



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE MECÁNICA

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN EQUIPO HOMOGENEIZADOR CON UNA
CAPACIDAD DE 50 LITROS DE LECHE, PARA LA ESTACIÓN DE
INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de: **INGENIERO MECÁNICO**

AUTOR: EDISON DAMIÁN REISANCHO OÑA

TUTOR: MILTON SALOMÓN JAMI LEMA

Quito – Ecuador

2023

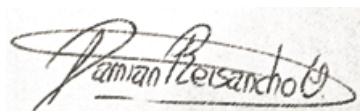
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo: Edison Damián Reisancho Oña con N°1727559393; manifiesto que:

Soy autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo 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, 26 de abril del año 2023

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, reading "Edison Damián Reisancho Oña", written over a horizontal line.

Edison Damián Reisancho Oña
1727559393

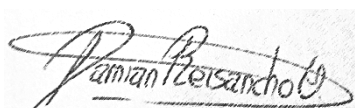
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Edison Damián Reisancho Oña con documento de identificación N°1727559393 expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud que soy autor de la Propuesta Tecnológica: “Diseño y simulación de un equipo homogeneizador con una capacidad de 50 litros de leche, para la estación de investigación de la Universidad Politécnica Salesiana”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 26 de abril del año 2023

Atentamente,



Edison Damián Reisancho Oña
1727559393

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Milton Salomón Jami Lema con documento de identidad N°1707254171, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN EQUIPO HOMOGENEIZADOR CON UNA CAPACIDAD DE 50 LITROS DE LECHE, PARA LA ESTACIÓN DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, realizado por Edison Damián Reisancho Oña con documento de identificación N°1727559393, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Propuesta Tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 26 de abril del año 2023

Atentamente,



Ing. Milton Salomón Jami Lema M. Sc.
1707254171

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme salud y sabiduría para poder culminar la carrera, a mi padre Rommel que por su esfuerzo y trabajo me ha permitido atravesar y concluir esta etapa de mi vida, a mi madre Jenny que han estado presente en el transcurso de la carrera apoyándome y guiándome. Al Ing. Milton Jami. Director de Tesis por su ayuda y guía para la realización del trabajo.

Y a todas las personas que sin ser mencionadas formaron parte para culminación de este trabajo.

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación, lo empiezo dedicando a DIOS, por ser El guía de inicio a fin en cada momento de este trayecto de mi vida, siendo luz en cada adversidad; a mis padres quienes, con su apoyo, consejos y su ejemplo me han ayudado a lograr cumplir una de las metas más grandes que me he propuesto hasta la fecha, a mis hermanos Fernando y Romina. Y a todas las personas que indirectamente estuvieron pendientes en el trascurso de la carrera.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
Antecedentes.....	1
Problema	1
Justificación.....	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos	2
Capítulo I.....	4
1.1. ¿Qué es la homogeneización?.....	4
1.2. ¿Qué es la rancidez?	4
1.2.1. Rancidez oxidativa.....	5
1.2.2. Rancidez lipolítica	5
1.3. Ventajas de homogeneizar la leche.....	5
1.4. Desventajas de homogeneizar la leche.....	6
1.5. Áreas industriales donde se aplica la homogeneización	6
1.6. Homogeneizador	7
1.7. Tipos de homogeneizadores	7
1.7.2. Homogeneizador mecánico.....	7
1.8. Partes de un homogeneizador mecánico tipo rotor-estator.....	8
1.8.2. Estator.....	9
1.8.3. Base soporte	10
1.9. Funcionamiento de homogeneizador mecánico rotor-estator	10
1.9.1. Primera etapa.....	11
1.9.2. Segunda etapa.....	11
1.9.3. Tercera etapa	11
1.10. Soldadura.....	12
1.11. Tipos de soldadura.....	12
1.12. Acero inoxidable.....	12
1.12.2. Acero inoxidable AISI 304	13
1.13. Sistemas de transmisión	14
1.13.1. Sistema de transmisión por engranajes.....	14
1.14. Sistema de transmisión por poleas.....	14
1.15. Partes del sistema de transmisión por poleas.	15

El sistema por poleas consta de 3 partes:	15
1.17. Tipos de mezclados para homogeneizadores	16
1.17.1. Mezcladores en línea.....	16
1.17.2. Mezclador por lote	17
2.1. Selección del tipo de homogeneizador	18
2.1.1. Parámetros para comprar entre los tipos de homogeneizadores	18
2.2. Selección del tipo de homogeneizador mecánico	19
2.2.1. Parámetros por comprar entre homogeneizadores mecánicos.....	19
2.3. Selección del tipo de mezclador.....	20
2.3.1. Parámetros para comprar en los tipos de mezcladores	21
2.4. Selección del estator	22
2.4.1. Parámetros para comparar en los cabezales de trabajo.....	22
2.5. Selección del tipo de rotor.....	23
2.5.1. Parámetros para comprar en los impulsores.....	23
Capítulo III.....	25
Cálculos	25
3. Cálculo y dimensionamiento del tanque de almacenamiento	25
3.1.1. Diámetro del tanque de almacenamiento.....	25
3.1.2. Altura.....	25
3.2. Potencia del motor.....	26
3.2.1. Numero de Reynolds.....	26
3.2.2. Cálculo de la potencia requerida.....	27
3.3. Selección del motor	28
3.4. Cálculo y dimensionamiento de eje requerido.....	28
3.4.1. Momento torsor	28
3.4.2. Límites de rotura a fluencia a tracción	29
3.4.3. Trabajo en el eje	29
3.4.4. Fuerza tangencial	30
3.4.5. Momento flector	30
3.4.6. Dimensionamiento del eje giratorio.....	31
3.5. Cálculo de aspas del rodete	31
3.5.1. Cálculo de las aspas	31
3.5.2. Paso de aspa	32
3.5.3. Momento flector de las aspas	33

3.5.4.	Velocidad Lineal.....	33
3.5.5.	Área transversal de la hélice	34
3.6.	Cálculo de bomba de succión	34
3.6.1.	Velocidad de salida del tanque.....	34
3.6.2.	Cálculo del caudal para la entrada de la bomba	35
3.6.3.	Área de la tubería.....	35
3.6.4.	Tiempo de vaciado del tanque.....	36
3.6.5.	Potencia de la bomba.....	36
3.6.6.	Velocidad de salida del fluido	36
3.6.7.	Tiempo de salida del fluido.....	37
3.7.	Tiempo total del proceso de succión del fluido	37
3.8.	Sistema de transmisión	37
3.8.1.	Relación entre las poleas	38
3.8.2.	Selección de la banda.....	39
3.8.3.	Cálculo de los ángulos de contacto.....	39
3.8.4.	Longitud de la banda.....	39
3.8.5.	Velocidad rotacional	40
3.8.6.	Factor de corrección del ángulo de contacto.....	40
3.8.7.	Factor de corrección de la longitud de la banda.....	41
3.8.8.	Potencia de diseño de banda	41
3.8.9.	Potencia permitida por la banda	41
3.8.10.	Número de bandas necesarias.....	41
3.9.2.	Tanque Homogeneizador.....	44
3.9.3.	Pernos en el soporte del motor	46
3.9.4.	Sistema de transmisión.....	48
3.9.5.	Rotor.....	51
3.9.6.	Eje principal	52
Capítulo 4.	54
3.10.	Mantenimiento	54
3.10.1.	Mantenimiento diario.....	54
3.10.2.	Mantenimiento preventivo.....	54
3.10.3.	Mantenimiento correctivo.....	55
3.11.	Materiales	55
3.11.1.	Tanque de almacenamiento.....	55

3.11.2.	Tanque de homogeneización.....	55
3.11.3.	Base bomba succión.....	56
3.11.4.	Tanque desplazamiento	57
3.11.5.	Material total utilizado	57
3.12.	Costos.....	58
3.12.1.	Costos de materia prima.....	58
3.12.2.	Costos de mano de obra directa.....	59
3.12.3.	Costos de mano de obra indirecta.....	59
3.12.4.	Costos Totales	59
	Conclusiones	60
	Recomendaciones	61
	Bibliografía	62
	ANEXOS	65

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Campos de aplicación de la homogeneización	6
Tabla 2. Propiedades del acero inoxidable AISI 304	13
Tabla 3. Ponderación de los tipos de homogeneizadores.....	19
Tabla 4. Ponderación de homogeneizadores mecánicos.....	20
Tabla 5. Ponderación en alternativas.....	21
Tabla 6. Selección del cabezal de trabajo.	22
Tabla 7. Comparación de los impulsores.....	23
Tabla 8. Propiedades de la leche.....	27
Tabla 9. Materiales utilizados en el tanque de almacenamiento.....	55
Tabla 10. Materiales utilizados en el tanque homogeneizador.....	55
Tabla 11. Materiales utilizados en la bomba de succión	56
Tabla 12. Materiales utilizados en el tanque desplazamiento.....	57
Tabla 13. Material total utilizado.....	57
Tabla 14. Costo de los materiales utilizados.	58

ÍNDICE GRÁFICAS

Figura 1. Enlace éster	5
Figura 2. Rotor de tipo hoja plana	8
Figura 3. Rotor tipo hoja inclinada	8
Figura 4. Rotor de disco con hojas	9
Figura 5. Estator desintegrador.....	9
Figura 6. Estator desintegrador ranurado.....	9
Figura 7. Estator con malla emulsora.....	10
Figura 8. Estator tipo malla con agujeros	10
Figura 9. Primera etapa del funcionamiento del homogeneizador	11
Figura 10. Segunda etapa del funcionamiento del homogeneizador.....	11
Figura 11. Tercera etapa del funcionamiento del homogeneizador	11
Figura 12. Capa pasiva	13
Figura 13. Transmisión por engranes.....	14
Figura 14. Representación de un sistema de poleas.....	15
Figura 15. Tipos de correas.....	15
Figura 16. Mezclado en línea	17
Figura 17. Mezclador por lote	17
Figura 18. Fuerzas que actúan sobre el eje.....	28
Figura 19. Trabajo en el eje.....	29
Figura 20. Dimensionamiento de las aspas.....	32
Figura 21. Fuerzas actuantes sobre las aspas.....	33
Figura 22. Tanque de almacenamiento.....	42
Figura 23. Análisis de desplazamiento del tanque de almacenamiento.....	43
Figura 24. Análisis de deformación del tanque de almacenamiento.....	43
Figura 25. Factor de seguridad del tanque de almacenamiento.....	43
Figura 26. Tanque homogeneizador.....	44
Figura 27. Análisis de desplazamiento del tanque de homogeneizador.....	45
Figura 28. Análisis de deformación del tanque de homogeneizador.....	45
Figura 29. Factor de seguridad del tanque homogeneizador.....	46
Figura 30. Estructura soporte motor.....	46
Figura 31. Análisis deformaciones unitarias del perno.....	47
Figura 32. Análisis tensiones del perno.....	47

Figura 33. Análisis desplazamiento del perno.....	47
Figura 34. Factor de seguridad de pernos.	48
Figura 35. Análisis deformaciones polea 4 in.	48
Figura 36. Análisis desplazamiento polea 4 in.	49
Figura 37. Análisis deformación polea 4 in.	49
Figura 38. Análisis tenciones polea 2 in.	50
Figura 39. Análisis deformación polea 2 in.	50
Figura 40. Análisis desplazamiento polea 2 in.	50
Figura 41. Análisis desplazamiento rotor.	51
Figura 42. Análisis deformación rotor.....	51
Figura 43. Análisis tensión rotor.....	51
Figura 44. Análisis tensión eje principal.	52
Figura 45. Análisis desplazamiento eje principal.	52
Figura 46. Análisis deformación eje principal.	53

RESUMEN

El presente proyecto de diseño y simulación de un equipo homogeneizador con características de inmersión y alto cizallamiento es destinado para los laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana extensión Cayambe, dado que actualmente dicha institución tiene la necesidad de adquirir un equipo homogeneizador.

Para la ejecución de este proyecto se desarrolló una investigación teórica sobre el proceso de homogenización en leche, estableciendo características técnicas para el diseño de la máquina.

El primer capítulo detalla el marco teórico donde se describe las características de un equipo homogeneizador con características de inmersión y alto cizallamiento, describiendo las partes y funcionamiento de la máquina.

El segundo capítulo efectúa de la comparación entre las diferentes alternativas de máquinas homogeneizadoras con sus respectivos componentes, con la finalidad de seleccionar los elementos adecuados para realizar el diseño.

El tercer capítulo comprende los cálculos con los cuales se determinó las partes del equipo homogeneizador. También consta de análisis estático mediante software computarizado de los componentes que garantiza su durabilidad.

Finalmente, en el cuarto capítulo se presenta el plan de mantenimiento. Además, se incluyen los materiales utilizados para cada sección de la máquina con el costo total de fabricación del equipo.

ABSTRACT

This project for the design and simulation of a homogenizer with immersion and high shear characteristics is intended for the laboratories of the University Polytechnical Salesian, Cayambe extension, since said institution currently needs to acquire a homogenizer.

For the execution of this project, a theoretical investigation was developed on the milk homogenization process, establishing technical characteristics for the design of the machine.

The first chapter details the theoretical framework where the characteristics of a homogenizer equipment with immersion and high shear characteristics are described, describing the parts and operation of the machine.

The second chapter makes a comparison between the different alternatives of homogenizing machines with their respective components, in order to select the appropriate elements to carry out the design.

The third chapter includes the calculations with which the parts of the homogenizing equipment were determined. It also consists of static analysis through computerized software of the components that guarantees their durability.

Finally, in the fourth chapter the maintenance plan is presented. In addition, the materials used for each section of the machine are included with the total manufacturing cost of the equipment.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La Universidad Politécnica Salesiana en la estación de investigación dedicada a la innovación de Lácteos, ubicada en el cantón Cayambe carece de un equipo homogeneizador para el estudio y la investigación de procesos en el tratamiento de la leche en la configuración de sus características y variantes de estas, sometiénolas a distintos procesos de producción con el fin de tener un producto más saludable.

En la industria de los lácteos, uno de los procesos más rutinarios e importantes dentro de este campo es la homogeneización, este proceso tiene el fin de conseguir la estabilidad de la leche mediante la reducción de los glóbulos de grasa presentes ayudando que la mezcla de los nutrientes sea uniforme. A este proceso también se lo conoce como “estabilizar la emulsión”

El mezclador de alto cizallamiento es una evolución del agitador convencional, este procedimiento nos permite realizar distintas tareas que el agitador convencional no puede realizarlas como: la dispersión de sólido a líquido y emulsionar líquidos inmiscibles. Esto debido a que la diferencia entre estos dos procedimientos es que el agitador convencional trabaja a bajas velocidades y en el proceso de cizallamiento se utiliza motores de alta velocidad.

Problema

En todos los procesos industriales que se trabaje con lácteos es importante contar con el proceso de homogeneización ya que al tener la leche de vaca pura se considera que no es un alimento adecuado para el organismo humano, ya que al ser leche de vaca tiene composición necesaria para que el ternero cumpla su proceso de alimentación. Tomando en cuenta lo dicho anteriormente se tiene la necesidad de convertirla en menos nociva con los diferentes procesos a los que se les somete. Además de mejorar la consistencia y calidad de la leche apta para el consumo humano.

