

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

Diseño y Construcción de un Mezclador de Doble Cono para Productos  
Químicos en Polvo.

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Mecánico**

Presentado por:

Josué Daniel Guevara Ruiz

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

## **DEDICATORIA**

Este proyecto integrador se lo dedico a Dios, a mi familia y a las personas que estuvieron pendientes de su realización. También va dedicado a la Institución, la cual me brindó la oportunidad de realizar mis estudios superiores en sus instalaciones y a los Ingenieros que dictan sus cátedras con la finalidad de compartirnos de sus conocimientos y experiencias.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más sincero agradecimiento a Dios que permitió que pueda culminar mi carrera y a mi familia la cual me brindó su apoyo incondicionalmente durante toda la realización de mi carrera. También agradezco a los Ingenieros que me compartieron de sus experiencias y me aconsejaron para poder realizar con éxito mi proyecto integrador.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Josué Daniel Guevara Ruiz* doy mi consentimiento para que la ESPOI realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Josué Guevara Ruiz

## EVALUADORES



Ing. Jorge Marcial Hernández  
PROFESOR DE LA MATERIA



Ing. Federico Camacho Brausendorf  
PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El presente proyecto integrador tiene como objetivo el realizar el Diseño y la Construcción de un Mezclador de Doble Cono para Productos Químicos en polvo. Este proyecto nace de la necesidad de un nuevo laboratorio farmacéutico de querer participar en el mercado de los productos químicos en la ciudad de Guayaquil. Dado que la materia prima principal para elaborar estos productos es polvo, existe un proceso de mezcla de por medio para poder obtener el producto final, el cual no se realiza de manera óptima con la maquinaria que existe actualmente en la industria farmacéutica. Con el presente proyecto se busca optimizar este proceso de mezcla reduciendo el tiempo de producción, esfuerzo físico por parte del operador y el contacto que existe entre este y la materia prima.

Para poder determinar las variables de operación de la máquina que garanticen una buena mezcla, se realizó una búsqueda de información en publicaciones científicas. Para el diseño de los elementos mecánicos, se procedió a seguir la metodología de diseño que se encuentra disponible en manuales para diseño y las recomendaciones de la AGMA, AFGMA, ASME, informe 32 y FARMACOPEA.

Entre los principales resultados que se obtuvo, se tiene el diseño del mezclador junto con la construcción de éste. También se logró determinar el precio total de la inversión y el tiempo necesario para poder recuperar la inversión, una vez conectada la máquina en una línea de producción.

En conclusión, se logró cumplir con el objetivo de realizar el diseño y la construcción de un mezclador de doble cono en el tiempo requerido por el cliente, cumpliendo con sus requerimientos y expectativas.

**Palabras Clave:** Mezclador, Doble cono, Polvo, informe 32, FARMACOPEA.

## **ABSTRACT**

*The objective of the present project is to design and build a Double Cone Mixer for powdered chemicals. This project started for the necessity of a new pharmaceutical laboratory that want to participate in the market of powdered chemicals in the city of Guayaquil. Given that the main raw material to produce these products is powder, there is a mixing process in order to obtain the final product, which is not done optimally with the machinery that currently exists in the pharmaceutical industry. This project seeks to optimize this mixing process by reducing the production time, physical effort on the part of the operator and the contact that exists between it and the raw material.*

*In order to determine the operating variables of the machine that guarantee a good mix, an information search was carried out in scientific publications. For the design of the mechanical elements, we proceeded to follow the design methodology that is available in manuals for design and the recommendations of AGMA, AFGMA, ASME, report 32 and FARMACOPEA. Among the main results obtained, we have the design of the mixer together with the construction of it. It was also possible to determine the total price of the investment and the time necessary to recover the investment, once the machine was connected to a production line. In conclusion, it was possible to fulfill the objective of carrying out the design and construction of a double cone mixer in the time required by the client, fulfilling its requirements and expectations.*

