



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA MEZCLADORA HORIZONTAL HELICOIDAL DE  
MATERIAS PRIMAS PARA LA OBTENCIÓN DE BALANCEADO AVÍCOLA CON  
CAPACIDAD DE 100 KG/H**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

Título de Ingeniero Mecánico

**AUTOR: DAVID ALEXANDER SUNTAXI ESPINOSA**

**TUTOR: WILLIAM GUSTAVO DÍAZ DÁVILA**

Quito – Ecuador

2026

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, David Alexander Sntaxi Espinosa con número de identificación: No. 1724648868; manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo: 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, 18 de febrero de 2026

Atentamente,



---

David Alexander Sntaxi Espinosa

1724648868

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

Yo, David Alexander Sntaxi Espinosa con documento de identificación No. 1724648868, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Diseño de una máquina mezcladora horizontal helicoidal de materias primas para la obtención de balanceado avícola con capacidad de 100 kg/h”, 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, 18 de febrero de 2026

Atentamente,



---

David Alexander Sntaxi Espinosa

1724648868

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

Yo, William Gustavo Díaz Dávila con documento de identificación N°. 0400926184, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UNA MÁQUINA MEZCLADORA HORIZONTAL HELICOIDAL DE MATERIAS PRIMAS PARA LA OBTENCIÓN DE BALANCEADO AVÍCOLA CON CAPACIDAD DE 100 KG/H, realizado por David Alexander Suntaxi Espinosa, con documento de identificación N°. 1724648868, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 18 de febrero de 2026

Atentamente,



---

Ing. William Gustavo Díaz Dávila, MSc

0400926184

## DEDICATORIA

*A mis padres Marco y Margarita, por creer en mí, incluso en los momentos difíciles y por ser el pilar fundamental durante mi formación académica y profesional.*

*A mi esposa Diana, por su amor, paciencia y apoyo incondicional en cada paso de este camino; y a mi hija Violet, quien es mi mayor motivación y la razón de cada esfuerzo. Todo este logro es para ustedes.*

## AGRADECIMIENTO

*“A ti, oh Dios de mis padres, doy gracias y te alabo, porque me has dado sabiduría y fuerza.”*

*A la Universidad Politécnica Salesiana, por proporcionarme los conocimientos, recursos y valores que han contribuido a mi desarrollo como ingeniero. De manera especial, agradezco a mi tutor de tesis por su guía, paciencia y valiosos aportes técnicos durante el desarrollo de esta investigación. Finalmente, extendiendo mi gratitud a mis amigos y compañeros, quienes con su apoyo, motivación y compañerismo hicieron más llevadero este proceso académico.*

## ÍNDICE GENERAL

1 CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....	5
1.1.    Necesidades nutricionales para las aves.....	5
1.2.    Nutrición.....	6
1.2.1. Alimento balanceado.....	6
1.2.2. Densidad del balanceado.....	7
1.3.    El mezclado.....	7
1.3.1. Tipos de mezcladoras.....	8
1.4.    Problemas comunes de los mezclados.....	11
1.5.    Prevención problemas mezclado.....	12
1.6.    Agitación.....	12
1.7.    Tipos de Agitadores.....	13
1.8.    Higiene del equipo.....	16
1.9.    Generalidades del diseño de una mezcladora.....	16
1.10.  Materiales.....	17
1.11.  Soldadura.....	21
2 CAPÍTULO II: SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DEL DISEÑO.....	23
2.1.    Alternativas diseños.....	23
2.2.    Componentes de la mezcladora.....	27
2.3.    Etapa de selección.....	28
2.4.    Ecuaciones del diseño.....	30
2.4.1. Diseño del diámetro del agitador.....	30
2.4.1.1. Densidad del fluido.....	30
2.4.1.2. Parada.....	30
2.4.1.3. Fórmulas para encontrar el volumen del recipiente.....	31
2.4.1.4. Fórmulas para calcular el diámetro de la hélice interna y externa.....	31
2.4.2. Criterios y cálculos para el diseño del eje del agitador.....	33
2.4.3. Diseño de fatiga.....	34
2.4.4. Método esfuerzo - vida.....	34
2.4.5. Factor superficial $ka$ .....	35
2.4.6. Factor tamaño $kb$ .....	35
2.4.7. Factor carga $kc$ .....	35

2.4.8.	Factor temperatura $k_d$ .....	36
2.4.9.	Factor confiabilidad $k_e$ .....	36
2.4.10.	Factor concentración de esfuerzos por fatiga $k_f$ .....	36
2.4.11.	Límite resistencia a la fatiga $S_e'$ .....	36
2.4.12.	Diagrama Goodman .....	36
2.4.13.	Método esfuerzo residual .....	38
2.4.14.	Superficie sumergida en pared curva .....	38
2.4.15.	Cálculo del torque .....	39
2.5.	Selección de rodamiento .....	40
3 CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA .....		41
3.1.	Parámetros del diseño .....	41
3.2.	Dimensionamiento del recipiente .....	43
3.2.1.	Cálculo de la altura .....	44
3.2.2.	Diámetro de la hélice externa .....	45
3.2.3.	Diámetro de la hélice interior .....	47
3.2.4.	Diseño del agitador .....	48
3.2.5.	Área de trabajo .....	49
3.2.6.	Cálculo del peso del agitador .....	51
3.2.7.	Cálculo del peso de las espiras .....	51
3.2.8.	Longitud del eje .....	52
3.3.	Aproximaciones .....	53
3.3.1.	Primera aproximación .....	53
3.3.2.	Segunda aproximación .....	55
3.3.3.	Cálculo de la flexión del eje .....	55
3.3.4.	Espesor del recipiente .....	57
3.3.5.	Diseño fatiga .....	59
3.3.6.	Factor superficie $K_a$ .....	59
3.3.7.	Factor tamaño $K_b$ .....	59
3.3.8.	Factor tamaño $K_C$ .....	60
3.3.9.	Factor carga $K_d$ .....	60
3.3.10.	Factor temperatura $K_e$ .....	60
3.3.11.	Factor de concentración de esfuerzos a la fatiga $K_f$ .....	61

3.3.12.	Límite resistencia fatiga en viga rotatoria <b><i>Se</i></b> ,.....	61
3.4.	Selección del motor-reductor .....	63
3.4.1.	Determinación de potencia.....	63
3.4.2.	Factor servicio <b><i>fB.min</i></b> .....	63
3.4.3.	Rendimiento dinámico del motor-reductor .....	64
3.4.4.	Factor sobrecarga .....	64
3.5	Selección del rodamiento del eje mezclador.....	64
4	CAPÍTULO IV: SIMULACIÓN Y RESULTADOS.....	67
4.1.	Simulación estática del diseño .....	68
4.2.	Simulación estática del eje .....	68
4.3.	Simulación de la fuerza que genera el fluido en las hélices.....	69
4.4.	Simulación de la tensión Von Misses aplicado al eje .....	69
4.5.	Desplazamiento estático.....	70
4.6.	Deformaciones unitarias.....	71
5	CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE COSTOS .....	72
5.1.	Costos materiales.....	72
5.2.	Costos materiales elementos estandarizados.....	72
5.3.	Costos mano de obra .....	73
5.4.	Costo Total .....	73
5.5.	Tiempo recuperación de la inversión .....	74
6	CONCLUSIONES .....	76
7	RECOMENDACIONES .....	77
8	REFERENCIAS .....	78
9	ANEXOS.....	81
9.1	ANEXO 1.1 Estática de fluidos presión del fluido en una superficie curva.....	81
9.1	ANEXO 1.2 Momento de inercia semicircular.....	81
9.2	ANEXO 2.1 Parámetros del factor de condición superficial .....	82
9.2	ANEXO 2.2 Efecto de la temperatura de operación .....	82
9.3	ANEXO 3.Sensibilidad de la muesca q .....	83
9.4	ANEXO 4.1 Eje redondo con ranura plano en torsión.....	84
9.4	ANEXO 4.2 Eje redondo con filete en el hombro en torsión .....	84

9.5	ANEXO 5.1 Valores Orientativos en la selección del rodamiento .....	85
9.5	ANEXO 5.2 Valores Orientativos de la vida útil para los rodamientos .....	86
9.5	ANEXO 5.3 Factores de carga radial para cojinetes de bola .....	86
9.6	ANEXO 6. Diagrama de Goodman.....	87
9.7	ANEXO 7.1 Simulación de Proceso .....	88
9.7	ANEXO 7.2 Salida del material .....	88
9.8	ANEXO 8. Planchas de acero inoxidable .....	89
9.9	ANEXO 9.1 Factor de operación mínima.....	90
9.9	ANEXO 9.2 Catálogo técnico NORD Motorreductores industriales. ....	91
9.10	ANEXO 10 Planos .....	92

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ficha técnica de alimento balanceado para aves de corral (gallina ponedora).....	7
<b>Tabla 2.</b> Parámetros de la máquina mezcladora. ....	17
<b>Tabla 3.</b> Aceros de aleación fina.....	18
<b>Tabla 4.</b> Aleaciones de aluminio .....	20
<b>Tabla 5.</b> Materiales sintéticos y elastómeros .....	21
<b>Tabla 6.</b> Materiales sugeridos para la soldadura del acero inoxidable .....	22
<b>Tabla 7.</b> Componentes de la mezcladora .....	27
<b>Tabla 8.</b> Rango de evaluación.....	28
<b>Tabla 9.</b> Criterios de evaluación.....	28
<b>Tabla 10.</b> Valoración de las alternativas del diseño.....	29
<b>Tabla 11.</b> Modelo y características técnicas .....	45
<b>Tabla 12.</b> Factores de confiabilidad $K_e$ .....	60
<b>Tabla 13.</b> Costo de materiales.....	72
<b>Tabla 14.</b> Costo de materiales estandarizados.....	72
<b>Tabla 15.</b> Costo de mano de obra.....	73
<b>Tabla 16.</b> Costo total de la máquina mezcladora.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Máquina mezcladora horizontal de paletas _____	9
<b>Figura 2.</b> Mezcladora horizontal de cintas helicoidales _____	10
<b>Figura 3.</b> Máquina mezcladora vertical con tolva al piso _____	11
<b>Figura 4.</b> Agitador de paletas (flujo radial) _____	14
<b>Figura 5.</b> Agitador de turbina (flujo radial) _____	14
<b>Figura 6.</b> Agitador de hélice (flujo axial) _____	15
<b>Figura 7.</b> Agitador de marco y ancla (flujo tangencial) _____	16
<b>Figura 8.</b> Máquina mezcladora horizontal de paletas _____	23
<b>Figura 9.</b> Máquina mezcladora horizontal de paletas _____	25
<b>Figura 10.</b> Patrón de mezclado en mezcladora vertical _____	27
<b>Figura 11.</b> Diagrama en AutoCAD esquema del recipiente de mezclado _____	43
<b>Figura 12.</b> Diagrama en AutoCAD del recipiente de la mezcladora _____	44
<b>Figura 13.</b> Diagrama en AutoCAD de la ubicación de la cinta de mezclado hélice exterior _____	46
<b>Figura 14.</b> Diagrama en AutoCAD del producto desplazado por las espiras _____	47
<b>Figura 15.</b> Diagrama en AutoCAD de la ubicación de la cinta de mezclado _____	48
<b>Figura 16.</b> Diagrama en AutoCAD de la presión que ejerce el fluido al eje del agitador _____	49
<b>Figura 17.</b> Diagrama en AutoCAD área de la cinta helicoidal _____	49
<b>Figura 18.</b> Diagrama en AutoCAD de los ejes agitadores. _____	51
<b>Figura 19.</b> Diagrama de corte y momento realizado en Ftool simulation _____	56
<b>Figura 20.</b> Rodamiento de pestaña cuadrada designación F4B 45M-TF _____	65
<b>Figura 21.</b> Cargas del eje mezclador _____	65
<b>Figura 22.</b> Diagrama de la máquina mezcladora _____	68
<b>Figura 23.</b> Malla, elementos finitos _____	69
<b>Figura 24.</b> Fuerza de las hélices _____	69
<b>Figura 25.</b> Esfuerzos del eje principal _____	70
<b>Figura 26.</b> Desplazamiento estático _____	71

## RESUMEN

La investigación se centra en el diseño mecánico de una mezcladora horizontal para la producción balanceado avícola, con una capacidad operativa 100 kg/h. El diseño considera criterios geométricos, mecánicos y de resistencia de materiales, seleccionando acero inoxidable AISI 304 debido a su compatibilidad con la industria alimentaria.

Se realiza el dimensionamiento del recipiente, el eje mezclador, las hélices, así como la estimación del torque, potencia requerida y selección del motor. Adicionalmente, se efectúa el análisis estructural del eje bajo cargas combinadas de flexión y torsión, aplicando criterios de diseño a fatiga mediante el método de Goodman modificado, con el fin de garantizar un factor seguridad adecuado durante su operación.

Finalmente, se obtiene el diámetro óptimo del eje y se establecen parámetros constructivos que aseguran un funcionamiento eficiente, seguro y confiable del equipo.

### *Palabras claves*

Diseño mecánico, Mezcladora horizontal, Industria alimentaria, Análisis estructural, Fatiga mecánica, AISI 304

## **ABSTRACT**

The research focuses on the mechanical design of a horizontal mixer for poultry feed production, with an operating capacity of 100 kg/h. The design considers geometric, mechanical, and material strength criteria, selecting AISI 304 stainless steel due to its compatibility with the food industry.

The dimensions of the container, mixing shaft, and propellers are calculated, and the torque, power requirements, and motor selection are estimated. In addition, a structural analysis of the shaft under combined bending and torsion loads is performed, applying fatigue design criteria using the modified Goodman method, in order to ensure an adequate safety factor during operation.

Finally, the optimal shaft diameter is obtained and construction parameters are established to ensure efficient, safe, and reliable operation of the equipment.

### ***Keywords:***

Mechanical design, Horizontal mixer, Food industry, Structural analysis, AISI 304

## INTRODUCCIÓN

La industria avícola requiere equipos de mezclado que garanticen una distribución homogénea de los ingredientes, manteniendo altos estándares de higiene, seguridad y eficiencia operativa. Entre los equipos más utilizados para este fin se encuentran las mezcladoras horizontales, las cuales permiten procesar grandes volúmenes de materiales secos con tiempos de mezcla reducidos.

El diseño mecánico de este tipo de máquinas implica el análisis de múltiples variables como geometría, cargas dinámicas, selección de materiales y resistencia a la fatiga, especialmente en elementos críticos como el eje mezclador. Un diseño inadecuado puede provocar fallas prematuras, elevados costos de mantenimiento y riesgos operativos.

El presente proyecto pretende desarrollar el diseño mecánico de mezcladora horizontal para balanceado avícola con capacidad 100 kg/h, aplicando criterios de ingeniería mecánica y normas de diseño a fatiga, con el fin de asegurar un funcionamiento confiable y una vida útil prolongada del equipo.

## **PROBLEMA DE ESTUDIO**

Ecuador está atravesando un proceso de crecimiento poblacional global. Asegurando la disponibilidad necesaria para proporcionar los requerimientos alimentarios de la población en la ciudad de Otavalo, es necesario desarrollar actividades productivas en el marco de la producción avícola ya que un estudio realizado por el distrito metropolitano de la ciudad muestra una superficie en kilómetros cuadrados:

Urbana:  $82,10 \text{ km}^2$  ; Rural:  $424,37 \text{ km}^2$ ; Total Cantón:  $507,47 \text{ km}^2$  [4].

Actualmente ya existen máquinas que pueden realizar este trabajo en un tiempo relativamente corto, el problema es que estas máquinas aún no se comercializan en el Ecuador, se debería importarlos para obtenerlos desde el extranjero [4].

A partir de este problema descrito, nace la interrogante a resolver con la investigación:

***¿Cuáles son las estrategias y/o métodos para diseñar una mezcladora horizontal helicoidal que facilite a los granjeros mezclar heterogéneamente los balanceados?***

## JUSTIFICACIÓN

Al presentarse un aumento en la producción avícola local, se plantea un diseño del mezclador horizontal helicoidal el cual favorece a aumentar la producción, reducir costos a comparación de los equipos importados y garantizar uniformidad en la operación unitaria logrando una mezcla de alimento consistente.

Además, permite la flexibilidad en la disponibilidad de alimentos en cuanto a la demanda y mejora la competitividad de pequeños - medianos productores fortaleciendo su eficiencia productiva.

Para la comprobación y funcionamiento se utilizará un software modelado, donde se puede simular el proceso homogéneo del mezclado, obteniendo resultados de movilidad y esfuerzos de la mezcladora horizontal helicoidal [5].

### **Grupo objetivo**

Desarrollar herramientas que los pequeños productores de gallinas ponedoras puedan utilizar para aumentar la producción avícola, reducir costos y minimizar el desperdicio de insumos. Ellos serán los beneficiarios directos.

La producción y comercialización de balanceados ha experimentado una demanda considerable con el pasar de los tiempos, por tal razón surge la necesidad de mejorar o requerir nuevas líneas de producción con máquinas más eficientes para así aumentar la producción con la finalidad de solventar dicha demanda [6].

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Diseñar una máquina mezcladora horizontal helicoidal de materias primas para la obtención de balanceado avícola con capacidad 100 kg/h.

### **Objetivos específicos**

- Establecer la situación actual en cuanto a comportamiento de los mezcladores de balanceo avícola en la ciudad de Otavalo.
- Determinar los parámetros de diseño del mezclador para que cumpla con los requerimientos de trabajo.
- Diseñar los componentes mecánicos y seleccionar los elementos normalizados que conforman el mezclador.
- Evaluar el comportamiento mecánico del mezclador mediante un software especializado.
- Analizar la factibilidad financiera del diseño del mezclador mediante un estudio técnico económico.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1. Necesidades nutricionales para las aves

La producción avícola se desarrolla principalmente con dos finalidades productivas bien definidas.

- La primera corresponde a la obtención de huevos, ya sea para consumo humano o para procesos de incubación, lo que incluye aves de postura comerciales y reproductoras.
- La segunda finalidad se orienta a la producción de carne, donde se destacan especies como pollos de engorde, pavos y codornices.

Bajo el enfoque nutricional, alimentación de las aves debe caracterizarse por un contenido reducido de fibra, debido a que este componente presenta una baja digestibilidad y limita el consumo voluntario del alimento como consecuencia de su volumen. Los requerimientos energéticos se expresan comúnmente en términos de energía metabolizable, la cual constituye un parámetro fundamental para el adecuado desempeño productivo. En el caso de las aves ponedoras, la demanda de calcio es elevada, por lo que su suministro debe realizarse de manera controlada, empleando fracciones de distinto tamaño de partícula: una de granulometría gruesa que permita su permanencia temporal en la molleja, y otra de tamaño fino destinada a una absorción más inmediata. Asimismo, la coloración de la yema de huevo puede mejorarse mediante la inclusión de ingredientes ricos en xantofilas, como el maíz, o a través del uso de pigmentos concentrados de origen natural [7].

La presentación física del alimento varía según la etapa de desarrollo de las aves, utilizándose comúnmente formas granuladas en fases de crecimiento y finalización, mientras que en edades tempranas se emplean presentaciones más finas que faciliten el consumo [7].

Se caracteriza como tal por el hecho de que la sustancia natural utilizada se utiliza en cantidades y ritmos justos con la finalidad de satisfacer los requerimientos nutricionales específicos previos de la criatura. Los cuidados adaptados tienen por objeto proporcionar a las aves de corral los suplementos clave para cada fase de la creación, con el fin de lograr las mejores ventajas monetarias en la granja avícola [7].

#### **Aves de postura (ponedoras)**

Las razas de aves de postura o ponedoras han sido cruzamientos de selección con el objetivo

de instaurar animales de alta producción de huevo comercial ya sea de cascarón blanco o marrón, el volumen de dichas aves depende de la línea de producción que lleven.

Hasta la fecha se cuenta con varias líneas las cuales poseen características específicas ya sea físicamente o por porcentaje de producción que es por la que se destacan normalmente al momento de emprender una producción teniendo en cuenta que esta también depende de varios factores relevantes como la edad y la raza de las aves de postura, la nutrición balanceada, de un manejo ambiental y sanitario óptimos, dependiendo de los factores claves antes mencionados será viable para obtener una producción de huevos saludables y económicos [8].

## **1.2. Nutrición**

### ***1.2.1. Alimento balanceado***

La alimentación balanceada en la producción avícola es un proceso esencial y concluyente en la calidad del producto final, el cual representa entre el 50% a 70% de la recuperación de costos de inversión, la producción del alimento balanceado está estrechamente relacionado con la cadena trófica, la transformación de varias materias primas requiere de un conocimiento y valor ético para garantizar y conservar el producto nutricional y equilibrado [8].

El éxito de la industria avícola de producción de huevo comercial no solo consiste en el equilibrio nutricional específico empleado sino también depende las condiciones sanitarias con las que funcione las empresas (recepción, almacenamiento, formulación y transformación de materias primas, empaque y almacenamiento del alimento balanceado), el almacenamiento del balanceado en la granja y como se proporcione a las aves [8].

El valor nutricional de alimento balanceado cambia según la materia prima que se usa para formular la mezcla. Esta composición se expone en la **Tabla 1** para balanceados que corresponde a 100 kg [9].