Al realizar el diseño y simulación para posteriormente su construcción de un Homogeneizador para 50 litros se soluciona el problema, en vista que en el mercado no existen equipos para esta cantidad de leche, evitando tener los fastidiosos procedimientos y pagos como son: importar la

máquina con sus muy altos costos de envío e impuestos, no contar con las garantías por parte del fabricante al tener algún golpe la máquina al momento de importarla, etc.

Justificación

La siguiente propuesta tecnológica tiene como finalidad contribuir con un estudio de investigación que permita diseñar y contrastar mediante un software de diseño mecánico un equipo homogeneizador de leche con la característica de poseer una capacidad de 50 litros por lote, que permitirá mejorar los procesos de tecnificación en la estación de investigación ubicado en el cantón Cayambe, provincia de Pichincha.

La realización de este estudio conlleva a que el centro de investigación pueda hacer uso de este para sus beneficios propios y que enriquezcan sus procedimientos internos. Teniendo en cuenta que con el homogeneizador no solo homogeniza, sino tiene la capacidad de emulsionar, solubilizar, dispersar y desintegrar partículas sólidas.

Al ser un proceso moderno a comparación del mezclador convencional, se obtiene una reducción en el tiempo de trabajo por cada proceso y adicionalmente mejorar la calidad.

Una ventaja que se tiene al momento realizar el diseño del homogeneizador es poder construir dependiendo de las necesidades que presente el producto, en este caso la leche para obtener sus derivados, ya que este procedimiento permite que conserve sus características por mucho más tiempo.

Objetivo General

Diseñar y simular un equipo homogeneizador con una capacidad de 50 litros de leche para la estación de investigación de la Universidad Politécnica Salesiana.

Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros de un equipo homogeneizador de leche para una capacidad de 50 litros por lote.
- Diseñar un equipo homogeneizador de leche con una capacidad de 50 litros lote con características de inmersión y alto cizallamiento.

- Simular estáticamente los elementos mecánicos del equipo homogeneizador de leche con una capacidad de 50 litros lote mediante software especializado.
- Determinar la factibilidad económica del homogeneizador de leche con una capacidad de 50 litros lote

Capítulo I

Marco teórico

1.1. ¿Qué es la homogeneización?

Homogeneización significa igualar proporciones o condiciones. Es decir, brindar las mismas oportunidades a toda la composición de la sustancia a trabajar. [1].

En el campo de los lácteos se utiliza la homogeneización como proceso rutinario y obligatorio que debe pasar la leche de vaca pura para lograr que la misma no estropee su grasa, la cual se llega a deteriorar por varios factores, los cuales se detallan a continuación:

- Oxidación: Producido por los ácidos grasos insaturados libres dentro de la composición de la leche pura de la vaca.

- Enranciamiento: O también conocido como rancidez, es producido por la rotura de los triglicéridos debido a un componente que tiene la leche llamado lipasas.

La homogeneización de la leche se logra al pasar el fluido por una presión elevada a través de tamices extremadamente delgados. Consiguiendo que los glóbulos de grasa presentes en leche pura de vaca reduzcan su tamaño aproximadamente diez veces el tamaño de su partícula.

Con esto se logra que la emulsión de la grasa presente en la leche se convierta en una emulsión estable y de difícil degradación [2].

1.2. ¿Qué es la rancidez?

La leche al poseer grasa puede sufrir cambios en su composición interna, los mismos que afectan el valor nutritivo. También se aprecia por los malos olores y afectar el sabor del producto haciéndolos desagradables [3].

La rancidez es un problema de gran importancia en el ámbito técnico dentro de las industrias lácteas y pueden generarse de dos formas diferentes dependiendo a que factores se someta, entre los cuales se aprecian:

1.2.1. *Rancidez oxidativa*

También conocida como autooxidación es la principal responsable de deterioro de los alimentos con alta presencia de lípidos, causantes de los cambios indeseables del color, sabor, aroma y consistencia de la leche.

La autooxidación se genera por reacciones químicas que tienen como protagonistas el oxígeno atmosférico y los ácidos grasos insaturados de los lípidos [4].

1.2.2. *Rancidez lipolítica*

También conocida como hidrolítica, la característica principal es la presencia de agua dentro de la composición, encargada de acelerar el enranciamiento hidrolítico mediante la formación de ácidos grasos libres, saturados e insaturados.

Estos ácidos grasos son los encargados de reducir la calidad grasa, cuando esta grasa se llega a emulsionar en agua debido a la ruptura del enlace éster, así sea en bajas cantidades puede llegar a afectar las características organolépticas del producto tales como el olor, color y lo primordial en una comida el sabor [4].

- 1.2.2.1.1. **Enlace éster.** Es un enlace químico encargado de formar lípidos entre los ácidos grasos, eliminando las moléculas de agua para evitar que genere la rancidez de tipo hidrolítica en este alimento [5].

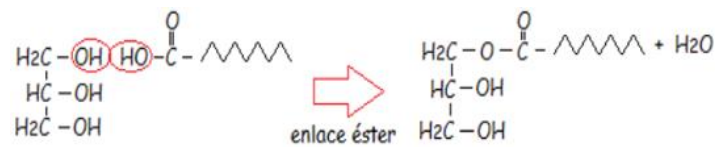


Figura 1. Enlace éster [5].

1.3. **Ventajas de homogeneizar la leche**

- **Coloración.** Este proceso es el responsable de una coloración más blanquecina en la leche [6].
- **Evita deterioros.** Al someter a la homogeneización, la leche evita deterioros producidos por la rancidez, la cual es causante de los malos olores y el deterioro del sabor [7].

- **Espuma.** Tendencia a generar mayor cantidad de espuma [2].
- **Durabilidad.** Se mantendrá más fresca por mucho más tiempo, debido a que las células de grasa tienen un tamaño más uniforme y sometiendo la leche al proceso de homogeneización se mantienen suspendidas durante mucho más tiempo [7].
- **Fácil digestión.** La leche homogeneizada es de fácil digestión para las personas, debido a que al cuerpo se le hace más fácil y eficiente la absorción de los nutrientes presentes en la leche [7].

1.4. Desventajas de homogeneizar la leche

- **No descremable.** La leche homogeneizada es imposible descremar, debido a la alteración de su composición [7].
- **Difícil de desuerar.** No se puede usar para la producción de quesos, en especial para los quesos duros y semiduros, debido a que saldrían quesos extremadamente suaves [8].

1.5. Áreas industriales donde se aplica la homogeneización

En la Tabla 1 se observa los diferentes campos donde se utiliza la homogeneización, con sus respectivos productos [9].

Tabla 1. Campos de aplicación de la homogeneización [9].

Industria	Productos
Láctea	Fórmulas infantiles, helado, yogur, leche, queso crema.
Alimenticia	Juegos frutales, mayonesa, salsa de tomate, gelatina y miel.
Petroquímica	Detergente, cera, grasa, aceite combustible y pintura aceite lubricante.
Farmacéutica	Vacunas, antibióticos, jarabes, vitaminas, enzimas y liposoma
Cosmetología	Pasta de dientes, cremas, champú, loción, perfumes y esmaltes.
Bioteología	Proteína, bacteria y levaduras

1.6. **Homogeneizador**

El homogeneizador es responsable de dar consistencia uniforme y reducir las partículas de las sustancias a trabajar. El lugar en donde estas máquinas tienen mayor uso es en la industria alimenticia, es especial a la industria de lácteos.

La mayoría de estas máquinas funcionan mediante sistemas de alta presión para homogeneizar las sustancias. Existen diferentes métodos avanzados como las ráfagas sónicas o los métodos simples como son las licuadoras industriales [10].

1.7. **Tipos de homogeneizadores**

Los homogeneizadores se clasifican mediante el mecanismo que emplean para la realización del proceso de homogeneización. Entre los cuales aprecian los siguientes [12].

1.7.1. *Homogeneizador ultrasonido*

Este tipo de homogeneizadores funcionan mediante ondas ultrasónicas con una elevada potencia. Las ondas son las responsables de generar una cantidad considerable de burbujas que tienen como propósito colapsar para generar gran cantidad de chorros de líquido promoviendo las fuerzas de cizallamiento favoreciendo su mezclado de forma homogénea, este es el proceso conocido como cavitación [12].

1.7.2. *Homogeneizador mecánico*

Se caracterizan por el uso de un motor, provocando el giro a altas velocidades del eje y de sus aspas. Entre los cuales se encuentran [12]:

1.7.2.1. **Molino con cuchillas.** Consta de un motor conectado con aspas tipo cuchillas, teniendo una separación de partículas por corte. Comúnmente se lo ocupa para reducción de partículas a un tamaño considerable.

1.7.2.2. **Molino con bolas.** Se compone de un motor conectado con aspas de tipo bola, teniendo una separación de partículas por aplastamiento. Comúnmente se ocupa en hortalizas y frutas secas para convertirlas en polvo.

- 1.7.2.3. **Rotor-estator.** Este tipo de mecanismo consiste en un motor conectado con un rotor, encargado del desplazamiento de la sustancia. Por otra parte, se encuentra el estator que es la parte fija del mecanismo responsable del corte, teniendo una separación de partículas por cizallamiento. Comúnmente se utiliza para la obtención de emulsiones.

1.8. Partes de un homogeneizador mecánico tipo rotor-estator

Los homogeneizadores con el mecanismo rotor-estator necesitan de 4 componentes principales para su funcionamiento, los cuales serán detalladas a continuación:

1.8.1. *Rotor*

El rotor es el componente rotatorio del mecanismo, responsable de provocar la fuerza centrífuga necesaria para que la sustancia atraviese el estator [14].

- 1.8.1.1. **De hojas planas.** Origina un flujo radial, trasladando la sustancia a trabajar al interior del recipiente, obteniendo un movimiento apreciable. El impulsador de hojas planas comúnmente es utilizado en fluidos que posean baja viscosidad.

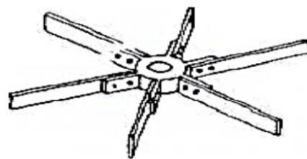


Figura 2. Rotor de tipo hoja plana [14].

- 1.8.1.2. **De hojas inclinadas.** El impulsador de hojas inclinadas es capaz de realizar una combinación entre los flujos radiales y los flujos axiales, comúnmente se utiliza para el mezclado de sustancias.

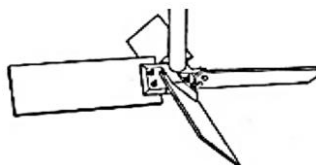


Figura 3. Rotor tipo hoja inclinada [14].

- 1.8.1.3. **Disco con hoja.** Tiene la capacidad de generar flujos axiales como flujos radiales además puede poseer hojas de tipo curvas o de tipo planas logrando generar en la corriente de flujo una estabilidad.



Figura 4. Rotor de disco con hojas [14].

1.8.2. *Estator*

El estator es la parte fija del mecanismo, responsable de generar el corte por alto cizallamiento. Se clasifica según sus diferentes usos, entre los cuales se tiene [13]:

- 1.8.2.1. ***Estator desintegrador.*** El principal uso es intensificar el procedimiento de la mezcla, ideal para el mezclado en general. Otros usos que posee son: desintegrar materiales sólidos y preparación de espesantes.



Figura 5. Estator desintegrador [13].

- 1.8.2.2. **Estator desintegrador ranurado.** Comúnmente utilizado en la desintegración de materiales tipo fibra, como son los tejidos animal o vegetal, materiales tipo sintéticos como los minerales, maderas, gomas y asfaltos.



Figura 6. Estator desintegrador ranurado [13].

- 1.8.2.3. **Estator estándar con malla emulsora.** Se utiliza para las preparaciones que sean entre líquidos o emulsiones. Las mallas emulsoras puede tener diferentes perforaciones como fina, mediana o gruesa.



Figura 7. Estator con malla emulsora [13].

- 1.8.2.4. **Estator tipo malla con agujeros.** Es capaz de producir índices de cizallamiento extremadamente elevados logrando desvanecer masas sólidas de tamaños granulares a mezclas finas y sustancias en emulsiones.



Figura 8. Estator tipo malla con agujeros [13].

1.8.3. **Base soporte**

La base soporte es el apoyo en donde van a descansar las diferentes partes de la máquina homogeneizadora, debe ser estáticamente diseñado para obtener el equilibrio entre las partes del equipo.

1.8.4. **Motor**

Los motores con funcionamiento a corriente directa son los más utilizados a nivel industrial por ser muy eficientes al momento de trabajar. [15]. El motor es el responsable del giro, entregando giros con velocidades desde 1750 a 3500 rpm necesarias para el proceso de homogeneización.

1.9. **Funcionamiento de homogeneizador mecánico rotor-estator**

El funcionamiento consta de tres etapas, las cuales se detallan a continuación [11].

1.9.1. *Primera etapa*

El efecto de rotación de las cuchillas ubicadas en el rotor al girar a altas velocidades provoca que el cabezal de trabajo dirija el líquido o la sustancia a trabajar a donde se encuentra estator, este desplazamiento de la sustancia es producido por la fuerte succión que ejerce las cuchillas.

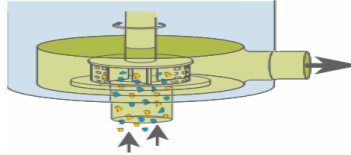


Figura 9. Primera etapa del funcionamiento del homogeneizador [11].

1.9.2. *Segunda etapa*

La fuerza centrífuga causada por el movimiento de las cuchillas es la responsable de dirigir a la sustancia a homogeneizar hacia el contorno del cabezal de trabajo, aquí es donde la sustancia se somete a la acción del molino efectuada entre el espacio que existe entre la pared interna del estator y entre las cuchillas, indicado en la Figura3.

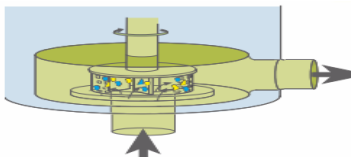


Figura 10. Segunda etapa del funcionamiento del homogeneizador [11].

1.9.3. *Tercera etapa*

Esta etapa consiste en un proceso de cizallamiento de tipo hidráulico, logrando que el material a homogeneizar sea expulsado a gran velocidad por medio de las perforaciones presentes en el estator. La sustancia entra a un ciclo de bombeo y mezclado.

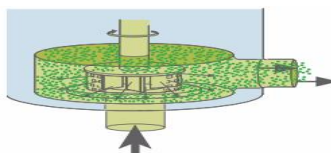


Figura 11. Tercera etapa del funcionamiento del homogeneizador [11].

1.10. Soldadura

Es el proceso donde dos o varias piezas metálicas se unen, con ayuda de un material de aporte. El proceso consiste en calentar los materiales hasta fundirlos para lograr la unión entre las diferentes piezas a juntar [16].

1.11. Tipos de soldadura

Los tipos de soldadura más comunes son:

- **Soldadura SMAW:** También conocida como soldadura por arco con electrodo metálico revestido. Consiste en que el calor de soldadura es generado por arco eléctrico entre la pieza de trabajo y un electrodo metálico consumible.
- **Soldadura MIG:** también llamada soldadura de arco metálico con gas El proceso de soldadura sucede cuando un corto circuito eléctrico es determinado, esto ocurre cuando en la punta del hilo del alambre se une con la soldadura fundida.
- **Soldadura TIG:** Conocido así por sus siglas en inglés (Tungsten Inert Gas). Esta técnica de soldadura es usada junto al gas de tipo Argón en estado de plasma. El Argón es usado por su gran pureza y adquiere propiedades eléctricas al tener paso a su estado de plasma con ciertas condiciones de voltaje e intensidad [28].

