tanque} \quad (2)$$

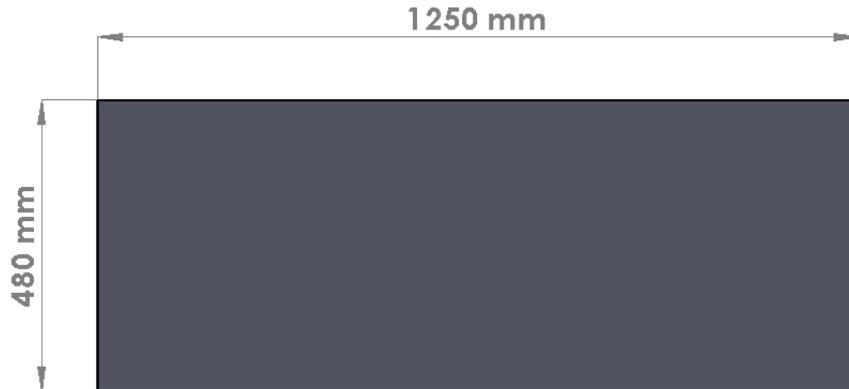
$$r_{tanque} = \sqrt{\frac{V_{diseño}}{\pi \cdot h_{tanque}}}$$

$$r_{tanque} = \sqrt{\frac{0.0065m^3}{\pi \cdot 0.48m}}$$

$$r_{tanque} = 0.20m$$

Las cuales  $V_{diseño}$  y  $h_{tanque}$  son de  $0.0065m^3$  y  $0.48 m$ , respectivamente.

En consecuencia, mediante las ecuaciones previamente mencionadas se determinó el diámetro del cilindro del tanque que será de  $400 mm$  y una altura total de  $480 mm$ , valores necesarios para desarrollar los demás parámetros geométricos como la chaqueta, estructura de soporte y sistema de agitación. Posteriormente se calculará el volumen de servicio del fondo toriesférico.



**Figura 23.** Dimensiones del desarrollo tanque interno.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

Las medidas de la chapa de acero inoxidable AISI 304 para fabricar el tanque interior serán de  $1250 \times 480 mm$  en espesor de  $2 mm$  como se muestra en la figura 23.

### 3.2. Temperatura de diseño

La temperatura de operación se encuentra en los rangos de 60-65 °C para la pasteurización de la leche, dentro del diseño se utiliza el valor mínimo del rango y se suma 20° C para obtener una temperatura de diseño máximo.

$$T_{\text{diseño}} = T_{\text{operacion}} + 20^{\circ} C \quad (3)$$

$$T_{\text{diseño}} = 60^{\circ} C + 20^{\circ} C = 80^{\circ} C$$

### 3.3. Presión teórica de diseño

A continuación, se detalla las presiones a las cuales está considerado dentro de la chaqueta para el uso de agua que será calentado mediante resistencias eléctricas, se considera una presión baja porque el volumen de vapor de agua es considerablemente mínimo. El prototipo se diseña técnicamente sobredimensionado con la finalidad de salvaguardar el equipo y seguridad del operador.

Considerando la presión ejercida del fluido de trabajo que se encuentra estático, en este caso leche, se puede calcular mediante la ecuación (4).

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot h \quad (4)$$

$$\Delta P = 1032 \frac{kg}{m^3} \cdot 9.81 \frac{m}{s^2} \cdot 0,48m$$

$$\Delta P = 4049.57 Pa \approx 0.04049 atm$$

Donde,  $\Delta P$  es la presión de trabajo dentro del recipiente del fluido,  $\rho$  equivale a la densidad de la leche sin variación conforme a la temperatura,  $g$  como la gravedad y  $h$  es la altura alcanzada de la leche cruda, que en este caso es de 400 mm para no llegar al borde del tanque. Teniendo en cuenta la expresión matemática previa se presenta la ecuación (5) para determinar la presión teórica de diseño que se consideran para los cálculos posteriores.

En el parámetro de seguridad la presión debe tener un sobredimensionamiento mediante la siguiente ecuación de la presión de teórica, además de adicionar el valor de la presión atmosférica de 1 atm y la presión compuesta de trabajo.

$$P_t = \Delta P + P_c + P_{atm} \quad (5)$$

$$P_t = 0.04049 + 1 + 1$$

$$P_i = 2.04049 \text{ atm}$$

Para lo cual,  $P_i$  será la presión teórica,  $\Delta P$  es la presión hidrostática,  $P_c$  es la presión compuesta de trabajo y  $P_{atm}$  es la presión atmosférica.

### 3.4. Presión de diseño

La ASME recomienda aplicar al diseño un coeficiente de seguridad de 2 para tanques cilíndricos en la ecuación (6) para determinar la presión de diseño[27].

$$P_d = P_i \cdot 2 \quad (6)$$

$$P_d = 2.04 \cdot 2$$

$$P_d = 4.08 \text{ atm} \approx 60 \text{ psi}$$

### 3.5. Selección del espesor del tanque

El espesor del tanque será determinado por la norma ASME para recipientes sometidos a presión sección VIII, con presiones mayores a 15 psi. Para soportar la carga hidrostática el espesor viene dado por la ecuación (7), para calcular con la costura longitudinal y circular, respectivamente [30].

$$t_r = \frac{P_d \cdot D_a}{2(S_y \cdot E - 0.6 \cdot P)} + CA \quad (7)$$

Donde,  $P_d$  es Presión de diseño,  $S_y$  es Valor máximo permisible de tensión del material tomado del anexo 1,  $E$  es la eficiencia de la junta longitudinal del anexo 2 la cual es de 0.85 según la norma UW-12 para juntas a tope realizadas por un único cordón de soldadura,  $D_a$  Radio interno del recipiente, el valor de  $S_y$  es 206 MPa para el acero inoxidable se extrae del anexo 1.

Se reemplaza los valores antes calculados, mediante transformaciones respectivas se obtiene la presión de diseño es de 60 psi equivale a 413.7 kPa.

$$t_r = \frac{413.7kPa \cdot 400mm}{2(206000kPa \cdot 0.85 - 0.6 \cdot 413.7kPa)} + 1mm$$

$$t_r = 1.47mm$$

El espesor obtenido será el mínimo exigido para satisfacer las condiciones de trabajo para el prototipo, se obtuvo 1.47 mm con un coeficiente de seguridad de 2 en la presión de diseño; se

debe validar en el mercado local si existe el material para la elaboración del tanque. A nivel nacional y para facilidad de soldadura por procedimiento de soldadura TIG con varilla de aporte 308 se sugiere mediante el cálculo realizado planchas de AISI 304 de 2 mm de espesor.

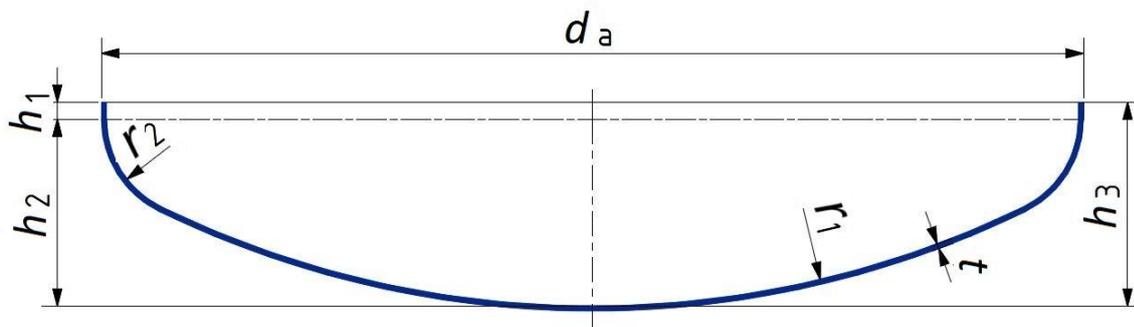
Para calcular el espesor en el punto de la sección circular del cilindro, es decir en la junta radial, se utiliza la ecuación (8) especificada por la ASME:

$$t_r = \frac{P \cdot D_i}{2(2 \cdot S_y \cdot E - 0.4 \cdot P)} + CA \quad (8)$$

El espesor obtenido es de 1,23 mm, por lo cual la selección de espesor de 2mm es eficiente en cuanto a la presión de diseño solicitado en la junta circunferencial.

### 3.6. Base toriesférica

Para el diseño mecánico de la tapa toriesférica, esta será de acero inoxidable para prevenir la corrosión y evitar puntos muertos de acumulación de residuos del procesamiento de leche, las dimensiones se han definido según la norma DIN 28011. En la Figura 24 muestra la geometría de una tapa toriesférica.



**Figura 24.** Dimensiones de un fondo toriesférico tipo Klopper [27].

Las dimensiones de la figura 24 se determinan para una base toriesférica según lo indicado por las ecuaciones (9) para el valor  $r_1$  del radio abombado, la ecuación (10) para el valor de  $r_2$  de la curva sanitaria, las ecuaciones para las alturas  $h_1$ ,  $h_2$  y  $h_3$  están dadas por las ecuaciones (11), (12) y (13). Además, se puede determinar el volumen de la base teórica mediante la ecuación (14) y en la Tabla 10 se resumen para el diseño CAD de la base toriesférica [24].

$$r_1 = d_a \quad (9)$$

$$r_2 = 0.1 \cdot d_a \quad (10)$$

$$h_1 = 3.5 \cdot t \quad (11)$$

$$h_2 = 0.1935 \cdot d_a - 0.455t \quad (12)$$

$$h_3 = h_1 + h_2 \quad (13)$$

$$V_{fondo} = \frac{\pi \cdot d_a^2 \cdot h_3}{6} \quad (14)$$

Las dimensiones de la base toriesférica para su construcción se presenta en la Tabla 10 donde se resume todos los parámetros. El valor del espesor es 2 mm tomado del apartado posterior.

**Tabla 10.** Dimensiones de base toriesférica.

Descripción	Valor	Descripción	Valor
$d_a$	400 mm	$h_1$	7 mm
$t$	2 mm	$h_2$	76.49 mm
$r_1$	400 mm	$h_3$	83.49 mm
$r_2$	40 mm	$V_{fondo}$	0.0069 m <sup>3</sup>

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

### 3.7. Espesor de cabezal toriesférico

Dentro de la norma ASME, se encuentra los requisitos para desarrollar los cálculos de espesor y presión de operación de una tapa toriesférica según UG-32 donde la ecuación (15).

$$t_{fondo} = \frac{0.885 \cdot P \cdot L}{S \cdot E - 0.1 \cdot P} + CA \quad (15)$$

$$t_{fondo} = \frac{0.885 \cdot 413.7kPa \cdot 424mm}{206000kPa \cdot 0.85 - 0.1 \cdot 413.7kPa} + 1mm$$

$$t_{fondo} = 1.88mm$$

El espesor requerido para una tapa toriesférica es el punto más delgado después del conformado, por lo que se requiere de 1.88 mm según la disponibilidad del mercado. Por facilidades de construcción, tanto el cilindro y la base toriesférica serán de material acero inoxidable UNS S30400 o AISI 304 de 2 mm de espesor.

### 3.8. Altura alcanzada en el tanque

Las dimensiones calculadas, tanto de diámetro como de altura se obtiene la altura libre del tanque, iniciando con el volumen total de la ecuación 16 que es la suma del cubicaje del cilindro más el volumen de la base toriesférica de la Tabla 10.

$$V_t = \frac{\pi}{4} \cdot D_a^2 \cdot h_{leche} + V_{fondo} \quad (16)$$

Donde,  $V_t$  es el volumen total,  $D_a$  describe el diámetro del tanque,  $h_{leche}$  la altura de la leche dentro del tanque y el  $V_{fondo}$  que ocupa la tapa torisférica.

Despejando el termino se obtiene el valor para calcular la altura del tanque ocupado por el líquido. El espacio interno del cilindro es la diferencia entre el volumen total del tanque y la base toriesférica, por lo que también se podría reemplazar por el valor del volumen en el cilindro.

$$H_{leche} = \frac{4 \cdot (V_t - V_{fondo})}{\pi \cdot D_a^2} \quad (17)$$
$$H_{leche} = \frac{4 \cdot (0.070m^3 - 0.0064 m^3)}{\pi \cdot 0.424^2}$$
$$H_{leche} = 0.476m$$

Por lo tanto, la altura libre del tanque ( $H_{leche}$ ) se logra calcular mediante la altura total del tanque menos la altura ocupada por el fluido de trabajo dentro de la misma, en este caso leche cruda.

La altura total ( $H_{total}$ ) se calcula mediante la ecuación (18), está dado por la suma de la altura del cilindro de 0.480 m más la altura de la base toriesférica de 0.083m de la Tabla 10.

$$H_{total} = H_{leche} + H_{libre} \quad (18)$$

Despejando para obtener el valor de la altura libre, se obtiene.

$$H_{libre} = H_{total} - H_{leche}$$
$$H_{libre} = 0.618m - 0.476m$$
$$H_{libre} = 0.142m$$

Esta altura libre no incluye el volumen ocupado del agitador el cual se lo tomará como un valor despreciable, considerando únicamente en evitar el desbordamiento de la materia prima.

### 3.9. Porcentaje de volumen ocupado

Tomando en cuenta el volumen total ocupado por la leche que es el volumen real de 50 litros y el volumen total del tanque interno de  $0.06887 \text{ m}^3$  de capacidad total, se puede determinar mediante la ecuación (19) el volumen de manera porcentual que ocupa el fluido dentro del tanque.

$$\begin{aligned}\%V_{ocupado} &= \frac{V_{liquido}}{V_{total}} \cdot 100 & (19) \\ \%V_{ocupado} &= \frac{0.05\text{m}^3}{0.06887\text{m}^3} \cdot 100 \\ \%V_{ocupado} &= 72.6\%\end{aligned}$$

### 3.10. Camisa del tanque

Con la finalidad de permitir la transferencia de calor de la chaqueta hacia el tanque interior de acero inoxidable, se utilizará agua como fluido de calentamiento, que será calentado mediante resistencias hasta alcanzar una temperatura mayor de los  $62^\circ$  para que pueda utilizarse en el proceso de pasteurización. Se considera un espacio de 40 mm, definidos en la ecuación (20), entre el tanque interior y la chaqueta de acero inoxidable de calibre 14 o 2 mm de espesor para que forme el cuerpo donde ingresará agua como fluido de calentamiento.

$$\begin{aligned}\varnothing_{camisa} &= \varnothing_{tanque} + 2(0.04m) & (20) \\ \varnothing_{camisa} &= 0.40m + 2(0.04m) \\ \varnothing_{camisa} &= 0.48m\end{aligned}$$

Para el cálculo de la altura de la chaqueta ( $h_{camisa}$ ) se considera el volumen ocupado ( $V_{real}$ ) por el fluido, es decir la leche, en la ecuación (21) se considera el diseño con 2 pulgadas o 50 mm de separación entre el fondo del tanque interior y el fondo de la chaqueta. El valor de la altura que ocupa el volumen real es el nivel hasta la altura libre, por lo que se tiene que el volumen real es de 65 litros.

$$\begin{aligned}h_{camisa} &= h_{vreal} + 0.05m & (21) \\ h_{camisa} &= \frac{V_{real}}{\pi \cdot r_a^2} + 0.05m\end{aligned}$$

$$h_{camisa} = \frac{0.070m^3}{\pi \cdot (0.212m)^2} + 0.05m$$

$$h_{camisa} = 0.485m$$

Por consiguiente, el diámetro de la chaqueta será de 480 mm y el desarrollo del perímetro se requiere una plancha de 1507x485 mm para la procura de material.

A partir de la medida transversal del cilindro y la altura calculados se puede determinar el contenido de agua que ingresará en la chaqueta, la cual se determina con ecuación (22).

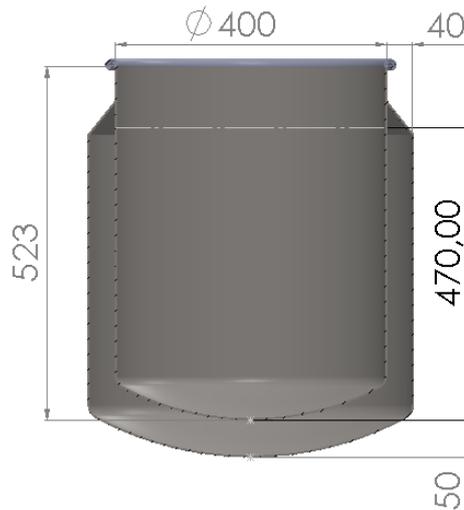
$$V_{h2ocamisa} = \pi \cdot (r_{camisa}^2 - r_a^2) \cdot h_{camisa} + (V_{camisa} - V_{fondo}) \quad (22)$$

$$V_{h2ocamisa} = \pi \cdot [(0.240m)^2 - (0.200m)^2] \cdot 0.485m + [0.1(0.48)^3 - 0.1(0.4)^3]$$

$$V_{h2ocamisa} = 0.0314m^3 = 31.45 \text{ litros}$$

En la camisa del tanque se contempla los neplios de ingreso y descarga de agua de 1 pulgada, para ser controladas por electroválvulas que permitirán el ingreso mediante el sistema de control necesaria ubicado en el panel eléctrico donde consta todos los demás elementos electrónicos que permitan retroalimentar las variables para mantener la temperatura y fijar el tiempo del proceso solicitado para el equipo.

En la Figura 25 se evidencia que la capacidad volumétrica de la leche en el tanque interno no sobrepasa la altura superior de la chaqueta para que la convección térmica sea total sobre el fluido, de la misma manera la altura libre es suficiente para que no rebose y el agitador no influye en el volumen total.



**Figura 25.** Dimensiones de tanque.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

### 3.11. Cálculos de fuerzas en el tanque

Existen dos fuerzas hidrostáticas que se generan por el fluido dentro del tanque, estas son verticales y horizontales. La componente de la fuerza que se encuentra en dirección al eje vertical que no tiene incidencia en el fondo toriesférico y trabajara en voladizo, por lo tanto, la fuerza hidrostática vertical se calcula mediante la ecuación (23).

$$FH_v = \Delta P \cdot A_{fondo} \quad (23)$$

$$FH_v = (\rho \cdot g \cdot h) \cdot (\pi \cdot r_a^2)$$

$$FH_v = 2146.55 \text{ N} = 218.81 \text{ kg}$$

Considerando la altura de la presión hidrostática como la altura alcanza por la leche de 421.45 mm dentro de la camisa.

Mientras que las fuerzas hidrostáticas horizontales actuaran en los límites del tanque, considerando el cuerpo cilíndrico, se calcula con la ecuación (24)

$$FH_h = (\rho \cdot g \cdot h) \cdot (2 \cdot r_a \cdot h_{tanque}) \quad (24)$$

$$FH_h = 647.226 \text{ N}$$

En virtud de que el equipo está expuesto a una carga de fluido específica, presión de operación y temperatura máxima de 65 °C hace que el diseño sea seguro con los cálculos comprobados previamente en el espesor del tanque, no amerita realizar cálculos adicionales de esfuerzos sobre la marmita.

### 3.12. Cálculo de variables del equipo de agitación

El agitador mecánico se encuentra montado en un eje sólido en el bastidor donde queda suspendido y accionado mediante un motorreductor que permite que gire a bajas revoluciones. Las dimensiones anteriormente calculadas permiten el diseño completo del mecanismo de agitación. La altura de trabajo del agitador dentro del tanque es la altura de leche ingresado.

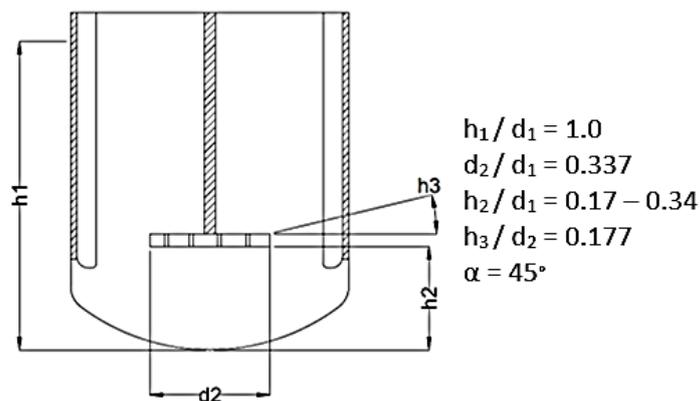
El prototipo se diseña con agitador de palas que permite un flujo radial y tangencial para la homogenización de fluidos no viscosos a velocidades pequeñas, el tener las paletas con una inclinación de máximo 45° origina que el fluido se eleve hacia arriba por la pared del tanque y volver al centro para maximizar el movimiento de circulación, también es eficaz para potenciar el intercambio de calor en líquidos pocos viscosos [27].

Para el diseño del agitador y cálculo de potencia del prototipo de pasteurización se consideran los parámetros presentados en la Tabla 11 a manera de resumen para el diseño del prototipo.

**Tabla 11.** Datos de diseño.

<b>Propiedades y condiciones del líquido de trabajo</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Definición</b>
Fluido agitado	Leche
Densidad del líquido	1032 [kg/m <sup>3</sup> ]
Presión de operación	60 [psi]
Viscosidad dinámica	2.2x10 <sup>-3</sup> [kg/m·s]
Velocidad de rotación	75 [rpm]
Temperatura de operación	63 [° C]

Para el agitador se utiliza la norma DIN 28131 donde establece la geometría de la marmita, los cuales se presentan en la figura 26, se encuentra basados en los parámetros de referencia del tanque interior del prototipo; establecida la geometría del impulsor se analiza el esfuerzo ejercido [19].



**Figura 26.** Geometría para reactores [29].

La altura total  $h_1$  del fluido de trabajo se obtiene con la ecuación (25), lo cual es igual a al diámetro del tanque interno.

$$\frac{h_1}{d_1} = 1 \quad (25)$$

Mediante la ecuación (26) se obtiene el diámetro del agitador  $d_2$  que está ubicado con las paletas en el eje central del agitador en función del diámetro interior del tanque.

$$\frac{d_2}{d_1} = 0.65 \quad (26)$$

Para la resolución numérica de la altura medida desde el fondo  $h_2$  del recipiente hasta la base de las aletas del agitador se determina con la ecuación (27).

$$\frac{h_2}{d_1} = \frac{0.17}{0.34} \quad (27)$$

Con respecto a la altura de las paletas  $h_3$ , se encuentra en función del diámetro formado entre los extremos de las aspas, lo cual será el valor mínimo para el trabajo. Ver ecuación (28).

$$\frac{h_3}{d_2} = 0.177 \quad (28)$$

Con el valor del diámetro del tanque interior de 400 mm se obtienen los valores geométricos del sistema de agitación de paletas inclinadas determinados en la tabla 12.

**Tabla 12.** Valores geométricos de agitador.

Variable	Descripción	Valor [m]
$h_1$	Altura del fondo a nivel de leche	0.40
$d_2$	Diámetro entre extremos de paletas	0.26
$h_2$	Altura del fondo a base de paletas	0.20
$h_3$	Altura de paletas	0.024

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

### 3.13. Cálculo de potencia en el agitador

En el proceso de mezcla o agitación del fluido requiere que circule el volumen en todo el tanque tomando en cuenta que la turbulencia creada y la velocidad de giro de las paletas son los factores considerados de importancia para la eficacia del proceso de pasteurización. La turbulencia tiene efectividad de que las corrientes se encuentren direccionadas para generar gradientes de velocidad. Los parámetros que determinan consumo de potencia requieren de números adimensionales, los cuales especialmente son el número adimensional de Reynolds y el indicador de eficiencia energética conocido como el número de potencia [28].

#### Número adimensional de Reynolds (Re)

Es una medida adimensional para identificar si un fluido es turbulento o laminar se lo caracteriza mediante la ecuación (29), cuando dicho valor sea menor o igual a 2100 se lo conoce como flujo laminar, si se encuentra entre 2100 y 4000 es una región el cual se lo considera como flujo transitorio y para valores mayores a 4000 será de flujo turbulento. Además, las características dependen de la temperatura, velocidad, rugosidad y densidad del fluido [29].

$$Re = \frac{N \cdot d_a^2 \cdot \rho}{\mu} \quad (29)$$

Para lo cual,  $N$  es la velocidad angular dado en rev/s tomados de la Tabla 11,  $d_a$  es el diámetro del agitador en metros,  $\rho$  es la masa específica del fluido expresado en  $\text{kg/m}^3$  y  $\mu$  identifica la viscosidad cinemática  $\text{kg/m} \cdot \text{s}$  o la unidad  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ .

$$Re = \frac{\left(75 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{1 \text{min}}{60 \text{s}}\right) \cdot (0.4 \text{m})^2 \cdot 1032 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0.0022 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}}$$

$$Re = 93818.2 = 9.38 \times 10^4$$

De acuerdo con el resultado obtenido de  $Re = 9.38 \times 10^4$  el fluido del tanque interior se considera turbulento debido a que el valor adimensional de Reynolds es superior a 4000.

### Número de potencia ( $Np$ )

El diseño del prototipo consta de un tanque interior y un agitador sujeto a un eje que se encuentra conectado a un motorreductor por lo que se requiere calcular la potencia necesaria para cumplir con el efecto de mezclar de forma homogénea la transferencia tanto al momento de calentar como de enfriar la materia prima. Considerando las dimensiones del contenedor y las propiedades de viscosidad y densidad se obtiene con la ecuación (30).

$$Np = \frac{P}{N^3 \cdot D_1^5 \cdot \rho} \quad (30)$$

El número de potencia  $Np$  es una constante multiplicativa entre la fuerza de rozamiento que actúa en el área ocupada por el impulsor de aspas planas inclinadas y la fuerza de inercia, al tener un régimen turbulento determinado por el número de Reynolds,  $Np$  se vuelve constante y se obtiene mediante las gráficas de la figura 27 que relaciona un tipo específico de agitador en diferentes curvas [10].