**Tabla 1.** Ficha técnica de alimento balanceado para aves de corral (gallina ponedora) [8].

<b>Materia Prima - Ingredientes</b>	<b>Cantidad en Kg</b>
Aceite de soya	3.84
Carbonato de calcio fino	2.72
Carbonato de Calcio grano Grueso	5.9
Fosfato bicalcico	1.11
Maíz	41
Mogolla	10
Núcleo vitaminas y minerales ponedora	1.05
Sal marina	0.22
Salvado de maíz	10.16
Torta de soya	24
<b>Total, Kg</b>	<b>100</b>

### ***1.2.2. Densidad del balanceado***

Las densidades de los ingredientes principales que se utilizan en los balanceados avícolas pueden variar, pero generalmente se encuentran dentro de estos rangos aproximados:

- Maíz en grano: alrededor de 720 a 750 kg/m<sup>3</sup>.
- Harina o torta de soya: aproximadamente entre 450 y 650 kg/m<sup>3</sup>.
- Afrecho (salvado): cerca de 400 a 600 kg/m<sup>3</sup>.
- Carbonato de calcio y fosfatos: tienen densidades más altas, que oscilan entre 1000 y 1500 kg/m<sup>3</sup>.
- Las vitaminas, minerales y otros aditivos en polvo suelen presentar densidades variables, generalmente más bajas, en un rango de 300 a 700 kg/m<sup>3</sup>.

La densidad aparente es esencial para calcular el volumen necesario de la maquina mezcladora estas densidades son aproximadas pueden variar según la fuente y el proceso [10].

### **1.3. El mezclado**

El proceso de mezclado constituye una etapa fundamental a la elaboración de alimentos balanceados, su correcta ejecución depende la uniformidad del producto final y, en

consecuencia, su calidad nutricional. El propósito del mezclado es lograr una distribución homogénea de las materias primas, de modo que cada porción del alimento contenga proporciones equivalentes de los ingredientes formulados.

La operación de mezclado se inicia cuando las partículas de los distintos componentes son sometidas a un movimiento continuo que permite su redistribución progresiva dentro del volumen del equipo. Este desplazamiento favorece que las partículas intercambien posiciones hasta alcanzar una condición en la que el conjunto se presenta como una fase visualmente uniforme. En este sentido, los equipos de mezclado más eficientes son aquellos capaces de generar un alto grado de movimiento interno del material, lo que se traduce en tiempos de mezcla reducidos y mejores niveles de homogeneidad.

Las características físicas de los ingredientes influyen directamente en la conducta estructural del material durante el proceso de mezclado. Características tales como tamaño volumétrico, la geometría y la densidad de las partículas, condicionan la facilidad con la que los componentes pueden distribuirse de manera uniforme. Por esta razón, para obtener un alimento balanceado con composición y valor nutricional constantes en cada ración, es indispensable asegurar una adecuada homogeneización de todos los ingredientes involucrados en la formulación [11].

### ***1.3.1. Tipos de mezcladoras***

Existen un sinnúmero de máquinas mezcladoras, sin embargo, se citarán las más utilizadas en la industria, según Manya Diego [12], se encuentran las siguientes:

- Equipos de mezcla por flujo continuo
- Mezcladoras con sistema de paletas agitadoras
- Mezcladoras de doble cinta helicoidal
- Mezcladoras con agitador tipo turbina

De manera general las mezcladoras se clasifican de la siguiente manera:

- Mezcladoras horizontales
- Mezcladoras verticales

Entre las principales máquinas utilizadas en la industria de balanceados están:

### **Máquina mezcladora horizontal de paletas**

Mezcladoras con sistema de paletas agitadoras se emplean ampliamente en la elaboración de alimentos balanceados destinados a los sectores bovino, porcino y avícola, especialmente en formulaciones compuestas mayoritariamente por ingredientes en forma de harina. Su diseño permite realizar procesos de mezcla eficientes en aplicaciones donde se requiere una distribución uniforme de los componentes sólidos.

Este tipo de equipo está constituido por un recipiente de configuración horizontal, generalmente con sección transversal en forma de “U”, en cuyo interior se dispone un eje central al cual se fijan las paletas de mezclado. Durante la operación, el eje transmite el movimiento a las paletas, generando la agitación necesaria para el desplazamiento y la redistribución continua del material dentro del recipiente.

La transmisión de potencia hacia el eje puede realizarse de manera directa o mediante sistemas mecánicos como correas o cadenas, los cuales permiten adaptar las condiciones de funcionamiento del equipo. La unidad motriz suele incorporar un reductor de velocidad, cuya función es garantizar un régimen de rotación adecuado y constante, contribuyendo a mejorar la eficiencia del proceso de mezclado y a obtener un producto final que cumpla requerimientos de calidad establecidos [13].

En la **Figura 1** muestra un diseño máquina mezcladora paletas horizontal.



**Figura 1.** Máquina mezcladora horizontal de paletas [14].

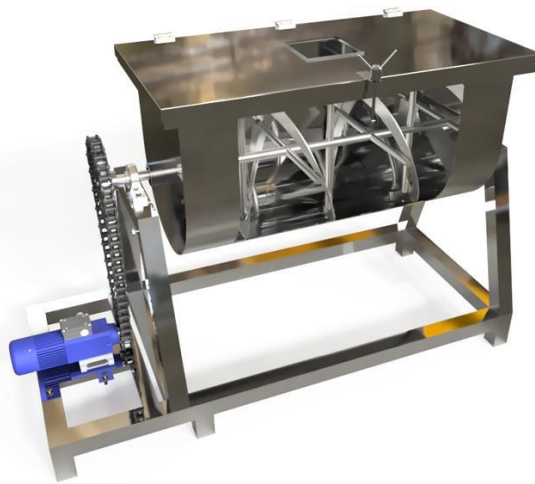
### **Máquina mezcladora horizontal cintas helicoidales**

La mezcladora horizontal cintas helicoidales emplea un sistema de agitación basado en elementos helicoidales diseñados para inducir el desplazamiento y la redistribución continua de

los ingredientes a lo largo del recipiente. Este tipo de equipo es ampliamente utilizado por procesos donde se requiere una elevada uniformidad del producto final.

El principio de funcionamiento se fundamenta en la acción conjunta de dos cintas helicoidales dispuestas sobre un eje común, las cuales giran en sentidos opuestos y generan flujos de material tanto axiales como radiales. Este movimiento combinado provoca una interacción constante entre las partículas, favoreciendo su mezcla progresiva dentro del volumen del equipo hasta alcanzar una distribución homogénea de los componentes [15].

En la **Figura 2** muestra un diseño de una mezcladora horizontal cintas helicoidales.



**Figura 2.** Mezcladora horizontal cintas helicoidales [14].

### **Máquina mezcladora vertical**

Las mezcladoras verticales se utilizan principalmente en procesos de mezcla de ingredientes secos con elevada densidad aparente, donde se prioriza el aprovechamiento del espacio en planta. Debido a su configuración constructiva, estos equipos requieren un mayor desarrollo en altura, aunque ocupan una menor superficie horizontal en comparación con las mezcladoras de disposición horizontal.

Desde el punto vista el diseño, distinguen principalmente dos configuraciones de mezcladoras verticales.

- La primera corresponde a los equipos con tolva fija a nivel del suelo, los cuales facilitan las operaciones de carga de materias primas al permitir el ingreso directo de los ingredientes sin necesidad de sistemas adicionales de elevación.

- La segunda configuración está constituida por mezcladoras con tolva giratoria, cuyo recipiente rota alrededor de su propio eje, dejando expuesta la abertura de alimentación, la cual generalmente se realiza con ayuda tornillo sin fin.

Ambas mezcladoras presentan ventajas en términos de limpieza e higiene, ya que su diseño favorece la evacuación de residuos provenientes de procesos anteriores. La descarga del material se efectúa usualmente sobre abertura ubicada en la parte inferior central equipo, permitiendo que el producto final sea evacuado por acción de la gravedad, lo que contribuye a mantener condiciones seguras e inocuas durante la operación [16].

La **Figura 3** muestra un ejemplo máquina mezcladora vertical.



**Figura 3.** Máquina mezcladora vertical tolva al piso [14].

#### **1.4. Problemas comunes de los mezclados**

El comportamiento de los ingredientes durante el proceso de mezclado está directamente influenciado por sus características físicas y químicas, lo que puede dar lugar a deficiencias en la homogeneidad del producto final. Estas variaciones provocan fenómenos indeseados como una mezcla incompleta o la segregación de los componentes, afectando la calidad del alimento balanceado.

Una de las principales causas de los inconvenientes en el mezclado de alimentos balanceados radica en la heterogeneidad de los ingredientes que conforman la formulación. Las diferencias

en la geometría, el tamaño, densidad partículas dificultan la obtención de una distribución uniforme, ya que cada componente responde de manera distinta a las fuerzas generadas durante el proceso. Por este motivo, resulta fundamental controlar adecuadamente las condiciones de molienda, con el fin de reducir la variabilidad entre los ingredientes y favorecer una mezcla más homogénea [17].

Entre las principales propiedades físicas los ingredientes que influyen de manera significativa en proceso de mezclado se pueden mencionar las siguientes:

- Tamaño partícula.
- Forma partícula.
- Densidad o peso específico.
- Capacidad de absorción de humedad (higroscopicidad).
- Tendencia a generar cargas electrostáticas.
- Propensión a la adhesión entre partículas.

### **1.5. Prevención problemas mezclado**

El orden carga en los ingredientes en la mezcladora de la siguiente manera [7]:

- 1) Ingredientes mayores (partículas gruesas).
- 2) Ingredientes menores (partículas finas).
- 3) Aditivos (proteínas).
- 4) Líquidos (se adiciona al producirse el proceso de mezclado)

Usar la mezcladora por lo menos al 2/3 de su capacidad mejorando así la eficacia del proceso.

No llenar de manera excesiva la mezcladora, porque los listones o paletas se posicionan levemente arriba de la superficie del mezclado.

El no utilizar el volumen adecuado de la mezcladora conlleva a tener problemas en el mezclado.

Monitorear de manera constante la eficacia de la mezcladora.

### **1.6. Agitación**

La agitación se define como una operación unitaria en la cual se induce el movimiento controlado de un fluido dentro de un recipiente mediante la aplicación de energía mecánica,

con el propósito de obligar al fluido a modificar su estado de reposo a generar patrones de circulación interna [18].

Este proceso es ampliamente utilizado en la industria alimentaria, donde constituye un parámetro relevante para evaluar la eficiencia de diversas operaciones de transformación.

La agitación cumple múltiples funciones dentro de los procesos industriales, entre las que se destacan: la obtención de mezclas homogéneas de líquidos miscibles, la incorporación de líquidos en sistemas sólidos, disolución en medios líquidos y la separación sobre fases líquidas no miscibles. Asimismo, permite la dispersión uniforme partículas finas sobre líquidos, el incremento del área de contacto entre un líquido y un gas, y la mejora procesos transferencia de calor, contribuyendo a la mayor eficiencia global del sistema [19].

De manera general, los sistemas de agitación están conformados por un recipiente, que puede ser abierto o cerrado, usualmente de geometría cilíndrica, en cuyo interior se dispone un elemento agitador acoplado a eje accionado por motor eléctrico. Las dimensiones y capacidad del recipiente, así como el tipo de agitador empleado, se seleccionan sobre función las características al material a procesar y del régimen de agitación requerido. [18].

### **1.7. Tipos de Agitadores**

En la mayoría de procesos industriales presentan operaciones unitarias como la mezcla y la agitación las cuales se dan en sistemas de una fase o varias fases. Los sistemas de agitación se pueden clasifican en dos categorías principales: el primero flujo axial el cual genera frecuencias paralelas eje agitador y el segundo los flujos radiales producen frecuencias en dirección tangencial o radial.

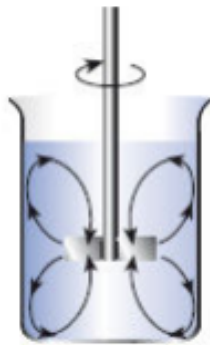
En el capítulo II se establecerá los parámetros óptimos para obtener la mejor alternativa, que se mencionará posteriormente.

- a) Agitador paletas
- b) Agitador turbinas
- c) Agitador hélice
- d) Agitador ancla

### a) Agitador paletas

El agitador de paletas es un equipo diseñado para realizar la operación unitaria de agitado empleando dos palas dispuestas de forma rectangular, eficaz para recipientes considerados de gran altura, facilitando así la instalación de paletas en dos o tres niveles diferentes, giran a velocidades bajas creando un flujo axial y radial, en ocasiones las paletas se encuentran inclinadas a un ángulo determinado de  $45^\circ$  [20].

En la **Figura 4** muestra un diseño agitador de paletas.



**Figura 4.** Agitador paletas (flujo radial) [20].

### b) Agitador turbinas

El agitador de turbinas consiste en un dispositivo de alta velocidad que funciona de forma análoga a una bomba centrífuga, el líquido que se encuentra en el recipiente se remueve a través de paletas pudiendo ser curvas, inclinadas, rectas o verticales en un eje rotatorio el cuál se encuentra en el centro del tanque y transporta una intensidad elevada al líquido, las corrientes son radiales y tangenciales [21].

La **Figura 5** muestra un diseño agitador turbinas.

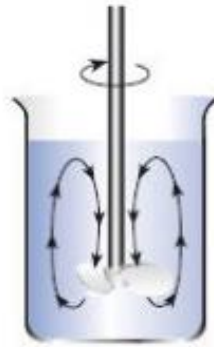


**Figura 5.** Agitador turbina (flujo radial) [20].

### c) Agitador hélice

El agitador hélice corresponde al dispositivo agitación que genera predominantemente un patrón de flujo axial, mediante el uso de una hélice compuesta por un número variable de palas curvadas, solidarias a un eje de rotación. Durante su funcionamiento, el movimiento impartido por la hélice induce la circulación del fluido tanto en sentido longitudinal como radial dentro del recipiente, promoviendo una adecuada renovación del medio, la cantidad de energía que utiliza es mínima. Para recipientes de gran altura es común instalar varias hélices que producen corrientes de flujo en una misma dirección [22].

La Figura 6 muestra un diseño de agitador hélice.



**Figura 6.** Agitador hélice (flujo axial) [20].

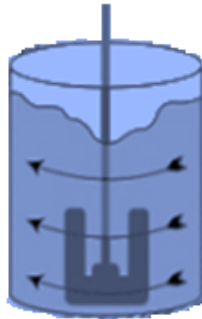
### d) Agitador de marco y ancla

El agitador de ancla, también denominado agitador bastidor, se emplea principalmente en procesos que involucran fluidos de elevada viscosidad o con comportamiento semisólido. Su diseño se caracteriza por la disposición de una paleta que se ajusta a la geometría interna del recipiente, permitiendo un barrido cercano a las paredes del tanque durante la operación.

Este tipo de agitador opera generalmente a bajas velocidades de rotación y presenta un diámetro comparable al del recipiente que lo contiene, lo que favorece el desplazamiento del material en contacto con las superficies internas.

Como resultado, se reduce la adherencia del producto a las paredes y se mejora la uniformidad de la mezcla, especialmente en sistemas donde otros tipos de agitadores resultan menos eficientes [23].

La **Figura 7** muestra un diseño de agitador ancla.



**Figura 7.** Agitador marco y ancla (flujo tangencial) [20].

### **1.8. Higiene del equipo**

El mantenimiento de limpieza y sanitización de la máquina mezcladora es esencial para la producción del balanceado avícola.

El diseño de la máquina debe tener la facilidad de montar y desmontar sus partes para tener condiciones óptimas para realizar una correcta, rápida y sencilla limpieza y desinfección in situ, al estar en contacto directo con los alimentos su diseño debe minimizar o eliminar los focos de contaminación, la superficie debe ser lisa para lograr un vaciado completo de los recipientes, por tal razón sus bordes deben ser redondos o inclinados con una pendiente mínima de 10 mm por metro para eliminar la contaminación cruzada.

La limpieza y desinfección evita obtener productos de mala calidad, pérdidas en las futuras producciones y deterioro de máquina [24].

### **1.9. Generalidades del diseño de una mezcladora**

El diseño, máquina mezcladora horizontal helicoidal de capacidad 100 kg/h para balanceado avícola, se debe considerar ciertos factores de manera general que incluyen la capacidad y tamaño; la eficiencia del mezclado; la fácil higienización, desinfección y mantenimiento de equipo; el tiempo de vida útil de materiales utilizados en su diseño, la seguridad, entre otros, según el autor.

En la **Tabla 2** se describe los parámetros en los que se basara la mezcladora helicoidal.

**Tabla 2.** Parámetros de la máquina mezcladora.

<b>Parámetros</b>	<b>Especificaciones</b>
Capacidad y tamaño	Debe ser adecuada para manejar 100 kg de materia prima sin comprometer la eficiencia.
Velocidad de mezcla	Determinada por el tipo de ingredientes y el nivel de homogeneidad requerido.
Materiales de construcción	Deben ser duraderos y seguros para contacto con alimentos.
Seguridad	Diseños que minimicen el riesgo de accidentes y faciliten la operación por parte del usuario.

La fabricación de una máquina mezcladora inicia el diseño detallando, un software CAD para definir especificaciones técnicas, seguido de la elección de materiales de larga durabilidad priorizando aquellos que sean aptos para el contacto alimentario.

### **1.10. Materiales**

La máquina mezcladora de balanceados al estar en contacto directo con los alimentos, debe ser fabricada con materiales anticorrosivos el cual garantiza que el producto final no este invadido por sustancias nocivas.

Para asegurar un producto final, se toma en cuenta los parámetros de inocuidad y calidad los cuales se encuentran establecidos por el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN para alimentos procesados [25].

La mezcladora helicoidal horizontal destinada a la elaboración de alimentos balanceados está constituida principalmente por componentes fabricados en acero inoxidable. La selección de esta materia resulta fundamental, especialmente en las partes internas, ya que estas se encuentran en contacto directo al producto y no deben liberar ni absorber sustancias que puedan comprometer la inocuidad del alimento.

- Acero inoxidable

- Materiales de aluminio
- Materiales sintéticos

**a) Acero inoxidable:** El acero inoxidable, aleación metálica basada principalmente en hierro y carbono, se caracteriza por contener porcentaje mínimo 10,5 % cromo en su composición. La presencia de este elemento confiere al material una elevada resistencia frente a los procesos de oxidación y a la corrosión atmosférica, lo que lo convierte en una opción ampliamente utilizada para fabricación de equipos destinados a industrias alimentarias [26].

Dentro de esta familia de materiales, los aceros inoxidables de aleación fina resultan especialmente adecuados para la manufactura de maquinaria empleada en la industria alimentaria. La **Tabla 3** presenta una relación, aceros de aleación fina que cumplen con los lineamientos establecidos, la cual regula la restricción de sustancias peligrosas en equipos industriales [27].

**Tabla 3.** Aceros aleación fina (conformidad con la directiva 2002/95/CE (RoHS)) [27].

AISI	EN10088-1	DIN	Internacional	Apto para el contacto con productos alimentarios según	Clase de resistencia a la corrosión CRC
AISI 304	X5CrNi18-10	1.4301	0Cr18Ni9 (China) SUS 304 (Japón) STS 304 (Corea) 08Ch18N10 (CEI) STS 316 (Corea)	ANSI/NSF 51	3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico)
AISI 316	X5CrNiMo17-12-2	1.4401	08Ch16N11M3 (CEI) 0Cr17Ni12Mo2 (China) SUS 316 (Japón)	ANSI/NSF 51	3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico)

AISI 326L	X2CrNiMo17-12-2	1.4404	00Cr17Ni14Mo2 (China) STS 316L (Corea) SUS 316L (Japón)	ANSI/NSF 51	3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico)
AISI 326L	X2CrNiMo18-14-3	1.4435	00Cr17Ni14Mo2 (China) SUS 316L (Japón)	ANSI/NSF 51	3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico)
AISI 329	X3CrNiMoN27-5-2	1.4460	0Cr26Ni5Mo2 (China) 10Ch26N5M (CEI) SUS 329J1 (Japón)	ANSI/NSF 51	3 (4 con superficie lisa, p. ej., mediante pulido electrolítico)
AISI 316Ti	X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	0Cr18Ni12MoTi (China) 10Ch17N13M2T (CEI) STS 316Ti (Corea) SUS 316Ti (Japón)	ANSI/NSF 51	El titanio incrementa la CRC a 4

**b) Materiales de aluminio:** Es ampliamente utilizado porque son accesibles y sencillos de mecanizar para el proceso de fabricación de materiales se encuentran en contacto directo al alimento por sus propiedades mecánicas, conductividad del calor y barrera protectora frente a la luz, el oxígeno, la contaminación y la humedad.

Los datos proporcionados de EFSA, FAO/OMS mencionan al aluminio es considerado improbable que sea carcinogénico para el ser humano. En la **Tabla 4** se observa una lista de aleaciones de aluminio (conformidad la directiva 2002/95/CE (RoHS)) [28].

**Tabla 4.** Aleaciones aluminio (conformidad con la directiva 2002/95/CE (RoHS)) [27].

Denominación	Código de material según EN	Apto para el contacto con productos alimentarios según	Clase de resistencia a la corrosión CRC sin tratar	Clase de resistencia a la corrosión CRC anodizado
AlCuMg1, AlCuMg2	EN AW-2017A, EN AW-2024	-	0	1
Al99,5	EN-AW-1050A	ANSI/NSF 51	0 ... 1	2
AlMgSi0,5	EN-AW-6060	ANSI/NSF 51	1 ... 2	3
AlMgSi0,7	EN-AW-6005A	ANSI/NSF 51	1 ... 2	3
AlMgSi1	EN-AW-6082	ANSI/NSF 51	1 ... 2	3
AlMg1, AlMg3, AlMg5	EN-AW-5005, EN-AW-5774, EN-AW-5019	ANSI/NSF 51	1 ... 2	3

c) **Materiales sintéticos:** Se consideran también materiales artificiales que se crean a partir de compuestos químicos, son utilizados ampliamente en envases de alimentos y materiales para la construcción.