**Keywords:** *Mixing, Double Cone, Powder, informe 32, FARMACOPEA.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción .....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Justificación del proyecto.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco teórico .....	3
1.4.1 Geometría del Tambor.....	4
1.4.2 Condiciones de Mezclado.....	5
CAPÍTULO 2.....	9
2. Metodología .....	9
2.1 Selección y Formulación de las mejores alternativas para solucionar el problema .....	9
2.2 Obtención del torque que actúa sobre el sistema.....	17
2.3 Dimensionamiento del tambor. ....	20
2.4 Sistema de transmisión de Potencia.....	21
2.4.1 Selección del motor. ....	22
2.4.2 Selección del Sistema de Bandas y Poleas.....	24
2.4.3 Selección de Caja Reductora. ....	27
2.4.4 Diseño del sistema Engrane-Piñón de dientes Rectos .....	28
2.5 Diseño del eje principal.....	29

2.6 Diseño de la Estructura de Soporte .....	32
2.6.1 Selección de Rodamientos .....	33
CAPÍTULO 3.....	36
3. Resultados Y ANÁLISIS .....	36
3.1 Torque del sistema .....	36
3.2 Tambor .....	37
3.2.1 Dimensiones del tambor .....	37
3.2.2 Proceso de Fabricación del tambor .....	38
3.3 Sistema de transmisión de Potencia.....	39
3.3.1 Motor seleccionado .....	39
3.3.2 Bandas y Poleas.....	40
3.3.3 Caja Reductora.....	42
3.3.4 Sistema Engrane-piñón .....	42
3.4 Eje principal .....	44
3.5 Estructura de Soporte.....	46
3.6 Rodamientos y chumacera .....	47
3.7 Análisis de costos .....	49
CAPÍTULO 4.....	51
4. Conclusiones Y RECOMENDACIONES .....	51
Conclusiones.....	51
Recomendaciones.....	52
BIBLIOGRAFÍA	
APÉNDICES	

## **ABREVIATURAS**

ASME	American Society of Mechanical Engineers
AGMA	American Gear Manufacturers Association
OMS	Organización Mundial de la Salud
AFBMA	American Bearing Manufacturers Association
CAD	Computer-Aided Design
RSD	Desviación Estándar Relativa Porcentual
WSM	Weighted scoring Method
DEM	Discrete Element Method

## SIMBOLOGÍA

min	Minutos
rpm	Revoluciones por minuto
kg	Kilogramos
T	Torque
N	Newton
M	Metros
V	Volumen
m	Masa
$\rho$	Densidad
ft	Factor de tamaño
D1	Diámetro de la boca mayor
h1	Altura del cono mayor
D3	Diámetro del cilindro
h3	Altura del cilindro
D2	Diámetro de la boca menor
h2	Altura del cono menor
Rv	Relación de velocidad
w	Velocidad de rotación
mil	Milésima de pulgada
I	Momento de inercia
$\alpha$	Aceleración Angular
W	Peso
R	Fuerza de reacción en lo rodamientos
in	Pulgadas
mm	milímetros
s	Segundos
m <sup>2</sup>	metros cuadrados
m <sup>3</sup>	metros cúbicos
hp	horse power o caballos de fuerza

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Formas típicas de los mezcladores de volteo, a) cilindro horizontal, b) de doble cono, c) cono en V, d) cono en Y.....	4
Figura 1.2 Efecto del porcentaje de carga sobre la uniformidad del activo en la mezcla. ....	6
Figura 1.3 Efecto de la velocidad de rotación sobre la UC del activo a los 10 minutos de mezclado para polvo de flujo libre y polvo cohesivo. ....	7
Figura 1.4 Resultado visual de la mezcla de materias primas para la configuración axial (Back-Front), Radial (Side-side) y uno encima de otro (Top-Bottom). ....	8
Figura 2.1. Pair-wise comparison judgments.....	13
Figura 2.2. Esquema de las posiciones angulares analizadas para la obtención del torque en el tambor de doble cono.....	18
Figura 2.3. Valores numéricos y experimentales de torque con respecto a la posición angular del tambor en forma de V. ....	19
Figura 2.4. Diagrama del tambor de doble cono.....	21
Figura 2.5. Esquema del sistema de transmisión de potencia.....	22
Figura 2.6. Valores de eficiencia para diferentes sistemas de transmisión de potencia.....	23
Figura 2.7. Figura de selección para bandas de alta capacidad.....	25
Figura 2.8. Figura de selección para bandas convencionales.....	25
Figura 2.9 Diagrama del sistema Eje principal y tambor con sus respectivas cargas..	29
Figura 2.10 Diagrama del Eje principal que contiene al engrane..	30
Figura 2.11. Cargas en engranes de dientes rectos.).....	31
Figura 3.1. Gráfica de Torque vs Posición angular.....	36
Figura 3.2. Dimensiones del tambor de doble cono..	37
Figura 3.3. A) Conos Plegados, B) Cilindro Rolado, C) Corte sobre la plancha de acero del contorno de los conos antes del plegado.....	38
Figura 3.4. A) Proceso de soldadura del cilindro, B) Proceso de soldadura del cono, C) Proceso de unión de los 2 conos y el cilindro.....	39
Figura 3.5. Extracto del catálogo WEG para motores trifásicos. ....	40
Figura 3.6. Extracto del catálogo MARTIN para selección de poleas.....	41
Figura 3.7. Fotografía de la caja reductora seleccionada.....	42