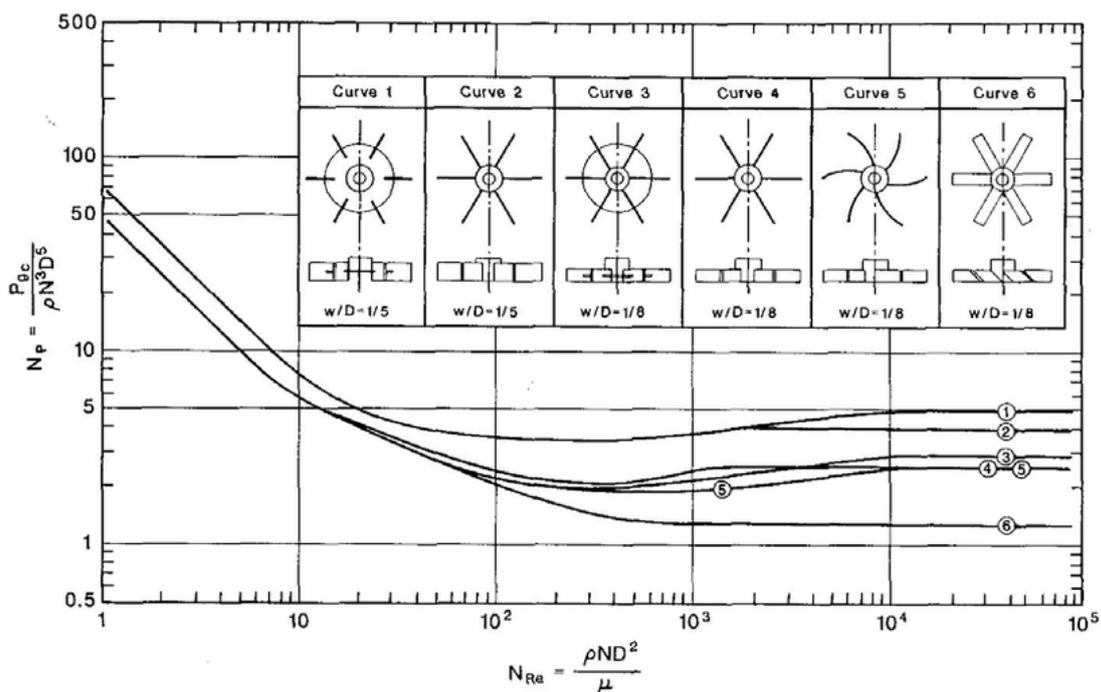


Figura 27. Número de potencia en relación con el valor de Reynolds de agitadores [10].

El tipo de impulsor seleccionado en el diseño es la correspondiente a la curva 2 para paletas inclinadas a 45°, por lo que se procede a determinar el número de potencia para un valor de Reynolds de  $9.38 \times 10^4$ , por lo cual según la gráfica se obtiene  $Np=4$ .

Determinado el número de potencia y los parámetros de velocidad se reemplaza en la ecuación (30), donde las variables de  $N$  es la velocidad del agitador en rps, diámetro del tanque  $D_a$  y  $\rho$  es la densidad del fluido para calcular la potencia en watts. Ver ecuación (31).

$$P = Np \cdot N^3 \cdot D_a^5 \cdot \rho \quad (31)$$

$$P = 4 \cdot \left(1.4 \frac{rev}{s}\right)^3 \cdot (0.42m)^5 \cdot 1032 \frac{kg}{m^3}$$

$$P = 148.03W = 0.198hp$$

La potencia consumida por el agitador ( $P$ ) de paletas inclinadas para homogenizar la transferencia de calor es de 0.198 hp, para la elección de unidad de potencia ( $P_{motor}$ ) se toma en cuenta la eficiencia de reducción por fricción que se encuentra en el mercado, generalmente es del 35% y la eficiencia del motor de  $\eta=0.80$  mediante la ecuación (32) para motores comerciales.

$$P_{motor} = \frac{P}{\eta} \quad (32)$$

$$P_{motor} = \frac{0.198hp \cdot 1.35}{0.80} = 0.334hp$$

Teniendo en cuenta esto, la selección adecuada será un motor con potencia de 0.5 hp (0.372 kW) a 220V de tensión eléctrica o voltaje, que trabaje a la intemperie con protección IP 65 y velocidad nominal de 1720 por lo que se requiere un reductor con relación 1:50 que entregue una velocidad de 60 rpm a la salida del eje y conectado al agitador de paletas.

### 3.14. Cálculo de diámetro del eje para agitador

Diseño del eje sólido mediante la norma ASME indica la ecuación (33), esta propone el uso de la siguiente ecuación de la cual se modifica para calcular el diámetro con variables específicas para ejes que se encuentra en el manual ANSI B106.IM [30]. Para calcular el diámetro de la flecha se utiliza la expresión matemática.

$$d_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot FS}{\pi} \left[ \left( k_f \frac{M_a}{S_f} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T_n}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right]^{1/3} \quad (33)$$

Donde,  $FS$  es el factor mínimo de seguridad estimado,  $k_f$  considerado el factor de reducción del límite de fatiga,  $M_a$  se define como el momento flector alternante,  $S_f$  es el límite de fatiga para el acero 304,  $T_m$  es el torque ejercido sobre el eje.

Se determina que la fuerza actuante sobre el eje es únicamente la fuerza de torsión, en este caso se mantiene constante el esfuerzo cortante por torsión. En este caso el eje agitador no existe fuerzas transversales aplicadas que pueden producir flexión sobre el elemento por lo que el valor de  $M_a$  es nulo y se obtiene la ecuación:

$$d_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot FS}{\pi} \left[ \frac{3}{4} \left( \frac{T_n}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right]^{1/3}$$

Mott et al. [31] recomiendan el valor conservador de  $FS$  de 2.5 para ejes de materiales dúctiles y cargas básicas de esfuerzos en condiciones promedios. El valor de factor de seguridad se encuentra en el anexo 7.

El valor de la carga torsional se calcula a través de la ecuación (34), se da a partir de la potencia nominal de 0.5 hp por:

$$T_n = \frac{P \cdot 746}{rpm} \quad (34)$$

$$T_n = \frac{372.85W \cdot \min}{30rev} * \frac{60s}{1 \min} * \frac{1rev}{2\pi} * \frac{1J}{1W \cdot s} * \frac{1Nm}{1J}$$

$$T_n = 119.63N \cdot m$$

Y se reemplaza en la ecuación (33) para determinar el diámetro del eje.

$$d_{eje} = \left[ \frac{32 \cdot 2.5}{\pi} \left[ \frac{3}{4} \left( \frac{119,63N \cdot m}{206 \times 10^6 N / m^2} \right)^2 \right]^{1/2} \right]^{1/3}$$

$$d_{eje} = 0.02339m$$

El diámetro de la flecha de agitación calculado es de 23,31 mm, en el mercado se encuentran dimensiones estándar de ejes sólidos de 25 mm (1 pulgada), adecuado para el torque de arranque de  $76.29 N \cdot m$  que sería 1.5 veces el torque por carga torsional.

### Diseño por flexión pura

En el diseño de las paletas se observa que las fuerzas causantes de flexión en las paletas se anulan, por lo que se puede considerar que las fuerzas flexionantes es igual a cero, el eje se considera en torsión pura con las siguientes ecuaciones (35) y (36).

$$\tau = \frac{S_y}{FS} \quad (35)$$

$$\tau = \frac{16 \cdot Tm}{\pi \cdot d^3} \quad (36)$$

Se iguala las ecuaciones (35) y (36) para obtener el diámetro del eje ( $d$ ), mediante esfuerzo torsional ( $Tm$ ) con el factor de seguridad ( $FS$ ) de 2.5 y un factor de 1.5 por arranque en el momento torsionante.

$$\frac{S_y}{FS} = \frac{16 \cdot 1.5 \cdot Tm}{\pi \cdot d^3}$$

$$\frac{206 \times 10^6 N / m^2}{2.5} = \frac{16 \cdot 1.5 \cdot 119,63 N \cdot m}{\pi \cdot d^3}$$

$$d = 0.0223m$$

El resultado de este cálculo es de 22 milímetros, por lo que se puede seleccionar un eje de 25 mm de diámetro en acero AISI 304. El resultado es similar al calculado por la norma ASME, en el cual se asegura el óptimo funcionamiento con el diámetro adecuado y un factor de seguridad de 3.5 lo cual se encuentra dentro del parámetro solicitado.

### 3.15. Diseño del espesor de paletas

En funcionamiento, para la operación de mezclar y agitar fluidos con velocidades y viscosidades bajas, se considera 1.5 como el factor al torque de arranque. Para el cálculo del espesor de las dos paletas soldadas al eje del agitador se considera el espesor mínimo, se las toma bajo el concepto de vigas empotradas [32]. La fuerza radial o normal  $F_n$  que origina la flexión en el árbol a  $\frac{3}{4}$  de la longitud total de la paleta está dada por la ecuación (37).

$$F_n = \frac{8 \cdot T_m}{3 \cdot d_a} \quad (37)$$

$$F_n = \frac{8 \cdot 119,63N \cdot m}{3 \cdot 0.18m}$$

$$F_n = 753.77N$$

Utilizando la fuerza normal ( $F_n$ ) aplicado en la flecha y realizando el producto por la longitud total del eje del agitador ( $L$ ), se puede obtener el momento flector ( $M_f$ ) ejercido sobre el elemento con la ecuación (38).

$$M_f = F_n \cdot L \quad (38)$$

$$M_f = 753.77N \cdot 0.500m$$

$$M_f = 376.88N \cdot m$$

Nienow et al. recomiendan utilizar la teoría de esfuerzo cortante máximo, esto da como resultado un momento flector equivalente ( $Me$ ) en las paletas del agitador con la ecuación (39).

$$Me = \sqrt{M_b^2 + T_m^2} \quad (39)$$

$$Me = \sqrt{(376.88^2 N \cdot m) + (119.63N \cdot m)^2}$$

$$Me = 918.50N \cdot m$$

Por lo tanto, la fuerza axial ( $F_n$ ) que se origina por acción del motor en el extremo de la paleta medido a lo largo del eje en la ecuación (40).

$$F_n = \frac{T_m}{6 \left( \frac{D_a}{2} \right)} \quad (40)$$

$$F_n = \frac{119,63N \cdot m}{6 \left( \frac{0.180m}{2} \right)}$$

$$F_n = 221,53N$$

### Cálculo por resistencia

El punto crítico se encuentra en la unión de la paleta con el eje del agitador, donde se lo considera para efecto de cálculo como un sistema empotrado y se encuentra el máximo esfuerzo ( $\sigma$ ) mediante la ecuación (41).

$$\sigma = \frac{[F_n \cdot L + F_s(L - 0.125D_a) \cdot c]}{I} \quad (41)$$

Donde se selecciona un espesor arbitrario de 6 mm y altura de 60 mm en paleta para iniciar el cálculo de la inercia ( $I$ ) en la paleta con la ecuación (42),  $W$  es la altura de la paleta y  $t$  el espesor, por lo cual la inercia del elemento esta dado por:

$$I = \frac{W \cdot t^3}{12} \quad (42)$$
$$I = \frac{60mm \cdot (6mm)^3}{12} = 1080mm^4$$

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación (41) y longitud de paleta de 180mm, excluyendo el diámetro del eje, se tiene:

$$\sigma = \frac{[94.22N \cdot 77.54mm + 753.71N(77.54mm - 0.125 \cdot 180mm) \cdot 3mm]}{1080mm^4}$$

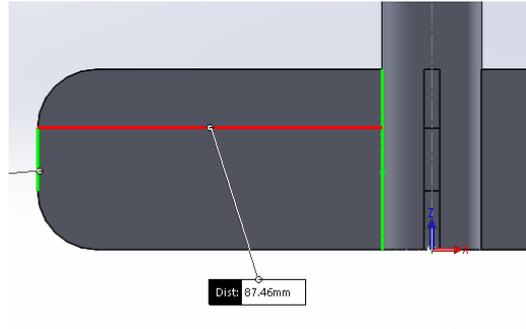
$$\sigma = 123.73N / mm^2$$

Se comprueba el factor de seguridad ( $FS$ ) para comprobar mediante la ecuación (43) que el elemento se encuentre dentro del parámetro y trabaje bajo las condiciones de diseño de esfuerzo admisible ( $\sigma_{adm}$ ).

$$\sigma = \frac{\sigma_{adm}}{FS} \quad (43)$$

$$FS = \frac{\sigma_{adm}}{\sigma} = \frac{206N / mm^2}{135.52N / mm^2} = 1.66$$

Este resultado muestra que el espesor de paleta de 6 mm y una altura de 60 mm y soldado al eje del agitador con una distancia de paleta de 87.46 mm representados en la figura 28, se encuentra dentro del parámetro y que el esfuerzo aplicado es el adecuado para el elemento.



**Figura 28.** Geometría de paleta.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

### Deformación angular por torsión

El módulo corte transversal es una variable dependiente que expresa el cambio de forma que relaciona la tensión de carga transversal y la deformación torsional del elemento en su forma elástica cuando se aplican esfuerzos cortantes. Se puede considerar el ángulo de torsión que se deforma entre 2 secciones longitudinales del árbol con respecto al eje y separadas una longitud  $L_e$  con la ecuación (44).

$$\theta = \frac{T_m \cdot L_e}{G \cdot J} \quad (44)$$

Donde,  $\theta$  es el ángulo de deformación expresada en grados,  $T_m$  es el momento de torsión entregado por el motor,  $J$  es el momento torsional de inercia,  $G$  equivale al módulo de elasticidad transversal,  $E$  es el módulo de Young presentado en la Tabla 3 y  $\mu$  es el coeficiente de Poisson.

Se determina el momento torsional de inercia ( $J$ ) con la ecuación (45), donde  $D$  expresa diámetro del eje del agitador.

$$J = \frac{\pi \cdot D^4}{32} \quad (45)$$

$$J = \frac{\pi \cdot (25mm)^4}{32} = 38349.5mm^4$$

Se halla el módulo de elasticidad transversal ( $G$ ) con la ecuación (46).

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)} \quad (46)$$

$$G = \frac{193 \times 10^3 \text{ N/mm}^2}{2(1+0.3)} = 74230.8 \text{ N/mm}^2$$

Entonces se reemplazan los valores calculados previamente en la ecuación (44) para obtener el ángulo de deformación en el agitador.

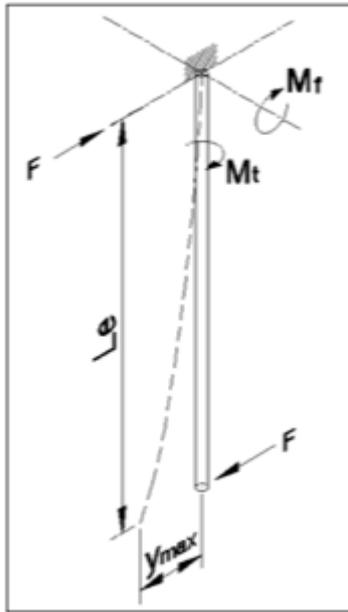
$$\theta = \frac{118,41 \times 10^3 \text{ Nmm} \cdot 500 \text{ mm}}{74230,8 \text{ N/mm}^2 \cdot 38349 \text{ mm}^4}$$

$$\theta = 0,020 \text{ rad} \times \frac{180^\circ}{\pi \text{ rad}} = 1.19^\circ$$

Por lo tanto, el ángulo de deformación por torsión es de  $1.19^\circ$  con respecto al eje del árbol que en este caso es mínimo debido a la baja potencia y velocidad que se generación al momento del accionamiento del motor.

### **Identificación de esfuerzos (DCL)**

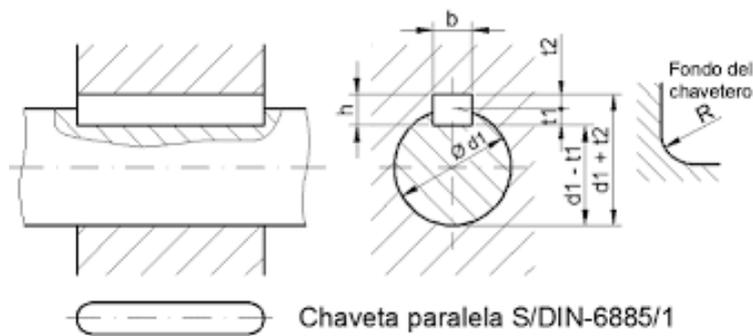
El agitador es sometido a fuerzas generadas por el empuje de las paletas sobre el producto en los cuales se generan fuerzas por la reacción del fluido sobre los alabes del agitador, los cuales provocan momentos y esfuerzos que se deben identificar y estudiar analíticamente para el correcto diseño de los elementos mecánicos. Ver figura 29.



**Figura 29.** Representación de fuerzas en el eje del agitador como cuerpo libre [34].

### 3.16. Selección de chavetas

La chaveta es un componente mecánico necesario para la transmisión de cargas de un elemento a otro, se utiliza en el prototipo para unión entre el eje del agitador y el motor, teniendo en cuenta el material y el dimensionamiento de la Figura 30, para contrarrestar el cizallamiento, corrimiento de piezas o desgaste por fricción. Es necesario dimensionar para que pueda transmitir del mismo modo el momento de torsión del eje mediante cálculos por esfuerzos cortantes y aplastamiento. Se usará la norma DIN-6885/1 que se encuentra en el anexo 4.



**Figura 30.** Chaveta paralela S/DIN-6885/1 [35].

Para seleccionar la chaveta se utiliza la Tabla 13 donde se presenta las dimensiones de altura, ancho y largo en función del diámetro del eje, en este caso de 25mm y de esta manera se selecciona las dimensiones de la chaveta.

**Tabla 13.** Chavetas paralelas DIN-6885 [35].

<b>Chavetas paralelas DIN-6885 (mm)</b>					
<b>Diámetro de eje</b>	<b>Ancho</b>	<b>Alto</b>	<b>Con juego aprieto en eje</b>	<b>Con juego aprieto en agujero</b>	<b>Longitud de chaveta</b>
d (min-máx)	B	h	t1	t2	L(min-máx)
	8	5	3.1	1.4	30
22-30	8	7	4	2.4	40
	8	8	5	3.3	45

Se selecciona una chaveta paralela tipo A con extremos redondeados, y se pueden utilizar tres medidas normalizadas de chavetas para un diámetro de 25 mm, para precisar la elección se tomará en cuenta los esfuerzos que actuaran sobre la chaveta [33].

La chaveta usada será la de 8x7 con una longitud  $L$  que será calculada mediante las ecuaciones de esfuerzo cortante y cizallamiento.

#### **Longitud de chaveta por momento par**

La acción de la fuerza tangencial ( $F$ ) sobre el eje resulta del torque aplicado que tiende a cizallar el material de la chaveta, la fuerza de corte se puede calcular con la ecuación (47).

$$F = \frac{2 \cdot Tm}{d} \quad (47)$$

$$F = \frac{2 \cdot 1198.63N \cdot m}{0.025m} = 9570.4N$$

Para establecer el esfuerzo de corte permisible actuante en la chaveta, según Tresca [42], se utilizará la teoría de falla por esfuerzo corte máximo ( $\tau_{corte}$ ) se obtiene con la ecuación (48).

$$\tau_{corte} = 0.5 \cdot S_y \quad (48)$$

$$\tau_{corte} = 0.5 \cdot 206 \times 10^6 N / m^2 = 103 \times 10^6 N / m^2$$

Obtenido el esfuerzo cortante para el dimensionamiento de la longitud de la chaveta de acero inoxidable 304 con las dimensiones de ancho (b) y largo (L) de la chaveta que fueron seleccionadas previamente, en la igualdad del esfuerzo permisible y el esfuerzo de diseño se usa la ecuación (49).

$$\tau_{corte} = \frac{F}{b \cdot L} \quad (49)$$

$$103 \times 10^6 N / m^2 = \frac{9472.8 N}{0.008 m \cdot L}$$

$$L = 0.0115 m$$

Por lo cual, al despejar el factor  $L$  de la expresión, la longitud calculada es de 11.5 mm al cual por recomendación para aumentar el factor de seguridad se le puede sumar 8 mm de la dimensión de altura para obtener una longitud efectiva total de 19.5 mm en la chaveta.

La chaveta de tipo A según DIN 6885 es de ancho 8 mm, altura 7 mm y de longitud de 25 mm, es idóneo para resistir el par torsional a la que será dependiente.

### 3.17. Cálculo de reacciones en la estructura

La estructura requiere características que aseguren la estabilidad de los elementos donde se soportará el tanque, motorreductor con eje agitador y panel eléctrico, se requiere calcular los pesos y cargas actuantes resumidas en la tabla 14, para determinar si el elemento estructural seleccionado es adecuado. La estructura estará soportada en 4 columnas de tubo cuadrado de 60x60x2 mm de acero inoxidable y debe tener el espacio suficiente para el ingreso del agitador y el volteo de la marmita.

**Tabla 14.** Masas de los elementos.

<b>Elemento</b>	<b>Masa (kg)</b>
Tanque	9.83
Chaqueta	10.25
Fondo	2.53
Eje	6.28
Paletas	0.50
Leche (50 L)	53.95
Agua	31.35
Motorreductor	25
Otros	3.30
<b>Total</b>	<b>139.69 kg</b>

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

Los cuales se localizan en diferentes puntos de la estructura, estas masas se relacionan con el peso de cada elemento. La magnitud que soporta los tubos horizontales trabajará en el elemento como tipo viga y estarán distribuidos en la mitad de la longitud que conforma esta sección del soporte. Mientras que el peso del tanque con la chaqueta, leche y agua actuarán sobre las columnas de la estructura.

Por lo tanto, es necesario efectuar el cálculo del peso total en los 2 elementos horizontales donde se posicionará el centro de inercia del agitador y motorreductor. En la fuerza actuante sobre las columnas son causados por el tanque con chaqueta, leche y agua usado para el calentamiento del agua.

Se calcula el peso de cada elemento mencionado mediante la ecuación (50).

$$W = m \cdot g \quad (50)$$

Por lo tanto, el peso de cualquier elemento está en función del producto entre la masa de cada elemento y la gravedad.

Peso de leche:

$$W_{leche} = m_{leche} \cdot g$$

$$W_{leche} = 529.25 \text{ N}$$

Peso de agua:

$$W_{leche} = m_{leche} \cdot g$$

$$W_{leche} = 307.54 \text{ N}$$

Peso de tanque con chaqueta:

$$W_{tanque} = m_{tanque} \cdot g$$

$$W_{tanque} = 221.80 \text{ N}$$

Los cuáles serán los pesos que actúan directamente en las columnas del soporte, por lo que sumando estos valores tendremos el valor para posteriormente analizar de forma estática.

Peso total en columnas:

$$W_{tc} = 1058.6 \text{ N}$$

Los esfuerzos que actúan en la viga transversal que une las columnas son las del tanque, chaqueta, leche y agua de calentamiento que se encuentra entre la chaqueta y tanque interno.