1.12. Acero inoxidable

La mayoría de los metales son propensos a la oxidación, como ejemplo la plata que gracias a la oxidación tiende a ponerse de coloración negra, otro ejemplo es el aluminio que comienza a tener una coloración blanquecina y el cobre adquiere una coloración verdosa [19].

El acero por su parte, al ser conformado mayormente por hierro, tiende a oxidarse por la combinación de este material con el oxígeno, formando la oxidación del hierro que toma una coloración rojiza. No solo el oxígeno es capaz de hacer oxidar los metales, también puede ser causada por el agua que afecta al metal produciendo un óxido ferroso.

La característica principal del acero inoxidable esta la composición química, con la presencia de una proporción considerable de Cromo.

1.12.1. *Capa pasiva*

Esta capa está formada por cromo, encargada de formar una película de óxido cromático evitando que el proceso de oxidación siga penetrando al material, con el fin de evitar la corrosión y la oxidación del acero [19].

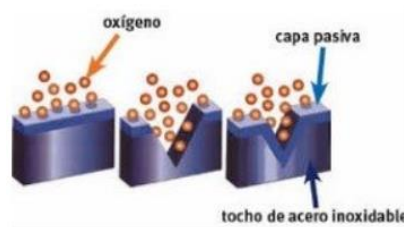


Figura 12. Capa pasiva [19].

Si la capa pasiva se llega a romper o tenga algún tipo de daño mecánico o químico, no se debe preocupar, debido a que dicha capa es auto reparable cuando el oxígeno se mezcla con el cromo del material. Para evitar la oxidación del acero, la aleación debe tener en su composición como mínimo un 10,5% de cromo.

1.12.2. *Acero inoxidable AISI 304* [20]

El más utilizado en la serie 300, debido a que posee buenas características para el soldado y conformado, no es necesario un recocido después de la soldadura para el desempeño correcto en una amplia gama de condiciones corrosivas. Se aprecia las características de este tipo de acero en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades del acero inoxidable AISI 304 [20].

Propiedades	Valores
Elongación	30%
Resistencia	620 (Mpa)
Resistencia a la fluencia	310 (Mpa)
Densidad	7.8 g/cm ³
Módulo de elasticidad	200 GPa

Las diferentes aplicaciones del acero inoxidable AISI 304 son:

- **Tecnología Médica:** En el campo de la salud se ocupa este tipo de acero por su fácil limpieza y por su baja corrosión debido a que en los instrumentos utilizados en este campo son instrumentos que se encuentran contacto entre diferentes personas, por la cual deben ser fabricadas en un material de fácil limpieza y esterilización.
- **Alimentación:** En el campo de la alimentación se utiliza para la fabricación de cubiertos y de accesorios para la cocina por la ventaja que no sufre oxidación.

1.13. Sistemas de transmisión

Es un mecanismo encargado de la transmisión de potencia entre elementos de una máquina con el objetivo de aumentar o reducir velocidades de trabajo. Para los sistemas de transmisión existen de dos diferentes mecanismos.

1.13.1. Sistema de transmisión por engranajes

Este sistema de transmisión de movimiento consta de un acoplamiento diente a diente mediante dos ruedas dentadas la cual la principal se la llamara corona y a la secundaria se la llamara piñón



Figura 13. Transmisión por engranes.

Estos mecanismos tienen varias ventajas entre las cuales se tiene: ocupar espacios reducidos, no hay posibilidad de deslizamientos, elevado rendimiento y bajo mantenimiento.

1.14. Sistema de transmisión por poleas

Es un mecanismo que cuenta con una correa y dos poleas acopladas, la correa tiene la finalidad de transmitir velocidades angulares y fuerzas entre poleas paralelas a cierta distancia.

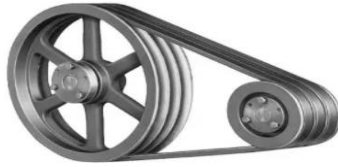


Figura 14. Representación de un sistema de poleas

Esta fuerza es transmitida por el efecto de rozamiento provocado por la correa hacia las poleas, el movimiento que se transmite conserva el mismo sentido de giro tanto en la rueda conductora como la matriz.

Tiene ventajas como el bajo costo de comercialización y de mantenimientos, también es un proceso de elevado rendimiento entre el 95-98%.

1.15. Partes del sistema de transmisión por poleas.

El sistema por poleas consta de 3 partes:

1.15.1. *Polea conductora.*

Es la polea de entrada o motora que va junta al eje movido por un motor.

1.15.2. *Polea conducida.*

Es la polea arrastrada o de salida y es conducida por la polea conductora la cual es la encargada de aumentar o reducir la velocidad.

1.15.3. *Correa.* Es la encargada de transmitir el movimiento de una polea a otra

1.16. **Tipos de correas.** En la transmisión por poleas un componente importante es la correa que genera el movimiento de las poleas, entre los diferentes tipos de correas se tiene las siguientes:

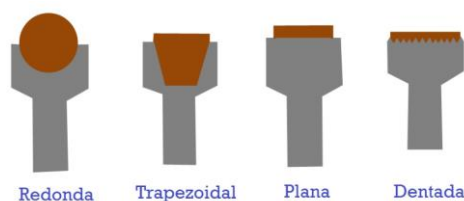


Figura 15. Tipos de correas.

- **Redondas:** Se utilizan cuando se va a trabajar en curvas cerradas y se necesita fuerzas pequeñas
- **Trapezoidales:** Son las más comunes debido a que se adaptan al canal de la polea evitando deslizamientos entre correa y la polea.
- **Plana:** Son más utilizadas para transmitir esfuerzos de giro y el movimiento de motores de máquinas, actualmente no tienen mucho uso.
- **Dentada:** Se utiliza cuando se tienen grandes revoluciones, su uso es en los motores de automóviles por su detalle dentado el cual se acopla a la polea y garantiza que no se tenga problemas.

1.17. Tipos de mezclados para homogeneizadores

Dentro del campo del tipo de mezcladores para homogeneizadores tenemos dos tipos que se los conoce como:

- Mezcladores de línea.
- Mezcladores de lotes.

1.17.1. *Mezcladores en línea*

El mezclador en línea tiene la característica principal de tener un tanque para el almacenamiento, obteniendo una línea de producción alta [29].

Cuando se trabaja con materiales de viscosidad baja, el homogeneizador puede trabajar sin la ayuda de una bomba adicional para el bombeo realizando solo un ciclo de trabajo, así como se muestra en la Figura 16 donde se observa que el material a trabajar se va por la tubería A, el cual será destinado a otro depósito por medio de tuberías para el almacenamiento.

Por otro caso se tiene materiales con alta viscosidad, en los cuales se debe hacer una recirculación del fluido para la obtención de un resultado más fino, para ello se requiere una bomba adicional que ayude con el bombeo del ciclo repetitivo, en la Figura 16 se observa que

la sustancia cumple un ciclo repetitivo mediante la tubería B rediriéndose al tanque una y otra vez, las veces que sean necesarias para la obtención de partículas más finas.



Figura 16. Mezclado en línea [29].

1.17.2. *Mezclador por lote*

La característica principal de este mezclador es que el cabezal de trabajo se sumerge dentro del recipiente en el cual se encuentra la sustancia a trabajar, debe contar con un sistema de elevación sea mecánico o hidráulico que es el encargado del ingreso y retiro de la sustancia localizada en el almacenamiento, en la Figura 17 se muestra un equipo homogeneizador mezclador por lote.



Figura 17. Mezclador por lote

Capítulo II

Análisis de alternativas

2.1. Selección del tipo de homogeneizador

En esta sección definiremos que tipo de homogeneizador y seleccionar el tipo de proceso que vamos a utilizar para el diseño y simulación.

2.1.1. *Parámetros para comprar entre los tipos de homogeneizadores*

- **Costo de funcionamiento:** El costo de funcionamiento es un parámetro importante al momento de seleccionar una máquina teniendo en cuenta la cantidad de energía que ocupa para su funcionamiento. Debido a que, si es alto el proceso sería costoso para el usuario de la máquina por ende su peso es de 8/10.

- **Complejidad del diseño:** Al ser las tres alternativas viables para el proceso de homogeneización compararemos la complejidad del diseño dando una ponderación de 10/10.

- **Capacidad.** Por tener la capacidad de 50 litros como parámetro a cumplir se lo ponderara en 8/10.

- **Materiales para la fabricación.** En este parámetro se tiene en cuenta los diferentes componentes tanto mecánicos como electrónicos de cada tipo de homogeneizador y la disponibilidad en el mercado local, dando una ponderación de 7/10.

- **Costo de mantenimiento.** Está relacionado con la complejidad del diseño, por ende, mientras más complejo y tecnológico sea el equipo homogeneizador su costo de mantenimiento será más elevado, teniendo un peso de 8/10.

Tabla 3. Ponderación de los tipos de homogeneizadores

Factores		Alternativas	
Parámetro	Peso	Homogeneizador mecánico	Homogeneizador ultrasonido
Costo de funcionamiento	8	8	4
Complejidad de diseño	10	9	6
Capacidad	8	8	8
Materiales de fabricación	7	6	5
Costo de mantenimiento	8	7	5
Promedio	8.2	7.6	5.6

En la Tabla 3 se tiene comparaciones entre los dos tipos de homogeneizadores, tomando en cuenta parámetros importantes como son el funcionamiento, costos, complejidad y mantenimiento. Se generó una tabla de ponderación para seleccionar el homogeneizador más viable, con ponderación de 7.6/8.2 se seleccionó el homogeneizador mecánico.

2.2. Selección del tipo de homogeneizador mecánico

Se sabe que existen diferentes tipos de homogeneizadores mecánicos, por lo que se realiza una tabla de comparación para designar uno de ellos para el diseño de la máquina.

2.2.1. *Parámetros por comprar entre homogeneizadores mecánicos*

- **Sustancia para trabajar:** En este parámetro detallaremos si el homogeneizador trabaja con emulsiones y líquidos o frutas y legumbres secas, dando un peso de 8/10. Siendo 8 si trabaja con emulsiones y líquidos o 5 si trabaja con frutos secos y legumbres.
- **Tamaño de reducción de la partícula:** Esta característica está relacionada con que tan fino es la reducción de la partícula después del proceso de homogeneización. Ponderando un peso de 9/10. Se califica como 9 la partícula fina descendiendo hasta 1 donde se tiene partícula ligeramente gruesa.

- **Fuerza de corte:** La fuerza de corte es un parámetro para tomar en cuenta debido a que mientras mayor sea la fuerza de corte la partícula tendrá una homogeneización de mayor calidad. Peso 7/10.
- **El costo:** Está relacionado con el costo de diseño, materiales y proceso para la construcción de la máquina, ponderación de este parámetro 7/10.

Tabla 4. Ponderación de homogeneizadores mecánicos

Factores		Alternativas		
Parámetro	Peso	Homogeneizador mecánico de molino con cuchillas	Homogeneizador mecánico de molino con bolas	Homogeneizador mecánico tipo rotor-estator
Sustancia por trabajar	8	7	5	8
Tamaño de reducción de la partícula	9	7	3	9
Fuerza de corte	7	7	4	7
Costo	7	6	6	6
Promedio	7.75	6.75	4.5	7.5

En la Tabla 4 se aprecia comparaciones entre los tres tipos de homogeneización mecánicos, teniendo en cuenta parámetros como son: sustancia por trabajar, tamaño de la partícula, fuerza de corte y costo. Se obtuvo una tabla de ponderación para seleccionar el homogeneizador mecánico más viable, donde el de tipo rotor-estator consiguió una ponderación de 7.5/7.75 siendo el óptimo para el diseño.

2.3. Selección del tipo de mezclador

El tipo de mezclador nos indica que tipo de máquina se va a fabricar, entre las opciones a construir tenemos el mezclador por lote y el mezclador con o sin bombeo.

2.3.1. *Parámetros para comprar en los tipos de mezcladores*

- **Homogeneización uniforme.** Es muy importante que la disminución de partículas del producto sea uniforme para evitar que la leche sufra procesos de oxidación y rancidez. Peso 10/10.
- **Capacidad.** La capacidad debe ser para el almacenamiento y homogeneización de 50 litros de producto por lote y al ser un factor principal en el diseño tiene un peso de 9/10.
- **Funcionalidad.** Siguiendo la EHEDG del año 2014, los criterios en el diseño higiénico indica que los equipos destinados a procesar alimentos deben ser de fácil limpieza y garantizar que se evite problemas microbiológicos. Por tal motivo tiene un peso de 8/10
- **Disponibilidad de materiales.** Este factor es importante al momento de diseñar una máquina, debido a que se debe tener en cuenta si en el mercado nacional existe la disponibilidad, repuestos y garantía, por tal motivo este parámetro tiene un peso de 8/10
- **Costo.** El costo está relacionado con el costo de diseño, materiales y proceso para la construcción de la máquina, peso de este parámetro 7/10
- **Durabilidad.** La resistencia es un factor importante para una máquina debido a que nos indica si su construcción y materiales utilizados fueron previamente seleccionados adecuadamente para el trabajo a realizar, peso de este parámetro es 9/10

Tabla 5. Ponderación en alternativas

Factores		Alternativas		
Descripción	Peso	Homogeneizador mecánico, mezclador en línea sin bombeo	Homogeneizador mecánico, mezclador en línea con bombeo	Homogeneizador Mecánico, mezclador por lote
Homogeneización uniforme	10	7	9	9
Capacidad	9	7	9	9

Funcionabilidad	8	7	7	9
Disponibilidad de materiales	8	8	8	8
Costo	7	7	7	7
Durabilidad	9	9	9	8
Promedio	8.5	7.5	8.16	8.33

En la Tabla 5 se tiene la comparación entre los tres tipos de mezclado de homogeneización, teniendo en cuenta algunos parámetros importantes como son el funcionamiento, costos, complejidad y mantenimiento. Se generó una tabla de ponderación para seleccionar el mezclador para homogeneizador, de a cuál el mezclador por lote tiene una calificación de 8.33/8.5 siendo el adecuado para el diseño.

2.4. Selección del estator

El estator es la parte fija de la máquina y su función es el rompimiento de las partículas. Se procede a un análisis comparativo para la selección del más adecuado.

2.4.1. *Parámetros para comparar en los cabezales de trabajo*

- **Costo:** El costo viene dado por la cantidad de material a utilizar. Ponderación 7/10. Siendo 1 costoso y 7 económico.
- **Funcionamiento:** Cada estator tiene su distinta función, para lo cual se procederá a selección uno que cumpla con lo necesario para el funcionamiento correcto de la máquina. Ponderación 10/10.
- **Fabricación:** El tiempo que se toma en fabricar el cabezal de trabajo 7/10. Siendo 1 muy trabajoso y 7 menos trabajoso.

Tabla 6. Selección del cabezal de trabajo.