Los materiales sintéticos suelen ser resistentes y económicos por lo cual tienen una amplia gama de aplicaciones, incluidas prendas de vestir, envases para alimentos y materiales de construcción, entre otros [29].

En la **Tabla 5** se encuentra los materiales sintéticos elastómeros que tienen que cumplir la disposición 1935/2004/CE o la disposición sobre materiales sintéticos 10/2011 o directivas de la FDA [27].

**Tabla 5.** Materiales sintéticos y elastómeros (conformidad con la directiva 1935/2004/CE) [27].

<b>Denominación</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Conformidad dentro de un grupo posible según</b>	<b>Resistencia a ácidos diluidos</b>	<b>Resistencia a lejías diluidas</b>
Polipropileno	PP	FDA y / o 10/2011	±	+
Poliamida	PA	FDA y / o 10/2011	-	o
Cloruro de polivinilo	PVC	-	±	±
Polifluoruro de vinilideno	PVDF	FDA y / o 10/2011	±	±
Polioximetileno	POM	FDA y / o 10/2011	-	o
Polimetilmetacrilato	PMMA	FDA y / o 10/2011	±	±
Policarbonato	PC	FDA y / o 10/2011	±	-
Polietileno	HD PE-HD	FDA y / o 10/2011	±	±
Tereftalato de polietileno	PET	FDA y / o 10/2011	o	-
Polieteretercetona	PEEK	FDA y / o 10/2011	±	±
Politetrafluoroetileno	PTFE	FDA y / o 10/2011	±	±
Caucho etileno-propileno-dieno	EPDM	FDA	±	±
Caucho fluorado	FKM/caucho fluorado	FDA	±	-

## 1.11. Soldadura

### Procesos de soldadura

Para la construcción de las partes en contacto directo productos alimenticios, se seleccionó acero inoxidable AISI 304, ampliamente reconocido por sus propiedades sanitarias y su aptitud para aplicaciones de grado alimentario. Este material ofrece adecuada resistencia corrosible y permite la obtención de uniones soldadas que cumplen con los requisitos de higiene y seguridad exigidos en la industria alimentaria.

Para la unión de los componentes fabricados en acero inoxidable se dispone de diversos procesos de soldadura, entre los cuales se destacan los siguientes:

- Proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido.
- La unión de los componentes se realizará mediante el proceso de soldadura TIG, técnica ampliamente utilizada para la unión de aceros inoxidables. Este procedimiento genera un arco eléctrico entre un electrodo de tungsteno no consumible y el material base, mientras un gas inerte —comúnmente argón— actúa como protección, evitando la contaminación del baño de fusión por contacto con la atmósfera. [30].

La **Tabla 6** se describe la soldadura sugerida para acero inoxidable.

**Tabla 6.** Materiales sugeridos soldadura acero inoxidable [30].

<b>Metal de base</b>	<b>Electrodo recubierto AWS o nombre común</b>	<b>Electrodo desnudo y varilla – AWS o nombre común</b>
AISI	AWS A5.4	AWS A5.9
(UNS)	(UNS)	(UNS)
304	E 308	ER 308
(S30400)	(W30813)	(S30880)
304L	E304L	ER308 L
(S30403)	(W30813)	(S30883)

- El proceso de soldadura MIG (Metal Inert Gas) se distingue por utilizar electrodo consumible en forma alambre continuo, el cual se alimenta de manera automática hacia la zona de fusión para generar la unión entre las piezas, entre el cual y la pieza a unir se establece un arco eléctrico. Durante la operación, el baño de fusión son protegidos mediante una atmósfera gaseosa que evita la contaminación del metal fundido por el aire [30].

## CAPÍTULO II: SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DEL DISEÑO

### 2.1. Alternativas diseños

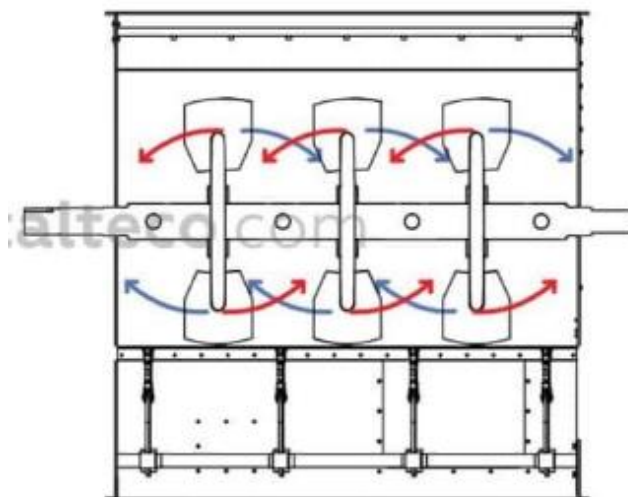
En el diseño se debe establecer varias alternativas de solución para tener una mayor comprensión y visión del equipo para balanceado con capacidad 100 kg/h que se desea diseñar, antes de la elección del diseño definitivo, en este caso se analizara tres alternativas que se detallan a continuación:

#### a) Alternativa 1: Máquina mezcladora de paletas horizontal

La alternativa 1 consiste en un recipiente cilíndrico horizontal su sistema posee un motor eléctrico ubicado de forma horizontal, que suministra movimiento al eje central que está acoplado a paletas rotativas para mezclar los ingredientes de forma uniforme garantizando así un producto final homogéneo de calidad [13].

La alimentación de las materias primas se las realiza por la tolva posicionada en la parte superior de la máquina, estas descienden sobre las paletas las cuales mueven la materia prima de un extremo a otro de la mezcladora, haciéndolo caer a medida que avanza para que se produzca el proceso de mezclado posteriormente es envasado de manera adecuada. Su mayor eficiencia se destaca en la mezcla de alimentos secos y fibrosos.

En la **Figura 8** se muestra el patrón que realiza el equipo mezclador horizontal paletas.



**Figura 8.** Máquina mezcladora horizontal paletas [31].

## **Ventajas**

- Mayor homogeneidad en la mezcla.
- Rapidez en el mezclado.
- En este tipo de mezcladoras, las materias primas casi en su 100 % están en movimiento.
- Mantenimiento mínimo y optimizado (las partes que lo conforman no requieren de un mantenimiento continuo.).
- Versatilidad en los procesos.

## **Desventajas**

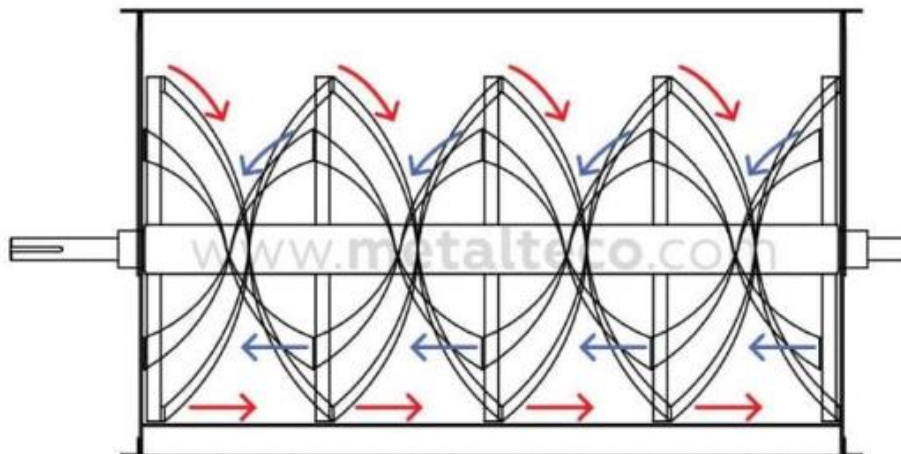
- Por lo general este tipo de mezcladoras son estacionarias.
- Para accionar este tipo de mezcladora debe estar lleno por lo menos un tercio de su capacidad.
- Mayor consumo de energía.
- Vigilancia permanente de rpm.
- Adecuar el área de carga de materias primas, la carga de ingredientes se coloca por la parte superior.

### **b) Alternativa 2: Mezcladora de cintas helicoidales horizontal**

La alternativa 2 consiste en un recipiente en forma de U y un eje axial que dispone de un agitador que es accionado por un motor eléctrico y posee un sistema de reducción en mandos individuales, este agitador posee dos de cintas helicoidales que rotan en direcciones contrarias las cuales giran de forma longitudinal distribuyendo así la mezcla de manera uniforme en todo el recipiente [15].

Gracias al diseño de la máquina se obtiene un proceso de mezcla muy intenso y protegido a revoluciones bajas, consiguiendo una mezcla de calidad y de higiene. Su mayor eficiencia se destaca porque son capaces de mezclar alimentos secos y fibrosos además de alimentos húmedos.

En la **Figura 9** muestra diseño de mezcladora horizontal cintas helicoidales.



**Figura 9.** Máquina mezcladora horizontal cintas [31].

### **Ventajas**

- Mayor efectividad gracias a las hélices de avance las cuales abarcan completamente la longitud de la máquina.
- Mayor calidad y consistencia por la suavidad y homogeneidad de la mezcla.
- Operan de manera continua.
- Mantenimiento mínimo.
- Consumo de energía más eficiente.
- Fragmentación de partículas mediante el contacto de las cintas y de la estructura.

### **Desventajas**

- Mayor tiempo para ser efectivo.
- Genera abrasión.
- Para poseer una mezcla efectiva se recomienda que el llenado de la máquina sea del 60% de su capacidad.
- Soporta cargas pequeñas.
- La inclinación de las cintas no es viable ajustar.

### **c) Alternativa 3: Máquina mezcladora vertical**

La alternativa 3 consiste en un recipiente cilíndrico vertical su sistema es accionado por un grupo motor reductor con unas determinadas revoluciones según diámetro del sinfín y potencia

adecuada, preparado para un funcionamiento en continuo, dispuesto de manera vertical, el cual proporciona un agitación del eje central que posee un tirabuzón (gusano) o hélice helicoidal, la mezcla aprovecha su peso la cual desciende para llegar al punto de salida [16].

La alimentación de las materias primas es por la parte superior donde se encuentra una tolva, estas pasan y recorren por un tubo elevador central y un gusano para que se produzca el proceso de mezclado posteriormente es envasado de manera adecuada. Su mayor eficiencia se destaca en la mezcla de alimentos húmedos.

Está compuesta por una tolva cilíndrica vertical (entrada) y un cono inferior (salida) de producto que varían según su diseño, las dimensiones y espesores variables según la capacidad que se desee conseguir [32].

### **Ventajas**

- Mayor producción cambiando la potencia del motor.
- Mayor eficiencia energética.
- Se puede disminuir el tiempo de mezclado (10 minutos) por carga de materias primas.
- Mantenimiento mínimo de sus partes.
- Optimiza la mitad el espacio que usa una máquina horizontal.
- Diseñados para resistir ambientes de trabajo exigentes.

### **Desventajas**

- Sobrellenado (No exceder el nivel del tubo elevador).
- Reducción de la capacidad de mezcla por el desgaste del gusano.
- Vigilancia constante de las revoluciones por minuto (200 – 300 rpm).
- Perdidas transmisión de potencia.
- En el proceso existe una pérdida parcial del producto final.

En la **Figura 10** muestra el patrón que realiza la mezcladora vertical.

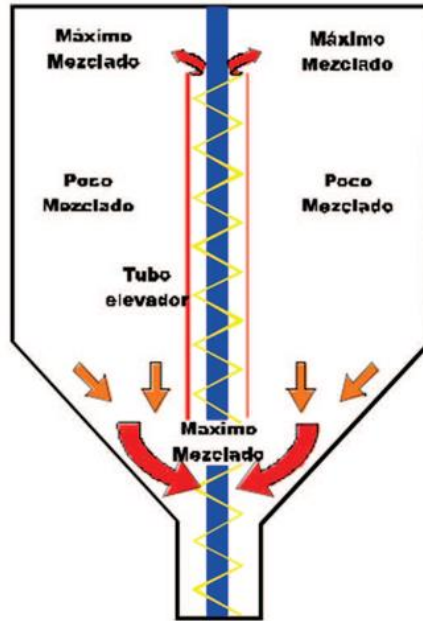


Figura 10. Patrón de mezclado en mezcladora vertical [24].

## 2.2. Componentes de la mezcladora

Los parámetros específicos para el diseño de una mezcladora para balanceos con capacidad de 100 kg/h contempla algunos componentes que comprende la mezcladora, las cintas o paletas mezcladoras, el motor, un sistema transmisión y el sistema control, entre otros [13].

En la **Tabla 7** se observa los componentes de una mezcladora.

**Tabla 7.** Componentes de la mezcladora [13].

Partes	Especificaciones
Cuerpo de la mezcladora	Generalmente es fabricado de acero inoxidable, para resistirá la corrosión y facilitar su limpieza.
Paletas o cintas mezcladoras	Diseñadas para mover las materias primas de manera efectiva
Motor y el sistema de transmisión	Proporciona la energía necesaria para que la máquina mezcladora opere de manera efectiva.
Sistema de control	Ajusta la velocidad y el tiempo de mezcla de las diferentes materias primas.

### 2.3. Etapa de selección

En el transcurso de esta etapa se considera valorar seis parámetros a través de la escala de Likert, en la **Tabla 8** se detallan los valores que se presentan en cada rango de evaluación.

**Tabla 8.** Rango de evaluación.

<b>Ponderación</b>	<b>Concepto</b>
5	Excelente
4	Muy Bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo

La **Tabla 9** describe los criterios de evaluación principales para seleccionar la opción más efectiva.

**Tabla 9.** Criterios de evaluación.

<b>Criterios de Evaluación</b>	<b>Descripción</b>
Costo de fabricación	La mezcladora posee un eje motriz, motor, carcaza, rodamientos y demás elementos adicionales para su fabricación, por lo cual los costos de fabricación se basarán en los elementos anteriormente mencionados
Facilidad de construcción	Se refiere a la disponibilidad de materiales en el mercado y al número de pasos para ensamblar la máquina mezcladora.
Funcionalidad	La máquina debe funcionar de acuerdo a las especificaciones, logrando así la facilidad, comodidad y confiabilidad de montaje y desmontaje para el operario (tener conocimiento en sistemas mecánicos).

Capacidad de producción	La máquina mezcladora debe tener la capacidad de producir 100 kg/h.
Seguridad	Hace referencia a los riesgos generados durante la operación del equipo.
Mantenimiento	Se analiza la facilidad de trabajos de mantenimiento considerando las piezas de la mezcladora.
Ruido	Hace referencia al número decibeles emitidos por la máquina durante su operación.
Versatilidad	La facilidad para cambiar sus especificaciones de funcionamiento es importante para su uso en productos diferentes.

Considerando los criterios de evaluación definidos, se valora las alternativas propuestas, conforme a los factores que afectan en la elección.

En la **Tabla 10** se especifica la valoración las alternativas anteriormente puntualizadas, considerando factores determinantes críticos que surgen durante procesos de fabricación de la máquina mezcladora.

**Tabla 10.** Valoración de las alternativas del diseño.

<b>Criterios de evaluación</b>	<b>Alternativas</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Costo de fabricación	3	4	3
Facilidad de construcción	3	4	4
Funcionalidad	4	3	3
Capacidad de producción	5	4	3
Seguridad	3	4	4
Mantenimiento	4	5	4
Ruido	3	3	3
Versatilidad	4	5	4
Valor Total	29/40	32/40	28/40
Valor Porcentual	72,5 %	80%	70%

Al finalizar el estudio de ponderaciones de los criterios a evaluar y los datos de la Tabla 10 determina alternativa 2 más viable; en consecuencia, el estudio realizado y al obtener la puntuación máxima se determina que la máquina mezcladora de cinta helicoidal horizontal es la más apropiada de fabricar.

## 2.4. Ecuaciones del diseño

### 2.4.1. Diseño del diámetro del agitador

Los agitadores tienen que ser capaces de resistir la presión máxima ejercida de la masa sobre ellos. Durante el proceso de mezclado surge presión crítica, esta puede determinarse mediante la expresión [33].

$$P_H = \rho \cdot g \cdot h \quad (1)$$

Donde:

$P_H$ ; presión hidrostática [Pa]

$\rho$ ; densidad

$g$ ; gravedad

$h$ ; altura

El escenario crítico ocurre cuando la presión de la masa es mayor al momento que la masa se encuentra totalmente sumergida.

Dado que el agitador está sometido a esfuerzos de flexión, se tiene que considerar el momento máximo que puede resistir durante la operación del eje mezclador.

#### 2.4.1.1. Densidad del fluido.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2)$$

#### 2.4.1.2. Parada.

La parada es denominada proceso completo de mezclado de la masa del balanceado

$$1 \text{ parada} = \frac{\text{capacidad}}{\text{produccion horaria}} \quad (3)$$

La superficie en la que se aplica presión se evalúa mediante la ecuación [33]:

$$A_1 = \frac{\bar{V}_1}{h} \quad (4)$$

donde:

- $\bar{V}_1$  : volumen que ocupa la masa.
- $h$  : altura del agitador.

#### 2.4.1.3. Fórmulas para encontrar el volumen del recipiente.

El volumen semicircunferencia se determina mediante:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{8} \quad (5)$$

El volumen de un rectángulo:

$$V = h \cdot L \cdot D \quad (6)$$

#### 2.4.1.4. Fórmulas para calcular el diámetro de la hélice interna y externa.

En el catálogo de hélice estándar el claro de la hélice y el recipiente se calcula:

$$Claro = \frac{D}{100} \quad (7)$$

El diámetro  $D_2$  de la hélice externa

$$D_2 = D - 2 (claro) \quad (8)$$

Diámetro interior:

$$D_{int.} = \frac{D_{ext.}}{\sqrt{2}} \quad (9)$$

La longitud se puede calcular como el paso de las hélices es igual al diámetro.

Entonces:

$$L = n \cdot paso \quad (10)$$

$$L = n_i \cdot D_i \quad (11)$$

donde:

- $N$ : número de la espira
- $N_i$ : número de la enésima espira
- $D_i$ : diámetro de la enésima espira

$$n_i = \frac{L}{D_i} \quad (12)$$

Longitud de la cinta:

$$L_{cinta} = \sqrt{(2 \cdot \pi \cdot r)^2 + p^2} \cdot n \quad (13)$$

donde:

- $R$ : el radio medio de la cinta helicoidal [m].
- $P$ : Paso axial.
- $N$ : número de vueltas de la hélice.

El radio medio será:

$$r = \frac{D_{ext} + D_{int}}{2} \quad (14)$$

Se calcula la dimensión del ancho de la cinta por medio de la ecuación.

$$Ancho = \frac{D_{exterior} - D_{interior}}{2} \quad (15)$$

El área de una semicircunferencia se calcula como:

$$A = \frac{\pi \cdot r^2}{2} \quad (16)$$

donde:

- $r$ : es el radio de la circunferencia [m].

#### 2.4.2. Criterios y cálculos para el diseño del eje del agitador

Se tiene que considerar el momento máximo que el agitador va a soportar durante los giros que realiza el eje mezclador:

Para lo cual se examinará al agitador como viga voladiza y el momento máximo determinada mediante la ecuación:

$$M_{max} = F \cdot a \quad (17)$$

donde:

- $F$ : fuerza que ejerce la masa [N].
- $a$ : distancia del eje agitador al eje del mezclador [m].

La fuerza generada por la masa es:

$$F = P_H \cdot A_{hélice} \quad (18)$$

La potencia calcula como [33]:

$$P = T \cdot n \quad (19)$$

Para establecer diámetro del eje del agitador utilizará la fórmula indicada [33]:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot T}{\pi \cdot \tau}} \quad (20)$$

donde:

- $\tau$ : esfuerzo cortante permisible [MPa].
- : torque [Nm].

Considerando ejes sujetos a torsión y flexión el diámetro establece mediante la ecuación: [33]

$$[\sigma] = \sqrt{\left(\frac{32M}{\pi \cdot d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16T}{\pi \cdot d^3}\right)^2} \quad (21)$$

### 2.4.3. *Diseño de fatiga*

Los elementos mecánicos que muestra máquina se encuentran sometidos a cargas variables que cambian a lo largo del tiempo, lo que provoca distintos modos de comportamiento estructural durante su operación. Debido a estas condiciones de servicio, resulta fundamental realizar el análisis y diseño de los ejes considerando criterios de fatiga, ya que dichos elementos están expuestos a esfuerzos fluctuantes que pueden originar fallas prematuras.

Para el desarrollo del diseño a fatiga se emplea método basado teoría de fallas, cuyo propósito es determinar dimensiones adecuadas y establecer un factor de seguridad que garantice un funcionamiento confiable de los ejes del sistema de mezclado.

Este enfoque permite evaluar la resistencia del material frente a cargas cíclicas y asegurar una vida útil acorde a las condiciones de operación previstas [33].