Peso de eje con aletas:

$$W_{eje} = m_{eje} \cdot g$$

$$W_{eje} = 66.51 \text{ N}$$

Peso de Motorreductor:

$$W_{red} = m_{red} \cdot g$$

$$W_{red} = 245.25 \text{ N}$$

Entonces al sumar estos valores tendremos la magnitud del peso total que actúa en la viga de la estructura

$$W_{tv} = 311.75 \text{ N}$$

Para la resolución de los elementos en el D.C.L. se analizará de forma estática con las ecuaciones de la sumatoria de momentos y de fuerzas con las ecuaciones de equilibrio estático ; ecuación (51) y (52).

$$\Sigma M = 0 \tag{51}$$

$$\Sigma F = 0 \tag{52}$$

Elemento AB:

$$\circlearrowleft \Sigma M_A = M_B - M_{O1} = 0$$

$$540 \text{ mm} \cdot R_B - 270 \text{ mm} \cdot 155.88 \text{ N} = 0$$

$$R_B = 77.94 \text{ N} \uparrow$$

$$\uparrow \Sigma F_y = R_A - 155.88 \text{ N} + R_B = 0$$

$$R_A = 77.94 \text{ N} \uparrow$$

Elemento CD=AB:

$$\circlearrowleft \Sigma M_C = M_D - M_{O2} = 0$$

$$540 \text{ mm} \cdot R_D - 270 \text{ mm} \cdot 155.88 \text{ N} = 0$$

$$R_D = 77.94 \text{ N} \uparrow$$

$$\uparrow \Sigma F_y = R_C - 155.88 \text{ N} + R_D = 0$$

$$R_C = 77.94 \text{ N} \uparrow$$

Elemento EF:

$$\circlearrowleft \Sigma M_E = M_F - M_A - M_c = 0$$

$$420 \text{ mm} \cdot R_F - 155 \text{ mm} \cdot 77.94 \text{ N} - 265 \text{ mm} \cdot 77.94 \text{ N} = 0$$

$$R_F = 77.94 \text{ N} \uparrow$$

$$\uparrow \Sigma F_y = R_E - 77.94 \text{ N} - 77.94 \text{ N} + 77.94 = 0$$

$$R_E = 77.94 \text{ N} \uparrow$$

Elemento IJ=EF

$$\circlearrowleft \Sigma M_I = M_J - M_B - M_D = 0$$

$$R_J = 77.94 \text{ N} \uparrow$$

$$R_I = 77.94 \text{ N} \uparrow$$

Elemento EG:

$$R_G = R_E = 77.94 \text{ N}$$

Elemento GH:

$$\circlearrowleft \Sigma M_G = M_H - M_{O3} = 0$$

$$420 \text{ mm} \cdot R_H - 210 \text{ mm} \cdot 529.3 \text{ N} = 0$$

$$R_H = 264.65 \text{ N} \uparrow$$

$$\uparrow \Sigma F_y = R_G - 529.3 \text{ N} + 264.65 = 0$$

$$R_E = 264.65 \text{ N} \uparrow$$

La fuerza mayor aplicada es de 264.65 N en el elemento *GH* y *KL* que son iguales en geometría, ubicadas en los nodos *O3* y *O4*, respectivamente, los cuales son los puntos que tienden a fallar en la estructura principal para las cuales la soldadura TIG de filete debe cumplir con la resistencia mínima. De modo que se necesita definir la garganta de soldadura, altura y longitud aplicando la ecuación (53).

$$GT = \frac{F_{\max}}{Rt \cdot l} \quad (53)$$

Donde:

*GT* = Garganta teórica del filete [mm]

*F<sub>máx</sub>* = Fuerza máxima ejercida = 264.65 [N]

*Rt* = Resistencia a tracción del electrodo = 560 [Mpa]

*l* = Longitud del ancho del filete por perfil rectangular = 40 [mm]

Obteniendo a partir de estos datos:

$$GT = 0.0117 \text{ mm}$$

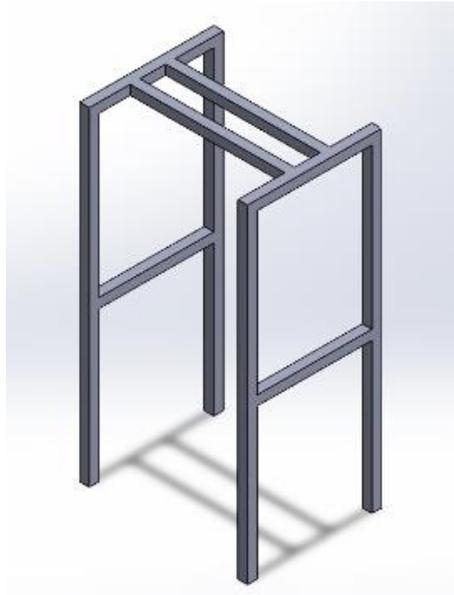
Posteriormente se requiere la altura de filete para este caso se utilizará la ecuación (54):

$$W = \frac{GT}{0.05071} \quad (54)$$

$$W = 0.23 \approx 1 \text{ mm}$$

### **Diseño estructural de marcos rígidos**

Una vez determinada las cargas y las fuerzas que actuarán sobre la estructura que se muestra en la figura 31, el cual estarán detallados las dimensiones para la construcción del soporte según los planos generados para desarrollar este prototipo.



**Figura 31.** Soporte de prototipo.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

Los elementos estructurales trabajan soportando por las cargas transversales y momentos en los extremos. Para determinar la esbeltez del elemento estructural cargado axialmente se define con la ecuación (55).

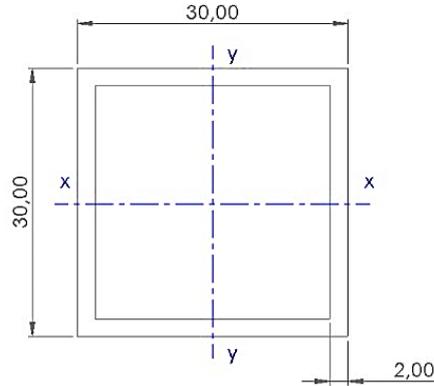
$$\lambda = \frac{kl}{r_{min}} \quad (55)$$

Donde la esbeltez está relacionada con el factor  $k$  de 0.65 de la longitud efectiva al estar en empotramiento por ambos extremos y actúa bajo compresión, el factor  $k$  se lo define en la Tabla 15 mencionado por McCormack para columnas [34].

**Tabla 15.** Factor de longitud efectiva [37].

Longitudes efectivas de columnas						
Las líneas interrumpidas muestran la forma pandeada de la columna	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
<b>Valor <math>K</math> teórico</b>	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones son parecidas a las ideales.	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0

La Figura 32 representa la sección transversal del perfil cuadrado de acero inoxidable para la estructura al cual será calculado para soportar las cargas del elemento, y la longitud establecida en sus extremos que se plantean como empotrados.



**Figura 32.** Corte transversal de tubo cuadrado.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

Donde el área total del tubo cuadrado y la inercia del elemento estructural, se pueden calcular según las ecuaciones (56) y (57).

$$A_t = b \times h \quad (56)$$

$$I_x = I_y = \frac{1}{12} b h^3 - \frac{1}{12} b_i h_i^3 \quad (57)$$

Para dimensiones de tubo de 30x30mm ( $b$  y  $h$ ) y un espesor de 2 mm, para lo cual se determinan numéricamente que el área total del perfil ( $A_t$ ) cuadrado es de 224 mm<sup>2</sup> y la resistencia al cambio de movimiento es de 29418.7 mm<sup>4</sup>.

El radio de giro mínimo ( $r_{min}$ ) del elemento estructural se calcula mediante la expresión matemática (58) a partir de los valores de la inercia de la sección ( $I$ ) y el área total ( $A_t$ ) de la sección transversal [44].

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_x}{A_t}} \quad (58)$$

$$r_{min} = \sqrt{\frac{29418.7 \text{ mm}^4}{224 \text{ mm}^2}} = 11.46 \text{ mm} = 0.4511 \text{ pulg}$$

Con el radio de giro mínimo calculado, se determina la esbeltez ( $\lambda$ ) a partir del valor teórico  $k$  y la longitud equivalente ( $l$ ) con la ecuación (59) con los valores expresados en pulgadas.

$$\lambda = \frac{kl}{r_{min}} \quad (59)$$

$$\lambda = \frac{0.65 \cdot 39.37 \text{ pulg}}{0.4499 \text{ pulg}} = 56.88$$

La esbeltez en elementos sometidos a carga de compresión debe ser menores a 200, y se procede a encontrar en el manual de diseño AISC la tensión admisible de compresión mediante interpolación en la tabla 16 del valor de esbeltez.

**Tabla 16.** Relación de esbeltez [37].

$kl/r$	$F_y=36\text{ksi}=F_a$
58	18.10
56.88	18.32
59	17.90

Una vez calculado el valor del esfuerzo admisible ( $F_a$ ) que es te caso es de 18.32 ksi, donde se puede establecer la fuerza máximo que puede soportar la estructura con la ecuación (60) de elementos con esfuerzos a compresión.

$$f_a = \frac{P}{A_t} = F_A \quad (60)$$

Donde el esfuerzo real de compresión ( $f_a$ ) será igual al esfuerzo de compresión permisible ( $F_a$ ) para determinar la fuerza máxima.

$$P = F_A \cdot A_t$$

$$P = 18.32\text{ksi} \cdot 0.3472\text{in}^2 = 6.36\text{klb} = 2880\text{kg}$$

Entonces, la carga total soportada de 129.44 kg es menor a 2880 kg como la carga máxima que puede ser soportado por el elemento.

### 3.18. Cálculo de resistencias eléctricas

La pasteurización requiere que temperatura en la leche sea mayor a 62 °C para poder eliminar los patogénicos del fluido, se realiza el calentamiento del agua dentro de la chaqueta de la marmita mediante resistencias eléctricas (niquelinas). Sin embargo, se debe tener en cuenta consideraciones de operación:

- La temperatura inicial de la leche al ingresar al tanque interior es de 9°C
- El tiempo del proceso de pasteurización es de 30 min
- El calor específico de la leche cruda es de 3.79 kJ/kg·K

Por lo que, la potencia eléctrica requerida de la resistencia se obtiene mediante la ecuación (61).

$$\dot{Q} = \frac{m}{t} C_p \Delta T \quad (61)$$

Donde,  $\dot{Q}$  es el calor necesario para calentar 50 litros de leche cruda,  $m$  es la masa del producto lácteo,  $t$  es el tiempo necesario para el proceso,  $C_p$  es la capacidad calorífica específica de la leche y  $\Delta T$  es la diferencia de temperaturas [45].

$$\dot{Q} = \frac{53.95kg}{1800s} \cdot 3.79 \text{ kJ} / \text{kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (62 - 10)^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q} = 5.90 \text{ kJ} / \text{s} = 5.90 \text{ kW}$$

Para el control de la resistencia eléctrica se usa un transductor de temperatura PT 100 que permite la lectura de la temperatura y permite establecer una señal eléctrica para programar un sistema retroalimentado que admite mantener un rango de temperatura para el proceso de pasteurización.

A continuación, la tabla 17 contiene las especificaciones de los elementos que serán soldados y formarán parte del equipo.

**Tabla 17.** Especificaciones de equipo.

Definición	Especificación	Símbolo de unidad
Capacidad volumétrica	50	l
Presión interior de diseño	60	psi
Trabajo motorreductor	0.5	hp
Ingreso/Salida de agua	¾	plg
Entrada válvula de seguridad	Neplo macho ¾	plg
Descarga de encamisado	Neplo macho ¾	plg
Tipo de soldadura	TIG	
Paletas de agitador	Platina 3	mm
Estructura principal	Perfil cuadrado 30x1,5	mm

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

### 3.19. Diseño del Sistema de descarga

Para el sistema de volteo se demanda únicamente del accionamiento manual, por lo que la velocidad de giro del tornillo sin-fin carece de importancia para los cálculos en este caso.

Los módulos de transmisión de potencia para la fabricación de coronas se encuentran normalizados 3,4,5,6,8 y 10 mm para transmisión de potencia, mientras que el número de entradas en el tornillo sin fin se encuentran entre 1 y 8 en dependencia de la velocidad de rotación angular en la salida de la corona. Por último, para la selección del número de dientes en la rueda tipo A de acuerdo con la fuerza aplicada necesario para la transmisión de desplazamiento angular.

Para sistemas de transmisión de potencia o de rotación Rodríguez [35] indica que se requiere un tornillo de potencia con autobloqueo como condición para que el movimiento sea únicamente cuando se aplica una fuerza torsional que permita el giro entre la corona y el eje del tornillo sin fin, conocidos como tornillos irreversibles.

Según Larburu [36] el módulo para una corona de 20 dientes es la fresa número 3. Por lo que los parámetros para el cálculo del tornillo para verter 50 litros de leche son:

Módulo ( $M$ ) = 3

Número de entradas del tornillo ( $n$ ) = 1

Número de dientes de corona ( $z$ ) = 20 dientes

#### Cálculo del tornillo sin fin

Para el cálculo del paso se usará la ecuación (62).

$$P = \pi \cdot M \quad (62)$$

$$P = 9.42 \text{ mm}$$

Altura del diente en el tornillo, ecuación (63).

$$H = 2.167 \cdot M \quad (63)$$

$$H = 6.50 \text{ mm}$$

Diámetro primitivo, ecuación (64).

$$dp = [8 \text{ a } 12] \cdot M \quad (64)$$

Se selecciona el valor de 10 para el cálculo del diámetro primitivo, el cual es cilindro teórico que permanece en contacto tangencialmente

$$dp = 30 \text{ mm}$$

Diámetro exterior, ecuación (65).

$$de = dp + 2M \quad (65)$$

$$de = 36 \text{ mm}$$

Diámetro interior, ver ecuación (66).

$$di = de - 2H \quad (66)$$

$$di = 22.99 \text{ mm}$$

Ángulo de filete, ecuación (67).

$$\alpha = \tan^{-1} \left[ \frac{Mn}{dp} \right] \quad (67)$$

$$\alpha = 5.71^\circ$$

Espesor, ver ecuación (68).

$$e = \frac{P}{2} \quad (68)$$

$$e = 4.71 \text{ mm}$$

Espacio entre filetes, con la ecuación (69).

$$c = \frac{P}{2} \quad (69)$$

$$c = 4.71 \text{ mm}$$

Altura del pie del diente, ecuación (70).

$$l = M \quad (70)$$

$$l = 3 \text{ mm}$$

Ángulo beta, con la ecuación (71).

$$\beta = 14.5^\circ \quad (71)$$

Ancho fondo de filete, a través de la ecuación (72).

$$\alpha = \left[ \left( \frac{P \cdot \cot \beta}{4} \right) - l \right] (2 \cdot \tan \beta) \quad (72)$$

$$\alpha = 2.90 \text{ mm}$$

Longitud de la parte roscada, ver ecuación (73).

$$Lr = p \left[ 4.5 + \left( \frac{N}{50} \right) \right] \quad (73)$$

$$Lr = 46.18 \text{ mm}$$

Extremo sin rosca, con la ecuación (74).

$$F = P \quad (74)$$

$$F = 9.42 \text{ mm}$$

Radio de la cabeza, mediante la ecuación (75).

$$R = 0.05 \cdot P \quad (75)$$

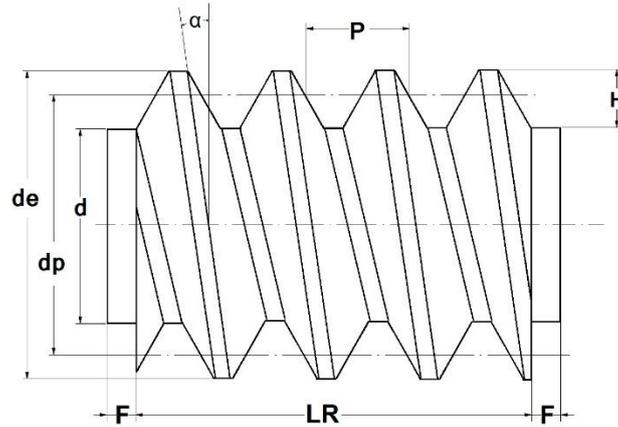
$$R = 0.47 \text{ mm}$$

Angulo delta, ver ecuación (76).

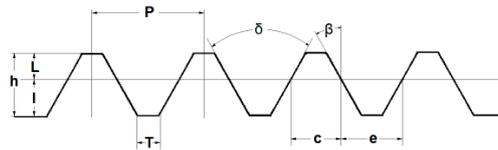
$$\delta = 2 \cdot \beta \quad (76)$$

$$\delta = 29^\circ$$

Con los cálculos matemáticos ejecutados se obtienen las medidas geométricas que permiten la elaboración del tornillo sinfín mostrados en la Figura 33 y las dimensiones que se requieren para el perfil de la rosca en la figura 34.



**Figura 33.** Dimensiones del tornillo [35].



**Figura 34.** Dimensiones del perfil de rosca [35].

### Cálculo de dimensiones de corona

Diámetro primitivo de la rueda, con la ecuación (77).

$$dp = M \cdot N \quad (77)$$

$$dp = 60 \text{ mm}$$

Diámetro de la rueda dentada, ver ecuación (78).

$$de = dp + 2M \quad (78)$$

$$de = 66 \text{ mm}$$

Paso, mediante la ecuación (79).

$$P = \pi \cdot M \quad (79)$$

$$P = 9.42 \text{ mm}$$

Altura del diente en rueda, ver ecuación (80).

$$H = 2.167 \cdot M \quad (80)$$

$$H = 6.50 \text{ mm}$$

Diámetro mayor y sobre aristas para tornillo de filete simple, ver ecuación (81).

$$D_1 = de + 0.4775 \cdot P \quad (81)$$

$$D_1 = 70.50 \text{ mm}$$

Anchura de piñón para tornillo de filete simple, con la ecuación (82).

$$A = 6 + 2.38 \cdot P \quad (82)$$

$$A = 28.43 \text{ mm}$$

Concavidad periférica, ver ecuación (83).

$$R = 0.5 \cdot dp - M \quad (83)$$

$$R = 12 \text{ mm}$$

Radio de la cabeza, con la ecuación (84).

$$r = 0.25 \cdot P \quad (84)$$

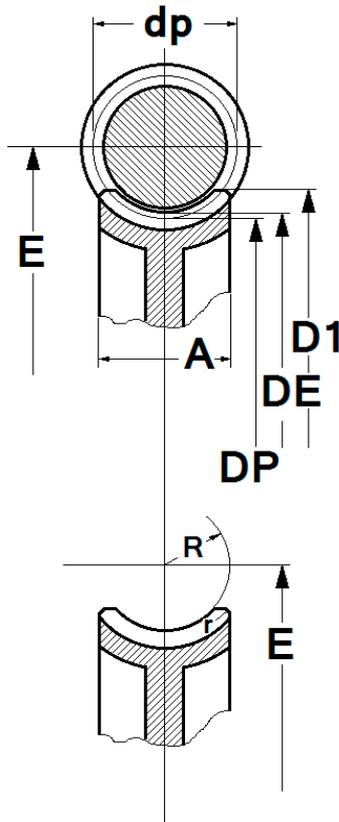
$$r = 2.36$$

Distancia entre puntos, a través de la ecuación (85).

$$E = \frac{dp_{rueda} + dp_{tornillo}}{2} \quad (85)$$

$$E = 45 \text{ mm}$$

La figura 35 representa el conjunto mecánico de tornillo sin fin y coronal, las cuales serán de material antigripante como para la corona, estos generalmente son de bronce especializado; los tornillos sin fin serán de acero templado o cementado.



**Figura 35.** Geometría de tornillo sin fin y corona [35].

### 3.20. Diseño de conexiones soldadas

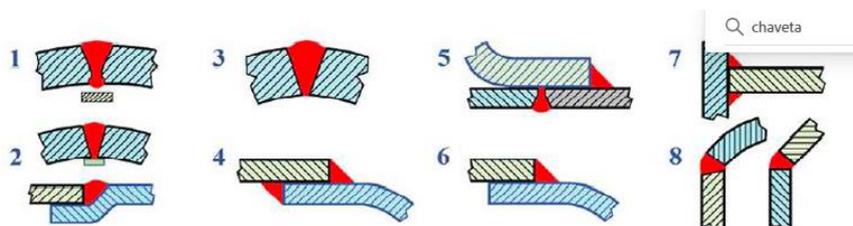
El cálculo de los cordones del proceso de soldadura en el tanque se realiza mediante la junta soldadura tipo ranura, considerando el límite elástico del material, por lo que mediante el prediseño se puede elegir el factor de seguridad en concordancia con el tipo de carga a someterse mostradas en la tabla 18.

**Tabla 18.** Factores de carga y esfuerzos permisibles.

Tipo de esfuerzo	Tipo de junta	Esfuerzo permisible	n
Tensión	A Tope	0.60 Sy	2
Aplastamiento	A Tope	0.90 Sy	1,
Flexión	A Tope	0.60 - 0.66 Sy	1.52 - 1.67
Compresión Simple	A Tope	0.60 Sy	2
Cortante	A Tope o Filete	0.30 Sut	

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

La selección adecuada de la unión soldada es crítica por el tipo de trabajo a presión moderada, mediante la técnica de soldadura TIG, el cual será unión a tope representado en el numeral 3 de la Figura 36, también conocida como sencilla en V.



**Figura 36.** Tipos de uniones soldadas [28].

### 3.21. Simulación

Mediante la simulación se muestran los datos obtenidos del software especializado aplicado al diseño de elementos de ingeniería, donde se podrá contrastar los valores teóricos en componentes mecánicos críticos del equipo como el espesor mínimo requerido para soportar la presión dentro de la chaqueta, esfuerzos localizados en el eje del agitador de paletas y cargas aplicadas sobre el soporte del tanque.

La Tabla 19 detalla las especificaciones del equipo para el análisis estático comprendido dentro de los parámetros indicados para la pasteurización de leche.

**Tabla 19.** Especificaciones de equipo.

Especificaciones técnicas	Detalle
Capacidad Total	65 [L]
Capacidad nominal	50 [L]
Diámetro	0.40 [m]
Altura total de tanque	0,48 [m]
Material	AISI 304
Espesor de tanque	2 [mm]
Tipo de fondo	Toriesférico
Peso total	129.44 [kg]

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

### **3.22. Análisis computacional estático**

La caracterización del proceso hace necesario que se determine las propiedades del equipo que evidenciarán los límites de resistencia a la cual estarán sometidos los elementos mecánicos que se determinaron previamente de forma analítica mediante los cálculos necesarios, con el objetivo de comprobar las condiciones iniciales planteadas se encuentren acorde a las especificaciones de la normativa para la pasteurización de productos alimenticios.

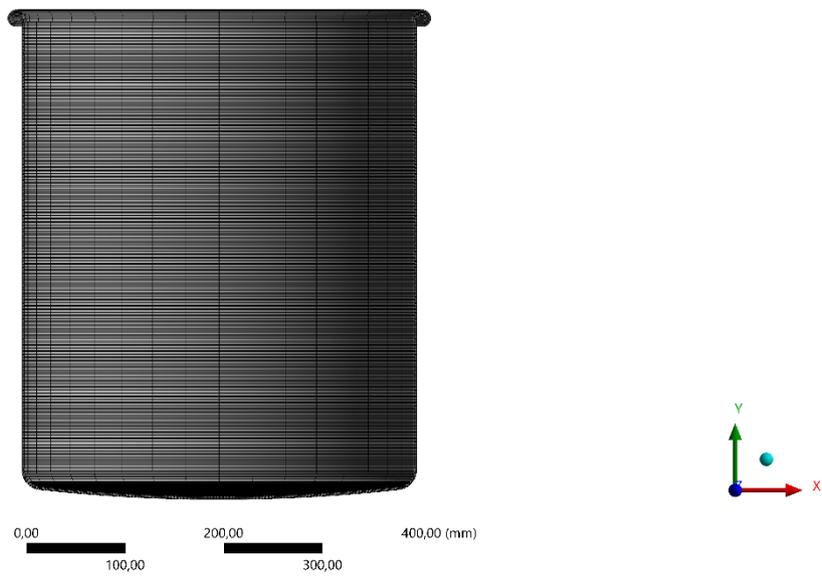
Para la obtención de datos y comparar se utilizará el software ANSYS 2022 considerando los parámetros de material, condiciones de trabajo y mallado para el análisis computacional requerido. La Figura 25 representa el tanque donde se encuentran el sistema de calentamiento y el tanque interno con las respectivas reacciones que provocan la presión hidrostática de la leche en el interior de los límites y la tapa inferior de 2 mm de espesor, para esto es necesario el análisis estático entre los esfuerzos que actúan de forma vertical y en sentido paralelo de la leche, incluida la presión del agua al ser calentado.

### **3.23. Técnicas de mallado**

La generación numérica de mallada a través de un conjunto de puntos es fundamental para solucionar mediante el uso del paquete computacional geometrías complejas o cuando la estructura se vuelve compleja. Al definir el tamaño de la malla permite que mediante ecuaciones diferenciales se encuentre solución y se presente de forma gráfica el punto crítico donde el diseñador debe enfocar los recursos para mejorar el diseño mecánico de ser requerido o únicamente comprobar que la selección de materiales fue el correcto.

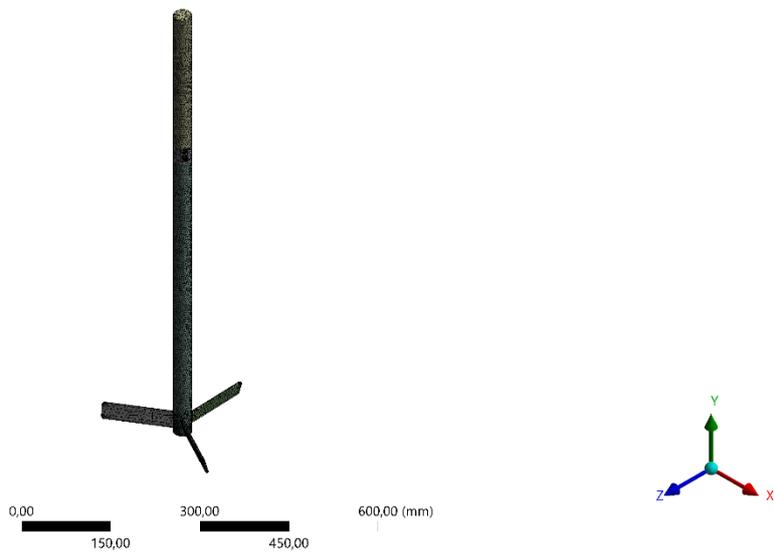
Un mallado de calidad implica que las soluciones tengan convergencia y se encuentre dentro del rango aceptable, por lo que el modelo CAD se importa y se selección el tamaño de malla consecuente para obtener resultados de forma precisa sin sacrificar el uso del procesador donde se esté realizando el análisis.

En la Figura 37 se muestra la calidad de mallado del tanque presentado por Matsson [37] donde el valor recomendado para el estudio comparativo debe estar en el rango de 0.70 y 1 en el espectro de la condición ortogonal de la malla. En las figuras 38 y 39 la malla respectiva será más finas para obtener datos comparativos por la geometría de los elementos.