Figura 3.8. Fotografías del engrane y piñón adquiridos para el sistema..	44
Figura 3.9. Dimensiones del eje principal..	46
Figura 3.10. Valores de los factores de seguridad para los elementos que conforman la estructura de soporte..	47
Figura 3.11. Extracto del catálogo de NTN ubicando los rodamientos seleccionados.....	48
Figura 0.1. Tablero de control de la máquina..	59
Figura 0.2. Proceso de Fabricación del cono..	61
Figura 0.3. Proceso de Fabricación de la Estructura de Soporte. ....	61
Figura 0.4. Foto del Mezclador de Doble Cono terminado. ....	62
Figura 0.5. Dimensiones generales del mezclador de doble cono..	62
Figura 0.6. Dimensiones generales del tambor .....	63
Figura 0.7. Dimensiones generales de la estructura de soporte.....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Ángulos de reposos para diferentes intensidades de flujos.....	5
Tabla 2.1 Tabla Morfológica con las posibles alternativas. ....	11
Tabla 2.2 Tabla Clasificación de los criterios según el desempeño, seguridad, costos y apariencia de la máquina. ....	12
Tabla 2.3. Proceso de asignación de los pesos relativos a los grupos de desempeño, seguridad, costos y apariencia. ....	13
Tabla 2.4. Proceso de asignación de los pesos relativos para los criterios que forman parte del grupo de desempeño.....	14
Tabla 2.5. Proceso de asignación de los pesos relativos para los criterios que forman parte del grupo de Seguridad.. ....	14
Tabla 2.6. Proceso de asignación de los pesos relativos para los criterios que forman parte del grupo de Apariencia.....	14
Tabla 2.7. Proceso de asignación de los pesos relativos para los criterios que forman parte del grupo de costos .....	14
Tabla 2.8. Pesos relativos y absolutos de los 4 grupos de atributos con sus respectivos criterios.....	15
Tabla 2.9. Matriz de decisión realizada empleando el método MSM.....	16
Tabla 2.10. Elementos que conforman la Opción A.. ....	17
Tabla 2.11. Diámetro mínimo recomendado para poleas de motor.....	26
Tabla 2.12. Diferentes condiciones de reversibilidad en términos del ángulo de la hélice del sinfín.....	28
Tabla 2.13. Tipos de rodamientos y comparación de su desempeño.....	34
Tabla 3.1. Valores de los torques para cada posición angular analizada.....	37
Tabla 3.2. Variables que participan en el cálculo de la potencia del motor. ....	39
Tabla 3.3. Resultados de las potencias.....	40
Tabla 3.4. Datos para el diseño del sistema engrane-piñón.....	43
Tabla 3.5. Factores de seguridad obtenidos para el sistema engrane-piñón. ....	43
Tabla 3.6. Datos de las variables de la figura 2.10.....	44
Tabla 3.7. Datos de las variables de la ecuación 2.9.. ....	45
Tabla 3.8. Valores de los diámetros obtenidos.....	45
Tabla 3.9. Valores asignados a las variables de la ecuación 2.10. ....	48