### 2.4.4. *Método esfuerzo - vida*

Previo al diseño se requiere un método sencillo que ayude a calcular los límites de la resistencia. Este procedimiento permite valorar los límites de resistencia, mediante la ecuación de [33]:

$$S_e = S'_e \cdot K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \quad [MPa] \quad (22)$$

donde:

- $k_a$ : factor superficie.
- $k_b$ : factor tamaño.
- $k_c$ : factor carga (tipo de carga).
- $k_d$ : factor temperatura.
- $k_e$ : factor confiabilidad.
- $k_f$ : factor efectos diversos.
- $S'_e$ : límite resistencia a la fatiga en vigas rotatorias.
- $S_e$ : límite resistencia fatiga en la parte crítica de equipo.

#### 2.4.5. Factor superficial $k_a$

El factor va a ser condicionado por la naturaleza acabado superficial, la resistencia a la tensión se calcula [33]:

$$K_a = aS_{ut}^b \quad (23)$$

Dado que los coeficientes a y b, se incluyen en el anexo y  $S_{ut}$  representa la última resistencia de tensión del componente.

#### 2.4.6. Factor tamaño $k_b$

El factor de tamaño para flexión y torsión formula como:

$$K_b = \begin{cases} \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} & (0.11 \leq d \leq 2). \text{pulg} \\ 0.92d^{-0.157} & (2 \leq d \leq 10). \text{pulg} \\ \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} & (2.79 \leq d \leq 51). \text{mm} \\ 1.51d^{-0.157} & (51 \leq d \leq 254). \text{mm} \end{cases} \quad (24)$$

$$k_b = 1 \text{ para carga axial} \quad (25)$$

#### 2.4.7. Factor carga $k_c$

El factor  $k_c$  indica la clase de carga que actúa al eje, a flexión, axial torsión, de acuerdo a la fórmula:

$$K_c = \begin{cases} 1 & \text{flexion} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases} \quad (26)$$

En el caso de torsión pura, se establece que  $k_{c.torsión} = 0,577$  y torsión si esta combinada con la flexión,  $k_c = 1$ .

#### 2.4.8. Factor temperatura $k_d$

Se relaciona con temperatura funcionamiento para  $100^\circ\text{C} = 1$

#### 2.4.9. Factor confiabilidad $k_e$

Dicho factor de naturaleza estadística, el cual va a variar de acuerdo a la confiabilidad deseada. Al considerar una confiabilidad de 50% el valor del factor  $k_e = 1$ .

#### 2.4.10. Factor concentración de esfuerzos por fatiga $k_f$

Este factor considera presencia de anomalías o interrupciones como las ranuras, orificios, muescas, inducen el incremento considerable esfuerzos teóricos en la zona inmediata discontinuidad. Se valor está dada por la siguiente fórmula [33]:

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad (27)$$

donde:

- $q$  : factor sensibilidad.
- $k_t$  : factor concentración de esfuerzos.

#### 2.4.11. Límite resistencia a la fatiga $S'_e$

El límite resistencia fatiga será determinado:

$$S'_e = \begin{cases} 0.5 Sut & Sut \leq 200\text{kpsi. (1400Mpa)} \\ 100 \text{ kpsi} & Sut > 200\text{kpsi} \\ 700 \text{ Mpa} & Sut > 1400 \text{ Mpa} \end{cases} \quad (28)$$

#### 2.4.12. Diagrama Goodman

Herramienta gráfica empleada en análisis de fatiga para evaluar el comportamiento, componente sometido esfuerzos fluctuantes. Su aplicación requiere la identificación del estado de esfuerzo que actúa sobre el elemento, el cual se caracteriza mediante dos componentes fundamentales: esfuerzo medio, esfuerzo alternante. A partir de estos parámetros es posible determinar el factor seguridad a falla por fatiga.

El eje horizontal del diagrama representa esfuerzo medio equivalente  $\sigma_{eM}$ , junto con valores característicos como el límite de fluencia, resistencia última a la tracción. Por su parte, en el eje vertical ubica el esfuerzo alternante correspondientes, así como límite resistencia a la fatiga del material, el límite de fluencia correspondiente.

La combinación de estos esfuerzos permite establecer una región de operación segura, definida por la relación entre los esfuerzos medio y alternante. De esta manera, el diagrama de Goodman proporciona un criterio conservador para el diseño a fatiga, facilitando la evaluación de la seguridad del componente bajo condiciones de carga cíclica. La formulación matemática del criterio de Goodman se presenta a continuación.

$$\frac{\sigma_a}{s_e} + \frac{\sigma_M}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad \text{si } n > 1 \text{ vida infinita} \quad (29)$$

Si el factor de seguridad resulta mayor  $F_s$  *estimado* entonces el diámetro seleccionado es el correcto.

Se calcula los esfuerzos equivalentes mediante: [33]

$$\sigma_{eM} = \frac{\sigma_M}{2} + \sqrt{\tau_M^2 + \left(\frac{\sigma_M}{2}\right)^2} \quad (30)$$

$$\sigma_{ea} = \sqrt{\sigma_a^2 + 3 \cdot \tau_a^2} \quad (31)$$

donde:

- $\sigma_M$ : Esfuerzo normal promedio, generado por cargas axiales de tracción o compresión [MPa].
- $\tau_M$ : Esfuerzo cortante promedio, producido por la acción de un par torsional [MPa].
- $\sigma_a$ : Esfuerzo normal alternante, inducido por la presencia de un momento flector [MPa].

- $\tau_a$  Esfuerzo cortante alternante, originado por la aplicación de fuerzas transversales [MPa].

#### 2.4.13. Método esfuerzo residual

De acuerdo con este método basado en teoría fallas, todos estos esfuerzos tanto medios y alternos se multiplican por factor concentración esfuerzos a fatiga  $k_f$ .

De forma que estos esfuerzos generan par de torsión, flexión, carga axial se multiplican por el factor correspondiente  $k_f$ ., mediante la siguiente fórmula [33] :

$$\tau_M = \frac{16T}{\pi \cdot d^3} \cdot (k_f)_{torsión} \quad (32)$$

$$\sigma_a = \frac{32M}{\pi \cdot d^3} \cdot (k_f)_{flexión} \quad (33)$$

$$\sigma_M = \frac{P}{A} \cdot (k_f)_{axial} \quad (34)$$

donde:

- $n$ : es el factor de seguridad si  $n > 1$  vida infinita.

#### 2.4.14. Superficie sumergida en pared curva

Las ecuaciones de la fuerza horizontal y vertical se calculan respectivamente:

$$F_H = \gamma \cdot h_c \cdot A_{proyectada} \quad ; \quad h_c = \frac{r}{2} \text{ y } A = r \cdot L \quad (35)$$

$$F_v = \gamma \cdot V \quad (36)$$

donde:

- $F_H$  : fuerza horizontal [N].
- $r$ : radio semicircunferencia [m].

- $h_c$ : distancia superficie al centroide recipiente [m].
- $L$ : longitud recipiente [L].
- $F_v$  fuerza vertical [N].
- $V$  volumen del fluido recipiente [m<sup>3</sup>].

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (37)$$

donde:

- $\gamma$ : peso especifico  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^2} \right]$
- $\rho$ : densidad  $\left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$
- $g$ : gravedad  $\left[ \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$

#### 2.4.15. Cálculo del torque

$$T = F \cdot d \quad (38)$$

donde:

- $F$ : fuerza aplicada [N]
- $d$ : es la magnitud del brazo de palanca (distancia del eje de rotación hasta donde se aplica la fuerza) [m].

Cálculo del Factor seguridad

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma_{max}} \quad (39)$$

Cálculo del factor dinámico

Se emplea la "carga dinámica equivalente" para calcular la vida útil bajo condiciones de carga combinada.

$$f_{CD} = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{estatico}} \quad (40)$$

## 2.5. Selección de rodamiento

De acuerdo con la dirección que se aplica sobre el eje se selecciona los rodamientos, mediante el uso de la ecuación:

$$P = xFr + yFa \quad (41)$$

donde:

- $P$ : carga dinámica equivalente [N].
- $Fr$ : fuerza radial aplicada rodamiento [N].
- $Fa$ : fuerza axial aplicada rodamiento [N].
- $x$ : factor carga radial.
- $y$ : factor carga axial.

### CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Todos los elementos que van a formar parte del diseño de la mezcladora horizontal helicoidal son esenciales y relevantes a fin de asegurar su adecuado funcionamiento sobre este equipo por tanto determinará el grosor del recipiente, el diámetro necesario del eje, los elementos agitadores según la capacidad del tanque y el flujo establecido, seleccionando así el rodamiento y el motor necesarios de la máquina para su operación logrando un sistema seguro, eficiente y de larga durabilidad los cuales deben cumplir con los estándares básicos establecidos para alimento avícola, además, se considera la facilidad de montaje, el mantenimiento de limpieza de la máquina.

En el capítulo anterior se describió el material que se va a utilizar en los ejes, hélice y recipiente que será en acero inoxidable ANSI 304 debido al contacto directo con los alimentos, destacando siguientes resultados:

- Resistencia tracción:  
 $S_{ut} = 54 \text{ kg/mm}^2$  (equivalente a 530 MPa)
- Límite fluencia:  
 $S_y = 21 \text{ kg/mm}^2$  (equivalente a 206 MPa)
- Densidad acero AISI 304:  
 $\rho_{\text{AISI}_{304}} = 7900 \text{ kg/m}^3$

#### 3.1. Parámetros del diseño

El equipo a diseñar debe tener una capacidad de  $100 \text{ kg/h}$ , igualmente la capacidad de carga en cada ciclo a procesar. Por tal motivo para crear una máquina mezcladora horizontal destinada a la alimentación avícola, es fundamental tener en cuenta las densidades aparentes de los ingredientes.

Los valores son aproximados y pueden oscilar según la fuente y el proceso. Esta variabilidad tiene en cuenta la mezcla de ingredientes secos, harinas y granulados, así como materiales con densidades. Al diseñar la mezcladora, es aconsejable utilizar un valor promedio de densidad aparente de  $707 \text{ kg/m}^3$  para calcular el volumen y la potencia necesarios.

Con esta densidad, la mezcladora podrá manejar volúmenes adecuados por hora para alcanzar los 100 kg/h, garantizando una mezcla homogénea y eficiente sin riesgo de sobrecarga ni segregación.

**Dando como resultado.**

$$\rho \text{ del balanceado} = 707 \text{ kg/m}^3$$

**Cálculo del volumen**

Se determina el volumen del balanceado, vista en la ecuación 2:

$$\begin{aligned} m &= 100 \text{ kg} \\ V &= \frac{\text{capacidad}}{\rho \text{ del balanceo}} \\ V &= \frac{100 \text{ kg}}{707 \text{ kg/m}^3} \\ V &= 0.141 \text{m}^3 \end{aligned}$$

El valor máximo del balanceo estar definido por la aproximación a un valor entero, el cual resultara ser:

$$V = 0.141[\text{m}^3] = 141 \text{ L}$$

La capacidad de producción del equipo debe alcanzar 100 kg/h con el dato mencionado se procede a realizar una comparación con otras mezcladoras industriales ya comercializadas, es posible mediante la interpolación determinar la capacidad máxima de máquina.

Regla practica para mezcladoras horizontales:

*Llenado de trabajo = 50% del volumen bruto*

$$V = \frac{\text{capacidad}}{\rho \text{ balanceado}} = \frac{50 \text{ kg}}{707 \text{ kg/m}^3} = 0.07 \text{m}^3$$

Esta valoración permite establecer la capacidad máxima que poseerá la máquina:

$$\text{capacidad} = V \cdot \rho \text{ balanceado}$$

$$\text{capacidad} = 0.07\text{m}^3 \cdot 707 \text{ kg/m}^3 = 50.197 \text{ kg}$$

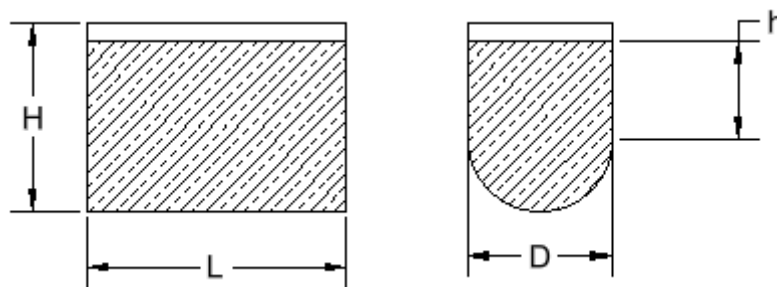
La operación de mezcla de la masa del balanceado, se determina según la ecuación 3, el cual será:

$$1 \text{ parada} = \frac{50.197}{100 \text{ kg/h}} = 0.501 \text{ h} = 30 \text{ min}$$

Se procede a calcular las dimensiones externas del mismo en base al volumen requerido del recipiente teniendo en cuenta que es cilíndrico  $V = 0.141[\text{m}^3] = 141 \text{ L}$ , así para dicha figura geométrica tenemos:

### 3.2. Dimensionamiento del recipiente

El recipiente posee una geometría cilíndrica con una sección rectangular en la parte superior y una semicircunferencia sobre la parte inferior, el espacio que ocupa la parte sombreada representa el balanceado avícola.



**Figura 11.** Diagrama en AutoCAD esquema del recipiente de mezclado.

donde:

- $L$ : longitud
- $H$ : altura total

- $D$ : diámetro del semicírculo
- $H$ : altura de la sección rectangular

El volumen del recipiente se puede calcular mediante la ecuación 5 y 6:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{8} + h \cdot L \cdot D$$

$$\text{Si } h = \frac{D}{4}$$

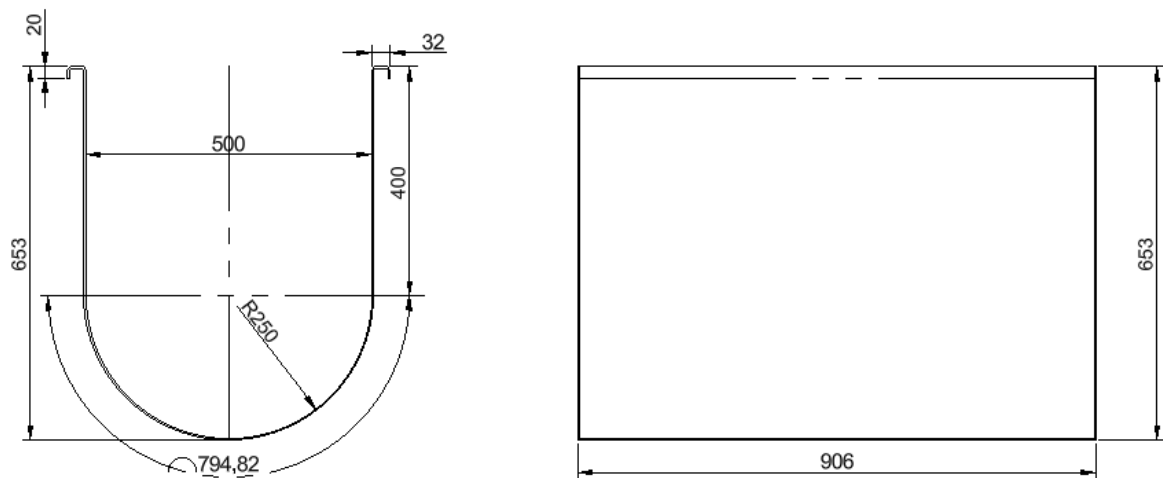
$$V = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{8} + \frac{D^2}{4} \cdot L$$

$$D = \sqrt{\frac{8V}{(\pi + 2) \cdot L}}$$

Si a una longitud de 0.90 m.

$$D = 0,495 \text{ m}$$

$$D = 50 \text{ cm}$$



**Figura 12.** Diagrama en AutoCAD del recipiente de la mezcladora.

### 3.2.1. Cálculo de la altura

El diseño del recipiente contempla que la parte superior debe ser rectangular y en la parte inferior será de geometría semicilíndrico para tener un mantenimiento adecuado.

Considerando las especificaciones de los fabricantes el volumen total de la máquina deberá estar contemplado entre 2 veces el volumen del fabricante.

$$V_{\text{producto}} = 0.141 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{recipiente}} = 2(\text{producto})$$

$$V_{\text{recipiente}} = 2 (0.141\text{m}^3)$$

$$V_{\text{recipiente}} = 0.282 \text{ m}^3$$

Se puede determinar la altura con el volumen del recipiente

$$V_{\text{recipiente}} = h \cdot L \cdot D$$

$$h = \frac{V_{\text{recipiente}}}{D \cdot L}$$

$$h = 0.62 \text{ m}$$

**Tabla 11.** Modelo y características técnicas [8].

<b>MODELO</b>	<b>POTENCIA HP</b>	<b>LARGO</b>	<b>ANCHO</b>	<b>ALTO</b>	<b>CAPACIDAD Litros/kilogramos</b>
MRB50	3	60	30	45	75/50
MRB100	5	60	45	60	150/100
MRB200	7,5	90	50	65	250/200
MRB 300	10	90	60	80	400/300

Para seleccionar modelo de mezcladora nos basamos en nuestra longitud, diámetro y altura entonces escogemos el modelo MRB 200 que establece una similitud en la máquina mezcladora.

### **3.2.2. Diámetro de la hélice externa**

Para establecer el diámetro de la hélice externa se toma en cuenta que esta pieza va a estar en contacto directo con la totalidad del producto para poder realizar una buena operación de la mezcla, por tal motivo esta debe cubrir casi la totalidad del volumen de la parte inferior del recipiente.

Los fabricantes establecen parámetros recomendados del espacio entre la pared y la hélice externa de un centésimo del diámetro interno del recipiente vista en la ecuación 7 y 8.

$$claro = \frac{D}{100}$$

$$claro = \frac{500 \text{ mm}}{100}$$

$$claro = 5 \text{ mm}$$

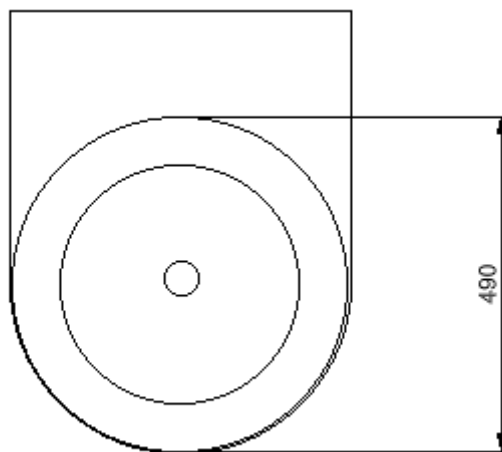
$$D = 500 \text{ mm}$$

$$claro = 5 \text{ mm}$$

$$D_{helice \text{ ext.}} = D - 2 \text{ claro}$$

$$D_2 = 500 \text{ mm} - 2(5 \text{ mm})$$

$$D_2 = 490 \text{ mm}$$



**Figura 13.** Diagrama en AutoCAD de la ubicación de la cinta de mezclado hélice exterior.

Al seleccionar la hélice estándar se tiene que el paso es igual al diámetro. Entonces se resuelve la ecuación 10.

$$L = n \cdot \text{paso}$$

$$L = n_i \cdot D_i$$

$$n_i = \frac{L}{D_i}$$

$$n_i = \frac{0.90 \text{ m}}{0.49 \text{ m}}$$

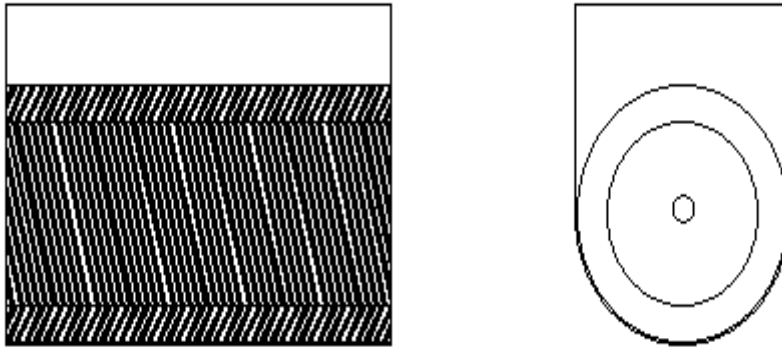
$$n_i = 1.84$$

### 3.2.3. Diámetro de la hélice interior

Para establecer el diámetro  $D_i$  de la espira interior se efectuó un balance de masa (preservación de la masa) vista en la ecuación 9.

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D_{interior}^2}{4} \cdot L$$

$$V_2 = \frac{\pi(D_{exterior}^2 - D_{interior}^2)}{4} \cdot L$$



**Figura 14.** Diagrama en AutoCAD del producto desplazado por las espiras.

Con la finalidad de que el producto fluya de forma sistemática se debe cumplir que el flujo del volumen  $V_1 = V_2$ .