**Figura 37.** Mallado en tanque.

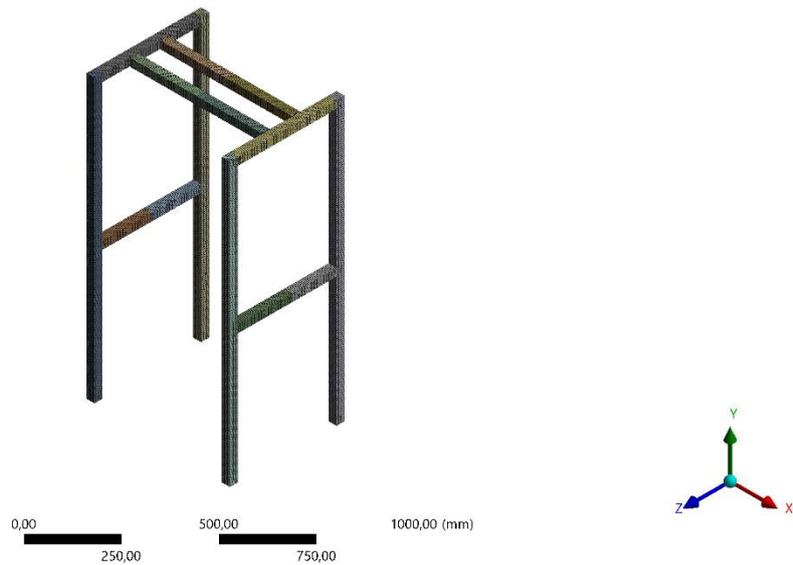
**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.



**Figura 38.** Mallado de eje.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

Mesh  
17/11/2022 14:44



**Figura 39.** Mallado de estructura.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

### Configuración

Las propiedades del acero inoxidable seleccionado dentro del software como material para los elementos del prototipo, es importante establecer los parámetros y comparar con los datos entregados por el proveedor de materiales.

**Tabla 20.** Cantidad de elementos del mallado en los componentes.

Componente	Nodos	Elementos
Tanque	26539	90511
Estructura	24079	82274
Eje	131050	167753

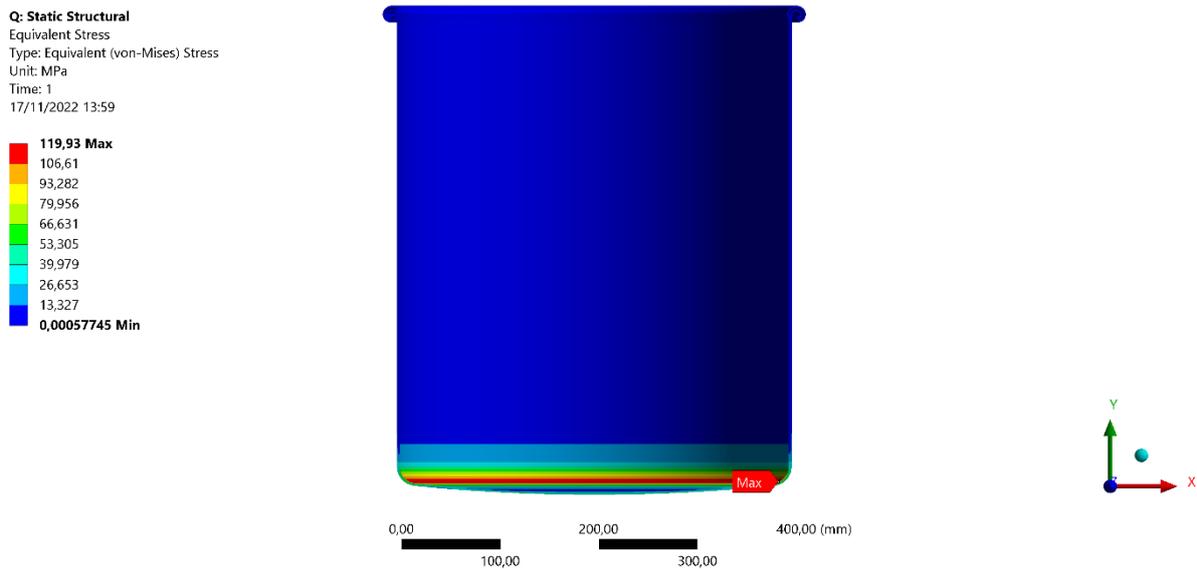
**Elaborado por:** Los autores

La generación del mallado de los alabes y tanque, ubicados en la tabla 20, se realizaron de forma aislada; debido a que el dominio del impulsor requiere una malla más extensa que el dominio del tanque para realizar un superior estudio en las zonas cercanas a las paletas del impulsor.

### 3.24. Análisis estático de tanque

#### Esfuerzo de Von Mises

En la Figura 40 se presenta las tensiones en forma grafica provocadas por la fuerza hidrostática máxima de 119.93 MPa en el fondo del tanque interno que sería el punto más crítico, de esta manera el análisis calculado de teoría de falla se encuentra por debajo del límite elástico  $S_y$  del acero inoxidable AISI 304 de 206 MPa, es decir, se verá afectado mínimamente y no provocaría fallas en la operación del tanque cuando equipo el equipo este en toda su capacidad.



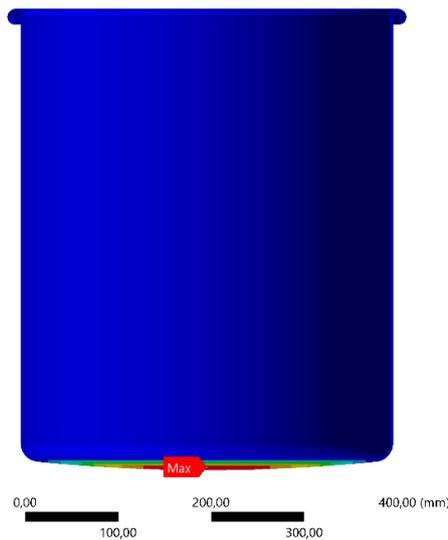
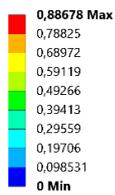
**Figura 40.** Simulación de esfuerzos en el tanque.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

#### Deformaciones

La Figura 41 es el efecto gráfico provisto de la simulación de los esfuerzos que actúan en el tanque de la marmita, donde se aprecia que la zona donde existe desplazamientos es en el fondo del tanque de diámetro 400 mm con una deformación máxima de 0.88 mm lo cual se puede considerar que afectara de una manera intrascendente a la estructura de la marmita.

Q: Static Structural  
Total Deformation  
Type: Total Deformation  
Unit: mm  
Time: 1  
17/11/2022 14:03



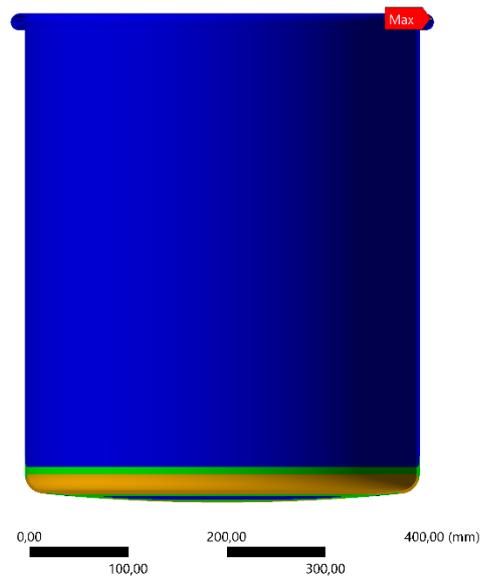
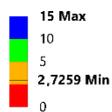
**Figura 41.** Simulación de deformación en el tanque.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

### Factor de seguridad

La simulación que se obtuvo en la Figura 42 representa la región con el mínimo del factor representado en la tapa torisférica inferior con una magnitud de 2.73 el cual es el factor mínimo recomendado por la ASME de 2, mismo donde también actúa las tensiones máximas.

Q: Static Structural  
Safety Factor  
Type: Safety Factor  
Time: 1  
17/11/2022 14:03



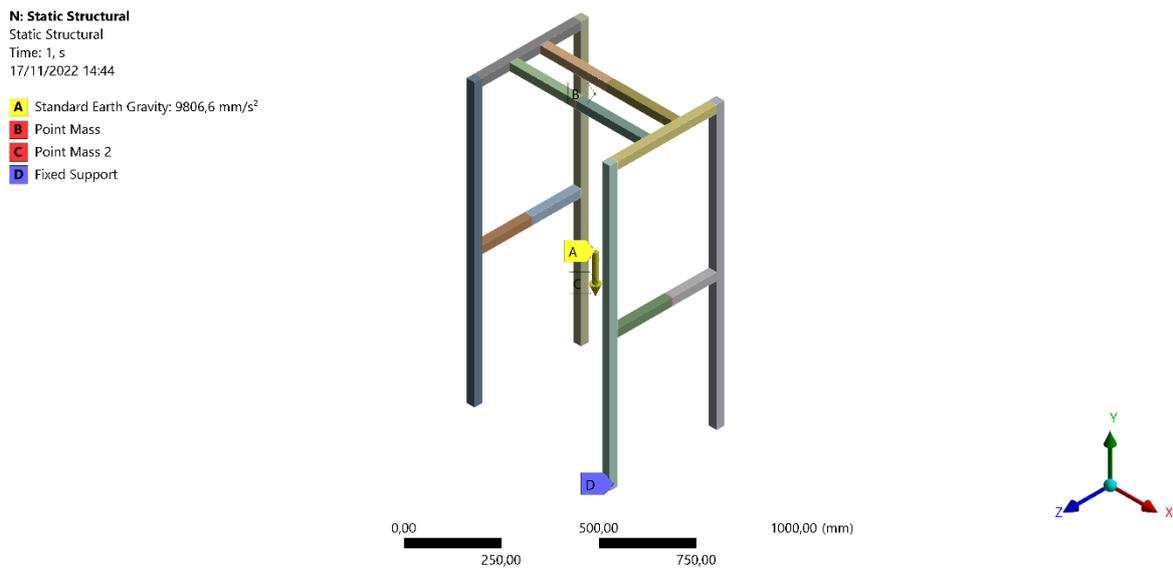
**Figura 42.** Simulación tanque y factor de seguridad

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

### 3.25. Análisis estático de estructura

La estructura del prototipo está conformada de perfil cuadrado de acero inox AISI 304 de 30x30x2mm. La Figura 43 representa el soporte donde se encuentran el sistema de agitación y el tanque con las respectivas reacciones que provocan el peso ejercido sobre el punto A y B de la estructura de acero inoxidable.

Las cargas muertas son consideradas aquellas que no cambiarán la magnitud de su peso y las cargas muertas si cambiarán el peso total como son las cargas de leche y agua de calentamiento representado específicamente en la etiqueta A.



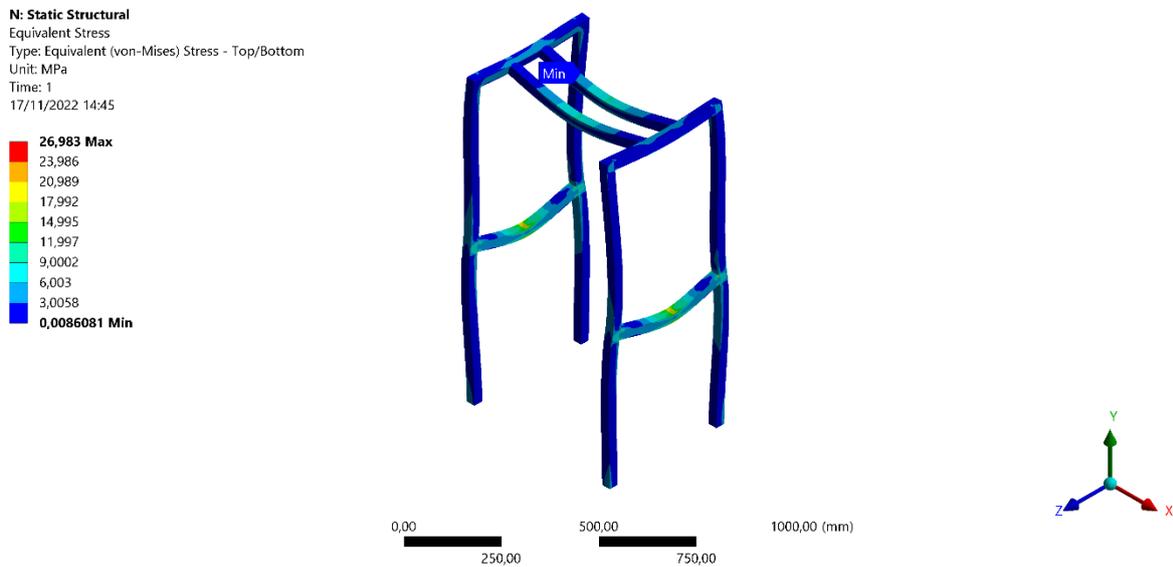
**Figura 43.** Configuración de esfuerzos en estructura.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

#### Esfuerzo de Von Mises

Dentro de la simulación en la estructura se definen los puntos donde actúan las cargas y puntos de apoyo para lo cual en la Figura 43 se distinguen las etiquetas correspondientes a 2 masas. Los apoyos en las 4 columnas las cuales soportan una carga total de 1058.6 N correspondientes a los pesos de la marmita y fluidos internos, además, de los pesos actuantes en los tubos superiores que actúan como vigas donde las cargas del motorreductor y eje actúan como una carga puntual de 311.75 N, por lo que las cargas transmitidas a la estructura se evalúan los esfuerzos máximos, deformaciones y factor de seguridad.

La Figura 44 presenta las resultas obtenidas con respecto a la estructura bajo carga del umbral superior, en el cual la mayor magnitud es de 26.98 MPa en los travesaños inferiores conectadas directamente con las columnas del soporte. Estas cargas no afectan de sobremanera a la estructura debido a que el límite elástico del AISI 304 es de 206 N/mm<sup>2</sup>, señalando que no tendrá lugar a una falla estructural.

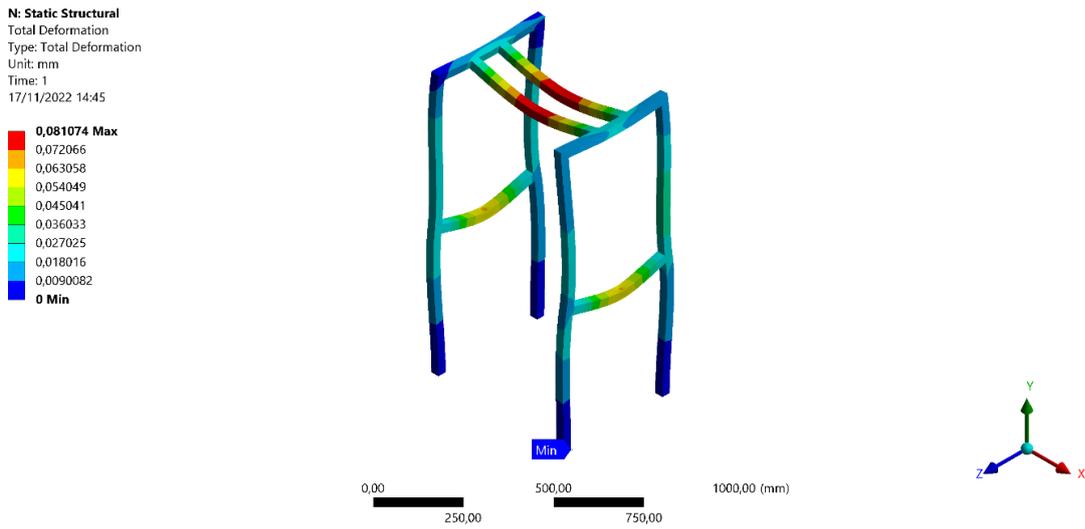


**Figura 44.** Simulación de esfuerzos de Von Mises en estructura.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

## Deformaciones

La Figura 45 es el producto obtenido de la simulación en los análisis de cargas de la estructura, donde se aprecia que la zona donde existe el mayor desplazamiento es en el travesaño inferior con una deformación máxima de 0.081 mm lo cual se puede considerar que afectará de una manera insignificante a la estructura de la marmita.

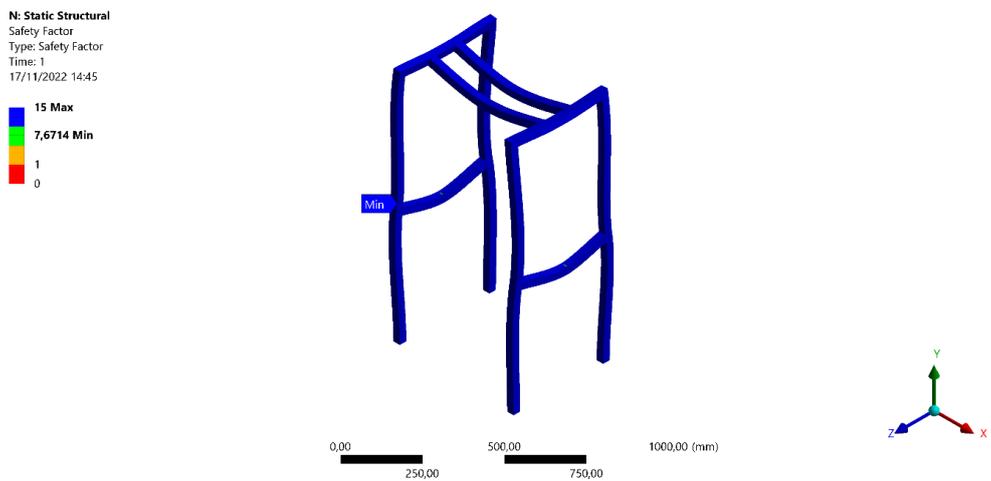


**Figura 45.** Simulación de deformación en estructura.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

### Factor de seguridad

En cuanto al factor de seguridad simulados se presentan en la Figura 46, donde se indica que la región con el valor mínimo del factor se encuentra en el travesaño horizontal inferior de 7.67, el cual es el factor mínimo recomendado por McCormac [38] de mayor o igual 1.5 de FS.

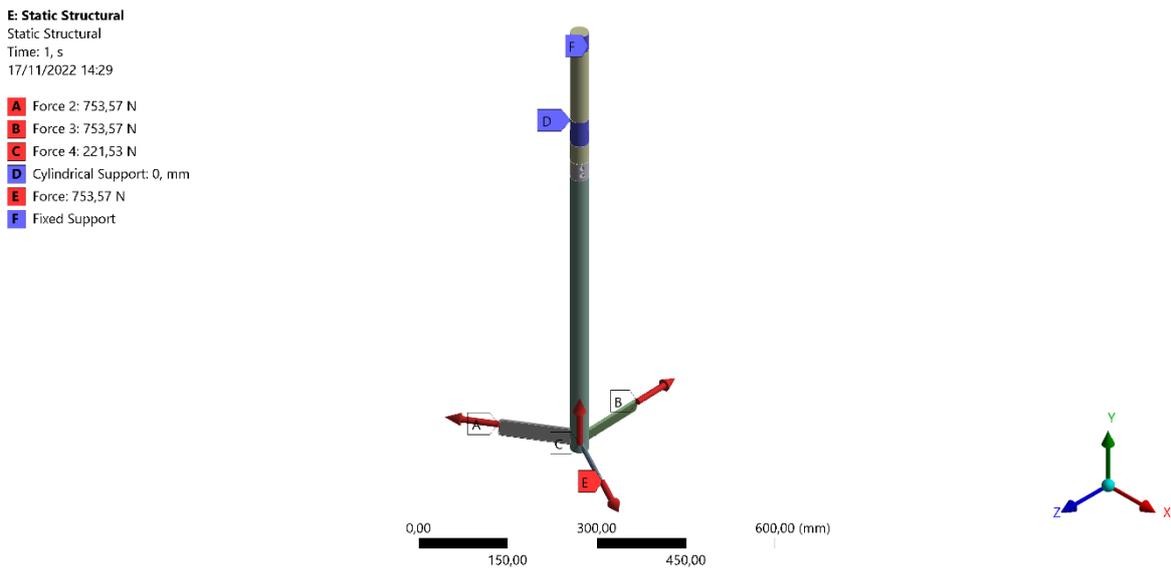


**Figura 46.** Simulación de factor de seguridad en estructura.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

### 3.26. Análisis estático de agitador

La ubicación de restricción de las cargas y soportes de la Figura 47, donde el punto F es la conexión que existe entre el eje y el motorreductor, el punto D es el soporte del buje con rodamiento entre la estructura y una placa colaborante para agregar rigidez a la longitud total del eje que restringen únicamente al movimiento de rotación del eje sin desplazamientos en los demás ejes de coordenadas, los esfuerzos A, B y F están en dirección radial en efecto al tipo de impulsor.

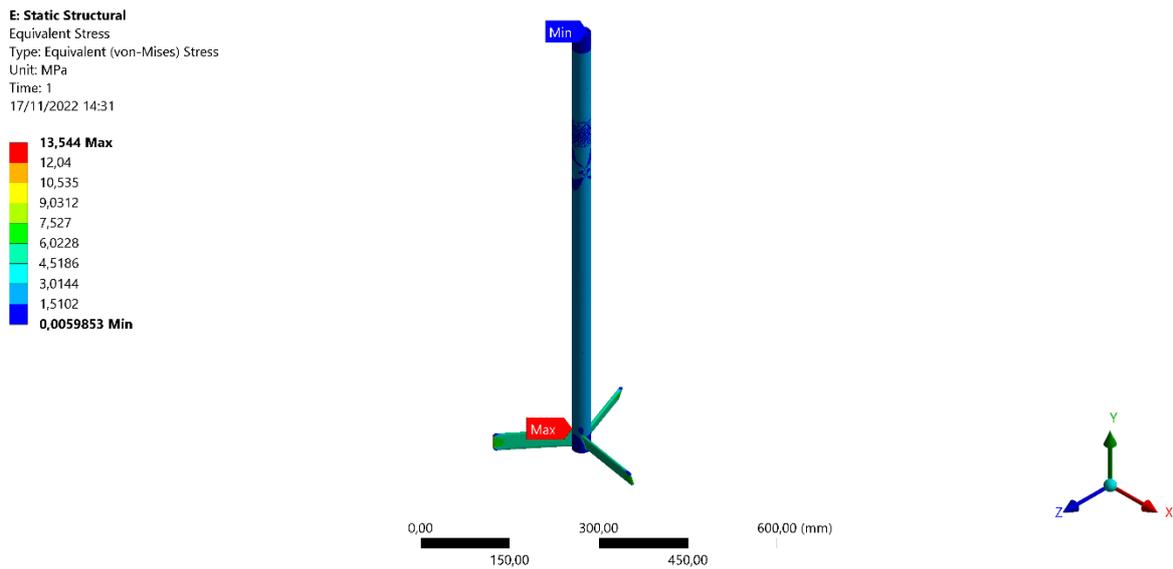


**Figura 47.** Configuración de agitador.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

### Esfuerzo de Von Mises

En función con los resultados de la figura 48, efectuados en el software ANSYS 2022 el valor umbral de cargas especificadas en el eje es de 13.54 MPa el cual es de acero inoxidable 304, siendo este ubicado en las uniones de las paletas con el eje del agitador, su esfuerzo de fluencia es de 206 MPa y su carga máxima permitida corresponde al 60 por ciento de la carga de rotura, es decir, de  $124.2 \text{ N/mm}^2$ , por lo que es evidente que el esfuerzo generado en el agitador cumple con requerimiento técnicos.

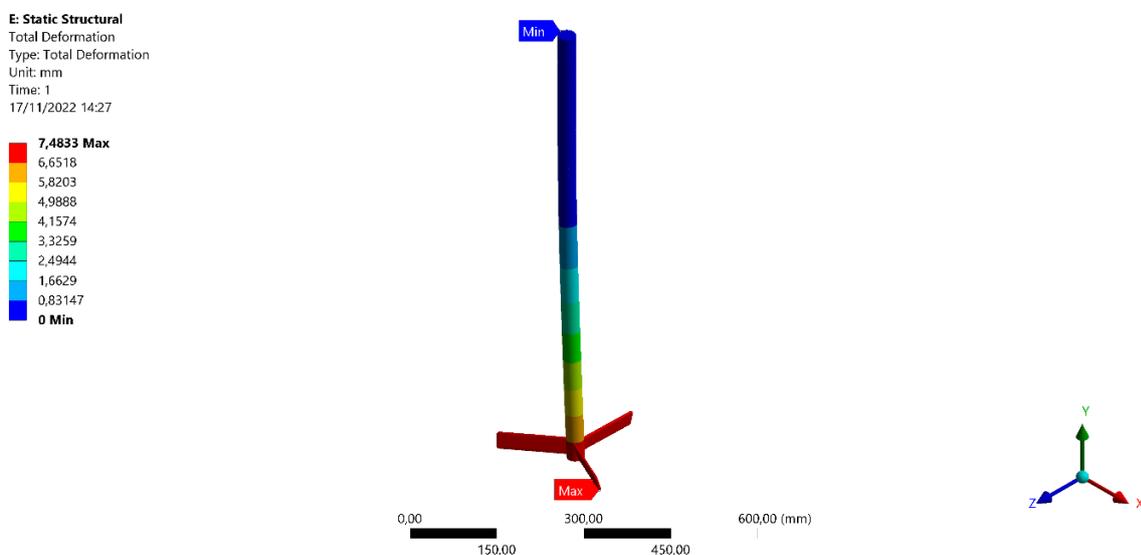


**Figura 48.** Simulación de esfuerzos de Von Mises en agitador.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

### Desplazamientos en el eje

La deformación umbral se observa gráficamente en la Figura 49, específicamente en el extremo inferior donde se ocasiona al contacto directo del fluido con las paletas, se obtiene mediante el análisis un desplazamiento de 7.48 mm, esta desviación se encuentra dentro del parámetro establecido de operación en este tipo de agitadores con ejes con extremos libres que es de 10 mm por metro lineal.