Factores		Alternativas			
Descripción	Peso	Estator desintegrador	Estator desintegrador ranurado	Estator emulsor con mala	Estator tipo malla con agujeros

Costo	7	6	6	4	6
Funcionamiento	10	5	5	10	10
Fabricación	7	7	7	5	6
Promedio	8	6	6	6.33	7.33

En la Tabla 6 se visualiza las comparaciones entre los tipos de estator, teniendo en cuenta parámetros importantes como son el funcionamiento, costos y fabricación. Se generó una tabla de ponderación para seleccionar el cabezal de trabajo, siendo el más viable el estator de malla con agujeros con una calificación de 7.33/8.

2.5. Selección del tipo de rotor

Los impulsores es la parte rotatoria de la máquina que nos ayuda con la succión y el desplazamiento del fluido hacia el cabezal de trabajo para lograr la homogeneización del fluido.

2.5.1. *Parámetros para comprar en los impulsores*

- **Costo:** El costo viene dado por la cantidad de material a utilizar. Ponderación 7/10. Siendo 1 costoso y 7 económico.
- **Funcionamiento:** Cada cabezal tiene su distinta función, para lo cual se procederá a selección uno que cumpla con lo necesario para el funcionamiento correcto de la máquina. Ponderación 10/10.
- **Fabricación:** El tiempo que se toma en fabricar el cabezal de trabajo 7/10. Siendo 1 muy trabajoso y 7 menos trabajoso.

Tabla 7. Comparación de los impulsores.

Factores		Alternativas		
Descripción	Peso	Impulsor de hojas	Impulsor de hojas	Impulsor de disco
		planas	inclinadas	con hojas
Costo	7	6	6	6
Funcionamiento	10	9	7	6
Fabricación	7	7	5	6

Promedio	8	7.33	6	6
-----------------	----------	-------------	----------	----------

En la Tabla 7 se aprecia las comparaciones entre los diferentes tipos de rotores, teniendo en cuenta algunos parámetros importantes como son el funcionamiento, costos y fabricación. Se realizó una tabla de ponderación para seleccionar el rotor más adecuado, siendo el rotor de hojas planas el óptimo para el diseño con una calificación de 7.33/8.

Capítulo III

Cálculos

3. Cálculo y dimensionamiento del tanque de almacenamiento

3.1.1. *Diámetro del tanque de almacenamiento*

Se conoce que las planchas de acero inoxidable 304 tienen medidas estándar de 122 cm de ancho x 244 cm de alto, se ha realizado el respectivo cálculo para determinar el diámetro permitido sabiendo las medidas de la plancha a utilizar. siendo 122 cm de ancho como el diámetro máximo a utilizar, tenemos la siguiente fórmula.

$$P = \pi \cdot D \quad (0.1)$$

Donde:

P = Perímetro

D = Diámetro

$$122 \text{ cm} = \pi \cdot D$$

$$D = 38.83 \text{ cm}$$

Dando como resultado un Dmax de 38.83 cm, para el diseño se ocupará un diámetro de 34cm y lo reemplazará en la ecuación 0.1

$$P = 34 \text{ cm} \cdot \pi$$

$$P = 106.8 \text{ cm}$$

Se toma en consideración que 106.8 cm es menor que 122 cm del ancho de la plancha de acero, al cumplir las condiciones. Por ende, se ocupará un diámetro de 34 cm.

3.1.2. *Altura*

Para la altura del tanque homogeneizador se debe tener en cuenta la capacidad requerida para el diseño, en este caso 50 litros. Al transformar a cm³ se obtiene un total de 50000 cm³. Se ocupará la fórmula del volumen.

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (0.2)$$

Donde:

V= volumen

r = radio

h = altura

$$50000 \text{ cm}^3 = \pi \cdot (17 \text{ cm})^2 \cdot h$$

$$h = 55.07 \text{ cm}$$

Para evitar el desparramo de la sustancia a trabajar se aumentará a una capacidad de 55 litros, transformando a cm^3 se tienen 55000 cm^3 . Reemplazando en la ecuación 0.2 se obtiene lo siguiente.

$$55000 \text{ cm}^3 = \pi \cdot (17\text{cm})^2 \cdot h$$

$$h = 60.57 \text{ cm}$$

Las medidas del tanque son: diámetro 34 cm y altura 66 cm

3.2. **Potencia del motor**

3.2.1. *Numero de Reynolds*

El número de Reynolds es el encargado de identificar el comportamiento de un fluido, determinando si tiene un flujo laminar o turbulento. Además, se lo utilizara para comprobar si el motor seleccionado tiene la potencia suficiente para su correcto funcionamiento.

La leche al ser un fluido no newtoniano viene dada por la siguiente ecuación.

$$RE = \frac{\varnothing^2 \cdot N \cdot \rho}{u} \quad (0.3)$$

Donde

\varnothing = Diametro del rodete

N= Velocidad rotacional

u= Viscosidad del fluido

ρ = Densidad del fluido

Para el cálculo del número de Reynolds se tomarán datos de la Tabla 8 donde se obtendrá información del producto a homogeneizar.

Tabla 8. Propiedades de la leche.

Descripción	Valor	Unidad
Densidad	1035	(kg/m ³)
pH	6.8	
Viscosidad	2.2	(cP)

Para el volumen de 50 litros se ocupará un rotor de diámetro de 0.118 m, el valor de la densidad es 1035 kg/m³, la viscosidad será de 2.2x10⁻³ kg/ms y la velocidad se tomarán 233.33 rps equivalente al mayor número de revoluciones del motor. Reemplazando en la ecuación 0.3 se obtiene el número de Reynolds.

$$RE = \frac{0.118^2 \cdot 58.33 \cdot 1035}{2.2 \times 10^{-3}}$$

$$Re = 382097$$

3.2.2. *Cálculo de la potencia requerida*

La potencia requerida P' del rodete es la energía que necesita el motor para cumplir de manera eficiente con el proceso de homogeneización, para lo cual se ocupara la siguiente fórmula.

$$P' = p \cdot N_p \cdot N^3 \cdot D^5 \quad (0.4)$$

Donde:

P'= Potencia de arrastre (watts - J/s – Nm/s)

p= Densidad de la mezcla (kg/m³)

Np= Número de potencia (adimensional)

N= Velocidad angular (rev/s)

D= Diámetro del rodete (m)

El valor de Np se lo puede encontrar en la tabla de correlaciones de Np que se encuentra en Anexos 3, con el cálculo del número de Reynolds de 382097 se calcula Np es 0.1

$$P' = 1034 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot 0.1 \cdot \left(\frac{3500}{60} \right)^3 \frac{\text{rev}}{\text{s}} \cdot 0.118^5 \text{ (m)}$$

$$P' = 412 \text{ W}$$

3.3. Selección del motor

El cálculo de la potencia es de 412 W, aumentando el 25% a la potencia calculada para evitar de sobrecarga al motor da un total de 512 W. El motor comercial que más se aproxima al valor necesario es de 750 W.

3.4. Cálculo y dimensionamiento de eje requerido

En el eje principal del homogeneizador está expuesto a un momento flector y torsor, además de fuerzas que actúan sobre el eje como se lo muestra en la Figura 18.

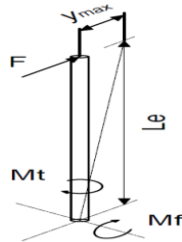


Figura 18. Fuerzas que actúan sobre el eje.

3.4.1. Momento torsor

La fórmula para calcular el momento torsor del eje viene dada por la siguiente ecuación.

$$M_t = \frac{N_e}{w} \quad (0.5)$$

Donde:

M_t = Momento torsor

N_e = Potencia del eje

w = Velocidad angular del eje

$$M_t = \frac{750 \text{ (w)}}{3000 \left(\frac{\text{rad}}{\text{m}} \right)}$$

$$M_t = 0.250 \text{ Nm}$$

3.4.2. Límites de rotura a fluencia a tracción

El acero AISI 304, el material seleccionado para la construcción del homogeneizador se tiene las siguientes propiedades mecánicas [30]

- Límite de rotura a tracción: 620Mpa
- Límite de fluencia a tracción: 310Mpa

3.4.3. Trabajo en el eje

Se observa en la Figura 19 al eje es sometido a diferentes trabajos a distintas velocidades de giro.

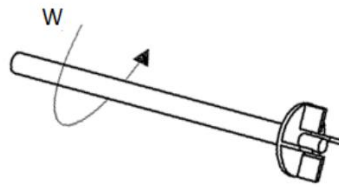


Figura 19. Trabajo en el eje.

La ecuación para determinar el trabajo en el eje viene dada por:

$$W = F \times V = F \times r \times w = M_t \times w \quad (0.6)$$

Donde:

W = Trabajo en el eje

F = Fuerza

V = Velocidad

r = Radio

M_t = Momento torsor

w = Velocidad angular

3.4.4. *Fuerza tangencial*

Despejando de la Ecuación 0.6 se realiza una igualdad con el trabajo en el eje obteniendo la ecuación de fuerza tangencial.

$$M_t = F \cdot r \quad (0.7)$$

$$F = \frac{M_t}{r} \quad (0.8)$$

Donde:

F = Fuerza tangencial

M_t = Momento torsor

r = Radio acople del rotor

$$F = \frac{0.250 \text{ Nm}}{0.018 \text{ m}}$$

$$F = 13.88 \text{ N}$$

3.4.5. *Momento flector*

El momento flector va a estar aplicado en el eje principal y está compuesta por la sumatoria de momentos y fuerzas

$$M_f = F \cdot L_e \quad (0.9)$$

Donde:

M_f = Momento flector

F = Fuerza

L_e = Longitud del eje

En la etapa de prediseño se aplicará una longitud de eje recomendada por una empresa fabricante de homogeneizadores Anexo 1, teniendo en cuenta la altura del tanque de 660 mm nos indica que la medida adecuada para la longitud del eje es de 610 mm.

Reemplazando los valores en la Ecuación 0.9 se obtiene los siguientes resultados.

$$M_f = 13.88 \text{ N} \cdot 0.61 \text{ m}$$

$$M_f = 8.4668 \text{ Nm}$$

3.4.6. Dimensionamiento del eje giratorio

La ecuación para el dimensionamiento del eje giratorio está dada por [31]:

$$\varnothing = \left(\frac{16 \cdot N_f}{\pi \cdot S_y} \left\{ \left[4 M_f^2 + 3 M_t^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (0.10)$$

Donde:

d= Diámetro de eje

Nf= Factor de seguridad

Mf= Momento flector

Mt= Momento torsor

Sy= Esfuerzo de fluencia

Reemplazando los datos en la Ecuación 0.10

$$\varnothing = \left(\frac{16 \cdot 2}{\pi \cdot 310 \text{ MPa}} \left\{ \left[(4(8.466 \text{ Nm})^2) + (3(0.250 \text{ Nm})^2) \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$\varnothing = 0.0843 \text{ m}$$

Las barras redondas comerciales de acero inoxidable AISI 304 van desde 3/16" hasta 8", el diámetro calculado fue de 8.43 mm el cual no es un diámetro comercial, por tal motivo se seleccionará el diámetro comercial superior al calculado Anexo 2.

Pasando de 8.43 mm a 12.7 mm por consiguiente se seleccionó el diámetro igual a 1/2"

3.5. Cálculo de aspas del rodete

3.5.1. Cálculo de las aspas

Para el diseño de las aspas se ha seleccionado el tipo de aspas tipo turbina debido a que este genera un flujo radial con aspiración de la mezcla turbulencia y fuerza de corte.

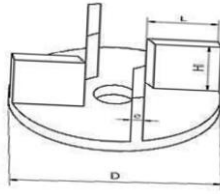


Figura 20. Dimensionamiento de las aspas.

Tomando en cuenta que el diámetro del rotor es 0.118 m tenemos las siguientes ecuaciones

$$\frac{L}{D} = 0.5m \quad (0.11)$$

$$\frac{H}{D} = 0.45m \quad (0.12)$$

$$L=0.059\text{mm}$$

$$H=0.0531\text{mm}$$

$$D=0.118\text{mm}$$

Se va a trabajar con un total de 4 aspas distribuidas a 90° la una de la otra, el espesor de cada aspa es de 5mm. Este tipo de aspas es recomendado por generar flujo radial, que al mismo tiempo nos ayuda con la aspiración de la mezcla desde la parte superior del tanque a la parte inferior con elevadas fuerzas de corte.

3.5.2. Paso de aspa

$$P = \frac{\pi \cdot D}{4}$$

Donde:

D= Diámetro de las hélices

$$P = \frac{\pi \cdot 0.118 \text{ m}}{4}$$

$$P = 0.0926$$

Se obtiene un paso de 92.6 mm dando la separación de las hélices.

3.5.3. *Momento flector de las aspas*

Está definida por la siguiente ecuación:

$$M_f = F \cdot L \quad [0.13]$$

Donde:

F= Fuerza de rozamiento

L= Brazo de fuerza de rozamiento

En la Figura 21 se observa las diferentes fuerzas que actúan sobre las aspas

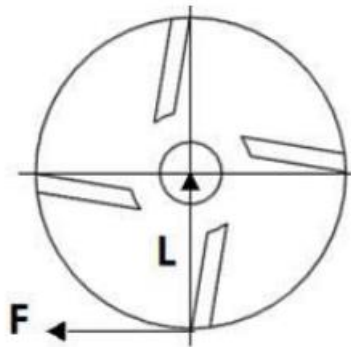


Figura 21. Fuerzas actuantes sobre las aspas.

$$F = \frac{1}{2} (C_{AAR} \cdot v^2 \cdot \rho \cdot A_T) \quad [0.14]$$

Donde

C_{AAR} = Coeficiente de arrastre

V= Velocidad lineal

ρ = Densidad de la crema

A_t = Área de la sección transversal al movimiento

3.5.4. *Velocidad Lineal*

$$V = W \cdot r \quad [0.15]$$

Donde:

w= Velocidad angular

r= Radio efectivo de la hélice

$$v = 58.33 \text{ rps} \times 0.059 \text{ m}$$

$$v = 3.441 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.5.5. Área transversal de la hélice

$$A_T = b \cdot h \quad [0.16]$$

Donde:

b= Base de las aspas

h= Altura de las aspas

$$A_T = 0.059 \text{ m} \times 0.0531 \text{ m}$$

$$A_T = 3.13 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Reemplazando datos en la Ecuación 0.14

$$F = \frac{1}{2} (2 \times (3.441 \text{ m})^2 \times 1034 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 3.13 \times 10^{-3} (\text{m}^2))$$

$$F = 11.13 \text{ N}$$

La fuerza es multiplicada por el número de aspas, en el caso del diseño se cuenta con 4. La fuerza final será de 44.52 N. Según lo anterior y reemplazando en 0.22 el momento flector será:

$$M_f = 44.52 \text{ N} \cdot 0.059 \text{ m}$$

$$M_f = 2.626 \text{ Nm}$$

3.6. Cálculo de bomba de succión

3.6.1. Velocidad de salida del tanque

La ecuación de Torricelli que nos indica lo siguiente:

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} \quad (0.17)$$

Donde:

h1= altura del fluido con referencia al nivel del agua

v1= velocidad inicial en el punto 1
p1= presión en el punto 1
h1= altura a la ubicación del agujero
v1= velocidad inicial en el punto 2
p1= presión en el punto 2
g= gravedad
p=densidad del fluido

Despejando y simplificando la ecuación 0.26 se obtiene:

$$h_1 = \frac{V_2^2}{2g} \quad (0.18)$$

Se procede a despejar la V_2

$$V_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1} \quad (0.19)$$
$$V_2 = \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 0.55}$$
$$V_2 = 3.28 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.6.2. *Cálculo del caudal para la entrada de la bomba*

El caudal de un fluido proviene de la siguiente ecuación:

$$Q = V \cdot S \quad (0.20)$$

Donde:

Q= Caudal del fluido

V= Velocidad del fluido

S= Área de la tubería

3.6.3. *Área de la tubería*

El área de la tubería viene dada por:

$$S = \pi \cdot r^2 \quad (0.21)$$

El diámetro interno de la tubería es 13.93 mm, su radio en metros es 0.01393 m y reemplazando en la fórmula 0.30 se obtiene el área de la tubería.

$$S = \pi \times (0.0139 \text{ m})^2$$

$$S = 0.0006 \text{ m}^2$$

Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación 0.25 se encontrará el caudal del fluido.

$$Q = 3.28 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.0060 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.0196 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Transformando a litro sobre segundo da un resultado de 1.99 L/s.