Al ser las densidades y el lapso de tiempo iguales se tiene que:

$$V_1 = V_2$$

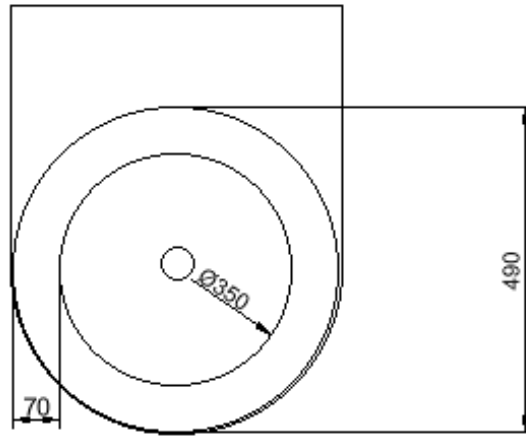
$$\frac{\pi \cdot D_{interior}^2}{4} \cdot L = \frac{\pi \cdot (D_{exterior}^2 - D_{interior}^2)}{4} \cdot L$$

$$D_{interior}^2 = D_{exterior}^2 - D_{interior}^2$$

$$2D_{interior}^2 = D_{exterior}^2$$

$$D_{interior} = \frac{D_{exterior}}{\sqrt{2}}$$

$$D_{interior} = \frac{0.49 \text{ m}}{\sqrt{2}} = 0.35$$



**Figura 15.** Diagrama en AutoCAD de la ubicación de la cinta de mezclado.

### 3.2.4. Diseño del agitador

Al momento de mezclar se puede calcular la presión del balanceado mediante la ecuación 1.

$$P_{H1} = \rho \cdot g \cdot h_1$$

$$P_{H1} = 707 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 0.58 \text{ m}$$

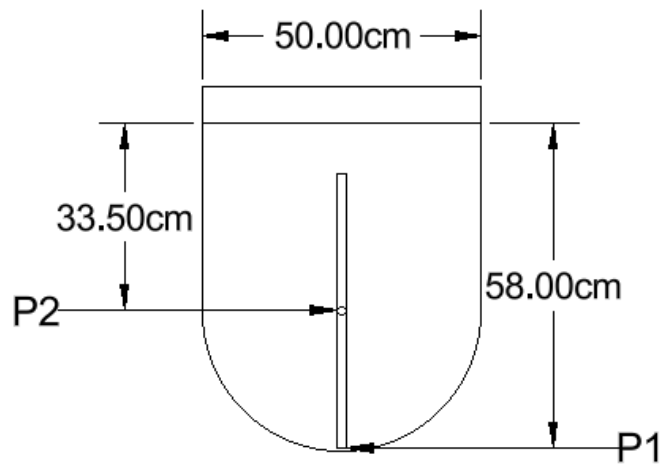
$$P_{H1} = 4022.688 \text{ Pa}$$

$$P_{H2} = \rho \cdot g \cdot h_2$$

$$P_{H2} = 707 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 0.335 \text{ m}$$

$$P_{H2} = 2323.45 \text{ Pa}$$

Se trabajó con la presión más alta que va a ejercer nuestro eje agitador que es  $P_{H1} = 4022.688 \text{ Pa}$



**Figura 16.** Diagrama en AutoCAD de la presión que ejerce el fluido al eje del agitador.

### 3.2.5. Área de trabajo

Para hallar el área de la hélice se necesita conocer el ancho de la misma, por lo tanto, se tiene que determinar la diferencia entre la hélice exterior y la hélice interior y se divide para dos.

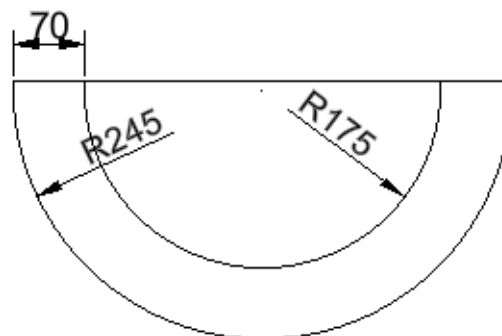
$$D_{exterior} = 0.49$$

$$D_{interior} = 0.35$$

Entonces:

$$Ancho = \frac{0.49 \text{ m} - 0.35 \text{ m}}{2} = 0.07 \text{ m}$$

Donde el área será:



**Figura 17.** Diagrama en AutoCAD área cinta helicoidal.

El área de hélice se determina mediante ecuación 16:

$$A_1 = \frac{\pi \cdot r^2}{2} = \frac{\pi(0.245)^2}{2} = 0.0942m^2$$
$$A_2 = \frac{\pi \cdot r_1^2}{2} = \frac{\pi(0.175)^2}{2} = 0.0481m^2$$
$$A_{helice} = 0.0461 m^2$$

Por lo tanto, la fuerza ejercida por la masa se determina mediante la ecuación 18:

$$F = P_1 \cdot A_{helice}$$
$$F = 4022.688 N/m^2 \cdot 0.0461 m^2$$
$$F = 185.446 N$$

El valor máximo del momento ejercido por el agitador se obtiene a partir de la ecuación 17:

$$M_{max} = 185.446 N \cdot 0.245 m$$
$$M_{max} = 45.434 Nm$$

El valor mínimo del diámetro del agitador se obtiene a partir de la ecuación 21:

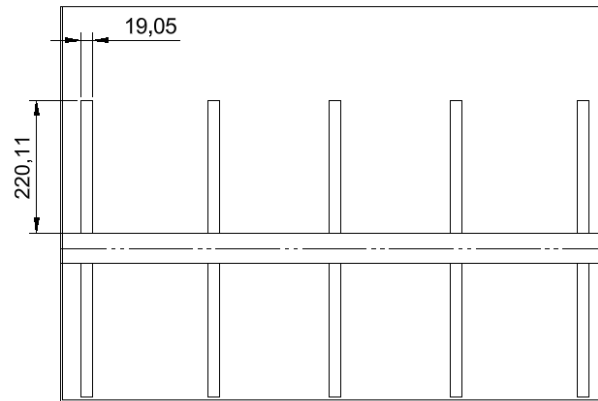
$$d_{ag} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 45.434 Nm}{\pi \cdot 82.4 \cdot 10^6 N/m^2}}$$
$$d_{ag} = 0.0177 m$$

Entonces se puede determinar que el diámetro del agitador es de 17.7 mm lo cual dentro de la medida comercial habitual ronda entre 3/4 de pulgada. Por ende, se puede asumir un diámetro:

$$d_{ag} = 19.05 mm.$$

Conforme se incrementa el diámetro del agitador se incrementa la fuerza con respecto al agitador.

### 3.2.6. Cálculo del peso del agitador



**Figura 18.** Diagrama en AutoCAD de los ejes agitadores.

$$r = \frac{19.05}{2} = 9.5 \text{ mm} = 0.0095 \text{ m}$$

$$V_{agitador} = \pi \cdot 0.0095^2 \text{ m} \cdot 0.220 \text{ m} = 6.24 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$V_{agitador \text{ total}} = 0.0624 \text{ m}^3 \cdot 10 = 6.24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Peso del agitador

$$P_{agitador} = 6.24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot 7900 \text{ kg/m}^3 = 4.93 \text{ kg}$$

### 3.2.7. Cálculo del peso de las espiras

Primero se tiene que calcular la longitud de la cinta helicoidal, lo cual se puede usar una aproximación geométrica del desarrollo de un tornillo helicoidal vista en la ecuación 13:

$$L_{cinta} = \sqrt{(2 \cdot \pi \cdot r)^2 + p^2} \cdot n$$

donde:

$r$ ; es el radio medio de la cinta helicoidal

$p$ ; Paso axial

$n$ ; número de vueltas de la hélice

El radio medio visto en la ecuación 14 será:

$$r = \frac{0.49 + 0.35}{2} = 0.21m$$

El paso se puede determinar por el diámetro de la hélice exterior.

$$p = D_{ext} = 0.49 m$$

El número de vueltas se puede determinar por la longitud sobre el paso.

$$n = \frac{0.90}{0.49} = 1.84 = 2 \text{ vueltas}$$

La longitud de una vuelta será:

$$L_{cinta} = \sqrt{(2 \cdot \pi \cdot 0.21)^2 + 0.49^2} \cdot 2$$

$$L_{cinta} = 2.82m$$

El volumen de las espiras:

$$V_{espiras} = 2.82 m \cdot 0.07 m \cdot 0.003m = 5.92 \cdot 10^{-4} m^3$$

El peso espiras

$$P_{espiras} = 5.92 \cdot 10^{-4} m^3 \cdot 7900 kg/m^3$$

$$P_{espiras} = 4.68 kg$$

### 3.2.8. Longitud del eje

De acuerdo las dimensiones de la máquina obtenidas se establece un espacio en el tanque para evitar fricciones por lo que la especificación de los fabricantes es disponer un espacio de 20-40 mm en cada extremo Entonces:

$$L_{\acute{u}til} = 0.900m - 2(0.030m) = 0.840m$$

Con el montaje de los soportes, rodamientos en los extremos la longitud del árbol será:

$$L_{total}=L_{util} + 0.20 m + 0.15 m$$
$$L_{total}=1.23 m$$

Entonces las dimensiones quedaran de la siguiente manera:

$$D = 0.500 m$$
$$D_{h.ext} = 0.490m$$
$$D_{h.int} = 0.350m$$
$$L = 0.900 m$$
$$L_{útil} = 0.840 m$$
$$L_{total} = 1.23 m$$

### 3.3. Aproximaciones

#### 3.3.1. Primera aproximación

##### Cálculo del torque

Se establece el torque con la ecuación 38.

$$T = 185.45N \cdot 0.220m = 40.799 Nm$$
$$T_{total} = 40.799 Nm \cdot 10 = 408Nm$$

Mediante la ecuación 20 se establece el diámetro del eje mezclador, teniendo en cuenta el factor de seguridad de 4.5 según la ecuación 38.

$$[\tau] = \frac{S_y}{4.5} = \frac{206}{4.5} MPa = 45.77MPa$$

Por lo tanto, el diámetro del eje mezclador resulta:

$$d_{eje\ mezclador} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 408 Nm}{\pi \cdot 45.77 \cdot 10^6 N/m^2}}$$

$$d_{\text{eje mezclador}} = 0.0357$$

Entonces se puede determinar que el diámetro del agitador es de 36 mm, lo cual dentro de la medida comercial habitual ronda entre 1 1/2 de pulgada. Por ende, se puede asumir un diámetro.

$$d_{ag} = 38 \text{ mm}$$

Y con peso por cada metro de:

$$P = 8.938 \text{ kg/m} \cdot 1.23 \text{ m}$$

Entonces:

$$P_{\text{eje}} = 10.99 \text{ kg}$$

Peso total

$$P_{\text{total}} = P_{ag} + P_{\text{espiras}} + P_{\text{eje}}$$

$$P_{\text{total}} = [4.93 + 4.68 + 10.99] \text{ kg} = 20.6 \text{ kg}$$

Entonces

$$W = P \cdot g$$

$$W = 20.6 \text{ kg} \cdot \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} = 202.086 \text{ N}$$

Por lo tanto, la carga distribuida será igual

$$W_{\text{distribuida}} = \frac{202.086 \text{ N}}{0.90 \text{ m}}$$

$$W_{\text{distribuida}} = 224.54 \text{ N/m}$$

Momento a flexión

$$M_{\text{max}} = \frac{w \cdot L}{8} = \frac{224.54 \text{ N/m} \cdot (0.9 \text{ m})^2}{8}$$

$$M_{\text{max}} = 22.73 \text{ Nm}$$

### 3.3.2. Segunda aproximación

Torque

$$T = 408 \text{ Nm}$$

$$n = 60 \text{ rpm}$$

Considerando el factor seguridad de ecuación 38 asumimos 4.5

$$[\sigma] = \frac{\sigma}{4.5} = 45.77 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, mediante la ecuación 21 se puede calcular el diámetro del eje:

$$\begin{aligned}\sigma &= \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma] \\ [\sigma] &= \sqrt{\left(\frac{32 M}{\pi \cdot d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16T}{\pi \cdot d^3}\right)^2} \\ [\sigma] &= \sqrt{\left(\frac{32 \cdot 22.7}{\pi \cdot d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{16 \cdot 408}{\pi \cdot d^3}\right)^2} \\ [\sigma] &= \frac{\sqrt{13006803.89}}{d^3} \\ d^3 &= \frac{3606.5}{45.77 \cdot 10^6} \\ d_{eje} &= 0.042 \text{ m}\end{aligned}$$

Entonces se puede determinar que el diámetro del agitador es de 42 mm lo cual dentro de la medida comercial habitual ronda en 45mm. Por ende, se puede asumir un diámetro.

$$d_{ag} = 45 \text{ mm}$$

### 3.3.3. Cálculo de la flexión del eje

Se establece la cuantificación de la flexión debida al peso propio del eje y la debida flexión al peso de las espiras.

Ahora por el método de áreas se calcula las reacciones en A y las reacciones B para eso necesitamos la carga distribuida del eje que utilizamos del acero Inox 304.

$$W_{distribuida} = 224.54 \text{ N/m}$$

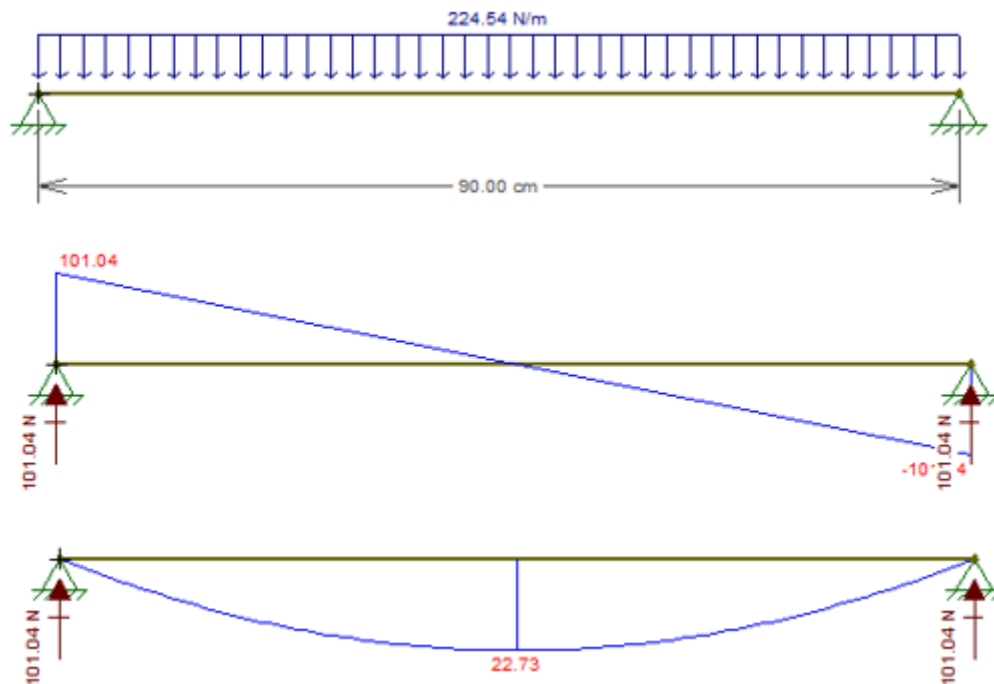
$$P = 224.54 \text{ N/m} \cdot 0.90 \text{ m} = 202.096 \text{ N}$$

$$+\uparrow \Sigma Fy = 0$$

$$RA = RB = \frac{P}{2} = \frac{202.096 \text{ N}}{2} = 101.048 \text{ N}$$

$$A = \frac{101.048 \text{ N} \cdot 0.45 \text{ m}}{2} = 22.73 \text{ Nm}$$

$$M_{max} = 22.73 \text{ Nm}$$



**Figura 19.** Diagrama de corte y momento realizado en Ftool simulation.

Entonces;

Tras obtener el momento máximo, se evalúa el esfuerzo máximo correspondiente producido en el eje del soporte usando la siguiente ecuación:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \cdot C}{I}$$

Los valores de C e I se establecen al asumir que el diámetro de eje de soporte es equivalente a 45 mm dicho valor está disponible en pedido comercial y se puede calcular el I y C según el anexo 1.2.

$$C = 225\text{mm} = 0.0225\text{m}$$

$$I = 201288.9\text{mm}^4 = 2.02 \cdot 10^{-7}\text{m}^4$$

$$\sigma_{max} = 2540750.4\text{ Pa} = 2.54\text{ MPa}$$

### 3.3.4. Espesor del recipiente

El recipiente es una viga en U, empotrada en los extremos, apoyos rígidos y sometida a una carga distribuida vertical o lateral debida al peso de la mezcla y a la presión hidrostática interna.

Datos:

$$h = 0.653\text{ m}$$

$$\rho = 707\text{ kg/m}^3$$

$$g = 9.81\text{ m/s}^2$$

Se determina el peso específico según la ecuación 35:

$$\gamma = \rho \cdot g$$

$$\gamma = 707\text{ kg/m}^3 \cdot 9.81\text{ m/s}^2$$

$$\gamma = 6935.67\text{ kg/m}^2\text{s}^2$$

La fuerza horizontal se determina a partir de la ecuación 36:

$$F_H = \gamma \cdot h_c \cdot A \text{ proyectada} \quad ; \quad h_c = \frac{r}{2} \text{ y } A = r \cdot L$$

$$F_H = 6935.67\text{ kg/m}^2\text{s}^2 \cdot 0.460\text{ m} \cdot (250 \cdot 900)\text{m}^2$$

$$F_H = 717.84\text{ N}$$

Se calcula la fuerza vertical.

$$F_v = \gamma \cdot V$$

$$F_v = 6935.67\text{ kg/m}^2\text{s}^2 \cdot 0.141\text{m}^3 = 977.92\text{ N}$$

Fuerza resultante

$$F_R = \sqrt{F_v^2 + F_H^2}$$
$$F_R = 1213.11 \text{ N}$$

Analizando las respuestas se puede deducir que la única fuerza que puede provocar flexión es una fuerza vertical, la fuerza horizontal hace que se expanda horizontalmente.

Por lo tanto, se va a trabajar con una viga en U encajada en los extremos en la cual ejerce una carga distribuida en el largo del recipiente.

$$M_{max} = \frac{F_v \cdot L}{24} = \frac{977.92 \text{ N} \cdot 906 \text{ mm}}{24} = 36916.48 \text{ Nmm}$$

Se asume un espesor de 3 mm, por lo tanto, se requiere determinar el momento de la inercia y el trayecto del eje neutro vista en el anexo A1.2.

$$I = \frac{\pi}{8} \cdot (r_{ext}^4 - r_{int}^4) = 74967071.9 \text{ mm}^4$$
$$C = h_2 - \frac{r}{m}$$
$$C_1 = 455 \text{ mm}$$

Entonces

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} \cdot C}{I} = \frac{36916.48 \text{ Nmm} \cdot 455 \text{ mm}}{74967071.9 \text{ mm}^4} = 0.224 \text{ MPa}$$

### **Factor dinámico**

Para determinar el esfuerzo máx. flexión aplicada a un factor carga dinámica 1.5 para considerar las condiciones reales de operación.

$$\sigma_{max} = 0.082 \text{ MPa} \cdot 1.5 = 0.336 \text{ MPa}$$

### **Factor seguridad**

Se determina utilizando ecuación 38.

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma_{max}} = \frac{206 \text{ MPa}}{0.336 \text{ MPa}} = 612$$

Al establecer el factor seguridad se dice que el recipiente no fracasara bajo flexión.

### 3.3.5. Diseño fatiga

Tal como expuso en el Capítulo II, el objetivo del diseño a fatiga es determinar factor seguridad apropiados que permitan definir el diámetro eje mezclado, considerando este componente se encuentra sometido a cargas variables durante su funcionamiento. La correcta selección de estos parámetros resulta fundamental para garantizar la confiabilidad y la vida útil del sistema.

Para el desarrollo de este análisis se identifican y evalúan los distintos factores que intervienen en ecuación Marin, los cuales permiten ajustar el límite teórico de resistencia a fatiga material a las condiciones, reales de operación del eje [33].

### 3.3.6. Factor superficie $K_a$

Se establece los coeficientes a y b según el anexo

$$K_a = aS_{ut}^b = 4.51 \cdot 530^{-0.265}$$

$$K_a = 0.855$$

### 3.3.7. Factor tamaño $K_b$

Considerando como referencia diámetro calculado mediante, diseño estático  $d$  al sustituir en la ecuación se tiene:

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91 d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

$$k_b = \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} = \left(\frac{43}{7.62}\right)^{-0.107}$$

$$k_b = 0.831$$

### 3.3.8. Factor tamaño $K_C$

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases}$$

$$k_C = 0.59$$

### 3.3.9. Factor carga $K_d$

$$k_d = 1$$

### 3.3.10. Factor temperatura $K_e$

$$K_e = 0.897$$

En la **Tabla 12** se detalla la valorización de la transformación  $z_a$  y el factor de confiabilidad  $k_e$  correspondientes a diferentes niveles de confiabilidad porcentual.

**Tabla 12.** Factores confiabilidad  $K_e$  [34].

Confiabilidad, %	Variación de transformación $Z_a$	Factor de confiabilidad $K_e$
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

### 3.3.11. Factor de concentración de esfuerzos a la fatiga $K_f$

Para calcular valores de efectos varios, se consideran las irregularidades o discontinuidades presentes en el fragmento como oricios, ranuras, muescas aumenta forma significativa los esfuerzos teóricos. Se acuerdo con Shigley (2008, pág. 287) este factor se obtiene ecuación 27.

$$k_f = 1 + q(k_t - 1)$$

Mediante el anexo se establece un factor  $q$ :

$$q = 0.75$$

Mediante el anexo se establece los valores de:

$$(K_t)_{flexion} = 2.7$$

$$(K_t)_{torsion} = 1.75$$

Por lo tanto, el  $k_f$  resulta:

$$K_{f_{flexion}} = 2.31$$

$$K_{f_{torsion}} = 1.56$$

### 3.3.12. Límite resistencia fatiga en viga rotatoria $S_e$

El límite resistencia a la fatiga bajo el principio de viga rotatoria determina a partir de la resistencia última del material. Para el acero inoxidable AISI 304, la resistencia última considerada en el presente estudio es:

$$S_{ut} = 530 \text{ MPa}$$

En consecuencia, de acuerdo con la ecuación 28:

$$S_e = 0.5S_{ut} = 0.5 \cdot 530 \text{ MPa} = 265 \text{ MPa}$$

Empleando ecuación

$$S_e = 265 \text{ MPa} \cdot 0.855 \cdot 0.817 \cdot 0.59 \cdot 1 \cdot 0.897$$

$$S_e = 97.96 \text{ MPa}$$

El valor del factor seguridad se determina mediante la elaboración el diagrama Goodman.