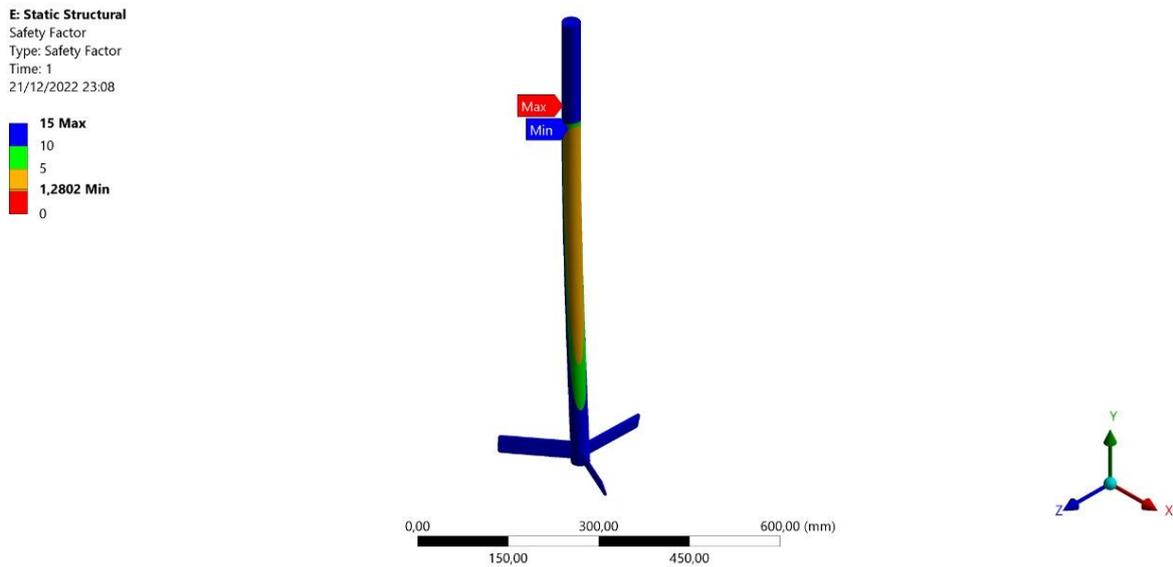


**Figura 49.** Simulación de deformación agitador.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

### Factor de seguridad eje

Los resultados provistos del software ANSYS de la figura 50, indican un factor de seguridad en todo el agitador con un valor mínimo de 1.28 ubicado en el punto donde soporta el buje para permitir una mayor rigidez en el eje, lo cual cumple en medida con lo establecido para este elemento mecánico.



**Figura 50.** Simulación de factor de seguridad en agitador.

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

## CAPÍTULO IV.

### Evaluación de costes

Se desarrolla el análisis de costos para, determinar los recursos económicos necesarios en la fabricación e implementación del prototipo. Además de realizar un análisis del periodo de recuperación del capital invertido en la implementación del equipo, determinando también la rentabilidad del prototipo en el transcurso del tiempo.

Los costos que inciden en la fabricación del prototipo están divididos en costos directos e indirectos, mismos que se detallaran en correspondencia de cada uno de ellos, diferenciando cada una de sus utilidades.

#### 4.1. Costos directos

Corresponden directa y proporcionalmente al servicio o producto definitivo, intrínsecamente los costos directos que se toman en cuenta para la elaboración de prototipo son: componentes principales, salarios de fabricación y transporte.

En la Tabla 21, se muestran costos de materia y materiales mecánicos, eléctricos, electrónicos y componentes normalizados y material eléctrico a utilizar en la fabricación del prototipo.

**Tabla 21.** Costo de materiales directos.

<b>Descripción</b>	<b>Cant.</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Resistencia tubular "M" D= 11mm, 13 Amp, 220 V	1	\$ 80.00	\$ 80.00
Logo Siemens (control 24 V)	1	\$ 220.00	\$ 220.00
Pantalla TDI (control 24 V)	1	\$ 50.00	\$ 50.00
Fuente 24 V	1	\$ 25.00	\$ 25.00
Contactador (bobina 24 V, 25 Amp)	1	\$ 25.00	\$ 25.00
Caja Eléctrica	1	\$ 30.00	\$ 30.00
Sensor térmico	2	\$ 45.00	\$ 90.00
Motorreductor 1/2 HP, i=1/50, 60 RPM, 330 V Bifásico	1	\$ 394.00	\$ 394.00
Plancha acero inoxidable 304 mate e=3mm	2	\$ 304.00	\$ 608.00
Tubo cuadrado 50 x 50 x 2 mm Inoxidable 304	2	\$ 75.00	\$ 150.00
Ladrillo refractario	8	\$ 12.00	\$ 96.00
Mortero ladrillo refractario	3	\$ 64.00	\$ 192.00

Válvula de bola media vuelta D=2" (teflón)	1	\$ 120.00	\$ 120.00
Válvula de bola media vuelta D=3/4" (teflón)	2	\$ 70.00	\$ 140.00
Neplo roscado inoxidable 2" x 150 mm	1	\$ 25.00	\$ 25.00
Agitador	1	\$ 100.00	\$ 100.00
			\$ 2.345.00

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

El costo por el uso de maquinaria se muestra en la Tabla 22 detallando cada uno de los procesos de mecanizado requeridos en la fabricación del prototipo.

**Tabla 22.** Costo uso maquinaria.

Descripción	Cant.	Hora	Costo unitario	Costo Total
Barolado	1		\$ 45.00	\$ 45.00
Rebordeado	1		\$ 66.00	\$ 66.00
Hora torno paralelo		6	\$ 12.00	\$ 72.00
Hora fresadora universal		6	\$ 15.00	\$ 90.00
Soldadura TIG		16	\$ 20.00	\$ 320.00
Soldadura SMAW		4	\$ 12.00	\$ 48.00
Taladrado		4	\$ 2.00	\$ 8.00
Amoladora		3	\$ 2.00	\$ 6.00
				\$ 655.00

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

Según los valores establecidos para el salario básico unificado según el ministerio de relaciones laborales en el año 2022, se determinó un valor mínimo de 425 USD, la jornada laboral establecida para efectos de cálculo establecida por la ley es de le fabricación es de 8 horas diarias durante los 30 días del mes, obteniendo una totalidad de 240 horas durante el mes de trabajo. Al seleccionar a cada técnico especializado se evalúa sus aptitudes y conocimientos para establecer un salario adecuado, se establece los costos de obra de acuerdo con la Tabla 23.

**Tabla 23.** Costo personal

<b>Descripción</b>	<b>Horas</b>	<b>Costo hora</b>	<b>Costo Total</b>
Operario de torno	18	\$ 3.50	\$ 63.00
Operario de fresadora	18	\$ 3.50	\$ 63.00
Soldador TIG	40	\$ 5.00	\$ 200.00
Soldador SMAW	30	\$ 3.75	\$ 112.50
Ayudante	50	\$ 3.00	\$ 150.00
Diseño e Ingeniería	30	\$ 30.00	\$ 900.00
			\$ 1488.50

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

#### **Costos directo total**

Se resume la totalidad del costo directo referente a al diseño, fabricación y puesta en marcha del prototipo en la tabla 24.

**Tabla 24.** Costo directo.

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Materiales	\$ 2345.00
Uso de herramientas	\$ 655.00
Mano de obra	\$ 1.488.50
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 4488.50</b>

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

#### **4.2. Costos indirectos**

Costos los cuales afectan al proceso productivo o constructivo del equipo o producto los cuales no se deducen directamente al equipo, por lo que se deben asignar de manera apropiada, en cada uno de los procesos de producción o fabricación. Se incluyen en el análisis para tener un panorama completo de los gastos que incurren.

Los costos indirectos influyentes en el proyecto están detallados en la Tabla 25, se toman en cuenta la logística de material y visitas técnicas, medios de comunicación e investigación.

**Tabla 25.** Costo indirecto.

<b>Descripción</b>	<b>Cant.</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Impresiones	100	\$ 0,05	\$ 5,00
Transporte	4	\$ 20,00	\$ 80,00
Imprevistos	1	\$ 117,00	\$ 117,00
			\$ 202,00

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

#### **4.3. Costos totales del equipo**

El detalle de la Tabla 26, muestra valores de los costos directo e indirecto, calculando el costo total necesario de inversión para la fabricación, puesta en marcha y funcionamiento del equipo.

**Tabla 26.** Costo total.

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Costo directo	\$ 4488.50
Costo indirecto	\$ 202.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 4.690,50</b>

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

#### **4.4. Análisis del valor presente neto (VAN)**

Al llevar a cabo la operación de cálculo del VAN se debe tener presente los criterios descritos en la Tabla 27.

**Tabla 27.** Criterios del VAN.

CRITERIO	DESCRIPCION
$VAN > 0$ ; Inversión favorable	Cuento mayor que cero sea el valor, esto significa una ganancia.
$VAN = 0$ ; Inversión sin rentabilidad	El proyecto de inversión no generará rentabilidad ni tampoco pérdidas.
$VAN < 0$ ; Inversión en contra	El proyecto de inversión genera pérdidas, por lo que el proyecto no es viable y debe ser rechazado.

El valor actual neto se obtiene con la ecuación (86).

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+r)^t} \quad (86)$$

Donde:

$I_0$ : Inversión inicial

$Ft$ : Flujos futuros

$r$ : Tasa de retorno

$t$ : Cantidad de años

#### 4.5. Análisis de la tasa interna de retorno (*TIR*)

El *TIR* calcula el interés y rendimiento que generara el proyecto, es decir para este caso que el *VAN* sea igual a cero [50]. Si el resultado es menor que la tasa de interés utilizada demuestra que el proyecto no es rentable y no debe ser realizado, y si el resultado es mayor a la tasa de interés o es igual a la tasa de interés, el proyecto es rentable realizando un análisis adecuado con los valores obtenidos de la tabla 28 y se lo determina mediante la ecuación (87).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Vt}{(1+TIR)^t} - I_0 = 0 \quad (87)$$

**Tabla 28. Costos.**

<b>Año</b>	<b>Inversión Inicial</b>	<b>Ganancias</b>	<b>Gastos</b>	<b>Flujo Efectivo</b>	<b>Flujo Acumulado</b>
0	\$ 4690.50			\$ -4690.50	\$ -4690.50
1		\$ 6.205,00	\$ 4773.08	\$ 1431.92	\$ -3258.58
2		\$ 7135.75	\$ 5489.04	\$ 1646.71	\$ -1611.87
3		\$ 8206.11	\$ 6312.39	\$ 1893.72	\$ 281.85
4		\$ 9437.03	\$ 7259.25	\$ 2177.78	\$ 2459.63
5		\$ 10852.58	\$ 8348.14	\$ 2504.44	\$ 4964.07
6		\$ 12480.47	\$ 9600.36	\$ 2880.11	\$ 7844.18

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

En la Tabla 29 se puede evidenciar el resumen de los valores analizados y se demuestra que el proyecto es sustentable.

**Tabla 29. Resumen financiero.**

<b><i>VAN</i></b>	\$416.89
<b><i>TIR</i></b>	11%
<b>PB (años)</b>	2,8

**Elaborado por:** Lema S. y Ocaña E.

Al obtener un valor de 416,89 en el *VAN*, mayor que cero lo cual es un indicador favorable, se demuestra que el proyecto es sustentable generando réditos. Además, el cálculo del *TIR* obtiene un valor del 11%, afirmando que el proyecto es viable. También se proyecta el periodo de recuperación en años (Payback) en 2 años y 10 meses se obtendrá la recuperación del monto invertido.

## Conclusiones

Las evaluaciones realizadas por el Centro de Investigación salesiana en Cayambe determinaron que es necesario el proceso de pasteurizado de la leche, a partir de este informe se dimensiona una marmita con capacidad volumétrica de 50 litros de diámetro interno de 400 mm, altura de 480 mm y espesor de 2 mm para el cilindro y las tapas toriesféricas con un sistema de calentamiento (agua) a través de resistencias 220V.

Bajos los criterios del código ASME sección VIII División 1, se obtuvo la presión con la cual se diseñó la marmita para trabajar a esfuerzos de presión interna de 60 psi, con lo cual se seleccionó el espesor de 2 mm en acero inoxidable 304, tanto en el tanque interno y chaqueta, así como en los fondos toriesféricos.

La investigación de alternativas realizada dio a conocer que se requiere de un agitador de paletas accionadas por un motorreductor de 0.5 HP a 60 rpm. Además, de un sistema de volteo mediante tornillo sinfín y corona de módulo 3.

Para el eje y paletas del agitador se seleccionó acero inoxidable AISI 304 por sus propiedades mecánicas y uso en procesos de grado alimenticio, haciendo uso de la norma ASME ANSI B106.IM se calculó el diámetro de 25 mm considerando que se encuentra empotrado en un extremo actuando como un elemento en cantiléver o voladizo.

La simulación mediante el software ANSYS permitió validar los elementos que componen el equipo en comparación con los valores analíticos donde se concluyen que los esfuerzos permisibles son menores al 60% de la carga de fluencia, coeficiente de seguridad superiores a los valores técnicos y deformaciones cumplen los parámetros de diseño para el funcionamiento del equipo. La simulación estructural, la cual es uno de los elementos críticos, muestran que el tubo cuadrado de 30x30x2 mm se ha seleccionado correctamente para soportar las cargas. De la misma manera la deformación umbral del eje es de 7.48 mm el cual está dentro del parámetro para agitadores con extremo en voladizo y deformaciones en el tanque de 0.88 mm con factor de seguridad de 2.72 lo cual permite asegurar la operación en las condiciones establecidas.

Se analizó financieramente que el equipo podrá ser valorizado para su construcción en un costo total de \$4690.50 con un VAN=\$416.89 y TIR=11%; estos indicadores financieros demuestran que la inversión es rentable y el periodo de retorno será de 2.8 años.

## **Recomendaciones**

En quipos de pasteurización de diámetro considerable se recomienda agregar deflectores para evitar los vórtices o turbulencias que se forman a partir del accionamiento del agitador.

Utilizar agua destilada para el calentamiento en la chaqueta del pasteurizador; el uso de agua no trata o agua dura genera acumulación de partículas que con el calor romperán la capa de pasivación y oxidarán el acero AISI 304.

La limpieza del tanque interno se debe realizar con detergentes permitidos para uso alimenticio, evitar usar químicos corrosivos y herramientas metálicas sobre la superficie.

Para una simulación más completa se debería analizar el movimiento interno del producto mediante la acción del agitador y determinar el flujo de la leche para así observar cómo los vectores dibujan la trayectoria y encontrar una configuración más eficiente de la transferencia de calor.

## Referencias Bibliográficas

- [1] INEC, «Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2020,» *INEC. Buenas cifras mejores vidas*, p. 31, 2021.
- [2] .. Álvarez, «Departamento de ciencias de la energía y mecánica,» 2014.
- [3] R. R. del Castillo Shelly y J. Mestres Lagarriga, *Productos lácteos. Tecnología*, Barcelona : Edicions UPC, 2004.
- [4] H. Judkins y H. Keener, «La leche, su producción y procesos industriales,» *Editorial Continental SA*, vol. 11, pp. 270-277, 2006.
- [5] A. Laval, *Manual de Industrias lácteas*, Mundi-Prensa Libros, 2006.
- [6] R. D. Martínez Colín y R. Carmona García, «Control de temperatura en el proceso de ultrapasteurización de la leche,» Instituto Politécnico Nacional (IPN), Mexico, 2011.
- [7] M. Gèosta Bylund y A. López Gómez, «Manual de industrias lacteas,» Madrid, Mundi-Prensa/Tetra Pak, 2003, pp. 143-151.
- [8] J. C. R. Vidaurre Lemus, «Evaluación del efecto bactericida de la miel de abeja (*Apis mellifera*) en leche cruda de vaca,» Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2002.
- [9] C. T. Bonifaz Rodríguez y H. R. Morales Loor, «Diseño de un biodigestor tipo cúpula fija para generación de biogás a partir de desechos orgánicos,» UPS, Quito, 2012.
- [10] V. A. González Tinta y L. F. Armas Almeida, «Diseño e implementación de un sistema automático para el proceso de pasteurización de leche,» EPN, Quito, 2015.
- [11] C. Ramírez, *La Leche y las industrias de la leche*, Zig-Zag, 1949.
- [12] M. Juárez, B. Moscoso, J. Hernández, M. Mérida, L. Samayoa, G. Juárez y K. Gamboa, «Procesos para la elaboración de productos lácteos,» *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)*, 2011.

- [13] A. E. Márquez Donis, diseño de una marmita para la fabricación de una emulsión aceite en agua con extracto de NEEM (*Azadirachta Indica*) y aloe vera (*aloe barbadensis*) para problemas en la piel, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015.
- [14] E. M. Chacaguasay Lobato y C. E. Picho Barrionuevo, Diseño y construcción de una marmita cilíndrica con agitador y fondo esférico con rango de temperatura de 70°C a 80°C para producción de 50 litros de aderezos, UPS, 2015.
- [15] C. W. H. Y. F. S. ARANGO, EQUIPO PARA PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS AGRICOLAS, LIMA: IICA, 1968.
- [16] A. SENNER, PRINCIPIOS DE ELECTROTECNICA, BARCELONA: REVERTE S.A., 1994.
- [17] J. C. Chinchilla Fallas, Diseño del Sistema de Calentamiento Para Simulación del Flujo de Plasma en Tubo Cilíndrico.
- [18] H. Kars-Jordan, «Agitation Handbook,» *KTH Industrial Engineering and Management*, 2007.
- [19] V. Castillo Uribe, DISEÑO Y CÁLCULO DE UN AGITADOR DE FLUIDOS,, Concepcion, 2013.
- [20] Indura S.A., «Manual Aceros Inoxidables,» de *Indura*, Santiago, 2M Impresores Limitada, 2010, pp. 13-14.
- [21] F. Castro, B. Escorsia y E. Ramírez, «Aceros Inoxidables y sus Aplicaciones.,» Barranquilla, 2012, pp. 10-12.
- [22] C. Alonso Marcos, Soldadura TIG de acero carbono, Madrid: Parainfo, 2017.
- [23] P. K. Baghel y D. S. Nagesh, «Pulse TIG welding: Process, automation and control,» *Journal of Welding and Joining*, vol. 35, nº 1.
- [24] M. Ibarra Echeverria, E. Núñez Solís y J. M. Huerta Ibáñez, «Manual de aceros inoxidables indura,» *INDURA*, p. 30, 2010.

- [25] NKS, «NKS,» DE Mexico. [En línea]. Available: <https://nks.com/es/distribuidor-de-acero-inoxidable/acero-inoxidable-304/>. [Último acceso: 2022 06 08].
- [26] M. Ramirez, «Diseño de una planta piloto para la producción de yogur en la facultad de ingeniería química,» vol. 39, n° 1, 2014.
- [27] B. Martínez, Análisis, diseño y modelamiento por elementos finitos del eje para un agitador mecánico de la empresa Flow Control and Handling SA, Cali: Universidad Autónoma de Occidente, 2013.
- [28] W. L. McCabe, J. C. Smith y P. Harriot, Operaciones unitarias en ingeniería química, Mexico: McGraw Hill, 2007.
- [29] Y. A. Çengel y A. J. Ghajar, Transferencia de calor y masa, Mexico: McGraw-Hill Interamericana, 2017.
- [30] ASME, ANSI/ASME B106.IM Design of transmission shafting, New York: ASME, 1985.
- [31] R. L. Mott, R. N. Salas, M. A. Flores y e. b. Martínez, Resistencia de materiales, Mexico: Pearson Educación, 2009.
- [32] A. W. Nienow, M. F. Edwards y N. Harnby, Mixing in the process industries, Butterworth-Heinemann, 1997.
- [33] OPAC, «Chavetas Acero Inoxidable Acero Al Carbono,» *Tosuga*, 2002.
- [34] J. McCormack y S. Csernak, Diseño de Estructuras de Acero, Mexico: Alfaomega, 2012.
- [35] G. Rodríguez, «Tornillos de potencia,» [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn131.html>. [Último acceso: 24 11 2022].
- [36] N. Larburu, Prontuario de máquinas: Técnicas, máquinas y herramientas, Madrid: Editorial Paraninfo, 2001.
- [37] J. E. Matsson, An Introduction to ANSYS Fluent, Mission: SDC Publications, 2022.

- [38] J. E. Shigley, J. K. Nisbett y R. G. Budynas, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Mexico DF: McGraw-Hill Interamericana, 2019.
- [39] E. M. y. L. Alvarado, Indicadores de Rentabilidad, CEPEP, 2017.
- [40] D. Q. Kern, Proceso de transferencia de calor, Mexico: McGraw Hill Book Company, 1999, pp. 557-566.
- [41] K. J. E. H. a. E. O. S. Navar, «Alimentos: ALTAS TEMPERATURAS,» [En línea]. Available: <http://alimentos-cetis100.blogspot.com/2009/04/pasteurizacion-fundamento-de-la-tecnica.html>.. [Último acceso: 21 03 2022].
- [42] S. Murad, «La Leche y sus propiedades nutricionales,» [En línea]. Available: <http://www.zonadiet.com/bebidas/leche.htm>.. [Último acceso: 21 03 2022].
- [43] Definición de Árbol, Concepto en Definición ABC, [En línea]. Available: <http://www.definicionabc.com/general/implementar.php>. [Último acceso: 21 03 2022].
- [44] A. S. Q. a. J. P. Ulloa-morejón, «ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL SECTOR QUESERO DE LA REGIÓN SIERRA DEL ECUADOR , PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MEJORA INDUSTRIAL ENFOCADO EN EL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO,» pp. 1-11, 2018.
- [45] CITRUS, «CITRUS,» [En línea]. Available: <https://citrus.mx/producto/marmitas-a-vapor>. [Último acceso: 18 05 2022].
- [46] DIPAC, «Ejes AISI 304 (Inoxidable),» 2016. [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/acero-inoxidable-aisi>. [Último acceso: 27 05 2022].
- [47] S. d. C. d. P. d. Mercado, «Informe del sector lácteo en Ecuador,» *Versión pública*, p. 29, 2015.
- [48] E. Megyesy, Manual de Recipientes a Presion–Diseño y Calculo, Mexico: Limusa, 2002.
- [49] Slawinski, «Fondo toro esférico conforme a DIN 28011,» [En línea]. Available: <https://www.slawinski.es/productos/fondo-toro-esferico/>. [Último acceso: 24 06 2022].

- [50] R. L. Bater, P. L. Fondy y R. R. Corpstein, «Examination of some geometric parameters of impeller power,» *Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development*, vol. 2, nº 4, pp. 310-314, 1963.
- [51] J. M. Peláez y E. León , «Diseño de un tanque de 6500 galones para transporte de GLP segúnASME VIII –2017 en la Empresa HALCÓN S.A.,» Trujillo, 2020.
- [52] Norma Técnica Ecuatoriana NTE, «Leche cruda Requisitos,» 2012.
- [53] Rvt Systeme, «Mezcladora con motorreductor (GM),» [En línea]. Available: <https://www.rvt-systeme.de/es/productos/mecanismo-agitador/mezcladora-con-motorreductor-gmf.html>.
- [54] H. A. Bohorquez Rico, Artist, *Diseño y Simulación de un Tanque Tipo IIRevestido con Alambre de Acero SA-905*. [Art]. Universidad de Guanajuato, 2018.
- [55] NOV, «Direct Iindustry,» Direct Iindustry, [En línea]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/nov-inc/product-14821-1389897.html>. [Último acceso: 08 11 2022].
- [56] Economipedia, «Valor Actual Neto (VAN),» [En línea]. Available: <http://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>.