3.6.4. *Tiempo de vaciado del tanque*

El tiempo que se demora el tanque en vaciarse viene dada por la siguiente ecuación:

$$T = \frac{\text{Vol}}{Q} \quad (0.22)$$

$$T = \frac{50 \text{ L}}{1.99 \frac{\text{L}}{\text{s}}}$$

$$T = 25.12 \text{ seg}$$

3.6.5. *Potencia de la bomba*

Se ha seleccionado la bomba de succión modelo UTWP13706 de la marca Total, Anexo 3.

3.6.6. *Velocidad de salida del fluido*

Utilizando la fórmula 0.25 determinaremos la velocidad de salida del fluido.

$$Q = V \cdot S$$

Despejando el valor de la velocidad y trasformando el caudal máximo del motor 35 l/min a m³/s nos da la siguiente formula:

$$V = \frac{Q}{S} \quad (0.23)$$

$$V = \frac{0.0058 \frac{m^3}{s}}{0.0060 m^2}$$

$$V = 9.514 \frac{m}{s}$$

3.6.7. *Tiempo de salida del fluido*

Se utilizará la fórmula 0.22 para determinar el tiempo necesario para la salida del fluido desde la bomba al recipiente.

$$T = \frac{Vol}{Q}$$

$$T = \frac{50 L}{0.58 \frac{L}{s}}$$

$$T = 86.20 s$$

3.7. **Tiempo total del proceso de succión del fluido**

Para calcular el tiempo se debe sumar los tiempos de entrada del fluido a la bomba de succión y el tiempo de salida del fluido.

$$T_{Total} = T_{entrada} + T_{salida} \quad (0.24)$$

$$T_{Total} = 25.12 s + 86.20 s$$

$$T_{Total} = 111.32 s$$

Transformando el tiempo de segundos a minutos nos da un tiempo total de 1 minuto con 51 segundos, utilizando el caudal máximo del motor de 35 L/s.

3.8. **Sistema de transmisión**

$$n_1 d_1 = n_2 d_2 \quad (0.25)$$

Donde:

n_1 = Rpm de la polea matriz

d_1 = Diámetro de la polea matriz

n_2 = Rpm de la polea conductora

d_2 = Diámetro de la polea conductora

En este caso se necesita llegar a 3500 rpm y se reemplazara en n_2 , d_1 es el diámetro de la polea matriz estableciendo un diámetro de 80 mm y n_1 viene dada por 1750 rpm del motor que nos entrega.

$$d_2 = \frac{n_1 \cdot d_1}{n_2} \quad (0.26)$$

$$d_2 = \frac{1750 \text{ rpm} \cdot 100 \text{ mm}}{3500 \text{ rpm}}$$

$$d_2 = 50 \text{ mm}$$

3.8.1. *Relación entre las poleas*

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_2}{d_1} \quad (0.27)$$

Donde:

i = Relación entre las poleas

n_1 = Rpm de la polea matriz

d_1 = Diámetro de la polea matriz

n_2 = Rpm de la polea conductora

d_2 = Diámetro de la polea conductora

$$i = \frac{3500 \text{ rpm}}{1750 \text{ rpm}}$$

$$i = 2.0$$

La relación de posición expresa que por cada vuelta de la polea matriz la polea conductora tendrá 2 giros.

3.8.2. Selección de la banda

La banda tipo A-3c Poliamida es la empleada para el diseño

3.8.3. Cálculo de los ángulos de contacto

- Polea matriz

$$\varnothing d_1 = \pi - 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{d_1 - d_2}{2c}\right) \quad (0.28)$$

Donde:

d_1 = Diámetro de la polea matriz

d_2 = Diámetro de la polea conductora

c = Distancia entre centros

$$\varnothing d_1 = \pi - 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{4 \text{ in} - 2 \text{ in}}{2 \cdot 6.29 \text{ cm}}\right)$$

$$\varnothing d_1 = 2.82 \text{ rad}$$

- Polea conductora

$$\varnothing d_2 = \pi + 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{d_1 - d_2}{2c}\right) \quad (0.29)$$

Donde:

d_1 = Diámetro de la polea matriz

d_2 = Diámetro de la polea conductora

c = Distancia entre centros

$$\varnothing d_2 = \pi + 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{4 \text{ in} - 2 \text{ in}}{2 \cdot 6.29 \text{ in}}\right)$$

$$\varnothing d_2 = 3.46 \text{ rad}$$

3.8.4. Longitud de la banda

Para calcular la longitud de la banda se ocupará la siguiente ecuación

$$L = \left[4c^2 - (d_1 - d_2)^2\right]^{1/2} + \frac{1}{2}(d_1 \cdot \varnothing d_1 + d_2 \cdot \varnothing d_2) \quad (0.30)$$

Donde:

d_1 = Diámetro de la polea matriz

d_2 = Diámetro de la polea conductora

c = Distancia entre centros

ϕ_{d_1} = Angulo de la polea matriz

ϕ_{d_2} = Angulo de la polea conductora

Reemplazando los valores se obtendrá la longitud de la banda necesaria para la relación de transmisión por poleas.

$$L = \left[4 (6.29)^2 - (4 \text{ in} - 2 \text{ in})^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{2} (4 \text{ in} \cdot 2.89 \text{ rad} + 2 \text{ in} \cdot 3.39 \text{ rad})$$

$$L = 21.52 \text{ in}$$

Transformando los 19.68in en mm nos da una longitud de 499.87 mm que aproximando nos da 500mm, transformado en metros nos da un total de 0.5 m.

3.8.5. *Velocidad rotacional*

$$V = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot n_2}{12} \quad (0.31)$$

Donde:

n_2 = Rpm de la polea conductora

d_2 = Diámetro de la polea conductora

$$V = \frac{\pi \cdot 1.57 \text{ in} \cdot 3500 \text{ rpm}}{12}$$

$$V = 1438 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

La velocidad rotacional despejado de la fórmula nos da un valor de 7.30 m/s.

3.8.6. *Factor de corrección del ángulo de contacto*

$$\frac{d_1 - d_2}{c} \quad (0.32)$$

$$\frac{4 \text{ in} - 2 \text{ in}}{6.29 \text{ in}} = 0.317$$

Se interpola los datos obtenidos de Anexos 7

0.30	0.79
0.317	x
0.40	0.80

Despejando la interpolación nos da un valor de $K_1=0.7917$

3.8.7. *Factor de corrección de la longitud de la banda*

Para la banda tipo A-3c se obtiene un valor de K_2 de 0.86 plasmada. Anexo 7

3.8.8. *Potencia de diseño de banda*

$$H_d = K_s \cdot H_{nom} \quad (0.33)$$

K_s = Impacto uniforme

$$H_d = 0.70$$

3.8.9. *Potencia permitida por la banda*

$$H_a = K_1 \cdot K_2 \cdot H_{tab} \quad (0.34)$$

Donde:

K_1 = Factor de corrección del ángulo de contacto

K_2 = Factor de corrección de la longitud de la banda

H_a = potencia permitida por la banda

$$H_a = 0.7917 \cdot 0.86 \cdot 1.115$$

$$H_a = 0.7591 H_p$$

3.8.10. *Número de bandas necesarias*

$$N_b = \frac{H_d}{H_a} \quad (0.35)$$

Donde:

Nb= Numero de bandas necesarias

Hd= Potencias de diseño de banda

Ha=Potencia permitida por la banda

$$Nb = \frac{0.70}{0.7591}$$

$$Nb = 0.973$$

El número de bandas necesarias son 0.973 bandas, al elevar al inmediato superior nos da la necesidad de ocupar 1 banda

3.9. Análisis estructural

Se comprobará si la estructura diseñada soporta las fuerzas ejercidas por los distintos componentes que se encuentran dentro de la máquina.

3.9.1. Análisis tanque almacenamiento

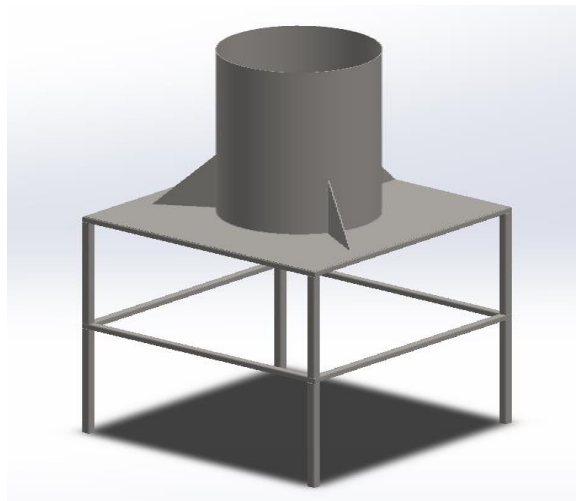


Figura 22. Tanque de almacenamiento.

Este tanque es de almacenamiento se llenará de sustancia para posteriormente trasladar al tanque de trabajo, este tanque consta de un tanque de 34 cm de diámetro con un espesor de 2 mm, sujeto con tres paletas localizadas a 120° con espesor de 3 mm. La estructura está conformada de tubo cuadrado de 20 x 20 x 2 mm de acero inoxidable AISI 304 con una plancha de 600 x 600 x 1 mm.

Los esfuerzos que se aplican en la estructura es el peso de los 50 litros de leche dentro del tanque, transformando a Newtons se obtiene 507 N

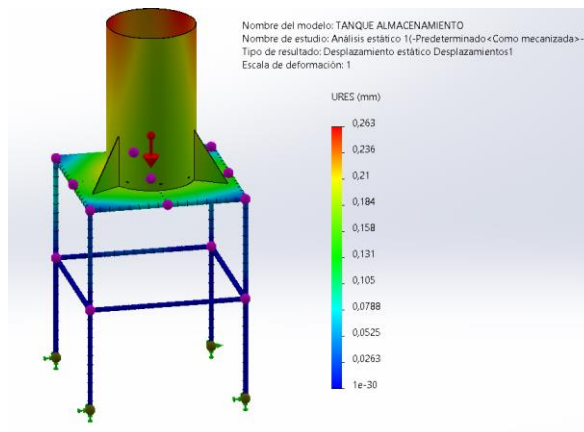


Figura 23. Análisis de desplazamiento del tanque de almacenamiento.

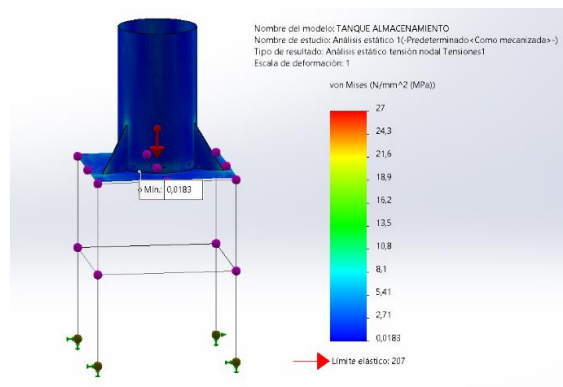


Figura 24. Análisis de deformación del tanque de almacenamiento.

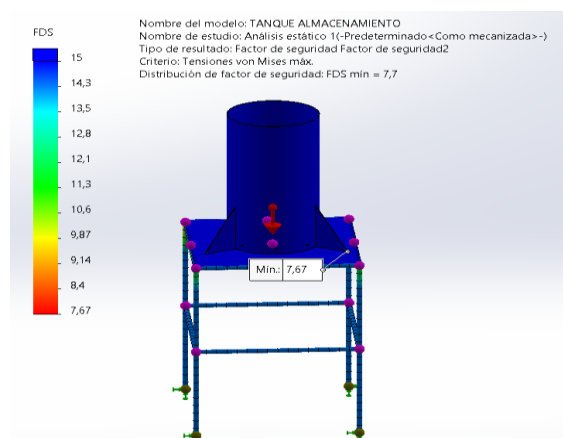


Figura 25. Factor de seguridad del tanque de almacenamiento.

En la figura 23, 24 y 25 se observa el análisis estático del tanque de almacenamiento en donde se aprecia que el desplazamiento máximo que sufre el diseño es 0.263mm y la deformación mínima es 1×10^{-3} mm de su posición original, teniendo su máximo desplazamiento el parte superior del tanque.

La deformidad nos indica que se aplica un esfuerzo máximo de 27 MPa y mínimo de 0.018 Mpa siendo estos valores menores al esfuerzo máximo del acero AISI 304 igual 270 MPa.

El factor de seguridad mínimo para que el diseño sea resistente es de 1.5, en el caso del tanque de almacenamiento tenemos un factor de seguridad de 7.7. Al tener un factor de seguridad mayor a 1.5 se considera que el tanque de almacenamiento es viable.

3.9.2. *Tanque Homogeneizador*

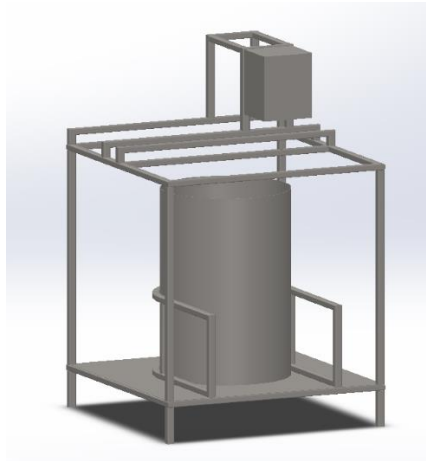


Figura 26. Tanque homogeneizador.

Este tanque al igual que el anterior está diseñado en su totalidad en acero AISI 304, consta de un tanque de diámetro 34 cm con un espesor de 2 mm en el cual se realizará el proceso de homogeneización. Posee una guía para que el tanque siempre se localice en el medio y se pueda realizar el proceso sin ninguna novedad.

En la parte superior cuenta con un soporte para el motor el cual se ha procedido a utilizar un motor de 0.75 Hp, el cual tiene un peso de 11.3 kg transformando a Newtons entrega un valor de 110.79 N.