De este modo obtiene un valor factor seguridad aceptable para que el diseño a fatiga no cause fractura.

Se calcula el esfuerzo medio de torsión  $\tau_M$

$$\tau_M = \frac{16 \cdot 408 \text{ Nm}}{\pi \cdot 0.045 \text{ m}^3}$$

$$\tau_M = 22.80 \text{ MPa}$$

Se calcula el esfuerzo medio flexión  $\sigma_a$

$$\sigma_a = \frac{32 \cdot 22.73 \text{ Nm}}{\pi \cdot 0.045 \text{ m}^3}$$

$$\sigma_a = 2.54 \text{ MPa}$$

Utilizando las ecuaciones se calcula:

$$\tau_m = 22.80 \text{ MPa} \cdot 1.56 = 35.57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_a = 2.54 \text{ MPa} \cdot 2.31 = 5.87 \text{ MPa}$$

Al establecer los esfuerzos equivalentes de la ecuación para los esfuerzos de tensión y corte se determina:

$$\tau_{em} = \tau_m = 35.57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ea} = \sigma_a = 5.87 \text{ MPa}$$

El diagrama de Goodman matemáticamente se representa:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_M}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{5.87}{97.96} + \frac{35.57}{530} = \frac{1}{n}$$

$$n = 7.87$$

El diámetro seleccionado de 45 mm en acero inoxidable es excelente con un factor de seguridad de  $n = 7.87 > 4.5$  *requerido*

### 3.4. Selección del motor-reductor

#### 3.4.1. Determinación de potencia

$$T = 408 Nm$$

$$n = 50 rpm$$

#### Potencia

$$Pot. = T \cdot n = 408 Nm \cdot 50 \frac{rev}{min} \cdot \frac{2\pi}{rev} \cdot \frac{1min}{60 s} \cdot \frac{w \cdot s}{N \cdot m}$$
$$Pot. = 2136.28 w = 2.136kw$$

El análisis para la elección del sistema de motor-reductor del eje de mezclado se basa en la determinación de la potencia requerida bajo condiciones reales de operación, considerando factores de servicio, eficiencia del sistema y capacidad de sobrecarga, de acuerdo con las recomendaciones de los catálogos de fabricantes industriales como NORD y WEG.

#### 3.4.2. Factor servicio $f_{B.min}$

El factor servicio es un coeficiente que indica la capacidad del motor-reductor para operar por encima de su carga nominal sin sufrir daños, considerando el tipo de carga, número de arranques por hora y el tiempo operación diario. Para mezcladoras industriales de operación continua, con carga moderada y arranques normales, los catálogos técnicos recomiendan valores de entre 1,15 y 1,60. Ver anexo 9.1 [36].

La potencia mecánica inicialmente calculada para el eje de mezclado es:

$$Pot. = 2.136 kw$$

Aplicando el factor de servicio:

$$P f_{B.min} = 2.136kw \cdot 1.6 = 3.41 kw$$

### 3.4.3. Rendimiento dinámico del motor-reductor

Se establece como relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada del motor-reductor. Para reductores helicoidales u ortogonales, los valores típicos de eficiencia se encuentran en el rango de 90 % a 95 %. En este análisis se adopta un valor conservador de:

Reductor helicoidal / ortogonal:  $\eta \approx 90 - 95 \%$

$$\eta = 0.90$$

Entonces:

$$P_{req.} = \frac{3.41 \text{ kw}}{0.90} = 3.79 \text{ kw}$$

Buena eficiencia y torque para cargas medias.

Recomendación de búsqueda en catálogo: Marcas: WEG.

### 3.4.4. Factor sobrecarga

El factor sobrecarga representa la capacidad motor-reductor para soportar picos momentáneos de torque, especialmente durante el arranque del equipo. Según los catálogos técnicos de los fabricantes WEG y NORD, para aplicaciones de mezcla se recomienda un factor adicional de seguridad de hasta 1.4 [36].

$$Pfs = 3.55 \text{ kw} \cdot 1.4 = 5.31 \text{ kw}$$

En consecuencia, el equipo seleccionado a accionar el eje mezclador corresponde a un motor-reductor ortogonal con un motor de 5.5 kw ver el anexo A9 [36].

La selección del factor servicio no sobredimensiona el sistema, sino que asegura una operación estable, eficiente y confiable del equipo bajo condiciones reales de trabajo.

## 3.5 Selección del rodamiento del eje mezclador

La selección de rodamientos se llevó a cabo conforme al método descrito en el manual de SKF, específicamente para parámetros del anexo 4. Para los dos ejes, se optó por rodamientos rígidos

de bolas, además, por requerimientos de montaje, se eligió rodamientos con pestaña cuadrada, tal cual se mira en la **Figura 20**.



**Figura 20.** Rodamiento de pestaña cuadrada designación F4B 45M-TF.

Especificaciones Técnicas F4B 45M-TF

45 mm

$C = 43.40 \text{ kN}$

$C_o = 23.2 \text{ kN}$

$P_u = 200 \text{ N}$

$L_{10} = 25000 \text{ horas}$

Temperatura

40°C lubricante ISO VG 100

El eje del mezclador tiene las siguientes cargas



**Figura 21.** Cargas del eje mezclador.

Se conoce los coeficientes de X e Y del anexo 5.3.

$$fa \frac{|fa|}{C_o}$$

$$x = 0.56$$

$$y = 2.3$$

$$fr = 101.04 \text{ N}$$

Entonces se calcula el equivalente  $P$

$$P = xFr + yFa = 0.56 \cdot 101.04 \text{ N} \cdot +2.3(0) = 56.58 \text{ [N]}$$

La vida útil del elemento, medida en millones de revoluciones, se obtiene a partir de la fórmula, con  $p = 3$  en el caso de rodamiento de bolas.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p = \left(\frac{43400}{56.58}\right)^3 = 4.65 \cdot 10^8 \text{ revoluciones}$$

El cual supera ampliamente el valor de referencia establecido para este tipo.

## CAPÍTULO IV: SIMULACIÓN Y RESULTADOS

En la presente sección tiene como objetivo analizar el comportamiento mecánico del sistema mediante simulaciones numéricas basadas en Método Elementos Finitos (MEF). Este método evalúa distribución esfuerzos, deformaciones, desplazamientos en los componentes críticos del equipo, bajo condiciones de carga similares a las reales de operación.

La simulación por elementos finitos resuelve el sistema:

$$K \cdot u = F \quad (42)$$

donde:

- $K$ : matriz de rigidez (depende del material y la malla).
- $U$ : vector de desplazamientos.
- $F$ : vector de fuerzas aplicadas.

En el presente estudio considera que:

- Las cargas que actúan sobre el sistema son determinísticas.
- El material estructural corresponde a un acero inoxidable AISI 304 con comportamiento lineal elástico.
- Las condiciones de contorno y de operación se mantienen constantes durante el análisis.

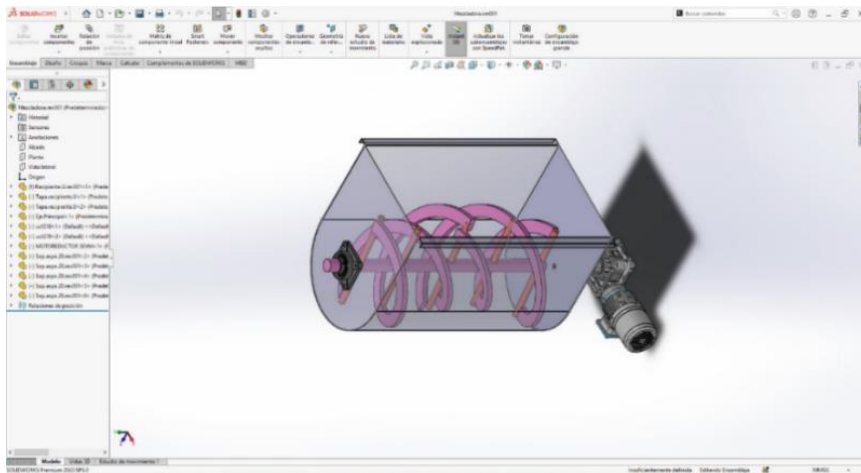
El uso de un software modelado reduce la necesidad de prototipos físicos, optimiza el diseño estructural y permite verificar el cumplimiento de los criterios de resistencia y seguridad establecidos por las normas técnicas.

Para el presente estudio se ejecutó tres simulaciones numéricas por cada evento de análisis, considerando que las condiciones de carga, material y frontera se mantienen constantes y representan el caso crítico de operación de la máquina.

Cada simulación corresponde a un estudio independiente de tipo estático, resuelto mediante método elementos finitos, el cual permite obtener los campos de esfuerzos, deformaciones, desplazamientos a partir de la ecuación matricial de equilibrio estructural.

#### 4.1. Simulación estática del diseño

En esta etapa se modeló el conjunto formado por el recipiente, las hélices del agitador, el eje principal del mezclador y los ejes que conectan el eje del mezclador con las hélices, todos acoplados de manera eficiente dentro de la máquina mezcladora. Esta representación global permite visualizar la configuración geométrica del sistema y establecer las bases para los análisis posteriores, como se observa la **Figura 22**.

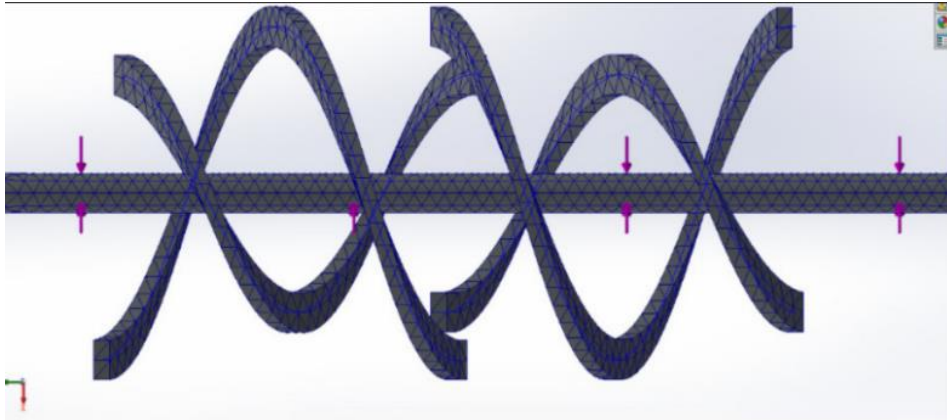


**Figura 22.** Diagrama de la máquina mezcladora.

#### 4.2. Simulación estática del eje

En el análisis elementos finitos mediante un software modelado, se define inicialmente la geometría crítica a simular, compuesta por el eje principal acoplado a sus ejes de transmisión y soportes, soldados a las hélices helicoidales.

El conjunto del modelo se realizó mediante una malla de elementos sólidos tetraédricos, adecuada para geometrías complejas como el eje y las cintas helicoidales, como se puede ver en la **Figura 23**. El tamaño de elemento fue seleccionado de manera que permita capturar correctamente los gradientes de esfuerzo sin incrementar innecesariamente el costo computacional.

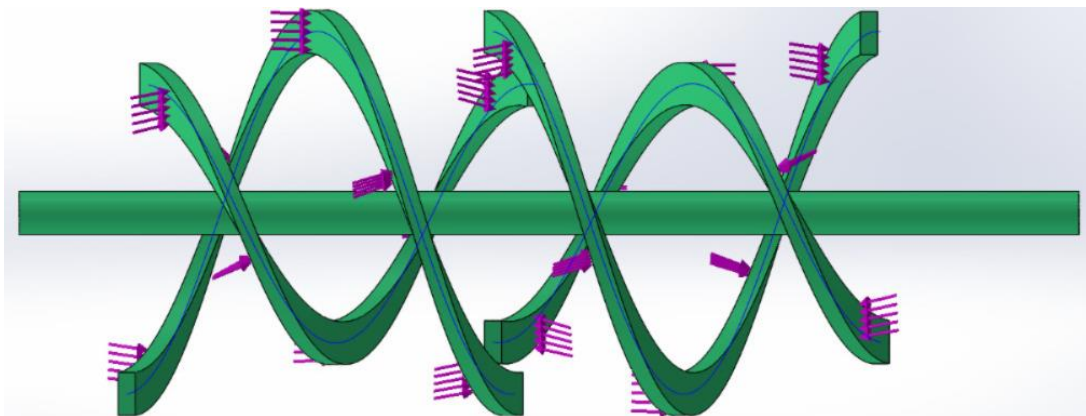


**Figura 23.** Malla, elementos finitos.

#### **4.3. Simulación de la fuerza que genera el fluido en las hélices**

La simulación de las fuerzas actuantes sobre las hélices del agitador, tiene como finalidad analizar la distribución de cargas mecánicas generadas durante el proceso mezcla y verificar el comportamiento estructural de las espiras bajo condiciones reales de operación.

Estas fuerzas, asociadas a la interacción fluido–sólido, se aplican sobre las superficies de las hélices para reproducir el efecto del material en proceso de mezcla.

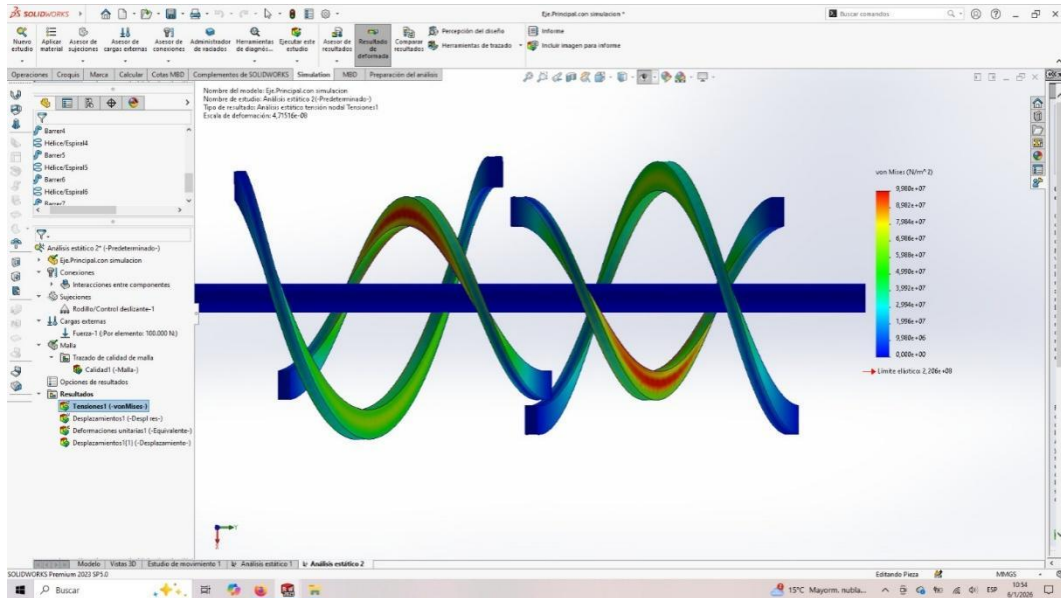


**Figura 24.** Fuerza de las hélices.

#### **4.4. Simulación de la tensión Von Mises aplicado al eje**

Los resultados muestran que esfuerzo equivalente máximo Von Mises se localizó en las zonas de mayor concentración de esfuerzos, específicamente en las regiones próximas a los cambios geométricos del eje. No obstante, el valor máximo registrado se mantuvo debajo del límite

elástico acero inoxidable AISI 304, que indica que el eje opera dentro del régimen elástico durante las condiciones normales de funcionamiento.



**Figura 25.** Esfuerzos del eje principal.

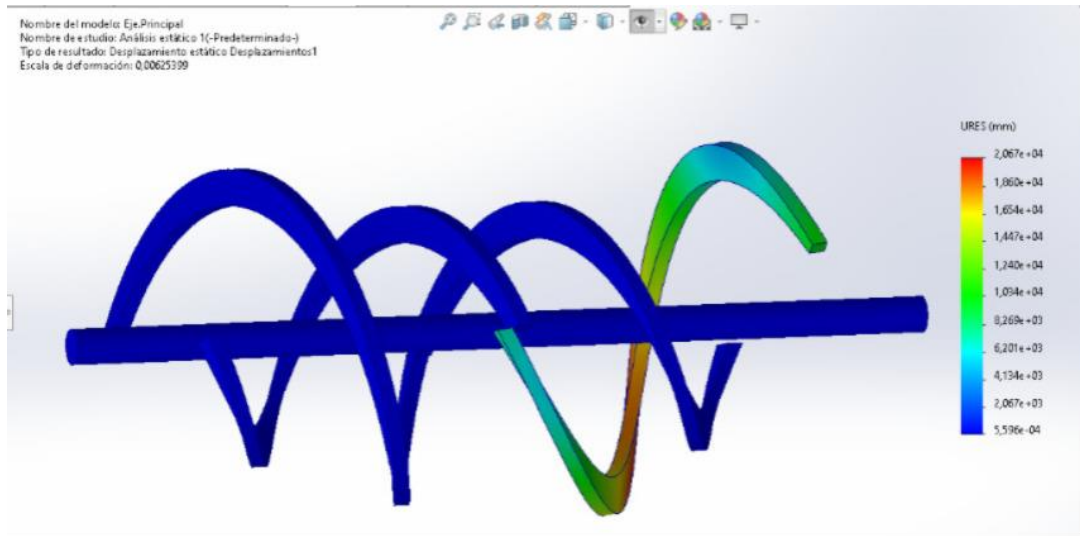
El resultado factor seguridad del eje resultará:

$$F_s = \frac{2.068 \cdot 10^8 \text{ Pa}}{9.980 \cdot 10^7 \text{ Pa}} = 2.072$$

El factor seguridad calculado confirma que el eje opera dentro del régimen elástico bajo las condiciones normales de trabajo, garantizando un comportamiento estructural seguro y adecuado para la aplicación prevista.

#### 4.5. Desplazamiento estático

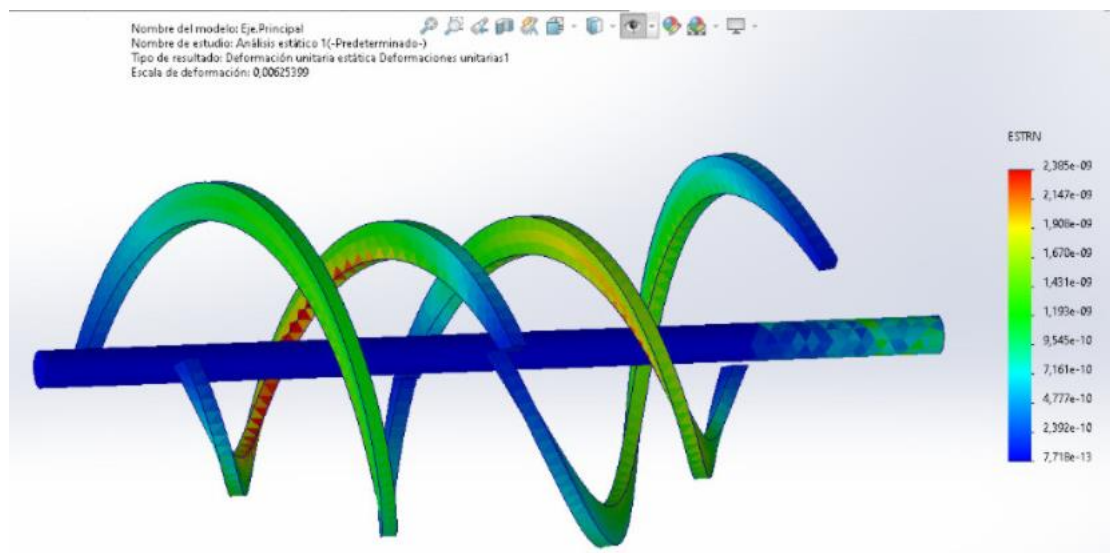
El análisis de desplazamiento estático permitió evaluar la respuesta del eje frente a las cargas aplicadas durante el funcionamiento de la mezcladora. La distribución del desplazamiento mostró un comportamiento coherente con un elemento sometido principalmente a flexión, alcanzando su valor máximo en la región central del eje.



**Figura 26.** Desplazamiento estático.

#### 4.6. Deformaciones unitarias

El análisis de deformaciones unitarias permitió identificar las zonas del eje donde se concentran mayores niveles de deformación bajo carga. Los resultados indicaron que las deformaciones máximas se localizaron en las regiones cercanas a los cambios geométricos y en las zonas donde actúan las mayores sollicitaciones mecánicas.



**Figura 27.** Deformaciones unitarias.

## CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE COSTOS

### 5.1. Costos materiales

Los costos de los materiales del acero inoxidable METALMET y los accesorios de acero inoxidable en la empresa TUVAl fueron proporcionados por el proveedor tal cual se especifican sobre la **Tabla 13**.