## ANEXOS

### Anexo 1. Ficha técnica del acero inoxidable AISI 304



FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

### FICHA TÉCNICA DEL ACERO INOXIDABLE

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE		SERIE 300		
		Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno	
DESIGNACIÓN	TIPO AISI	<b>304</b>	<b>316</b>	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA	<b>C ≤ 0.08%*</b> Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% <b>Cr 18% - 20%*</b> <b>Ni 8% - 10,5%*</b>	<b>C ≤ 0.08%*</b> Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% <b>Cr 16% - 18%*</b> <b>Ni 10% - 14%*</b> <b>Mo 2% - 2.5%*</b>	
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD) (g/cm <sup>3</sup> )	7.9	7.95 - 7.98	
	MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm <sup>2</sup> )	193,000	193,000	
	ESTRUCTURA	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	
	CALOR ESPECÍFICO A 20C (J/Kg K)	500	500	
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C (W/m K)	15 / 16	15 / 16	
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C (x 10 <sup>6</sup> C <sup>-1</sup> )	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5	
	INTERVALO DE FUSIÓN (C)	13981454	13711398	
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO	AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008	
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C (μΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74	
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	130150 / 180330	130185 / -	
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	7088 / 1035	7085 / -	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO Rm (N/mm <sup>2</sup> )	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -	
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO Rp (N/mm <sup>2</sup> )	210 / 230	205410 / -	
	ELONGACIÓN (A <sub>5</sub> ) MIN (%)	≥ 45		
	RESILIENCIA KCUL / KVL (J/cm <sup>2</sup> )	160 / 180	160 / 180	
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD	RP(0.2) A 300C/400C/500C (N/mm <sup>2</sup> )	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
		RP(1) A 300C/400C/500C (N/mm <sup>2</sup> )	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
	LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C σ <sub>1/10<sup>5</sup>/t</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5	
TRATAMIENT. TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL (OC)	ENFR. RÁPIDO 10081120	ENFR. RÁPIDO 10081120	
	TEMPLADO	NO ES POSIBLE	NO ES POSIBLE	
	INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL (C)	1200 / 925	1200 / 925	
	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE	925 / 840	925 / 840	
OTRAS PROPIEDADES	SOLDABILIDAD	MUY BUENA	MUY BUENA	
	MAQUINABILIDAD COMPARADO CON UN ACERO BESSEMER PARA a. B1112	45%	45%	
	EMBUTICIÓN	MUY BUENA	BUENA	

\* Son aceptables tolerancias de un 1%

Anexo 2. Tipos de uniones soldadas UW-12

142

TIPOS DE JUNTAS SOLDADAS				
TIPOS NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA JUNTA, E		
		Cuando la junta es:		
		a. Radiogra- fiada total- mente	b. Examinada por zonas	c. No Examinada
1	 <p>Junta a tope hechas por doble cordón de soldadura o por otro medio con el que se obtenga la misma calidad de metal de soldadura depositada sobre las superficies interior y exterior de la pieza. Si se emplea placa de respaldo, debe quitarse ésta después de terminar la soldadura.</p>	1.00	0.85	0.70
2	 <p>Junta a tope de un solo cordón con tira de respaldo que queda en su lugar después de soldar En juntas circunferenciales únicamente</p>	0.90	0.80	0.65
3	 <p>Junta a tope de un solo cordón sin tira de respaldo</p>	—	—	0.60
4	 <p>Junta a traslape de doble filete completo</p>	—	—	0.55
5	 <p>Junta a traslape de un solo filete completo con soldaduras de tapón</p>	—	—	0.50
6	 <p>Junta a traslape de un solo filete completo sin soldaduras de tapón</p>	—	—	0.45

### Anexo 3. Factor de seguridad del eje de transmisión

**Tabla 3.1** Tabla de factores de seguridad. Valores mínimos recomendados. Modificada de Faires<sup>[1]</sup>.

TIPO O CLASE DE CARGA	ACERO, METALES DÚCTILES		HIERRO FUNDIDO, METALES FRÁGILES	MADERA DE CONSTRUCCIÓN
	Basado en la resistencia máxima*	Basado en la resistencia de fluencia**	Basado en la resistencia máxima*	
Carga muerta o Carga variable bajo análisis por fatiga	3 – 4	1.5 - 2	5 – 6	7

Las siguientes recomendaciones **NO** se deben adoptar si se hace análisis por fatiga

Repetida en una dirección, gradual (choque suave)	6	3	7 – 8	10
Repetida invertida, gradual (choque medio)	8	4	10 – 12	15
Choque fuerte	10 – 15	5 – 7	15 – 20	20

\* Resistencia máxima se refiere a  $S_u$ ,  $S_{uc}$  o  $S_{us}$  (dependiendo de si el esfuerzo es de tracción, de compresión o cortante)

\*\* Resistencia de fluencia se refiere a  $S_y$ ,  $S_{yc}$  o  $S_{ys}$  (dependiendo de si el esfuerzo es de tracción, de compresión o cortante)

### Anexo 4. Dimensiones chavetas y chaveteros 6885/1 [84].

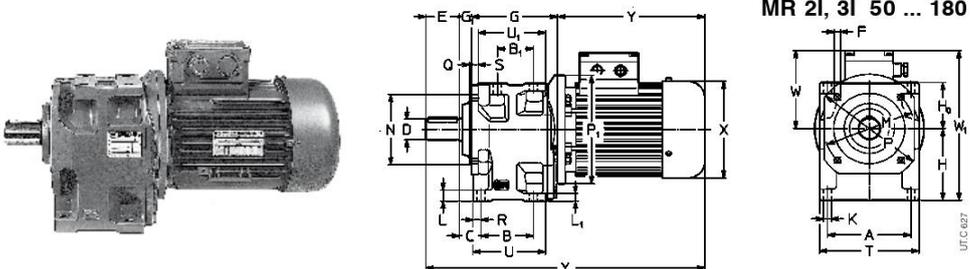
Tabla de tolerancia de chavetas y chaveteros de alojamiento (mm)

Campo de aplicación	Chaveta		Chavetero															
			Sección		Largo							Profundidad						
	Dimen normal b x h	Toleran sobre		Dim. nom. b	Tolerancia sobre b			Por cubo				Eje		Cubo				
		b <sup>90</sup>	h*		H9	N9	P9	D10	Js9	P9	Nom	Tol.	Nom	Tol.				
De Hasta	6 8	2x2	0 0	2														
Más de hasta	8 10	3x3	-0.025 -0.025	3	+0.025 0	-0.004 0	-0.006 -0.031	+0.060 +0.020	±0.012	-0.006 -0.031	1.2 1.8		1 1.4					
Más de Hasta	10 12	4x4	0 0	4														
Más de Hasta	12 17	5x5	-0.030 -0.030	5	+0.030 0	0 -0.030	-0.012 -0.042	+0.078 +0.030	±0.015	-0.012 -0.042	2.5 3	+0.1 0	1.8 2.3					
Más de Hasta	17 22	6x6	0 0	6														
Más de Hasta	22 30	8x7	0 -0.036	8	+0.036 0	0 -0.036	-0.015 -0.051	+0.098 +0.040	±0.018	-0.015 -0.051	5 5		3.3 3.3					
Más de Hasta	30 38	10x8	0 -0.043	10														
Más de Hasta	38 44	12x8	0 -0.090	12														
Más de Hasta	44 50	14x9	0 -0.043	14	+0.043 0	0 -0.043	-0.018 -0.061	+0.120 +0.050	±0.021	-0.018 -0.061	5.5 6		3.8 4.3					
Más de Hasta	50 58	16x10	0 -0.043	16														
Más de Hasta	58 60	18x11	0 -0.043	18														
Más de Hasta	65 75	20x12	0 -0.052	20														
Más de Hasta	75 85	22x14	0 -0.052	22	+0.052 0	0 -0.052	-0.022 -0.074	+0.149 +0.065	±0.026	-0.022 -0.074	7.5 9	+0.2 0	4.9 5.4					
Más de Hasta	85 95	25x14	0 -0.052	25														
Más de Hasta	95 110	28x16	0 -0.052	28														
Más de Hasta	110 130	32x18	0 -0.062	32														
Más de Hasta	130 150	36x20	0 -0.062	36	+0.062 0	0 -0.062	-0.026 -0.088	+0.180 +0.080	±0.031	-0.026 -0.088	11 12		8.4 9.4					
Más de Hasta	150 170	40x22	0 -0.062	40														
Más de Hasta	170 200	45x25	0 -0.062	45														
Más de Hasta	200 230	50x28	0 -0.062	50														
Más de Hasta	230 260	56x32	0 -0.074	56														
Más de Hasta	260 290	63x32	0 -0.074	63	+0.074 0	0 -0.074	-0.032 -0.106	+0.220 +0.100	±0.037	-0.032 -0.106	13 15	+0.3 0	12.4 14.4					
Más de Hasta	290 330	70x36	0 -0.074	70														
Más de Hasta	330 380	80x40	0 -0.074	80														
Más de Hasta	380 440	90x45	0 -0.087	90	+0.087 0	0 -0.087	-0.037 -0.124	+0.260 +0.120	±0.043	-0.037 -0.124	17 20		11.4 12.4					
Más de hasta	440 500	100x50	0 -0.087	100														

\* La tolerancia es h9 para la sección cuadrada y h11 para la rectangular.

# Anexo 5. Motorreductor

10 - Ejecuciones, dimensiones, formas constructivas y cantidades de lubricante / 10 - Exécutions, dimensions, positions de montage et quantités de lubrifiant



**Ejecución<sup>1)</sup> normal**  
Forma constructiva B3, B6, B7, B8, V5, V6

**Exécution<sup>1)</sup> normale**  
Position de montage B3, B6, B7, B8, V5, V6

**UC2A**

Tamaño red. / Taille motor	A	B	C	D Ø	E Ø	F	G	H h1	H h1	K Ø	L	L1	M Ø	N Ø h6	P Ø	R	S	T	U	U1	P1 Ø	X Ø	Y =		Y1 =	W =		Masa / Masse kg						
																							HB	HBZ		HB	HBZ		TX					
50 / 51	63 <sup>(9)</sup> 71 80 90 100 <sup>(6)</sup> 112 <sup>(2)</sup>	124	76	82	30,5	24	50	9,5	128	16	106	71	11,5	17	12	130	110	160	13,5	10	148	110	100	140	123	189	244	383	438	95	201	12	17	19
																								160	138	216	278	410	472	112	218	12	19	22
																								200	156	233	302	427	496	121	227	12	24	27
																								200	176	287	366	481	560	141	247	12	31	37
																								200	194	337	—	531	—	151	257	12	38	—
63 / 64	71 80 90	153	96	66	36,5	32	58	11,5	158	19	132	85	14	20	14	165	130	200	16	12	182	136	124	160	138	216	278	451	513	112	244	20	27	30
																								200	156	233	302	488	537	121	253	20	32	35
																								200	176	287	366	522	601	141	273	20	39	45
																								250	194	310	405	545	640	151	283	20	46	50
																								250	218	336	435	571	670	163	295	20	55	62
80 / 81	80 90 100 112 132	192	123	87	43	38	80	14	197	22	160	106	16	24	17	215	180	250	19	14	226	171	157	200	156	233	302	532	601	121	281	35	47	50
																								200	176	287	366	586	665	141	301	35	54	60
																								250	194	310	405	609	704	151	311	35	61	65
																								250	218	336	435	635	734	163	323	35	70	77
																								300	257	445	553	747	855	194	354	35	104	113
100 / 101	90 100 112 132 160 180 200	240	160	119	51,5	48	82	14	242	27	195	132	18	28,5	20	265	230	300	22,5	16	280	214	198	200	176	287	366	638	717	141	336	62	81	87
																								250	194	310	405	661	756	151	346	62	88	92
																								250	218	336	435	697	786	163	358	62	97	104
																								300	257	445	553	796	904	194	389	62	131	140
																								350	314	573	640	940	1007	258	453	62	195	176
125 / 126	100 112 132 160 180 200	297	200	151	59	60	105	18	297	30	236	160	22	35	25	300	250	350	26,5	19	345	264	245	250	194	310	405	742	837	151	396	110	136	140
																								250	218	336	435	768	867	163	399	110	145	152
																								300	257	445	553	877	985	194	430	110	179	188
																								350	314	573	640	1005	1072	258	494	110	243	224
																								400	354	613	734	1045	1166	278	514	110	267	268
140	100 112 132 160 180 200 225	297	218	169	59	80	130	18	315	30	250	160	22	35	25	300	250	350	26,5	19	345	282	263	250	194	310	405	785	880	151	410	123	149	153
																								250	218	336	435	811	910	163	410	123	158	165
																								300	257	445	553	920	1026	194	429	123	192	201
																								350	314	573	640	1048	1115	258	493	123	256	237
																								400	354	613	734	1088	1209	278	513	123	280	281
160	132 160 180 200 225 250	373	250	191	68,5	90	130	22	366	34	295	200	27	42	30	400	350	450	31,5	22	430	326	304	300	257	445	553	975	1083	194	495	195	264	273
																								350	314	573	640	1103	1170	258	545	195	328	309
																								400	354	613	734	1143	1264	278	565	195	352	353
																								450	411	710	—	1242	—	298	585	195	441	377
																								550	411	735	—	1279	—	298	585	195	651	—
180	132 160 180 200 225 250 280	373	275	216	68,5	100	165	22	391	34	315	200	27	42	30	400	350	450	31,5	22	430	351	329	300	257	445	553	1035	1143	194	515	218	287	296
																								350	314	573	640	1163	1230	258	544	218	351	332
																								400	354	613	734	1203	1324	278	564	218	375	376
																								450	411	710	—	1302	—	298	584	218	542	—
																								550	411	735	—	1339	—	298	584	218	674	—

Ver notas de pag. 50.

Voir notes de page 50.

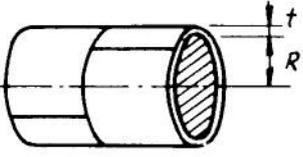
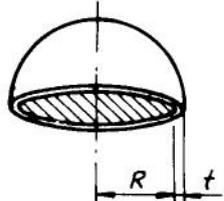
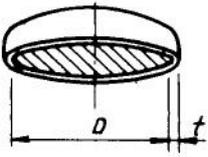
Formas constructivas y cantidades de aceite [1]

Positions de montage et quantités d'huile [1]

Tamaño / Taille	B3	B6, B7	B8, V6	V5
60, 61	0,8	1,1	1,1	1,4
63, 64	1,6	2,2	2,2	2,8
80, 81	3,1	4,3	4,3	5,5
100, 101	5,6	7,1	8	10
125, 126	10,2	13,1	14,6	19,3
140	11,6	14,8	16,6	21
160	19,6	25	28	35
180	23	29	32	40

Anexo 6. Espesores mínimos de la ASME UG-27

18

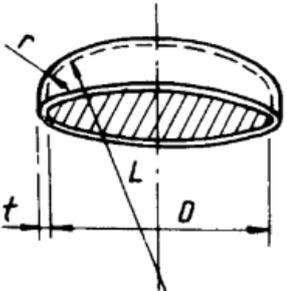
<b>PRESION INTERNA</b>			
<b>FORMULAS EXPRESADAS EN FUNCION DE LAS DIMENSIONES INTERIORES</b>			
<p><b>P</b> = Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida, lb/pulg<sup>2</sup>  <b>S</b> = Valor del esfuerzo del material, lb/pulg<sup>2</sup>, página 159  <b>E</b> = Eficiencia de la junta, página 142  <b>R</b> = Radio interior, pulgadas  <b>D</b> = Diámetro interior, pulgadas  <b>t</b> = Espesor de pared, pulgadas  <b>C.A.</b> = Margen por corrosión, pulgadas</p>			
<p><b>A</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>CASCO CILINDRICO (COSTURA LONGIT.)<sup>1</sup></b></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"><math>t = \frac{PR}{SE - 0.6P}</math></td> <td style="text-align: center;"><math>P = \frac{SEt}{R + 0.6t}</math></td> </tr> </table> <p>1. Generalmente rige el esfuerzo en la costura longitudinal. Ver página anterior.                  2. Cuando el espesor de pared exceda de la mitad del radio interior o P exceda de 0.385 SE, se aplicarán las fórmulas dadas en el Apéndice del Código, 1-2.</p>	$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$	$P = \frac{SEt}{R + 0.6t}$
	$t = \frac{PR}{SE - 0.6P}$	$P = \frac{SEt}{R + 0.6t}$	
<p><b>B</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>ESFERA Y CABEZA HEMISFERICO</b></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"><math>t = \frac{PR}{2SE - 0.2P}</math></td> <td style="text-align: center;"><math>P = \frac{2SEt}{R + 0.2t}</math></td> </tr> </table> <p>1. Para las cabezas sin brida recta, úsese la eficiencia de la junta de la cabeza al casco si es menor que la eficiencia de las costuras de la cabeza.                  2. Cuando el espesor de pared exceda de 0.356 R, o P exceda de 0.665 SE, se aplicarán las fórmulas dadas en el Apéndice 1-3 de las normas.</p>	$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$	$P = \frac{2SEt}{R + 0.2t}$
	$t = \frac{PR}{2SE - 0.2P}$	$P = \frac{2SEt}{R + 0.2t}$	
<p><b>C</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>CABEZA ELIPSOIDAL 2:1</b></p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"><math>t = \frac{PD}{2SE - 0.2P}</math></td> <td style="text-align: center;"><math>P = \frac{2SEt}{D + 0.2t}</math></td> </tr> </table> <p>1. Para las cabezas elipsoidales cuya relación del eje mayor al eje menor sea diferente de 2:1, véase el Apéndice 1-4 (c) de las normas.</p>	$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P}$	$P = \frac{2SEt}{D + 0.2t}$
	$t = \frac{PD}{2SE - 0.2P}$	$P = \frac{2SEt}{D + 0.2t}$	

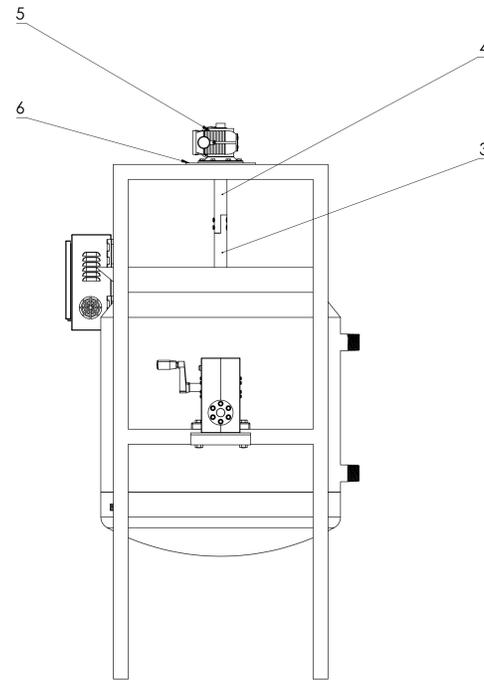
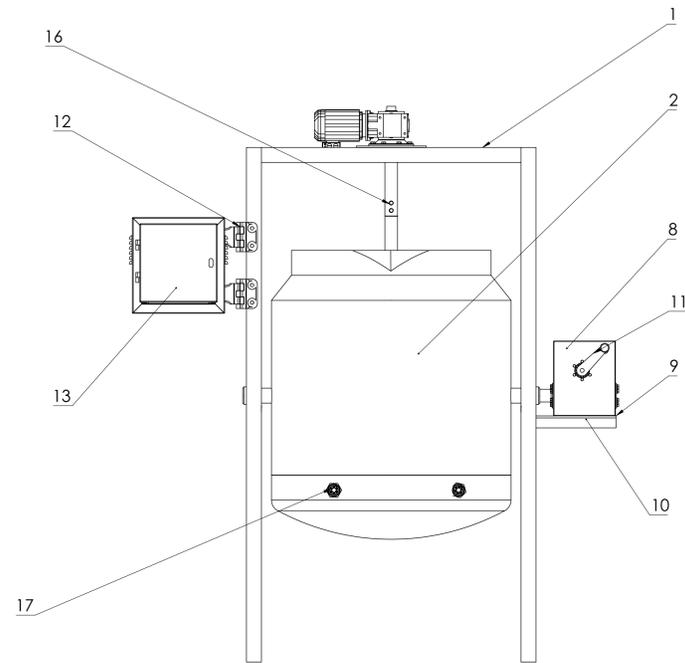
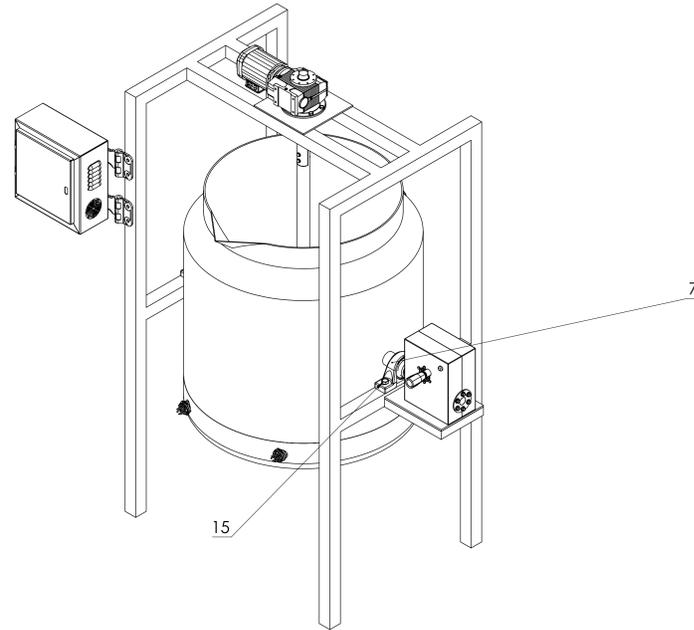
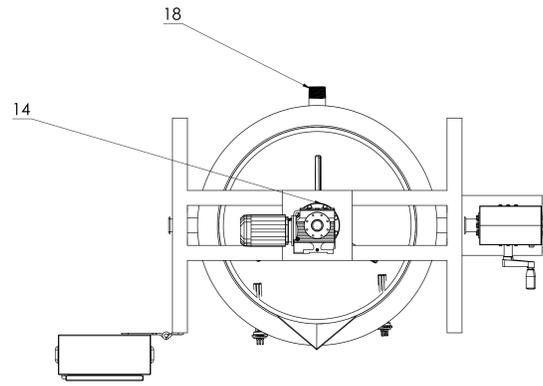
**Anexo 7.** Métodos de diseño y guías para seleccionar factores de diseño

**TABLA 3-2** Criterios para esfuerzo de diseño—Esfuerzos normales directos.

Forma de la carga	Material dúctil	Material frágil
Estática	$\sigma_d = s_y/2$	$\sigma_d = s_u/6$
Repetida	$\sigma_d = s_u/8$	$\sigma_d = s_u/10$
Impacto o choque	$\sigma_d = s_u/12$	$\sigma_d = s_u/15$

**Anexo 8.** Fórmulas de presión interna para tapa toriesférica

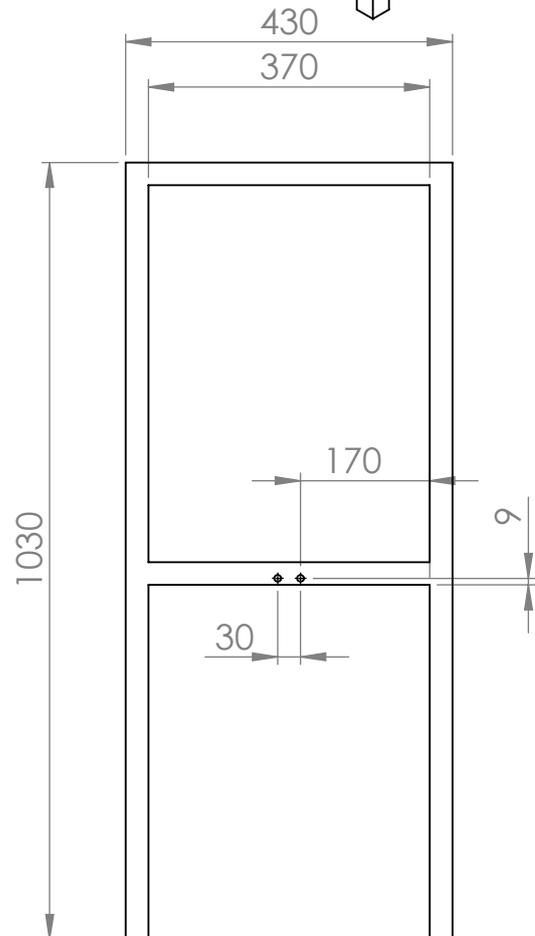
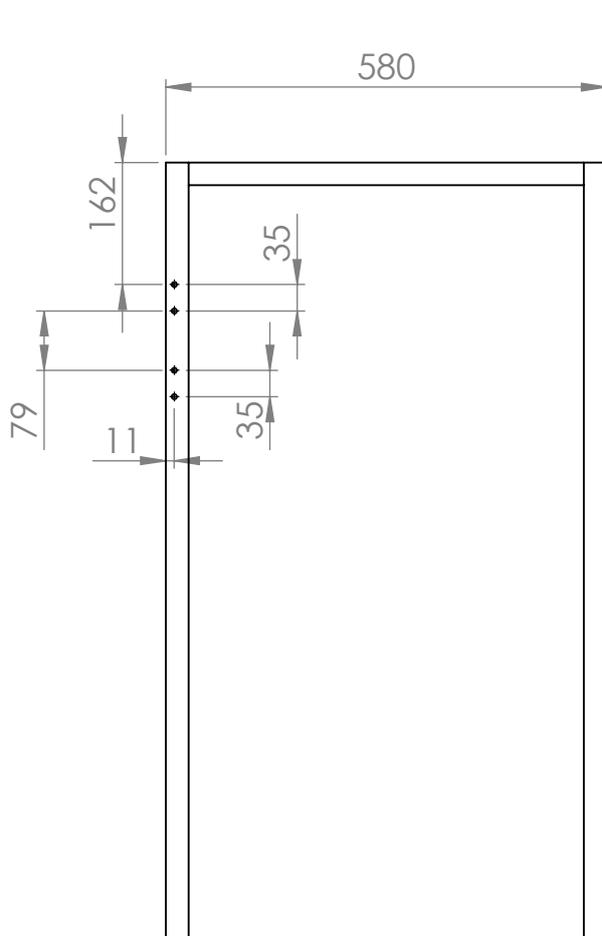
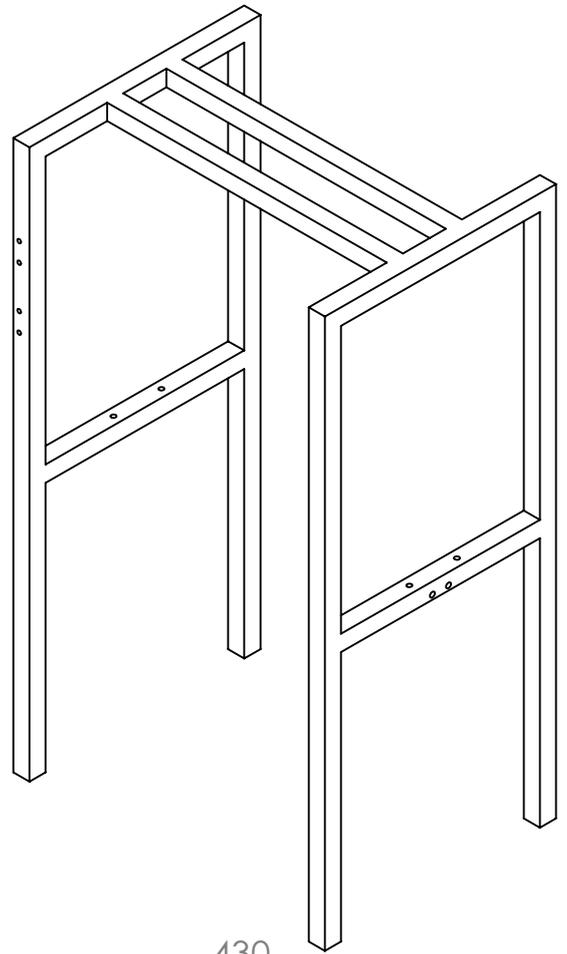
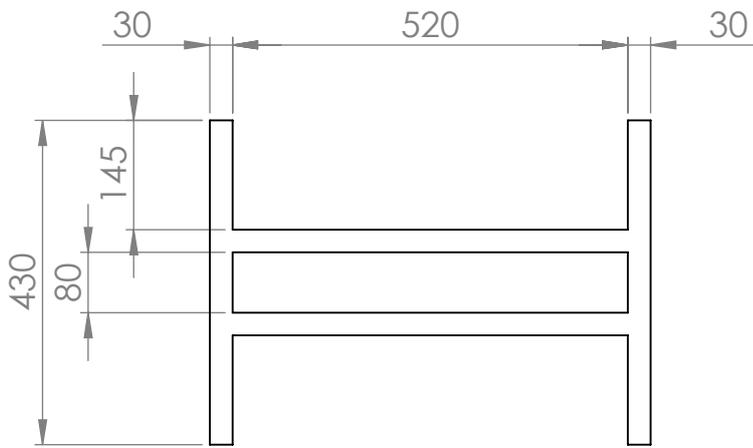
E		<b>CABEZA ASME BRIDADA Y ALABEADA (CABEZA TORISFERICA)</b>															
		Cuando $L/r = 16 \frac{2}{3}$															
		$t = \frac{0.885PL}{SE - 0.1P}$							$P = \frac{SEt}{0.885L + 0.1t}$								
		Cuando $Lr$ menor de $16 \frac{2}{3}$															
		$t = \frac{PLM}{2SE - 0.2P}$							$P = \frac{2SEt}{LM + 0.2t}$								
<b>VALORES DEL FACTOR "M"</b>																	
$L/r$	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00	6.50
M	1.00	1.03	1.06	1.08	1.10	1.13	1.15	1.17	1.18	1.20	1.22	1.25	1.28	1.31	1.34	1.36	1.39
$L/r$	7.00	7.50	8.00	8.50	9.00	9.50	10.0	10.5	11.0	11.5	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	16.5	*
M	1.41	1.44	1.46	1.48	1.50	1.52	1.54	1.56	1.58	1.60	1.62	1.65	1.69	1.72	1.75	1.77	
* LA MAXIMA RAZON PERMITIDA ES: $L = D + 2t$ (véase la nota 2 de la página opuesta)																	