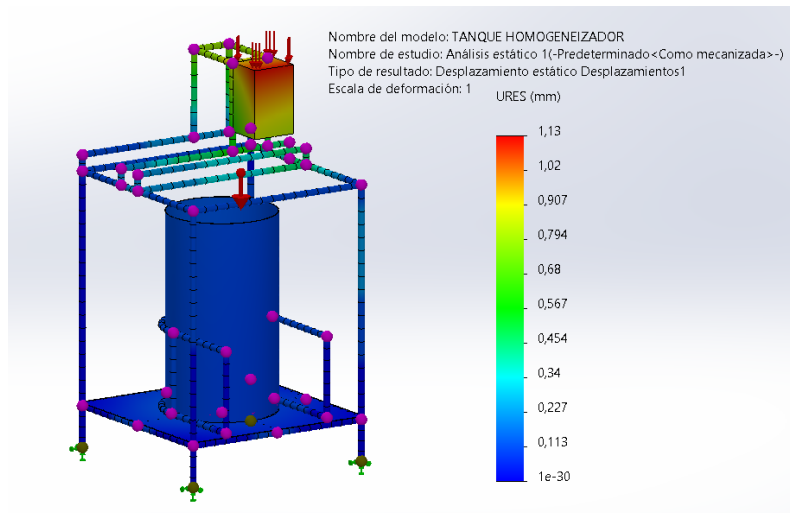


Figura 27. Análisis de desplazamiento del tanque de homogeneizador.

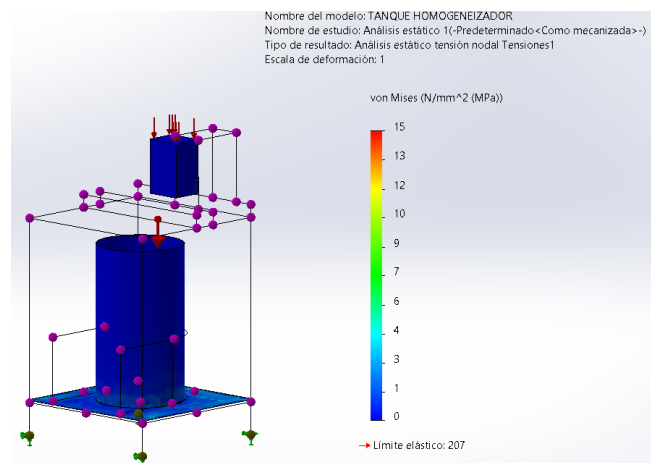


Figura 28. Análisis de deformación del tanque de homogeneizador.

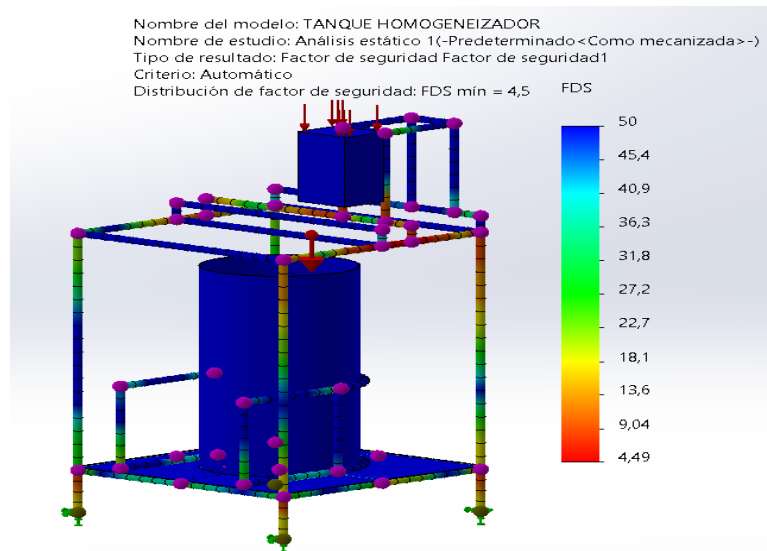


Figura 29. Factor de seguridad del tanque homogeneizador.

En la figura 28, 29 y 30 se aprecia el análisis estático del tanque del homogeneizador en donde se aprecia que el desplazamiento máximo que sufre el diseño es 1.13 mm y la deformación mínima es 1×10^{-3} mm de su posición original, teniendo su máximo desplazamiento el parte superior de la estructura en donde se encuentra acoplado el motor.

La deformidad del tanque nos indica que se aplica un esfuerzo máximo de 15 MPa y mínimo de 0.018 Mpa siendo estos valores menores al esfuerzo máximo del acero AISI 304 igual 270 MPa.

El factor de seguridad mínimo para que el diseño sea resistente es de 1.5, en el caso del tanque de almacenamiento tenemos un factor de seguridad de 4.5. Al tener un factor de seguridad mayor a 1.5 se considera que el tanque de almacenamiento es viable.

3.9.3. Pernos en el soporte del motor



Figura 30. Estructura soporte motor.

Para la sujeción entre la estructura y el motor se utilizó pernos M 10x45 en las 4 sujeciones de la base del motor y la estructura, el peso del motor es 11.3 kg.

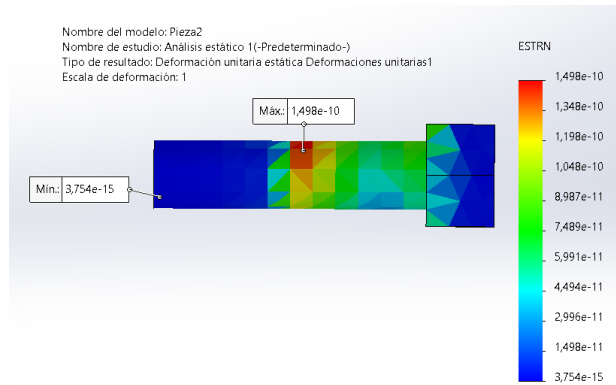


Figura 31. Análisis deformaciones unitarias del perno.

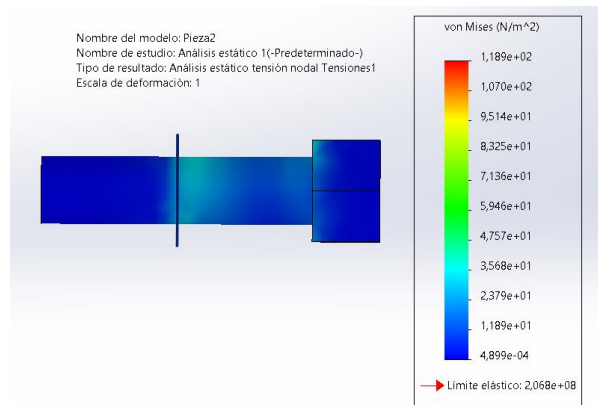


Figura 32. Análisis tensiones del perno.

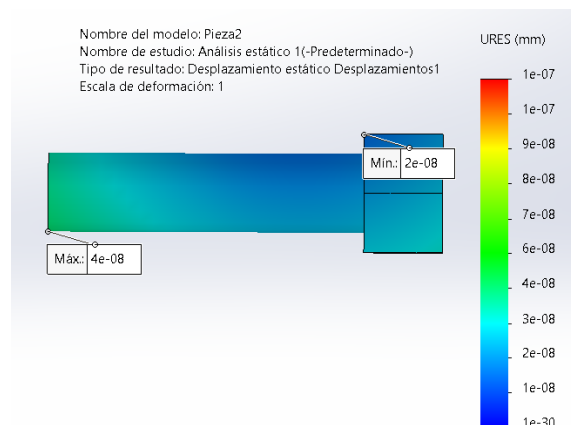


Figura 33. Análisis desplazamiento del perno.

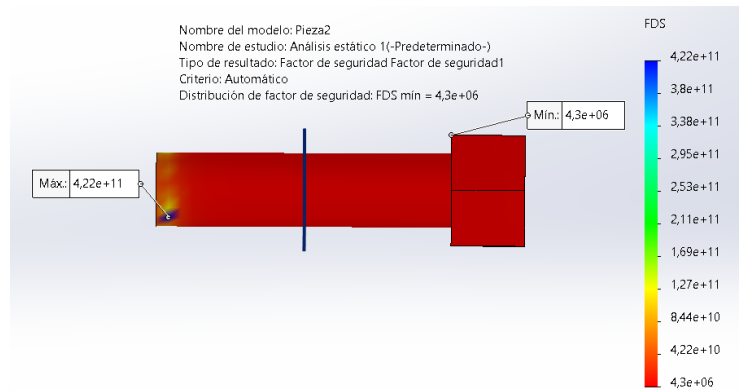


Figura 34. Factor de seguridad de pernos.

En la figura 31, 32, 363 y 34 se aprecia el análisis estático del tanque del homogeneizador en donde se aprecia que el desplazamiento máximo que sufre el diseño es 1×10^{-7} y la deformación mínima es 1×10^{-30} mm de su posición original, teniendo su máximo desplazamiento el parte donde se acopla con la base del motor.

La deformidad del tanque nos indica que se aplica un esfuerzo máximo de 11 MPa y mínimo de 0.018 Mpa, siendo estos valores menores al esfuerzo máximo del acero AISI 304 igual a 270 MPa. El factor de seguridad mínimo para que el diseño sea resistente es de 1.5, Al ser el factor de seguridad mayor a 1.5 se considera que los pernos son adecuados.

3.9.4. Sistema de transmisión

3.9.4.1. **Polea 4”.** La polea se ha seleccionado de 4 in para ser la polea matriz por el motivo de ser una polea comercial y fácil de adquirir.

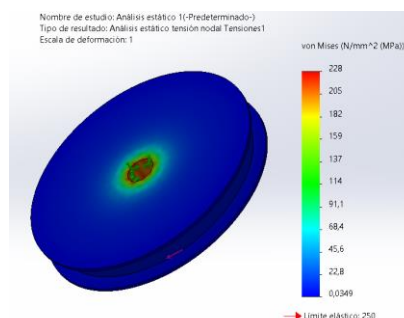


Figura 35. Análisis deformaciones polea 4in.

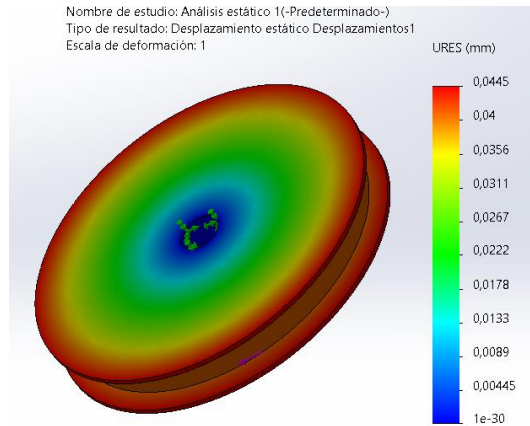


Figura 36. Análisis desplazamiento polea 4in.

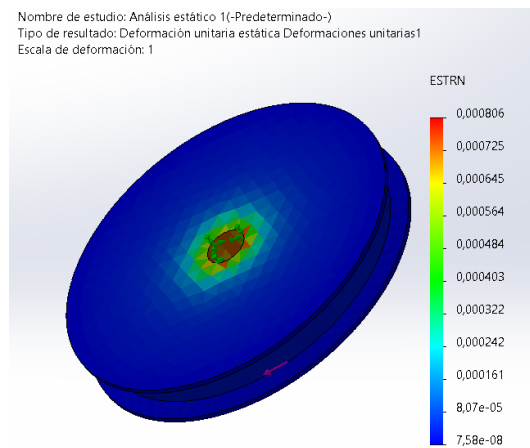


Figura 37. Análisis deformación polea 4in.

En la figura 35, 36 y 37 se observa el análisis estático de la polea de 4 in donde se aprecia el desplazamiento máximo que sufre es 0.0445 mm y desplazamiento mínimo es 1×10^{-30} mm de su posición original, teniendo su máximo desplazamiento en el punto de contacto entre la polea y la banda.

La deformidad del tanque nos indica que se aplica un esfuerzo máximo de 228 MPa y mínimo de 0.003 Mpa siendo estos valores menores al esfuerzo máximo del acero A36 igual a 250 MPa.

3.9.4.2.**Polea 2”**. La polea se ha seleccionado de 2 in para ser la polea conductora por el motivo de ser una polea comercial y fácil de encontrar.

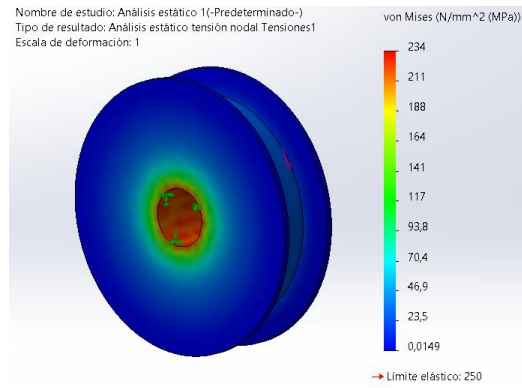


Figura 38. Análisis tenciones polea 2in.

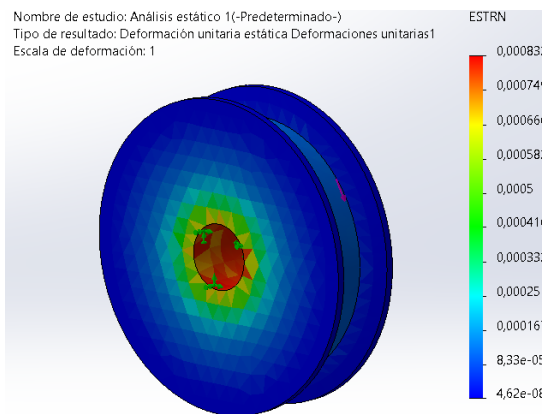


Figura 39. Análisis deformación polea 2in.

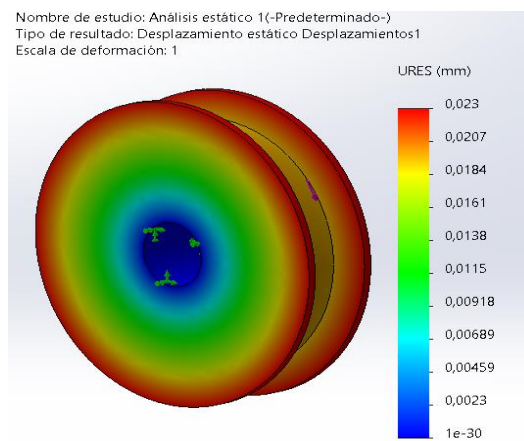


Figura 40. Análisis desplazamiento polea 2in.

En la figura 38, 39 y 40 se visualiza el análisis estático de la polea de 2 in donde se aprecia que el desplazamiento máximo que sufre es 0.023 mm y desplazamiento mínimo es 1×10^{-30} mm de

su posición original, teniendo su máximo desplazamiento en el punto de contacto entre la polea y la banda.

La deformidad del tanque nos indica que se aplica un esfuerzo máximo de 234 MPa y mínimo de 0.014 Mpa siendo estos valores menores al esfuerzo máximo del acero A36 igual a 250 MPa.

3.9.5. Rotor

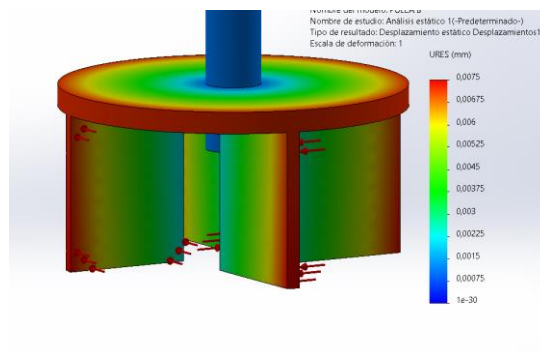


Figura 41. Análisis desplazamiento rotor.