**Tabla 13.** Costo material.

Pieza	Especificación mm	Cantidad (kg)	Costo Unitario (\$)	Total (\$)
EJE AGITADOR	EJE AISI 304 Ø 19.05	4.93	9.89	49.00
EJE MEZCLADOR	EJE AISI 304 Ø 45	10.99	9.89	108.70
HÉLICE	PLATINA 3 PULGADAS 6	4.68	12.80	60.00
RECIPIENTE	PLANCHA AISI 304	33.91	6.78	230.00
ESTRUCTURA SOPORTE	TUBO CUADRADO AISI 304	36	3.11	112.00
ACOPLAMIENTO MECÁNICO	ACERO AISI 304 Ø	4	5	20.00
				<b>579.70</b>

### 5.2. Costos materiales elementos estandarizados

Los costos materiales de elementos estandarizados se adquirieron en la empresa MEGAMOTORS quito pichincha se especifican sobre la **Tabla 14**.

**Tabla 14.** Costos materiales estandarizados.

<b>Pieza</b>	<b>Especificación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario (\$)</b>	<b>Total (\$)</b>
MOTORREDUCTOR	WEG TRIFASICO 7.5HP (FR100) + ORTOGONAL	1	1150.00	1150.00
REDUCTOR CORONA-SINFÍN	ORTOGONAL 60 RPM FS 0.9	1	450.00	450.00
UNIDAD DE RODAMIENTOS	F4B 45M-TF	2	35.00	70.00
ARANDELA DE PRESIÓN	ARAND/PLANA INOX 304 5/8 PULG	8	0.20	1.60
ARANDELA PLANA	ARAND/PLANA INOX 304 5/8 PULG	8	0.25	2.00
TUERCA INOX	TUERCA INOX 14 MM	8	0.50	4.00
VÁLVULA MARIPOSA	VÁLVULA CHECK WAFER TIPO COLUMPIO ACERO INOXIDABLE 316 METAL 3 IN	1	200.00	200.00
PANEL DE CONTROL	TRIFHP 2V 200/240 ACS 150-03E-07*5-2	1	344.00	344.00
				<b>2221.60</b>

### 5.3. Costos mano de obra

Se realiza costo total de los materiales, se incluye la mano de obra asociada a la fabricación del equipo que realizada la cotización, como especifica la **Tabla 15**.

**Tabla 15.** Costos mano de obra.

<b>Descripción</b>	<b>Costo Total (\$)</b>
Construcción de la máquina	600.00
Instalación de módulo de trabajo (tablero eléctrico)	550.00
Máquina de torno	200.00
<b>1350.00</b>	

### 5.4. Costo Total

En la **Tabla 16** se especifica costo total de fabricación del equipo.

**Tabla 16.** Costo total máquina mezcladora.

<b>Descripción</b>	<b>Costo Total (\$)</b>
Costo del material	579.70
Costo de material de los elementos normalizados	2221.60
Costo de la mano de obra	1350.00
Subtotal	4151.30
Diseño	400.00
	<b>4551.30</b>

### **5.5. Tiempo recuperación de la inversión**

Para evaluar viabilidad económica del equipo mezcladora horizontal helicoidal diseñada, Se lleva a cabo una evaluación financiera empleando método Período Recuperación de la Inversión (Payback Period, PP), junto con los indicadores Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno.

#### **Capacidad de producción**

La máquina tiene capacidad producción 100 kg/h. Fundamentando una jornada de 7 horas efectivas, trabajo diario y 20 días laborales al mes, se obtiene:

$$100 \text{ kg/h} \cdot 7 \text{ h/día} \cdot 20 \text{ días/mes} = 14000 \text{ kg/mes}$$

Equivale:

$$\frac{14000}{45,46} = 308 \text{ quintales/mes}$$

#### **Ingresos mensuales**

El servicio de mezclado de balanceado avícola tiene un costo promedio de 6 USD por quintal, por lo que el ingreso mensual estimado es:

$$308 \frac{\text{quintales}}{\text{mes}} \cdot \frac{\$ 6}{\text{quintal}} = \$ 1848 \text{ mes}$$

#### **Costos operativos**

El equipo no requiere mantenimiento continuo durante su operación, únicamente limpieza después de su uso, lo cual reduce los costos operativos.

Se considera un operario con un salario mensual promedio de:

Mano de obra: \$ 500/mes

No se consideran costos elevados de mantenimiento ni personal altamente calificado, ya que el equipo es de operación sencilla.

Ingresos extras: \$ 100/ mes

### **Utilidad mensual**

$$\$ 1848 - \$ 600 = 1248 \frac{\$}{mes}$$

El Período Recuperación (PP) de Inversión se calcula mediante la expresión:

$$PP = \frac{\textit{inversion inicial}}{\textit{ingreso}} = \frac{\$ 4551.30}{\$ 1248.00} = 3.64 \textit{ meses}$$

Esto significa inversión inicial es recuperada en aproximadamente 3 a 4 meses, lo que demuestra el proyecto económicamente viable y altamente rentable.

## CONCLUSIONES

- Se alcanzó satisfactoriamente el objetivo general, al determinar los parámetros de diseño, diseñar los componentes mecánicos y evaluar el comportamiento estructural de la máquina mezcladora horizontal helicoidal de 100 kg/h. Esta validación mediante un software especializado confirma su contribución para la asociación de pequeños productores avícolas en Otavalo, satisfaciendo así sus requerimientos operativos de eficiencia, higiene y costo accesible.
- Se estableció los materiales adecuados para la construcción del equipo, tomando como referencia información técnica proveniente de catálogos siendo este una máquina mezcladora horizontal helicoidal. Lo cual confirma su contribución para la asociación de pequeños productores de balanceados avícolas en Otavalo, satisfaciendo así sus requerimientos operativos de eficiencia, higiene y costo accesible.
- Los productores de balanceados avícolas en Otavalo utilizan para su producción mezcladores importados con costos elevados y mantenimiento complejo lo cual limita la producción de balanceados avícolas locales. Con el desarrollo de esta propuesta se logran resultados de importancia técnica mediante su diseño local en acero inoxidable AISI 304, capacidad 100 kg/h y homogeneidad mayor al 95%.
- Se diseñó y selecciono las partes mecánicas que componen el equipo como el eje principal del mezclador en acero inoxidable con diámetro 45 mm, que cumple con la norma de un factor de seguridad mayor al 4.5 barras soldados a las hélices, rodamientos F4B-45M-TF con una vida estimada de  $15.5 \cdot 10^4$  horas y motorreductor WEG 7.5 HP, que resisten el torque calculado de 408 Nm.
- Se realizó la simulación del análisis de elementos finitos mediante un software modelado, confirmó el diámetro del eje 45 mm y espesor del recipiente de 3 mm seleccionados no presentan concentraciones críticas de esfuerzo ni deformaciones significativas, confirmando así su buen diseño
- Teniendo en cuenta el análisis costo total requerido para la construcción máquina mezcladora horizontal helicoidal para la obtención de balanceado avícola el cual alcanzo un valor de \$ 4.500 y recuperación de la inversión inicial en aproximadamente 3 a 4 meses, lo que demuestra que el proyecto es económicamente viable

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda que, para futuros trabajos, el diseño de la máquina mezcladora sea complementado con ensayos experimentales a escala real, validar los resultados obtenidos mediante simulación numérica y garantizar su comportamiento bajo condiciones reales de operación.
- Se recomienda analizar la implementación sistemas automatizados control de velocidad y tiempo mezclado, lo cual permitiría mejorar la eficiencia del proceso y adaptar la máquina a diferentes formulaciones de balanceado avícola.
- Se recomienda evaluar el uso de otros materiales o tratamientos superficiales en componentes secundarios, con el objetivo de optimizar los costos de fabricación sin comprometer los requisitos sanitarios ni la resistencia mecánica del equipo.

## REFERENCIAS

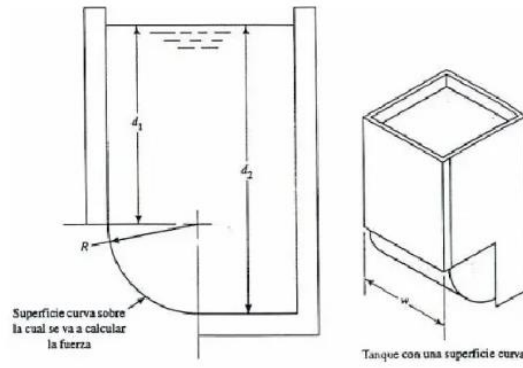
- [1] M. Gavilán y J. Muniesa, «Qué significa amalgamar en cocina,» 2005. [En línea]. Available: <https://www.gastronomiaycia.com/que-significa-amalgamar-en-cocina/>. [Último acceso: 26 12 2024].
- [2] Arte Arquitectonico, «Glosario ilustrado de arte arquitectónico,» 26 09 2023. [En línea]. Available: <https://www.glosarioarquitectonico.com/>.
- [3] «MEZCLADORES DE CINTAS RIBBON BLENDER,» *Innovacion y desarrollo en procesos industriales con ingenieria colombiana*, p. 2, 2019.
- [4] E. Y. LUQUE MENDOZA, «Diseño de una máquina mezcladora de alimento,» Lima, Perú, 2019.
- [5] C. A. RENJIFO MERA y M. P. BENALCÁZAR DÍAZ, «DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MEZCLADORA - AMASADORA PARA,» p. 4, 2018.
- [6] W. O. Vallejo Tumbaco , «Diseño de una Mezcladora de Productos,» *Escuela Superior Politécnica de Litoral*, p. 33, 2017.
- [7] . R. G. MARTINEZ MAZUELOS, «Tecnología moderna de la elaboración de alimentos balanceados para animales.,» *UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTIN DE AREQUIPA*, pp. 14-23, 2018.
- [8] C. E. Tomalá Lino, «EVALUACIÓN DE COMPORTAMIENTO PRODUCTIVO DE GALLINAS PONEDORAS (LOHMANN BROWN) EN FASE DE POSTURA CON SISTEMA TRADICIONAL EN PARROQUIA CHANDUY,» UPSE, Santa Elena, 2022.
- [9] Instituto Nacional de Estadística y Censos, «FICHA TÉCNICA DE ALIMENTOS,» NEC, Quito- Ecuador, 2012.
- [10] H. Hapman, «Guía de densidad de materiales a granel,» [En línea]. Available: <https://hapman.com/resources-knowledge/bulk-density-guide/>. [Último acceso: 23 09 2025].
- [11] E. F. Albán y Á. S. Arias, «DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA MÁQUINA PELETIZADORA DE ALIMENTOS BALANCEADOS PARA EL SECTOR PECUARIO CON CAPACIDAD DE 100 kg/h,» 08 2019. [En línea]. Available: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17754/1/UPS%20-%20ST004334.pdf>. [Último acceso: 06 12 2024].
- [12] M. Diego, «MÁQUINA MEZCLADORA DE ALIMENTO BALANCEADO PARALA ELABORACIÓN DE BLOQUES MULTINUTRICIONALES,» 17 02 2014. [En línea]. Available: [file:///C:/Users/Geovanny/Downloads/04%20MEC%20039%20TESIS%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/Geovanny/Downloads/04%20MEC%20039%20TESIS%20(2).pdf). [Último acceso: 08 12 2024].

- [13] D. Torres Quintero y J. y. M. C. Flores Toral, «Elaboración de una mezcladora de balanceado horizontal con capacidad de 40 kg en la Granja Experimental Mishilí de la ciudad de Santo Domingo,» *Revista Social Fronteriza ISSN: 2806-5913*, 2024.
- [14] M. Mina Topa y D. Gómez Chachapoya, «DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA MEZCLADORA DE BALANCEADO CON CAPACIDAD DE 100 kg/h PARA IMPLEMENTACIÓN EN LA EMPRESA AVÍCOLA AVITECNIC DEL ECUADOR.,» 08 2023. [En línea]. Available: chrome-extension://efaidnbmnribpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/09f28299-1ea1-4123-bf81-d0ee9dfc1927/content. [Último acceso: 09 12 2024].
- [15] R. Luis, «"Diseño y simulación de un Tanque Mezclador de 10,000 gal para la elaboración de aceites lubricantes",» *Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción*, 2016.
- [16] G. Franco, «Diseño de una maquina mezcladora para la fabricación de bocadillo.,» *INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA*, 2022.
- [17] V. G. Emilio, «PROBLEMAS DE MEZCLADO Y UNIFORMIDAD EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS PARA ANIMALES,» *Centro de Investigación en Nutrición Animal (CINA)*, p. 78, 2013.
- [18] C. Renfijo Mera y M. Benalcazar Díaz, «DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MEZCLADORA - AMASADORA PARA PREPARAR 12 KG/H DE PASTA ALIMENTICIA,» *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO*, p. 136, 2018.
- [19] A. Rodriguez, «Agitacion en La Industria Alimentaria,» [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/348976950/Agitacion-en-La-Industria-Alimentaria>. [Último acceso: 15 12 2024].
- [20] Viresa, «Agitadores,» 20 06 2022. [En línea]. Available: <https://bochem.de/tipos-de-agitadores/?lang=es>. [Último acceso: 15 12 2024].
- [21] Carlos, «Tipos de agitadores en la industria alimentaria,» *Instituto Tecnológico Superior de Comalcalco*.
- [22] P. Millan, «Agitadores Helice,» [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/220619225/AGITADORES-HELICE>. [Último acceso: 09 12 2024].
- [23] G. Jose, «Tipos de agitadores y mezcladores industriales,» GarGil, 2005. [En línea]. Available: <https://gargil.es/tipos-de-agitadores-y-mezcladores-industriales/>. [Último acceso: 09 12 2024].
- [24] C. P. Fernández y V. S. Quintero, «Diseño y construcción de una mezcladora de balanceados para pollos parrilleros. Máquina con una capacidad de 1000Kg/h.,» *Escuela Politécnica Nacional*, p. 167, 2014.

- [25] Ministerio de Salud Pública, «Normativa Técnica Sanitaria Para Alimentos,» p. 59, 2016.
- [26] LMR06, «Acero inoxidable,» p. 11, 2014.
- [27] FESTO, «Conocimientos profesionales y soluciones para la industria alimentaria y bebidas,» *Universidad Nacional Autónoma de Honduras*, 2021.
- [28] F. A., «ALUMINIO EN ALIMENTOS Y ENVASES,» *AEA*, p. 2, 2015.
- [29] Causaartista, «¿Qué son los materiales sintéticos?,» 04 07 2023. [En línea]. Available: <https://www.causeartist.com/synthetic-materials/>. [Último acceso: 27 12 2024].
- [30] ACERIND S.C., «Soldadura de los aceros inoxidables,» [En línea]. Available: <http://www.cientificosaficionados.com/libros/solinox1.pdf>. [Último acceso: 05 12 2024].
- [31] METALTECO, «MEZCLADORAS: CINTAS Y PALETAS. VENTAJAS Y DESVENTAJAS,» [En línea]. Available: <https://metalteco.com/mezcladoras-cintas-paletas-ventajas-desventajas/>. [Último acceso: 06 01 2025].
- [32] SinfinesFactory, «Mezclador vertical,» [En línea]. Available: <https://sinfinesfactory.com/mezcladorvertical/>. [Último acceso: 06 01 2025].
- [33] J. E. Shigley, «Mechanical Engineering Design,» de 9ª edición., New York, NY, USA., McGraw-Hill., 2021, p. 476.
- [34] R. Valladares y W. Villacrés, «DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA TURBINA HIDRÁULICA PARA UNA MINICENTRAL HIDROELÉCTRICA UBICADA EN EL CANAL DE RIEGO OCCIDENTAL DE LA LAGUNA DE SAN MARCOS,» Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16926/1/UPS-ST003946.pdf>. [Último acceso: 2025 12 15].
- [35] A. Avalos Rojas, «Diseño de un sistema de transporte y mezclado helicoidal para preparación de concentrado de alimentos para aves,» 2020.
- [36] J. MEDINA RUIZ y M. V. TORRE MORENO, «Diseño e implementación de un prototipo de maquina mezcladora, envasadora de pinturas con control automático,» 2018.
- [37] R. G. & G. L. C. F. Quiroga, «Diseño y construcción de un mezclador de tornillo sinfin para mortero seco,» *Scientia et Technica*, 2(45), 37-42, 2010.
- [38] J. E. Rincón Guerrero, «Diseño de una máquina mezcladora, automática, de materias primas para la elaboración de jabones líquidos, suavizantes y desengrasantes industriales, para la empresa químicos zorel,» 2021.

## ANEXOS

### 9.1 ANEXO 1.1 Estática de fluidos presión del fluido en una superficie curva



### 9.1 ANEXO 2.2 Momento de inercia semicircular

Shapes		$I_x$	$I_{x_c}$
Rectangle		$\frac{bh^3}{3}$	$\frac{bh^3}{12}$
Triangle		$\frac{bh^3}{12}$	$\frac{bh^3}{36}$
Circle		$\frac{5\pi r^4}{4}$	$\frac{\pi r^4}{4}$
Semicircle		$\frac{\pi r^4}{8}$	$0.0349\pi r^4$
Quarter-circle		$\frac{\pi r^4}{16}$	$0.01747\pi r^4$

## 9.2 ANEXO 3.1 Parámetros del factor de condición superficial

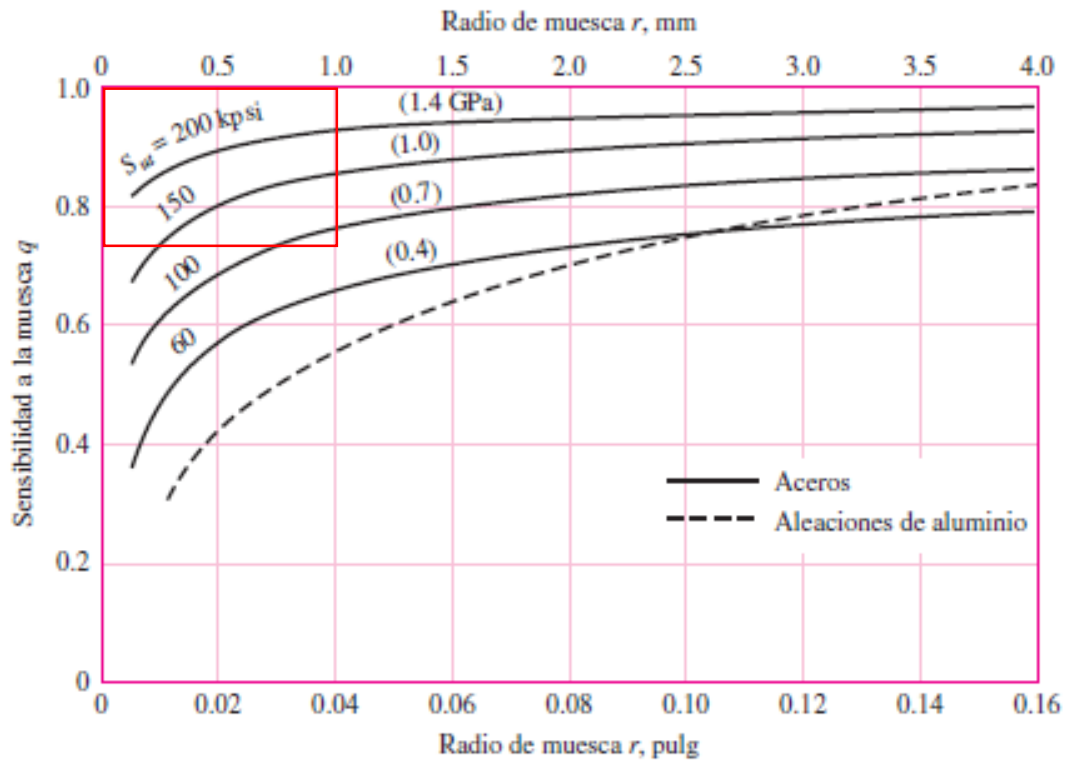
Acabado superficial	Factor $a$		Exponente $b$
	$S_{ut}$ , kpsi	$S_{ut}$ , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o estirado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

## 9.2 ANEXO 4.2 Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a tensión del acero

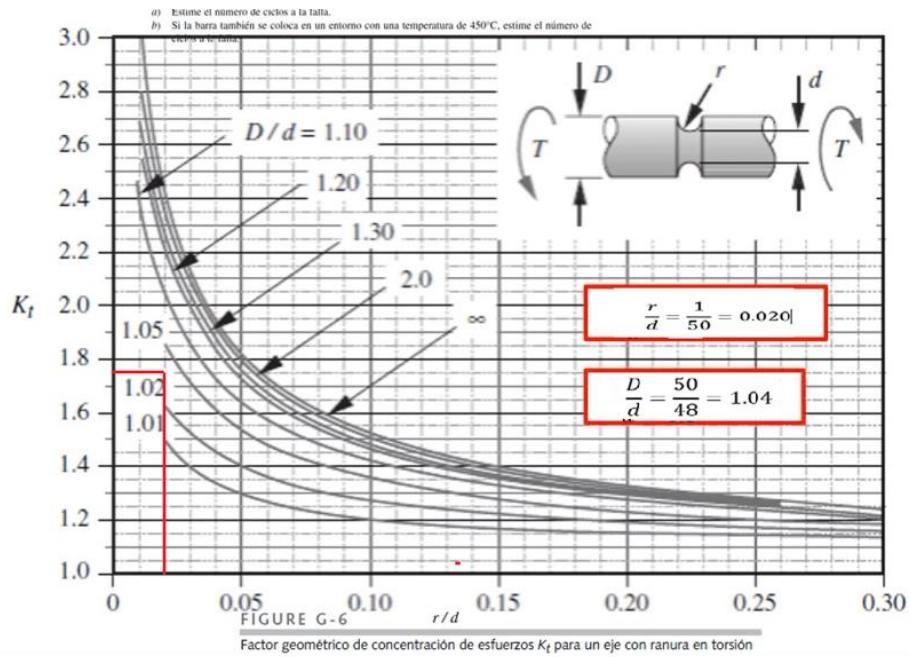
Temperatura, °C	$S_T/S_{RT}$	Temperatura, °F	$S_T/S_{RT}$
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

\*Fuente de datos: figura 2-9.