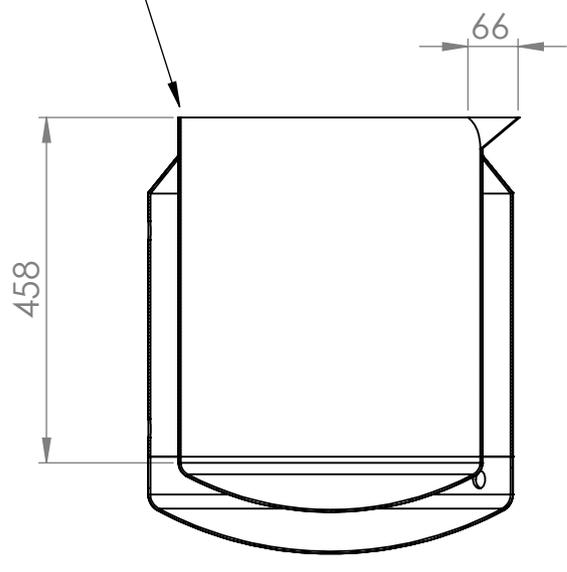
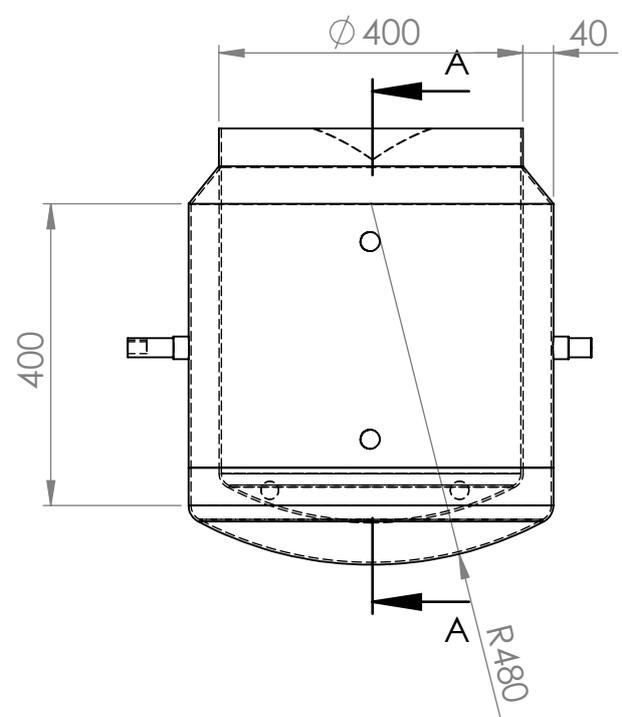
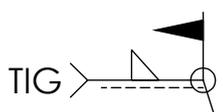
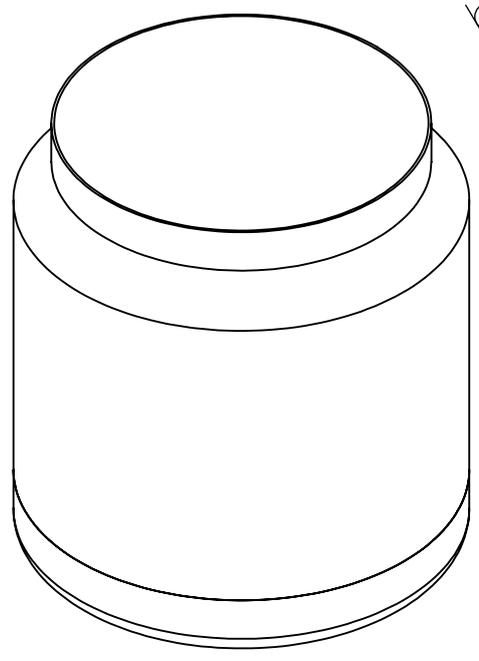
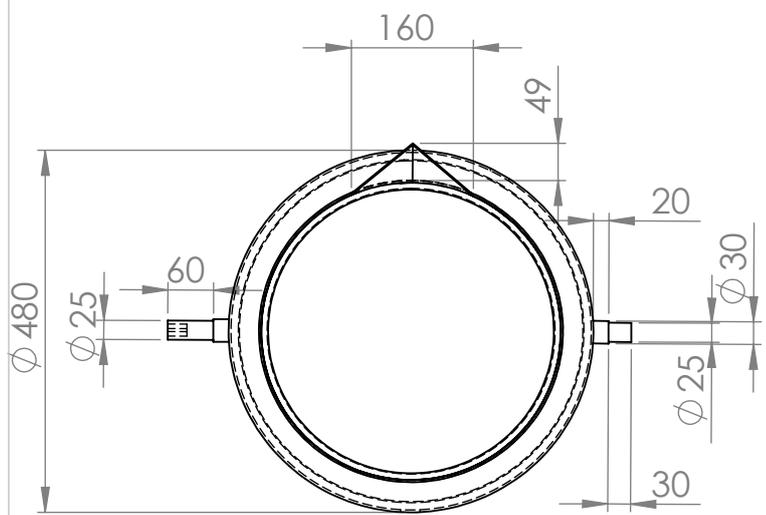
Ref.	Denominación	Cnt.	Norma	Localiz.	Material	Dim.	Brutas	Observaciones
18	Neplo entrada/salida	2			AI SI 304	30x30x2 mm		sch 40
17	Resistencia electrica	2			AI SI 316			220v/10 kw
16	Pernos aglador	2	B18.2.3.1m		ASTM A325MM8X1.25X20			
15	Pernos chumaceras	4	B18.2.3.2m		ASTM A325MM8X1.25x50			
14	Pernos de motor	8	B18.2.3.2m		ASTM A325M M5X0.8X12			
13	Caja electrica	1			ASTM A36	200X200X100		
12	Bisagra caja electrica	2			AI SI 305			
11	Manivela volteo	1	10.1551.00.08		304/Gilom	70x50x30		
10	Estructura para Base	1	10.1551.00.07		AI SI 306	30x30x2		
9	Base conjun. torni. sin.	1	10.1551.00.06		AI SI 306	160x100x4		
8	Conjunto torn. sinfin	1	10.1551.01.00		ASTM A 48	120x150		
7	Chumacera 204	2			ASTM A 48			UCPL204D1
6	Placa Base Motor	1	10.1551.00.05		AI SI 306	140x140x3		
5	Motorreductor	1						0.5 hp
4	Eje motor	1	10.1551.00.04		AI SI 304	Ø25.4x400		
3	Eje ogilador	1	10.1551.00.03		AI SI 304	Ø25.4x1200		
2	Tanque Enchquetad.	1	10.1551.00.02		AI SI 304	Ø480x520		
1	Estructura	1	10.1551.00.01		AI SI 304	30x30x2		
Tratamiento Termico:		N/A						
Recubrimiento:		N/A						

Ref. Denominación Cnt. Norma Localiz. Material Dim. Brutas Observaciones  
 Tratamiento Termico: N/A Material: N/A Dim. Brutas.  
 Recubrimiento: N/A

**CARRERA DE INGENIERIA MECANICA** **UPS** Diseño: Lema S. / Ocaña E. 12/1/2023  
 Dibujo: Lema S. / Ocaña E. 12/1/2023  
 Reviso: Ing. Jami Milton S. 12/1/2023  
 Escala: 1:5 Código: 10.1551.00.00 Tol. Gral.: ±0.5 mm

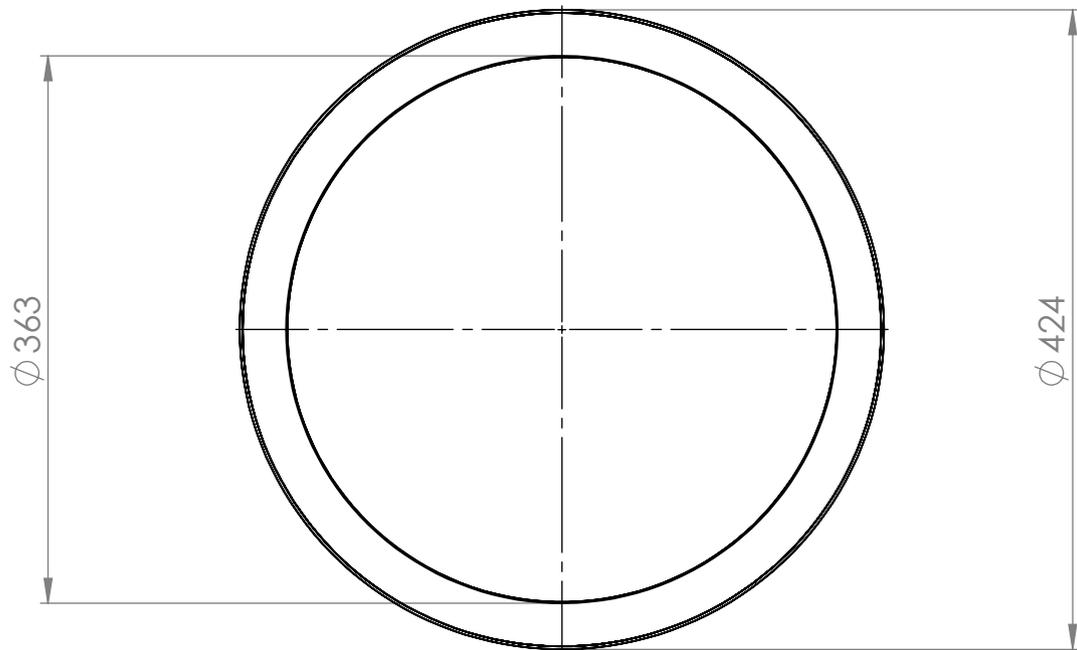
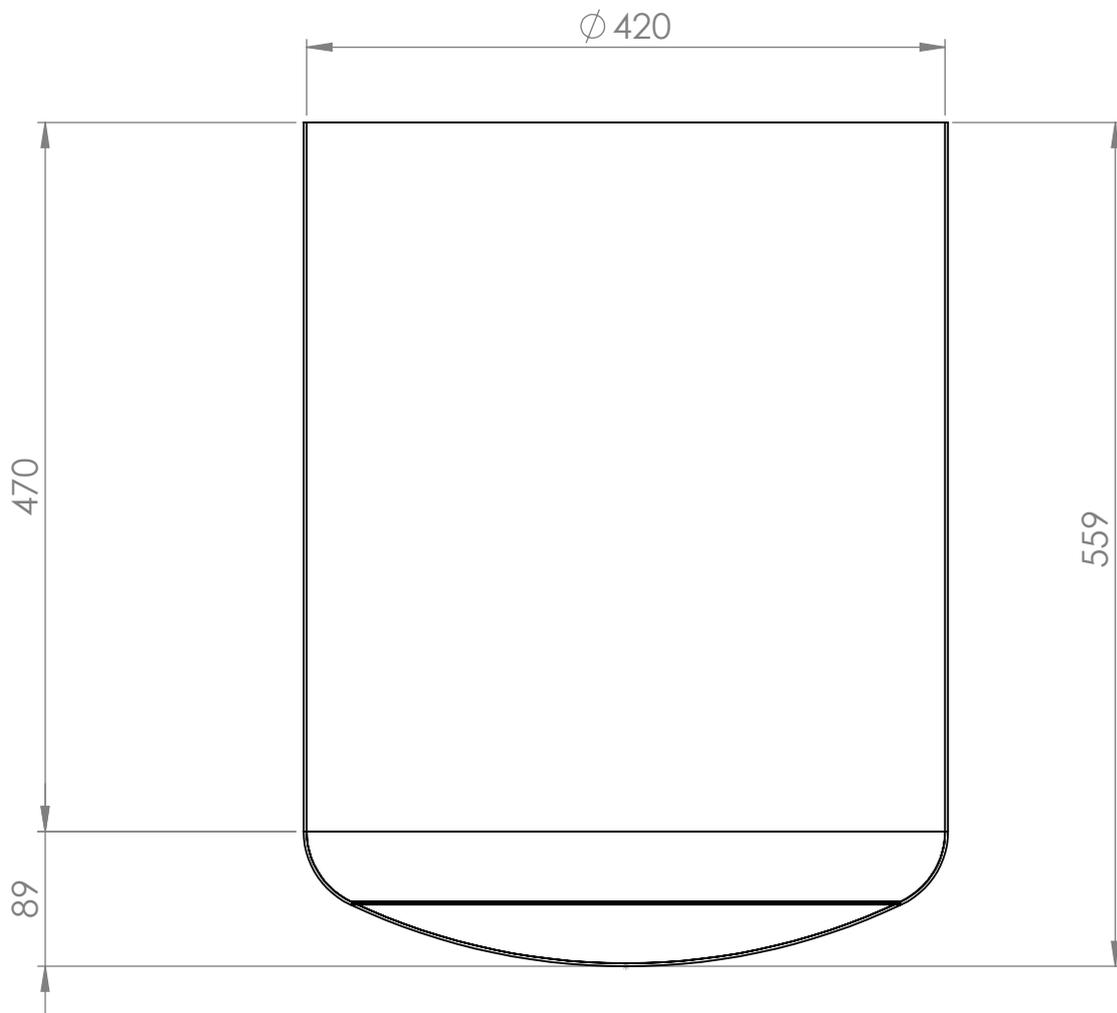


Tratamiento Termico:	N/A	Material:	AISI 304	Dim. Brutas:	30x30x2 mm
Recubrimiento:	N/A				
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA	<b>UPS</b>	Diseño:	Lema S./ Ocaña E.	12/1/2023	
		Dibujo:	Lema S./ Ocaña E.	12/1/2023	
		Reviso:	Ing. Jami Milton S.	12/1/2023	
Estructura	Escala: 1:10	Codigo:	10.1551.00.01	Tol. Gral.:	±0.5 mm

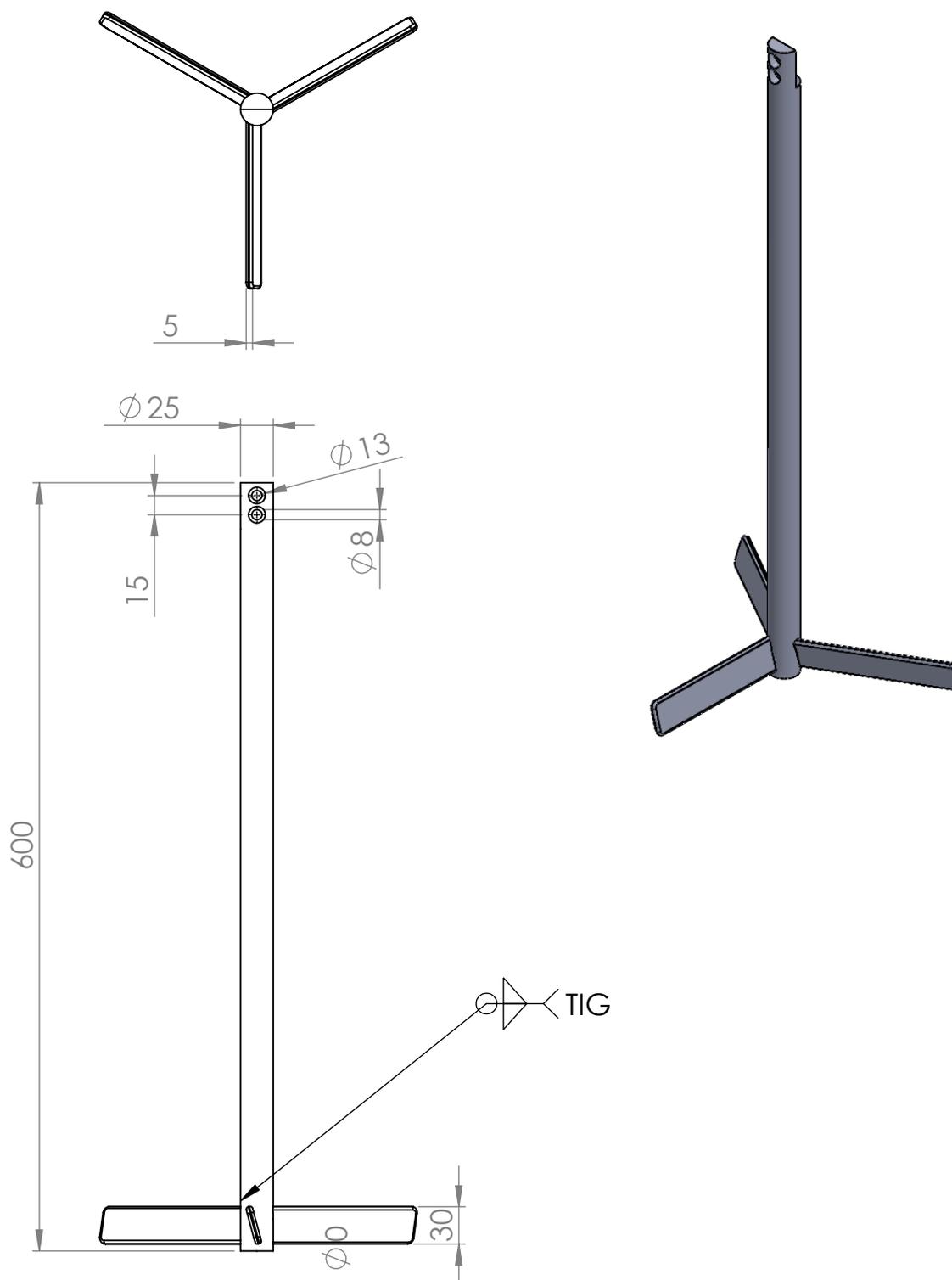


SECCIÓN A-A

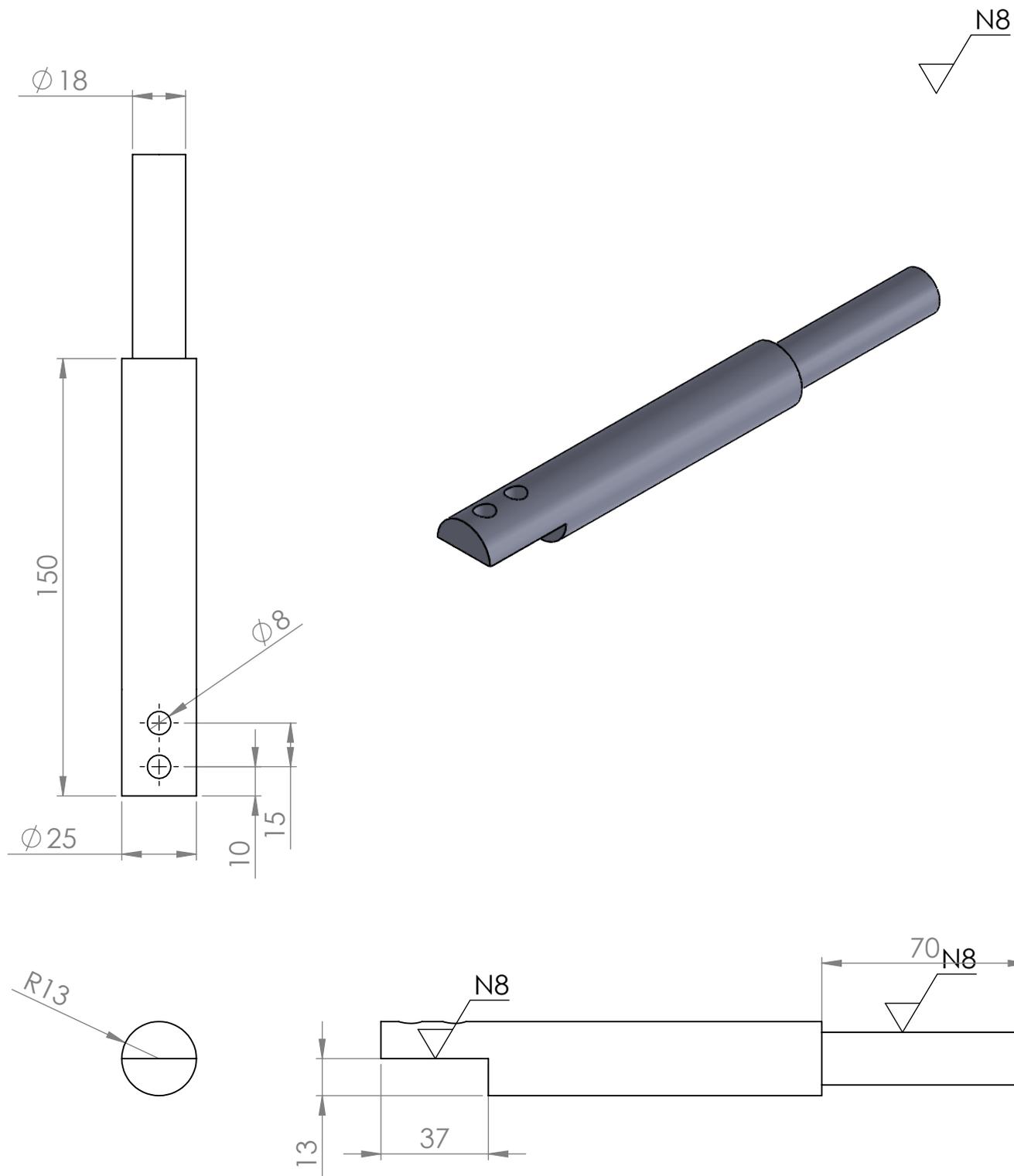
Tratamiento Termico:	N/A	Material:	AISI 304	Dim. Brutas:	Ø480x520mm
Recubrimiento:	N/A	Diseño:	Lema S./ Ocaña E.	12/1/2023	
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA		<b>UPS</b>		Dibujo:	Lema S./ Ocaña E. 12/1/2023
				Reviso:	Ing. Jami Milton S. 12/1/2023
Tanque enchaquetado	Escala: 1:10	Codigo:	10.1551.00.02	Tol. Gral.:	±0.5 mm