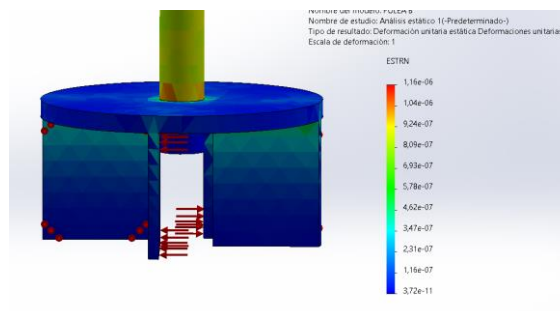


Figura 42. Análisis deformación rotor.

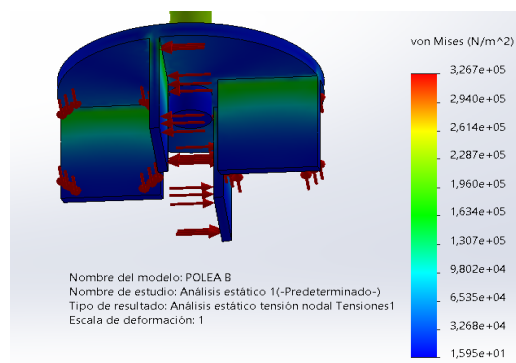


Figura 43. Análisis tensión rotor.

En la figura 41, 42 y 43 se aprecia el análisis estático del rotor donde se aprecia que el desplazamiento máximo que sufre es 0.075 mm y desplazamiento mínimo es 1×10^{-30} mm de su posición original, teniendo su máximo desplazamiento en el punto de contacto entre las paletas y el fluido.

La deformidad del tanque nos indica que se aplica un esfuerzo máximo de 116 MPa y mínimo de 0.07 Mpa siendo estos valores menores al esfuerzo máximo del acero AISI 304 igual a 270 MPa.

3.9.6. Eje principal

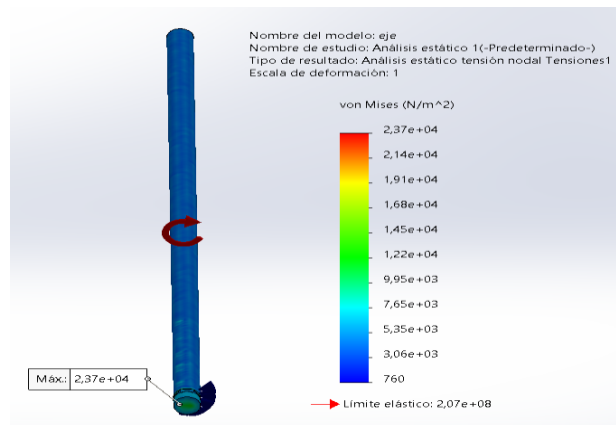


Figura 44. Análisis tensión eje principal.

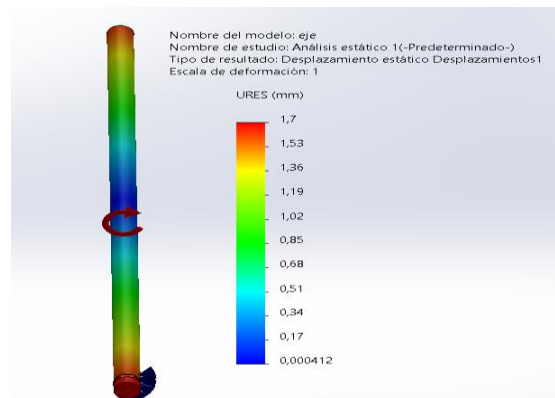


Figura 45. Análisis desplazamiento eje principal.

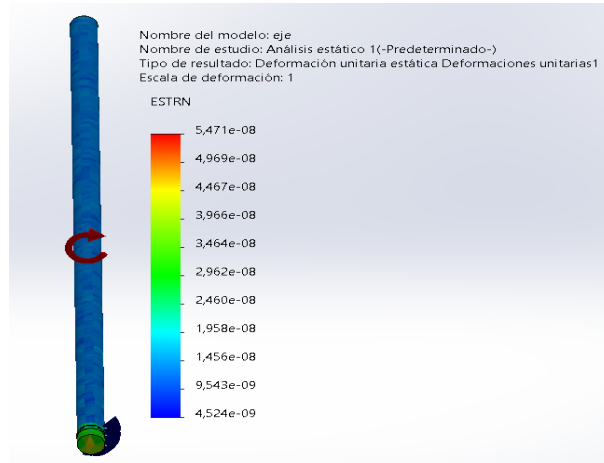


Figura 46. Análisis deformación eje principal.

En la figura 44, 45 y 46 se visualiza el análisis estático del rotor donde se aprecia que el desplazamiento máximo que sufre es 1.7 mm y desplazamiento mínimo es 0.004 mm de su posición original, teniendo su máximo desplazamiento en el punto de contacto entre los extremos del eje y sus puntos de sujeción con la estructura y el rotor.

La deformidad nos indica que se aplica un esfuerzo máximo de 215 MPa y mínimo de 10 Mpa siendo estos valores menores al esfuerzo máximo del acero AISI 304 igual a 270 MPa.

Capítulo 4

Mantenimiento y costos

3.10. Mantenimiento

El mantenimiento de la máquina es un proceso que nos permite controlar el correcto funcionamiento y la prevención de posibles fallos que alteren el proceso de homogeneización.

3.10.1. *Mantenimiento diario*

- Antes de comenzar la homogeneización, verificar que no exista ningún elemento en el tanque principal que pueda alterar el proceso.

- Revisar que la máquina no produzca sonidos extraños al momento de operar la máquina.

- Al terminar la homogeneización limpiar las partículas o residuos de la sustancia a tratar localizados mayormente en el cabezal de trabajo.

- Al no utilizar la máquina cubrirla con un cobertor para que no exista contacto con partículas o polvo.

3.10.2. *Mantenimiento preventivo*

Este tipo de mantenimiento se lo realizara cada 6 meses.

- Revisar las partes eléctricas y mecánicas con el fin de garantizar el correcto funcionamiento.

- Comprobar que los elementos de sujeción como los pernos, tuercas y ejes.

- Verificar que los ejes y poleas se encuentren bien alineadas para que no existan fallos en el proceso de homogeneización.

- Realizar pruebas al motor verificando que no exista ningún ruido fuera de lo normal.

3.10.3. *Mantenimiento correctivo*

Este tipo de mantenimiento de lo realizada anual

- Revisar el motor la parte del cable y el interruptor no tenga ninguna avería.
- En el motor revisar los carbonos y si fuera el caso realizar cambios.
- Verificar que el cabezal de trabajo y el resto de los componentes no presenten ninguna anomalía.
- Verificar que el rotor tenga un giro concéntrico y al no ser el caso, revisar las posibles fallas.
- Revisar que los pernos de sujeción no hayan sufrido desgaste durante el periodo de uso.

3.11. **Materiales**

3.11.1. *Tanque de almacenamiento*

Tabla 9. Materiales utilizados en el tanque de almacenamiento.

Descripción	Medida	Cantidad	Total
Tubo cuadrado 20x20x2 mm	620 mm	10 u	6200 mm
Tubo cuadrado 20x20x2 mm	390 mm	4 u	1560 mm
Tubo cuadrado 20x20x2 mm	380 mm	4 u	1520 mm
Plancha espesor (espesor 2 mm)	620x620 mm	1 u	384400 mm ²
Soporte tanque (espesor 2 mm)	133 x 200 mm	3 u	79800 mm ²
Tanque (espesor 2 mm)	1068*660 mm	1 u	704880 mm ²

3.11.2. *Tanque de homogeneización*

Tabla 10. Materiales utilizados en el tanque homogeneizador.

Descripción	Medida	Cantidad	Total
Tubo cuadrado 20x20x2 mm	118 mm	4 u	472 mm

Tubo cuadrado 20x20x2 mm	620 mm	16 u	9920 mm
Tubo cuadrado 20x20x2 mm	700 mm	4 u	2800 mm
Tubo cuadrado 20x20x2 mm	50 mm	8 u	400 mm
Tubo cuadrado 20x20x2 mm	270 mm	4 u	1080 mm
Tubo cuadrado 20x20x2 mm	145 mm	2 u	290 mm
Tubo cuadrado 20x20x2 mm	190 mm	2 u	380 mm
Plancha espesor (espesor 2 mm)	620x620 mm	1 u	384400 mm ²
Tanque (espesor 2 mm)	1068x660 mm	1 u	704880 mm ²
Perno	M 10x45	4 u	
Polea conductora	2 in	1 u	
Polea matriz	4 in	1 u	
Banda caucho	600 mm	1 u	
Motor	1 Hp	1 u	
Eje polea matriz (Diámetro 12.7 mm)	130 mm	1 u	130 mm
Eje polea conductora (Diámetro 12.7 mm)	650 mm	1 u	650 mm
Soporte estator	M 8x570	4 u	
Tuerca	M 8	8 u	
Plato soporte (Espesor 5 mm)	Diam. 118	2 u	
Guía estator		1 u	

3.11.3. *Base bomba succión*

Tabla 11. Materiales utilizados en la bomba de succión

Descripción	Medida	Cantidad	Total
Tubo cuadrado 20x20x2 mm	620 mm	6 u	3720 mm
Tubo cuadrado 20x20x2 mm	23 mm	4 u	92 mm
Plancha espesor (espesor 2 mm)	620x620 mm	1 u	384400 mm ²
Bomba de succión	0.50 Hp	1 u	
Perno	M 8x45	2 u	
Tubo circular 1 in	550 mm	2 u	1100 mm
Tubo circular 1 in	700 mm	1 u	700 mm
Tubo circular 1 in	400 mm	1 u	400 mm

Codo 90° 1 in

3 u

3.11.4. *Tanque desplazamiento*

Tabla 12. Materiales utilizados en el tanque desplazamiento.

Descripción	Medida	Cantidad	Total
Tubo cuadrado 20x20x2 mm	620 mm	6 u	3720 mm
Tubo cuadrado 20x20x2 mm	50 mm	4 u	200 mm
Tubo cuadrado 20x20x2 mm	268 mm	4 u	1072 mm
Tubo cuadrado 20x20x2 mm	785 mm	2 u	1570 mm
Plancha (espesor 2 mm)	620x620 mm	1 u	384400 mm ²
Tanque (espesor 2 mm)	1068*660 mm	1 u	704880 mm ²

3.11.5. *Material total utilizado*

Tabla 13. Material total utilizado.

Descripción	Total
Tubo cuadrado 20x20x2 mm	34996 mm
Plancha espesor 2 mm	3732040 mm ²
Perno M 10x45	4 u
Polea conductora 2 in	1 u
Polea matriz 4 in	1 u
Banda caucho	600 mm
Motor	1 hp
Eje 12.7 mm	780 mm
Soporte estator M 8x570	4 u
Tuerca M 8	8 u
Plato soporte (Espesor 5 mm – Diámetro 118)	2 u
Guía estator	1 u
Bomba de succión	1 u
Perno M 8x45	2 u
Tubo circular 1 in	2200 mm

3.12. Costos

3.12.1. Costos de materia prima

Tabla 14. Costo de los materiales utilizados.

Descripción	Total	Dimensiones comerciales	Cantidad utilizada	Precio unitario	Precio total
Tubo cuadrado 20x20x2 mm	34996 mm	6000 mm	6 u	\$ 98	\$ 588
Plancha espesor 2 mm	3732040 mm ²	1220x2440 mm (88200 mm ²)	3 u	\$ 87	\$ 261
Perno M 10x45	4 u		4 u	\$ 1.25	\$ 5
Polea conductora 2 in	1 u		1 u	\$ 55	\$ 55
Polea matriz 4 in	1 u		1 u	\$ 75	\$ 75
Banda caucho	600 mm		1 u	\$ 25	\$ 25
Motor	1 hp		1 u	\$ 450	\$ 450
Eje 12.7mm	780 mm		1 u	\$ 35	\$ 35
Soporte estator M 8x570	4 u		4 u	\$ 15	\$ 60
Tuerca M 8	8 u		8 u	\$ 2	\$ 16
Plato soporte (Espesor 5 mm – Diámetro 118)	2 u		2 u	\$ 80	\$ 160
Guía estator	1 u		1 u	\$ 40	\$ 40
Bomba de succión	1 u		1 u	\$ 250	\$ 250
Perno M 8x45	2 u		2 u	\$ 5	\$ 10
Tubo circular 1 in	2200 mm		1 u	\$ 74	\$ 74
Codo 90° - 1 in	3 u		3 u	\$ 3.5	\$ 10.5

En la Tabla 14 se observa que los costos totales de los materiales, con un total de: \$ 2114.5

3.12.2. *Costos de mano de obra directa*

Para los costos de mano de obra directa se han destinado un monto de \$ 400, en donde se engloba los procesos de ensamble, torneado, conexiones eléctricas y acabados.

3.12.3. *Costos de mano de obra indirecta*

Se tienen los costos de transporte de material e insumos necesarios para la construcción de la máquina homogeneizadora, para lo cual se destina un valor de \$ 150.

3.12.4. *Costos Totales*

Los costos totales vienen dados por la sumatoria de los costos de materia prima, mano de obra directa y mano de obra indirecta en donde tenemos los valores de \$2114.5, \$ 400 y \$ 150 respectivamente. Dando un valor total de \$ 2664.5

Conclusiones

- Se concluye que para el equipo sea considerado por inmersión se debe realizar la homogeneización por lote, la cual también aporta para cumplir con la capacidad de 50 Litros. Para obtener el alto cizallamiento se ocupó el mecanismo rotor-estator, el cual debe girar a 3000 rpm y ocupar un estator tipo malla.
- Para el diseño del equipo se utilizó el acero inoxidable AISI 304 por motivos de salud, para el motor se empleó un sistema de transmisión por poleas que nos permitió aumentar la velocidad de 1750 a 3500 Rpm, se utilizó una bomba de succión con el objetivo que la sección donde se realiza la homogeneización sea fija.
- La simulación estática permitió garantizar los cálculos realizados y las medidas seleccionadas para los componentes de la máquina sean los adecuados para el trabajo. Mediante la comparación del esfuerzo permisible del acero y el mayor esfuerzo generado por cada parte de la máquina.
- Los costos al mes de enero del 2023 de la materia prima son de \$2114.5 en los cuales se tienen materiales y componentes en su totalidad en acero inoxidable AISI 304. Generando un costo total de \$2664.5 en la fabricación de la máquina.

Recomendaciones

- Adquirir un transformador de voltaje de 110V a 220V debido a que el motor trabaja con un voltaje de 220V y las instalaciones comúnmente son 110V.
- Evitar que polvo entre en los tanques para evitar daños en el producto terminado por lo cual se recomienda realizar limpieza antes de utilizar la máquina. Es necesario lavar el equipo con agua a vapor de presión ya que de esta forma garantiza la limpieza de residuos que haya quedado en la máquina.
- Cumplir con los mantenimientos correspondientes para tener una larga duración de la máquina con un funcionamiento adecuado. Además de encender la máquina sin aplicar fluido para observar que el funcionamiento este correcto.
- Al ser una máquina para experimentación se debería tener un regulador de velocidad para que pueda ser utilizada con diferentes fluidos y viscosidades. Con capacidades menores a 50 litros.