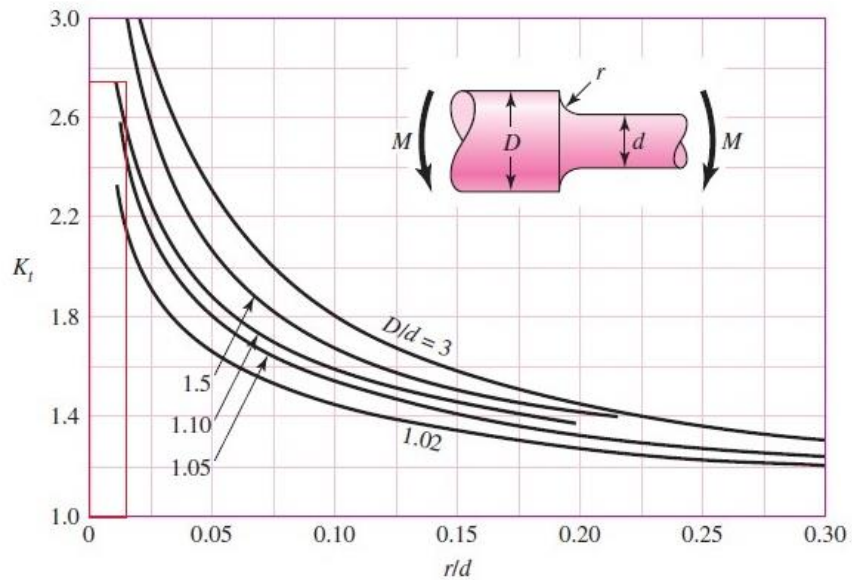
### 9.3 ANEXO 5. Sensibilidad de la muesca q



## 9.4 ANEXO 6.1 Eje redondo con ranura plano en torsión

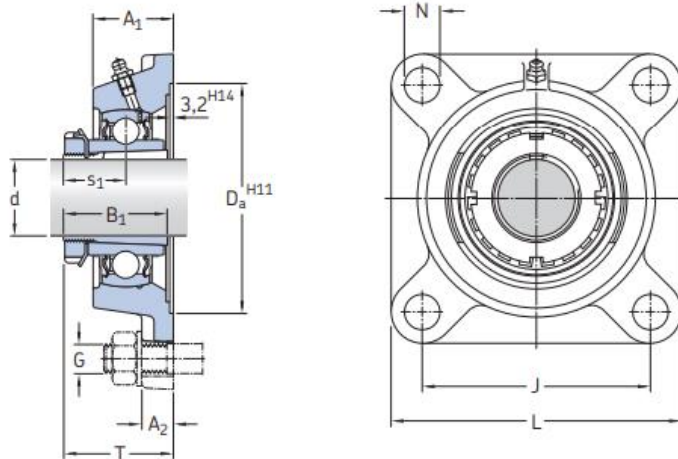


## 9.4 ANEXO 7.2 Eje redondo con filete en el hombro en torsión



## 9.5 ANEXO 8.1 Valores Orientativos en la selección del rodamiento de pestaña cuadrada

Flanged Y-bearing units with a cast housing with a square flange and an adapter sleeve, metric shafts  
d 20 – 60 mm



Dimensions											Basic load ratings		Fatigue load limit $P_u$	Designations <sup>1)</sup>	
d	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	D <sub>a</sub>	J	L	N	G	s <sub>1</sub>	T	dynamic C	static C <sub>0</sub>		Bearing unit	Adapter sleeve
mm											kN		kN	–	
20	27	14	35	74,6	70	95	12	10	20	36	14	7,8	0,335	FYJ 25 KF	H 2305
25	31	14	38	93,7	83	108	12	10	22	40	19,5	11,2	0,475	FYJ 30 KF	H 2306
30	34	16	43	106,4	92	118	14	12	24,3	43,3	25,5	15,3	0,655	FYJ 35 KF	H 2307
35	36	16	46	115,9	102	130	16	14	27	48	30,7	19	0,8	FYJ 40 KF	H 2308
40	38	18	50	119,1	105	137	16	14	28,5	50,5	33,2	21,6	0,915	FYJ 45 KF	H 2309
45	40	18	55	125,4	111	143	16	14	30,5	52,5	35,1	23,2	0,98	FYJ 50 KF	H 2310
50	43	20	59	150,8	130	162	19	16	32,5	57,5	43,6	29	1,25	FYJ 55 KF	H 2311
55	48	20	62	161,9	143	175	19	16	34,3	63,3	52,7	36	1,53	FYJ 60 KF	H 2312
60	50	20	65	161,9	149	187	19	16	35,8	65,8	57,2	40	1,7	FYJ 65 KF	H 2313

## 9.5 ANEXO 9.2 Valores Orientativos de la vida útil para los rodamientos

Tabla 8

Valores orientativos de vida nominal requeridos para diferentes clases de máquinas	
Clase de máquinas	Vida nominal Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas usadas intermitentemente o por cortos períodos: herramientas eléctricas portátiles, aparatos elevadores en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3 000 ... 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos períodos o intermitentemente: ascensores (elevadores), grúas para mercancías embaladas o eslingas de tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre totalmente utilizadas: transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos de uso industrial, machacadoras rotativas	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas: máquinas herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria de ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos para impresoras, separadores y centrifugas	20 000 ... 30 000
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día: cajas de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Máquinas para la industria de energía eólica, esto incluye el eje principal, la orientación, los engranajes, los rodamientos del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para el abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria de propulsión para transatlánticos	60 000 ... 100 000
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, bombas y ventiladores para minas, rodamientos para la línea de ejes de transatlánticos	> 100 000

## 9.5 ANEXO 10.3 Factores de carga radial para cojinetes de bola

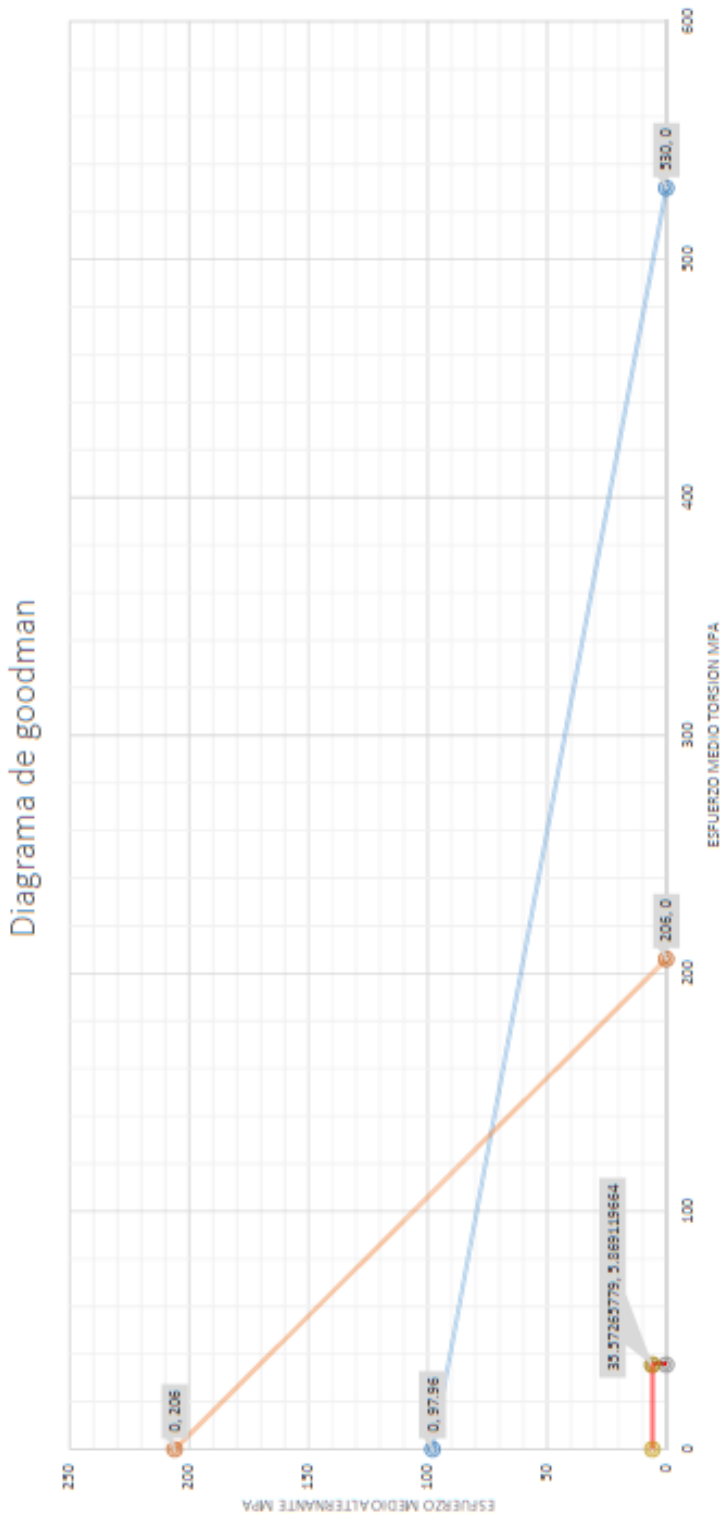
Tabla 11-1

Factores de carga radial equivalente para cojinetes de bolas

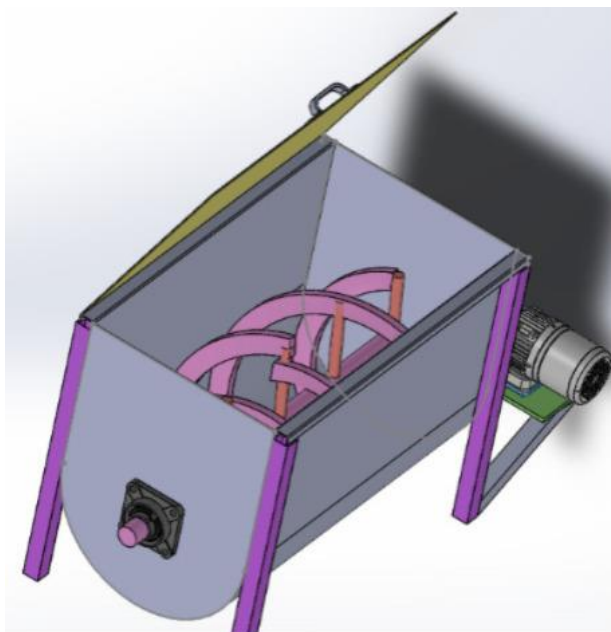
$F_a/C_0$	$e$	$F_a/(VF_n) \leq e$		$F_a/(VF_n) > e$	
		$X_1$	$Y_1$	$X_2$	$Y_2$
0.014*	0.19	1.00	0	0.56	2.30
0.021	0.21	1.00	0	0.56	2.15
0.028	0.22	1.00	0	0.56	1.99
0.042	0.24	1.00	0	0.56	1.85
0.056	0.26	1.00	0	0.56	1.71
0.070	0.27	1.00	0	0.56	1.63
0.084	0.28	1.00	0	0.56	1.55
0.110	0.30	1.00	0	0.56	1.45
0.17	0.34	1.00	0	0.56	1.31
0.28	0.38	1.00	0	0.56	1.15
0.42	0.42	1.00	0	0.56	1.04
0.56	0.44	1.00	0	0.56	1.00

\*Utilice 0.014 si  $F_a/C_0 < 0.014$ .

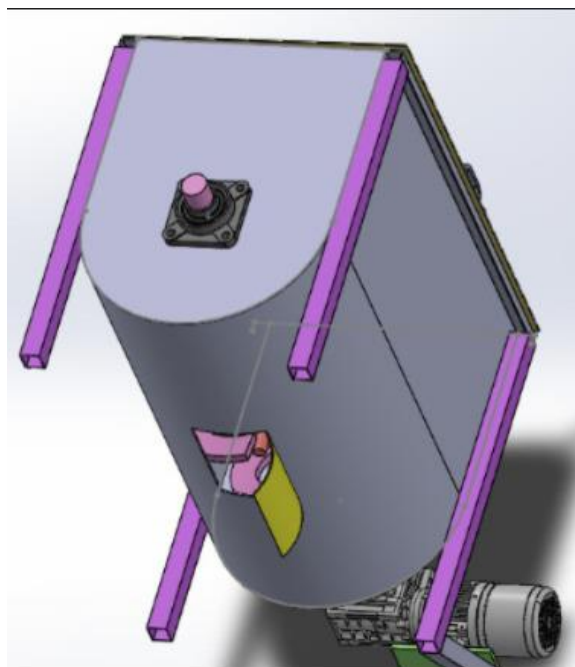
## 9.6 ANEXO 6. Diagrama de Goodman



## 9.7 ANEXO 7.1 Simulación de Proceso



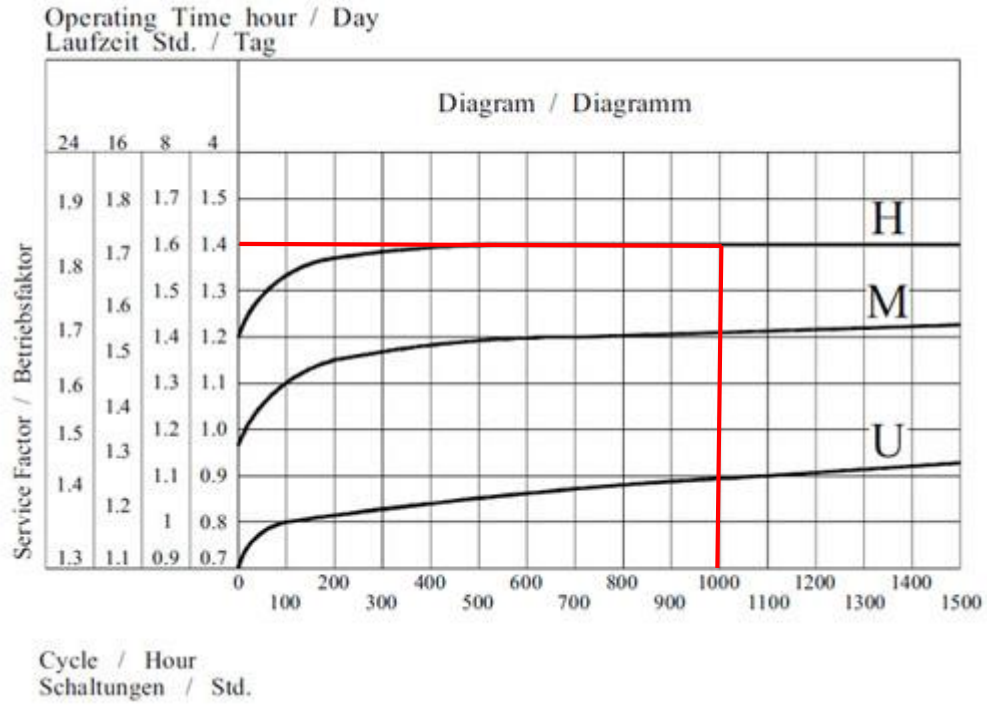
## 9.7 ANEXO 7.2 Salida del material



## 9.8 ANEXO 8. Planchas de acero inoxidable

PLANCHAS ACERO INOXIDABLE 304										
Tipo de estructura	Tipo de Composición	Descripción de acuerdo a JIS*	Descripción de acuerdo a AISI**	Descripción de acuerdo a DIN***	COMPOSICIÓN QUÍMICA %					
					C	Si max	Mn	P max	S max	Ni
Austenítico	17Cr-7Ni	SUS 301	301	4310	0,15 max	1	2,00 – max	0,04	0,03	6,00 ~ 8,00
	18Cr-8Ni-highC	SUS 302	302	4300	0,15 max	1	2,00 – max	0,04	0,03	8,00 ~ 10,00
	18Cr-8Ni	SUS 304	304	4301	0,08 max	1	2,00 – max	0,04	0,03	8,00 ~ 10,50
	18Cr-8Ni-extra-low-C	SUS 304 L	304 L	4306	0,030 max	1	2,00 – max	0,04	0,03	9,00 ~ 13,00
	18Cr-12Ni	SUS 305	305	3955	0,12 max	1	2,00 – max	0,04	0,03	10,50 ~ 13,00
	23Cr-12Ni	SUS 309 S	309 S	4845	0,08 max	1,5	2,00 – max	0,04	0,03	12,00 ~ 15,00
	25Cr-20Ni	SUS 310 S	310 S		0,08 max	1	2,00 – max	0,04	0,03	19,00 ~ 22,00

## 9.9 ANEXO 9.1 Factor de operación mínima



9.9 ANEXO 9.2 Catálogo técnico NORD Motor-reductores industriales opcional para mezcladora horizontal.

**1:10**  
**5,50 kW**  
**7,50 kW**



P <sub>1</sub> [kW]	n <sub>2</sub> [min <sup>-1</sup> ]	M <sub>2b</sub> [Nm]	f <sub>B</sub>	i <sub>gec</sub>	F <sub>R</sub>	F <sub>A</sub>	Type	mm					
								kg	mm				
5,50	5,0-50	1040	0,8	58,25	0	8,5	SK 9022.1 - 112 MH/4 - SK 200E-551-340-A (-C) SK 9022.1 - 112 MP/4 - SK 200E-551-340-A (-C)	80	E68-69				
	5,6-56	931	0,9	52,02	0	8,9							
	6,0-60	875	1,0	49,01	0	8,6							
	6,6-66	800	1,1	44,71	2,5	9,3							
	7,4-74	709	1,2	39,77	4,8	9,5							
	8,8-88	594	1,4	33,26	5,4	9,5							
	9,4-94	561	1,5	31,38	5,5	9,7							
	10-101	522	1,6	29,20	5,5	9,7							
	11-112	467	1,8	26,07	5,5	9,7							
	12-120	439	2,0	24,56	5,5	9,6							
	13-131	402	1,9	22,41	5,5	9,7							
	15-148	356	2,1	19,93	5,5	9,6							
		12-116	453	1,4	25,34	9,5				25,0	SK 92772.1 - 112 MH/4 - SK 200E-551-340-A (-C) SK 92772.1 - 112 MP/4 - SK 200E-551-340-A (-C)	77	E58-59
		13-130	404	1,6	22,59	9,7				24,9			
		14-139	378	1,7	21,14	9,8				24,7			
	15-153	342	1,8	19,17	9,9	24,3							
	16-156	337	1,9	18,84	10,0	24,1							
	17-172	305	2,1	17,08	10,1	23,6							
	19-191	275	2,3	15,42	10,1	22,9							
	21-213	246	2,5	13,79	10,2	21,5							
	7,2-72	730	0,8	40,92	5,7	12,1	SK 9016.1 - 112 MH/4 - SK 200E-551-340-A (-C) SK 9016.1 - 112 MP/4 - SK 200E-551-340-A (-C)	73	E64-65				
	8,4-84	623	1,0	34,81	7,1	12,3							
	9,7-97	544	1,1	30,52	7,9	12,3							
	11-112	470	1,3	26,29	8,4	12,3							
	13-127	414	1,3	23,11	8,8	12,3							
	14-143	366	1,6	20,51	9,0	12,1							
	17-168	312	1,7	17,45	9,0	12,0							
	19-193	273	1,9	15,10	9,0	11,8							
	24-235	223	2,3	12,51	8,8	11,3							
	11-106	495	0,8	27,65	2,8	12,5				SK 9012.1 - 112 MH/4 - SK 200E-551-340-A (-C) SK 9012.1 - 112 MP/4 - SK 200E-551-340-A (-C)	72	E60-61	
	12-120	438	0,9	24,53	4,1	12,4							
	14-140	374	1,1	20,87	5,1	12,3							
	17-168	312	1,2	17,45	5,7	12,0							
	19-193	273	1,4	15,30	6,1	11,8							
	24-240	219	1,0	12,23	6,4	11,1							
	27-271	194	1,0	10,85	6,6	10,9							
	17-168	312	1,0	17,46	7,7	17,2	SK 92672.1 - 112 MH/4 - SK 200E-551-340-A (-C) SK 92672.1 - 112 MP/4 - SK 200E-551-340-A (-C)	66	E56-57				
	19-189	278	1,3	15,56	7,9	16,8							
	20-204	257	1,2	14,40	8,0	16,4							
	23-229	229	1,6	12,84	8,1	15,6							
	26-258	203	1,8	11,39	8,2	14,7							
	29-289	182	2,0	10,16	8,2	14,4							
	31-313	168	2,1	9,39	8,3	13,8							
	35-353	149	2,4	8,33	8,3	13,3							
	40-395	133	2,6	7,44	8,2	12,8							
	44-440	119	2,7	6,68	7,9	12,6							
	52-521	101	3,1	5,64	7,6	11,7							
	67-674	77,9	4,0	4,36	7,1	10,7							

Helical-bevel gear units

## **9.10 ANEXO 10 Planos**