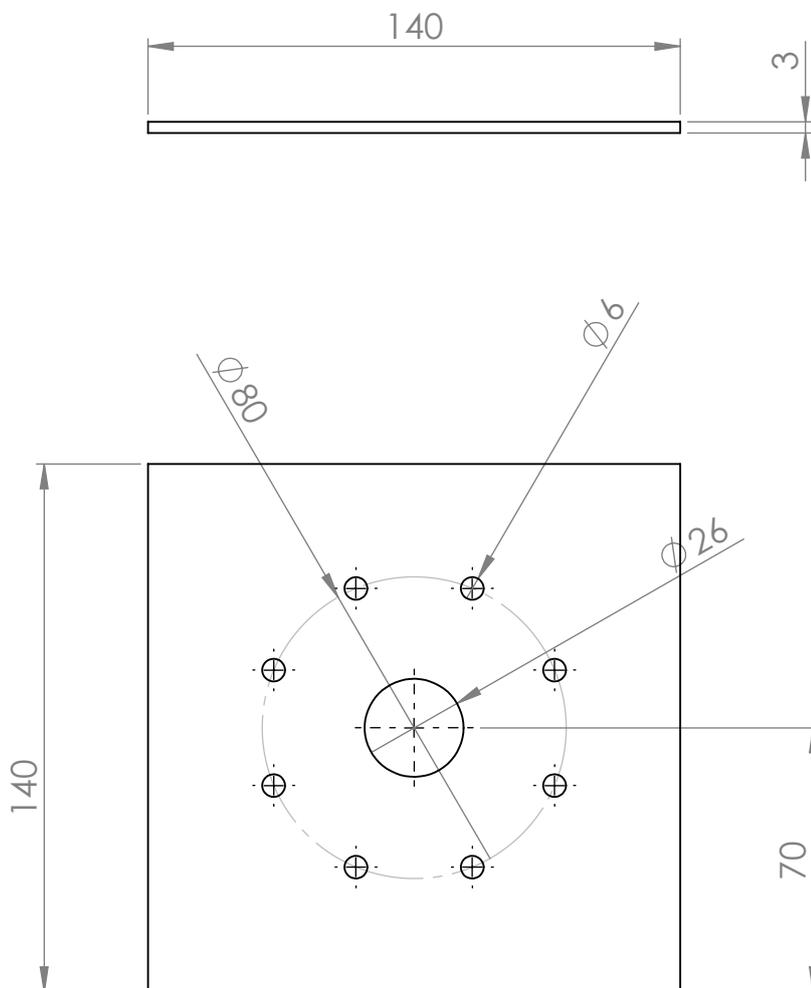
Tratamiento Termico:	N/A	Material:	AISI 304	Dim. Brutas.	$\phi 420 \times 600$
Recubrimiento:	N/A				
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA	<b>UPS</b>	Diseño:	Lema S./ Ocaña E.	12/1/2023	
		Dibujo:	Lema S./ Ocaña E.	12/1/2023	
		Reviso:	Ing. Jami Milton S.	12/1/2023	
Chaqueta	Escala: 1:10	Codigo:	10.1551.00.02	Tol. Gral.:	



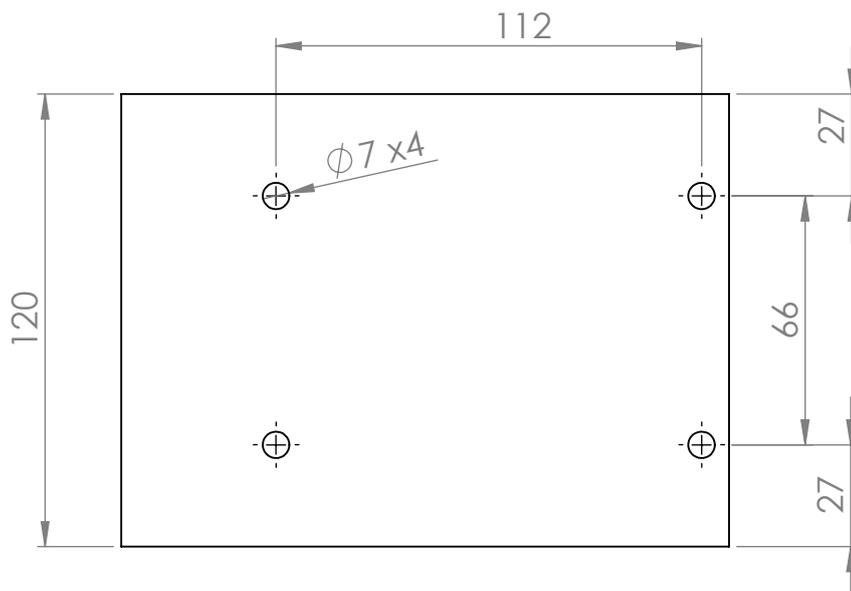
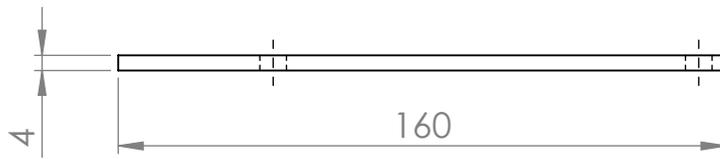
Tratamiento Termico:	N/A	Material:	AISI 304	Dim. Brutas:	Ø25.4x1200
Recubrimiento:	N/A				
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA	<b>UPS</b>	Diseño:	Lema S./ Ocaña E.	12/1/2023	
		Dibujo:	Lema S./ Ocaña E.	12/1/2023	
		Reviso:	Ing. Milton Jami	12/1/2023	
AGITADOR	Escala: 1:5	Codigo:	10.1551.00.03	Tol. Gral.:	±0.5 mm



Tratamiento Termico:	N/A	Material:	AISI 304	Dim. Brutas:	$\phi 25.4 \times 400$
Recubrimiento:	N/A				
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA	<b>UPS</b>	Diseño:	Lema S./ Ocaña E.	12/1/2023	
		Dibujo:	Lema S./ Ocaña E.	12/1/2023	
		Reviso:	Ing. Milton Jami	12/1/2023	
Eje motor	Escala: 1:2	Codigo:	10.1551.00.04	Tol. Gral.:	$\pm 0.5$ mm

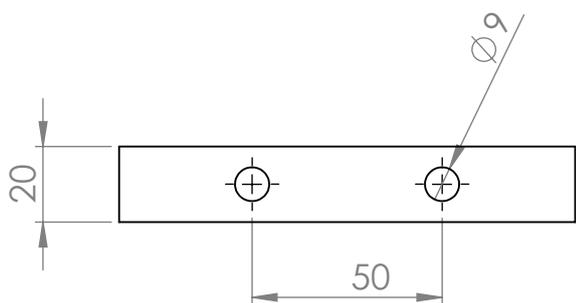
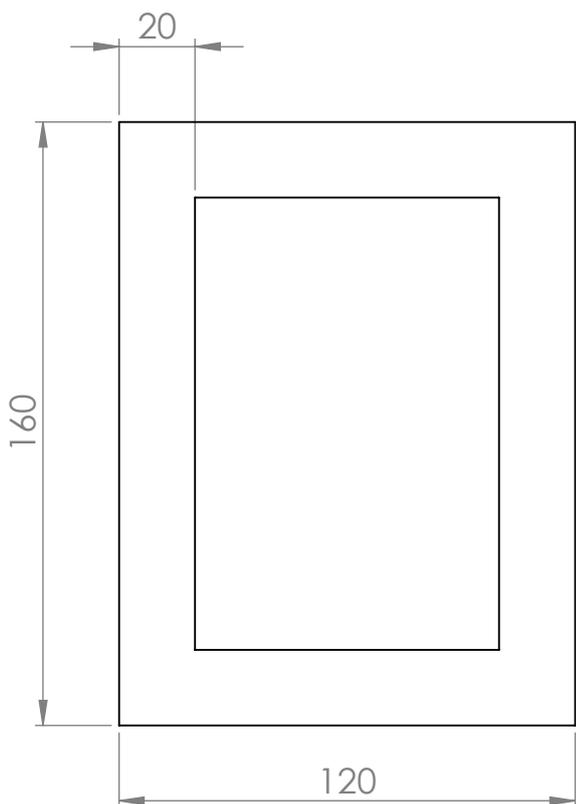
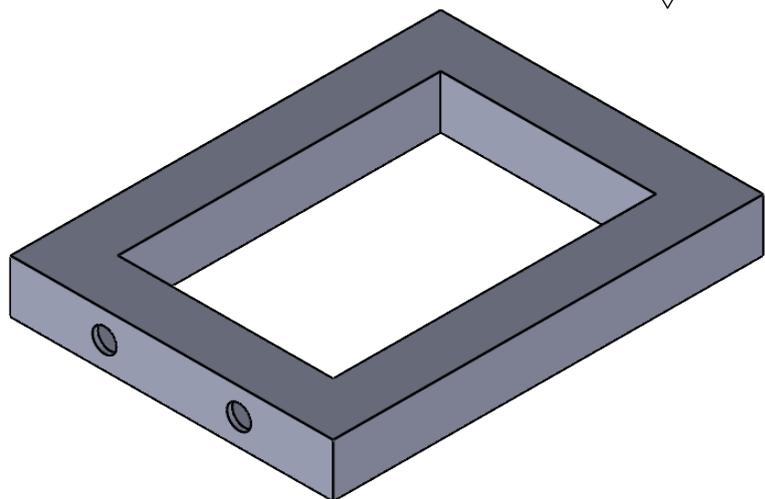


Tratamiento Termico:	N/A	Material:	AISI 304	Dim. Brutas.	140x140x3
Recubrimiento:	N/A				
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA	<b>UPS</b>	Diseño:	Lema S./ Ocaña E.	12/1/2023	
		Dibujo:	Lema S./ Ocaña E.	12/1/2023	
		Reviso:	Ing. Milton Jami	12/1/2023	
Placa base motor	Escala: 1:2	Codigo:	10.1551.00.05	Tol. Gral.:	±0.5 mm



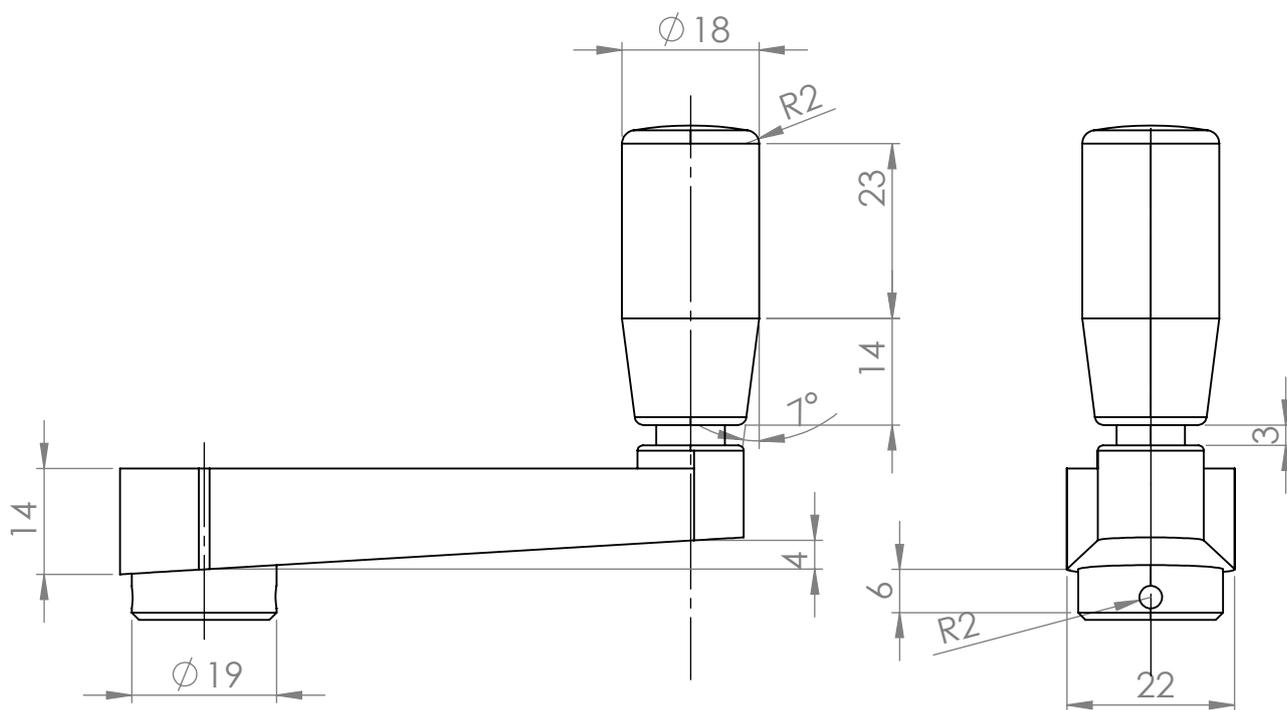
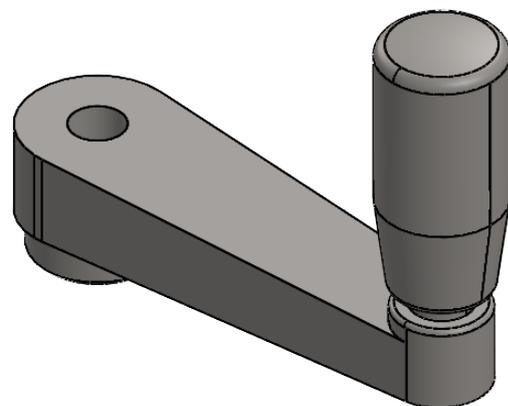
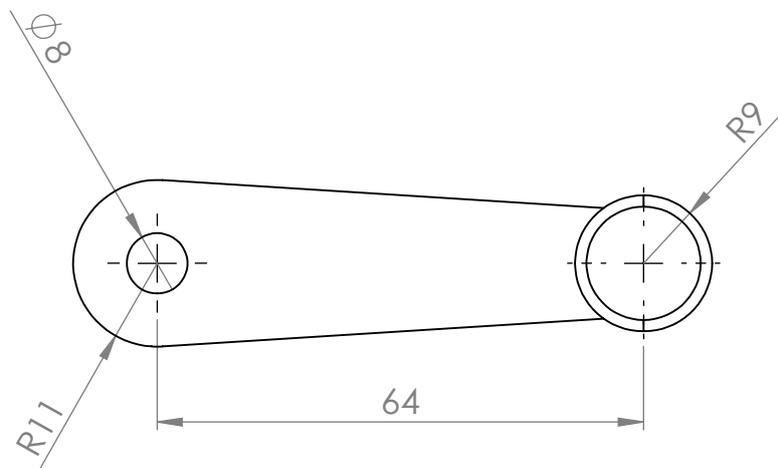
Tratamiento Termico:	N/A	Material:	AISI 304	Dim. Brutas:	160x120x4
Recubrimiento:	N/A				
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA	<b>UPS</b>	Diseño:	Lema S./ Ocaña E.	12/1/2023	
		Dibujo:	Lema S./ Ocaña E.	12/1/2023	
		Reviso:	Ing. Milton Jami	12/1/2023	
Base conjunto tornillo sinfir	Escala: 1:2	Codigo:	10.1551.00.06	Tol. Gral.:	±0.5 mm

N8

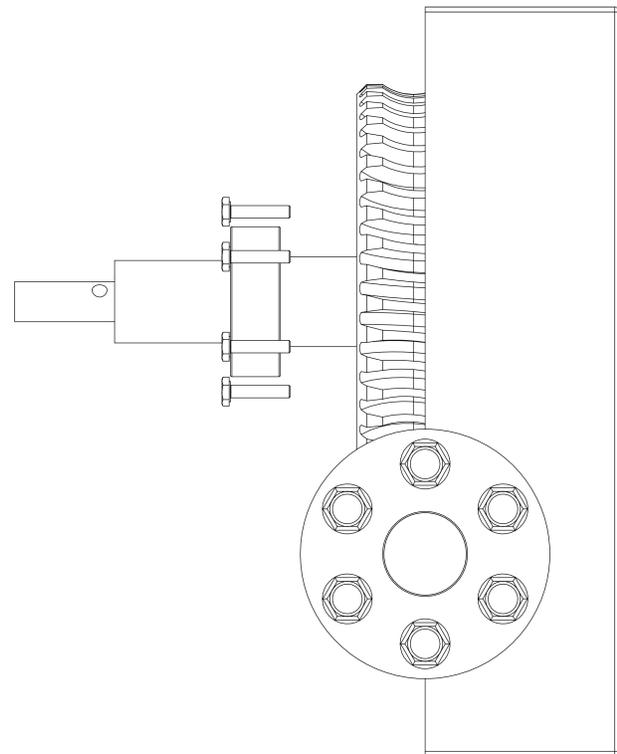
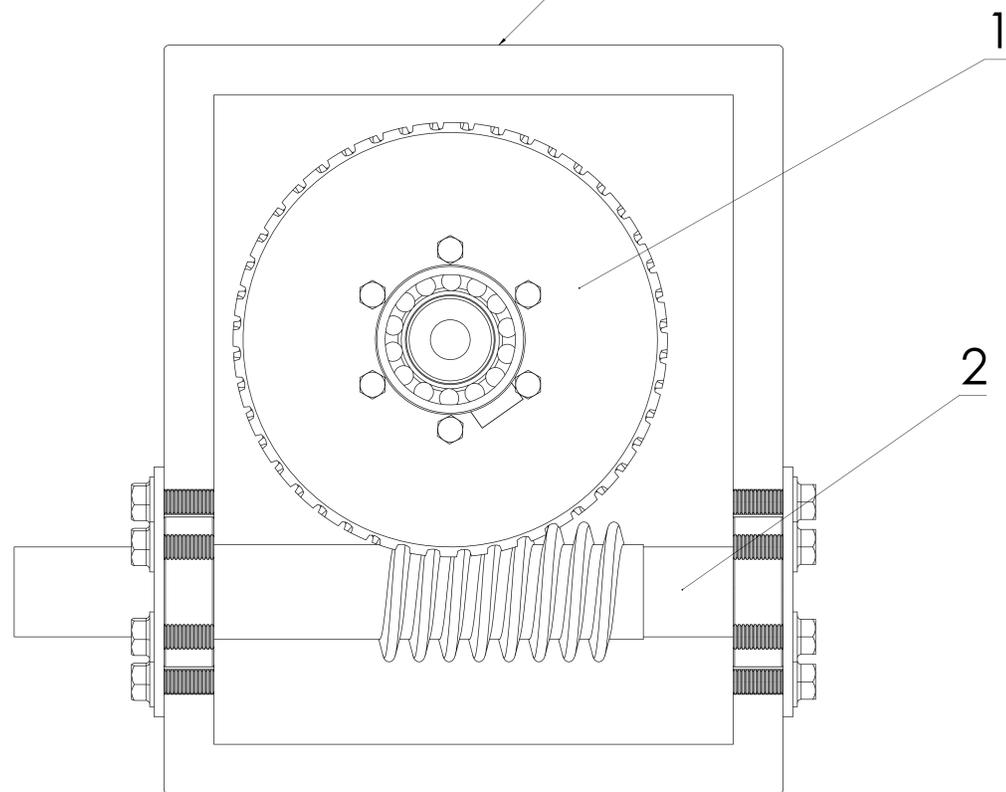
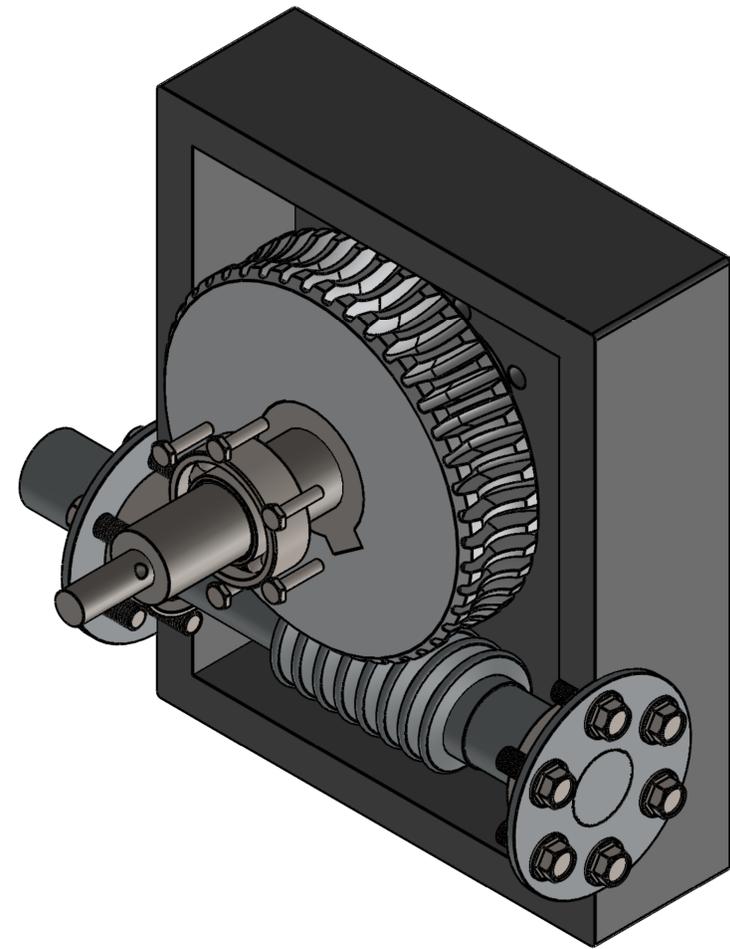
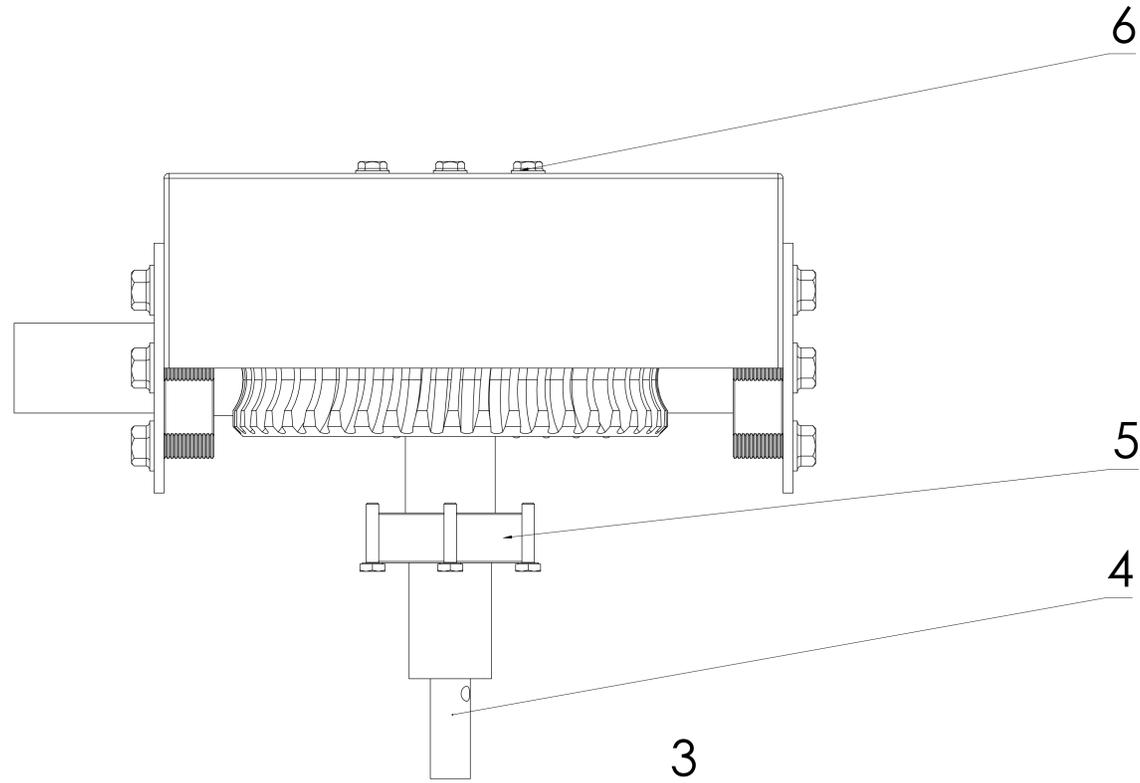


Tratamiento Termico:	N/A	Material:	AISI 304	Dim. Brutas:	20x20x2
Recubrimiento:	N/A	Diseño:	Lema S./ Ocaña E.	12/1/2023	
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA		<b>UPS</b>		Dibujo:	Lema S./ Ocaña E. 12/1/2023
				Reviso:	Ing. Milton Jami 12/1/2023
Estructura base de tornillo sin fin		Escala:	1:2	Codigo:	10.1551.00.07
				Tol. Gral.:	±0.5 mm

N8



Tratamiento Termico:	N/A	Material:	AISI 304	Dim. Brutas:	90x100x25
Recubrimiento:	N/A				
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA	<b>UPS</b>	Diseño:	Lema S./ Ocaña E.	12/1/2023	
		Dibujo:	Lema S./ Ocaña E.	12/1/2023	
		Reviso:	Ing. Milton Jami	12/1/2023	
Manivela de volteo	Escala: 1:1	Codigo:	10.1551.00.08	Tol. Gral.:	±0.5 mm



Ref.	Denominación	Cnt.	Norma	Localiz.	Material	Dim. Brutas	Observaciones
6	Guardapolvos	1	Normalizado		ASTM A36	Ø50X3	
5	Rodamientos	1	Normalizado			0.5 hp	
4	Eje de corona	1	Normalizado		SAE1045	Ø20X120	Cementado
3	Tapa posterior de caja	1	Normalizado		ASTM A65	150X130X70	
2	Tornillo sin fin	1	Normalizado		SAE1045	Ø30X160	Cementado
1	Corona	1	Normalizado		SAE 65	Ø90X25	
Tratamiento Térmico:		N/A					
Recubrimiento:		N/A					
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA							
Conjunto tornillo sin fin		Escala: 1:1	Código: 10.1551.01.00				Tol. Gral.: ±0.5 mm

Diseño: Lema S. / Ocaña E. 12/1/2023  
 Dibujo: Lema S. / Ocaña E. 12/1/2023  
 Reviso: Ing. Jami Milton S. 12/1/2023  
**UPS**