Bibliografía

- [1] Tesis.Uson, “Homogeneización y calcinación.” [Online]. Available: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/7859/Capitulo8.pdf>
- [2] M. Villen, “La Homogeneización y pasteurización de la leche.” <https://www.conasi.eu/blog/consejos-de-salud/homogeneizacion-y-pasteurizacion-de-la-leche/>.
- [3] R. Segurondo Loza and V. Cortez Quisbert, “Determinación de la rancidez en aceites usados en el proceso de frituras en establecimientos de expendio de comida rápida,” *Revista CON-CIENCIA*, vol. 8, no. 2, pp. 115–128, 2020. [Online]. Available: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-02652020000200009&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [4] “OS TIPOS E OS EFEITOS DA RANCIDEZ OXIDATIVA EM ALIMENTOS”. [Online]. Available: www.revista-fi.com
- [5] M. Iranzo, “Enlace éster | Blog de Ciencia y Biotecnología - María Iranzo,” Sep. 06, 2016. <https://www.mariairanzobiotec.com/glosario/enlace-ester/>.
- [6] “Beneficios de la homogeneización de la leche - Cromtek.” <https://www.cromtek.cl/2020/11/23/beneficios-de-la-homogeneizacion-de-la-leche/>.
- [7] “¿Cuáles son los pros y los contras de la leche homogeneizada?” <https://quesignificado.org/cuales-son-los-pros-y-los-contras-de-la-leche-homogeneizada/>.
- [8] “Homogenizadores | Maquinaria Utilizada en industria Láctea.” <https://industriadelacteosblog.wordpress.com/maquinas/homogenizadores/>.
- [9] “Homogeneizador de Leche - Homogenizador de Alta Presión.” <https://www.hommak.com/es/categoria/homogenizador/>.
- [10] “¿Qué es un homogeneizador? - Spiegato.” <https://spiegato.com/es/que-es-un-homogeneizador>.
- [11] “Mezcladores En Línea”, Accessed: [Online]. Available: www.silverson.es
- [12] “Cuáles son las características del homogeneizador? - Kalstein.” <https://www.kalstein.com.pa/cuales-son-las-caracteristicas-del-homogeneizador/>.
- [13] “Mezcladores de Inmersión.” <https://www.silverson.es/es/productos/mezcladores-de-inmersion/#cabezales-de-trabajo>.
- [14] Baño Carlos and Siza Cristian, “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN HOMOGENEIZADOR POR INMERSIÓN DE ALTO CIZALLAMIENTO PARA LOS LABORATORIOS DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD

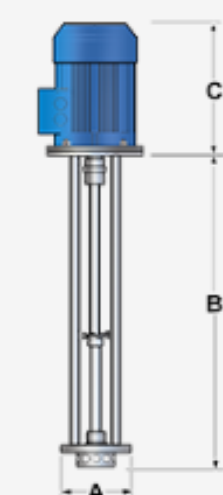
- TÉCNICA DE AMBATO, ” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, Ambato, 2021.
- [15] “Partes Motores Siemens - RGZ | PDF | Manufactured Goods | Machines.” <https://es.scribd.com/document/435418110/Partes-Motores-Siemens-Rgz>.
- [16] “Soldadura”.
- [17] “¿Qué es el acero? | Aceros Levinson.” <https://www.aceroslevinson.com/2017/12/que-es-el-acero>.
- [18] “Acero ASTM A36: características, propiedades, análogos - Metinvest.” <https://metinvestholding.com/es/products/steel-grades/astma36>.
- [19] “Acero Inoxidable Qué es, Componentes, Tipos y Propiedades.” <https://www.areatecnologia.com/materiales/acero-inoxidable.html>.
- [20] Chacaguasay Edgar and Picho Carlos, “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,” UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, Quito, 2016.
- [21] “Acero inoxidable: éstas son sus principales propiedades y aplicaciones | ULMA Forged Solutions.” <https://www.ulmaforge.com/noticia/acero-inoxidable-propiedades-y-aplicaciones/>.
- [22] “Acero inoxidable: éstas son sus principales propiedades y aplicaciones | ULMA Forged Solutions.” <https://www.ulmaforge.com/noticia/acero-inoxidable-propiedades-y-aplicaciones/>.
- [23] “4 Diferencias entre acero inoxidable y acero al carbono.” <https://blog.deacero.com/4-diferencias-entre-acero-inoxidable-y-acero-al-carbono>.
- [24] “Soldadura MIG | De Máquinas y Herramientas.” <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-mig>.
- [25] “Soldadura de los Aceros Inoxidables.” <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn48.html>.
- [26] “Soldadura MIG MAG: ¿en qué consiste y para qué se utiliza?” <https://iceiformacion.com/empleo/soldadura-mig-mag>.
- [27] “Partes de un Soldador MIG/MAG | De Máquinas y Herramientas.” <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/partes-de-un-soldador-migmag>.
- [28] “Soldadura TIG | De Máquinas y Herramientas.” <https://www.demaquinasyherramientas.com/soldadura/soldadura-tig>.
- [29] “Mezcladores En-Línea.” <https://www.silverson.es/es/productos/mezcladores-en-linea/>.
- [30] “Acero Inoxidable AISI 304 Ficha Técnica, Propiedades, Densidad, Dureza - Material Mundial Grados.” <https://www.materialmundial.com/acero-inoxidable-ss-astm-sae-aisi-304>.

304-ficha-
tecnica/?fbclid=IwAR1ebrclsSENJ8UdTrYxpYEJq3AFcnk56Bn3anr23xgaFUqrX3xjJ
OczKoY.

[31] I. F. Jorge Ma San Zapata Primera Edición, “DISEÑO DE ELEM MAQUINAS I”.

ANEXOS

Anexo 1. Dimensiones dadas por el fabricante del homogeneizador



	kW	R.P.M	A	B	TEFV C
BX	0.75	3000	118	610	277
DX	1.5	3000	160	690	303
EX	3	3000	165	790	334
FX	4	3000	165	1042	334
GX10	7.5	3000	286	1220	413
GX10	7.5	1500	286	1220	413
GX20	15	3000	286	1220	561
700X	11	1500	368	1525	561
HX10	7.5	1000	419	+	565
HX30	22	1500	419	+	670
JX	15	1000	419	+	670

Anexo 2. Dimensionamiento de los ejes de hacer inoxidable

BARRAS DE ACERO INOXIDABLE
Barras trelladas, torneadas o pulidas. Tolerancia h9-h11

BARRAS 304

REDONDO

Diámetro (pulg)	Peso (kg/m)	Diámetro (pulg)	Peso (kg/m)
3/16	0,1	2	15,9
1/4	0,2	2 1/4	20,1
5/16	0,4	2 1/2	24,9
3/8	0,6	2 3/4	30,1
1/2	1,0	3	35,8
5/8	1,6	3 1/2	48,7
3/4	2,2	4	63,6
7/8	3,0	4 1/2	80,5
1	4,0	5	99,4
1 1/8	5,0	5 1/2	120,3
1 1/4	6,2	6	143,2
1 1/2	8,9	8	254,6
1 3/4	12,2		

BARRAS 316-L

REDONDO

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
2 1/2	24,9
2	15,9
3 1/2	48,7
3	35,8
4	63,6

Anexo 3. Especificaciones de la bomba de succión

Tabla de especificaciones

Model Items	TTFHE00008	UTWP13706
Voltaje:	110-120V-AC 50/60 Hz	
Flujo Máximo:	35 l/min	
Máxima succión:	8m	
Diametro del tubo:	1" x 1"	
Potencia:	0.5 Hp	
	Motor con Bobina de cobre	
Detalles:	Impulsor de cobre	
	Protegida contra las salpicaduras de agua	
Garantía	12 meses + 1	
	Empaque en caja de color	



Anexo 4. Dimensiones de la tubería

DIMENSIONES DE TUBERÍAS											
DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO EXTERIOR (mm)	SCH 10 INOXIDABLE			SCH 40				SCH 80 C.S.		
		ESPESOR PARED (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	PESO APROX. (Kg/m)	ESPESOR PARED (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	PESO APROX. (Kg/m)		ESPESOR PARED (mm)	DIÁMETRO INTERIOR (mm)	PESO APROX. (Kg/m)
							INOXIDABLE	CARBÓN			
1/8"	10.30	1.24	7.82	0.29	1.73	6.84	0.372	0.36	2.41	5.48	0.47
1/4"	13.70	1.65	10.40	0.49	2.24	9.22	0.644	0.63	3.02	7.66	0.80
3/8"	17.10	1.65	13.80	0.63	2.31	12.48	0.862	0.85	3.20	10.70	1.10
1/2"	21.30	2.11	17.08	1.00	2.77	15.76	1.29	1.27	3.73	13.84	1.62
3/4"	26.70	2.11	22.48	1.28	2.87	20.96	1.71	1.68	3.91	18.88	2.19
1"	33.40	2.77	27.86	2.09	3.38	26.64	2.54	2.50	4.55	24.30	3.23
1 1/4"	42.20	2.77	36.66	2.70	3.56	35.08	3.45	3.38	4.85	32.50	4.47
1 1/2"	48.30	2.77	42.76	3.12	3.68	40.94	4.12	4.05	5.08	38.14	5.40
2"	60.30	2.77	54.76	4.00	3.91	52.48	5.53	5.43	5.54	49.22	7.47
2 1/2"	73.00	3.05	66.90	5.26	5.16	62.68	8.78	8.62	7.01	58.98	11.40
3"	88.90	3.05	82.90	6.45	5.49	77.92	11.50	11.28	7.62	73.66	15.25
4"	114.30	3.05	108.20	8.35	6.02	102.26	16.30	16.06	8.56	97.18	22.29
5"	141.30	3.40	134.50	11.57	6.55	128.20	22.10	21.76	9.53	122.24	30.92
6"	168.30	3.40	161.50	13.83	7.11	154.08	28.70	28.23	10.97	146.36	42.51
8"	219.10	3.76	211.58	20.00	8.18	202.74	43.20	42.49	12.70	193.70	64.56
10"	273.10	4.19	264.72	27.80	9.27	254.56	61.23	60.23	15.09	242.92	95.84
12"	323.90	4.57	314.76	36.00	10.31	303.28	75.00	73.80	17.48	288.94	132.00

Anexo 6. Dimensiones de los perfiles cuadrados

DIMENSIONES			PROPIEDADES	
PLG.	mm	ESPESOR	PESO	PESO
		mm	Kg/mt	Kg/6mt
1/2	12,0	1	0,35	2,09
1/2	12,0	1,2	0,41	2,47
1/2	12,0	1,5	0,50	3,00
1/2	12,0	2	0,64	3,81
5/8	15	1	0,44	2,66
5/8	15	1,2	0,53	3,15
5/8	15	1,5	0,64	3,85
5/8	15	2	0,83	4,95
3/4	20,0	1	0,60	3,62
3/4	20,0	1,2	0,72	4,29
3/4	20,0	1,5	0,88	5,28
3/4	20,0	2	1,14	6,85
1	25	1	0,76	4,57
1	25	1,2	0,91	5,44
1	25	1,5	1,12	6,71

Anexo 7. para el cálculo de las poleas

Tabla 17-13

Factor de corrección del ángulo de contacto K_1 para transmisiones de banda plana VV* y en V

$\frac{D-d}{C}$	θ , grados	VV	K_1 Plana en V
0.00	180	1.00	0.75
0.10	174.3	0.99	0.76
0.20	166.5	0.97	0.78
0.30	162.7	0.96	0.79
0.40	156.9	0.94	0.80
0.50	151.0	0.93	0.81
0.60	145.1	0.91	0.83
0.70	139.0	0.89	0.84
0.80	132.8	0.87	0.85
0.90	126.5	0.85	0.85
1.00	120.0	0.82	0.82
1.10	113.3	0.80	0.80
1.20	106.3	0.77	0.77
1.30	98.9	0.73	0.73
1.40	91.1	0.70	0.70
1.50	82.8	0.65	0.65

*Un ajuste de curva de la columna VV en términos de θ es
 $K_1 = 0.143 543 + 0.007 46 8 \theta - 0.000 015 052 \theta^2$
 en el intervalo de $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$.

Tabla 17-12

Potencias nominales de bandas en V estándar

Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min				
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
B	5.0 y mayor	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
C	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
	7.0 y mayor	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90
	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52
D	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.39
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.06	8.89
	11.0	3.88	6.74	8.84	10.0	10.1
	12.0 y mayor	4.09	7.15	9.46	10.9	11.1
	10.0	4.16	6.13	6.55	5.09	1.35
	11.0	5.00	7.83	9.11	8.50	5.62
E	12.0	5.71	9.26	11.2	11.4	9.18
	13.0	6.31	10.5	13.0	13.8	12.2
	14.0	6.82	11.5	14.6	15.8	14.8
	15.0	7.27	12.4	15.9	17.6	17.0
	16.0	7.66	13.2	17.1	19.2	19.0
	17.0 y mayor	8.01	13.9	18.1	20.6	20.7
E	16.0	8.68	14.0	17.5	18.1	15.3
	18.0	9.92	16.7	21.2	23.0	21.5
	20.0	10.9	18.7	24.2	26.9	26.4
	22.0	11.7	20.3	26.6	30.2	30.5
	24.0	12.4	21.6	28.6	32.9	33.8
	26.0	13.0	22.8	30.3	35.1	36.7
28.0 y mayor	13.4	23.7	31.8	37.1	39.1	

Propiedades de algunos materiales de las bandas planas y redondas. (Diámetro = d , espesor = t , ancho = w)

Material	Especificación	Tamaño, pulg	Diámetro mínimo de la polea, pulg	Tensión permisible por ancho unitario a 600 pies/min, lbf/pulg	Peso específico, lbf/pulg ³	Coefficiente de fricción
Cuero	1 capa	$t = \frac{11}{32}$	3	30	0.035-0.045	0.4
		$t = \frac{13}{32}$	$3\frac{1}{2}$	33	0.035-0.045	0.4
	2 capas	$t = \frac{18}{32}$	$4\frac{1}{2}$	41	0.035-0.045	0.4
		$t = \frac{20}{32}$	6 ^a	50	0.035-0.045	0.4
Poliamida ^b	F0 ^c	$t = 0.03$	0.60	10	0.035	0.5
	F1 ^c	$t = 0.05$	1.0	35	0.035	0.5
	F2 ^c	$t = 0.07$	2.4	60	0.051	0.5
	A2 ^c	$t = 0.11$	2.4	60	0.037	0.8
	A3 ^c	$t = 0.13$	4.3	100	0.042	0.8
	A4 ^c	$t = 0.20$	9.5	175	0.039	0.8
	A5 ^c	$t = 0.25$	13.5	125	0.039	0.8
Uretano ^d	w = 0.50	$t = 0.062$	Vea	5.2 ^e	0.038-0.045	0.7
	w = 0.75	$t = 0.078$	la tabla	9.8 ^e	0.038-0.045	0.7
	w = 1.25	$t = 0.090$	17.3	18.9 ^e	0.038-0.045	0.7
	Redonda	$d = \frac{1}{4}$	Vea	8.3 ^e	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{1}{2}$	la tabla	18.6 ^e	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{1}{1}$	17.3	33.6 ^e	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{3}{4}$		74.3 ^e	0.038-0.045	0.7

Anexo 8. Diseño homogeneizador