Tabla 3.10. Resultados para el rodamiento.....	48
Tabla 3.11 Costos que representa la máquina durante el primer mes de operación para la empresa.....	49
Tabla 3.12 Ingresos mensuales que representa la máquina para la empresa. ....	49
Tabla 3.13 Resumen de los ingresos por cada mes que representa la máquina para la empresa.....	50
Tabla 3.14 Resumen de los costos de fabricación total de la máquina. ....	50

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Descripción del problema

Un nuevo laboratorio farmacéutico requiere un Mezclador de Doble Cono para poder elaborar colágeno hidrolizado. El sistema debe tener una capacidad de 100 kg y debe cumplir con los requerimientos y estándares mencionados en el informe 32 publicado por la Organización Mundial de la Salud, (SALUD, 2000) y los lineamientos mencionados en el documento emitido por el ARCSA, (ARCSA, 2016).

Con esta máquina, el laboratorio busca participar en el mercado de los productos químicos elaborados a partir de materia prima en polvo de la ciudad de Guayaquil, por lo que requiere preparar formas farmacéuticas solidas orales o polvos para reconstituir. Para que pueda cumplir con esto, necesita una máquina en la que se pueda realizar este proceso de forma óptima. Actualmente en el mercado existen mezcladores horizontales que no garantizan una buena homogenización en la mezcla de los componentes de la fórmula, por lo que el presente proyecto propone el Diseño y la Construcción de un Mezclador de Doble Cono que cumpla con las normativas y requerimientos de estos productos, garantizando su calidad de mezcla.

### 1.2 Justificación del proyecto

Las materias primas que se utilizan en la industria farmacéutica tienen el aspecto y consistencia de polvos que son en realidad un conglomerado de partículas cuyos componentes químicos sirven para la elaboración de los productos que se desea obtener. Para elaborar un medicamento, es necesario cumplir con las normas o recomendaciones técnicas que se encuentran a disposición en la FARMACOPEA de los Estados Unidos, FARMACOPEA Británica, FARMACOPEA de Europa, entre otras FARMACOPEAS, (CONVENTION, 2005), las cuales proveen los parámetros y especificaciones para los Medicamentos, incluyendo los que son elaborados a partir de materia prima en polvo. Para poder cumplir con los parámetros que se mencionan en

las FARMACOPEAS, se necesita hacer uso de métodos que garanticen una óptima culminación del proceso de obtención del producto final.

Es necesario entonces, poner en práctica nuevos métodos y procedimientos que permitan al operador realizar el mezclado de la materia prima, empleando el menor esfuerzo físico y tiempo requerido. Así mismo, se pretende evitar el contacto entre el operador y la materia prima disminuyendo así el riesgo de contaminación del producto. De esta manera se garantiza la calidad del producto que llegará al consumidor.

Además, con el Mezclador de Doble Cono para Productos Químicos en Polvo, se busca optimizar el proceso de obtención de la mezcla para el producto final, empleando menos tiempo y demandando menos esfuerzo por parte del operador. Esto va a influir de manera positiva en el accionar de la planta farmacéutica, logrando una producción nivelada y orientada a la variedad de productos.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Realizar el diseño y la construcción de un Mezclador de Doble Cono para la Elaboración de Productos Químicos en Polvo

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Realizar el diseño de forma y diseño detallado de la máquina en base a normativas como ASME, AGMA y el informe 32 de la OMS
2. Realizar el modelado del prototipo en 3D mediante software de CAD
3. Elaborar planos para la construcción de la máquina.
4. Realizar un análisis de los costos de fabricación de la máquina.
5. Realizar la construcción de la máquina
6. Realizar pruebas piloto para medir el desempeño de la máquina
7. Realizar un manual de operación para la máquina

#### 1.4 Marco teórico

La mezcla de materias primas también conocidos como principio activo y excipientes, es un proceso que tiene como objetivo conseguir una buena interposición entre 2 o más elementos de tal manera que la distribución final de los componentes sea homogénea. Actualmente es un proceso que se emplea muy a menudo en la industria de Alimentos y en la industria farmacéutica (Marisa, 2018).

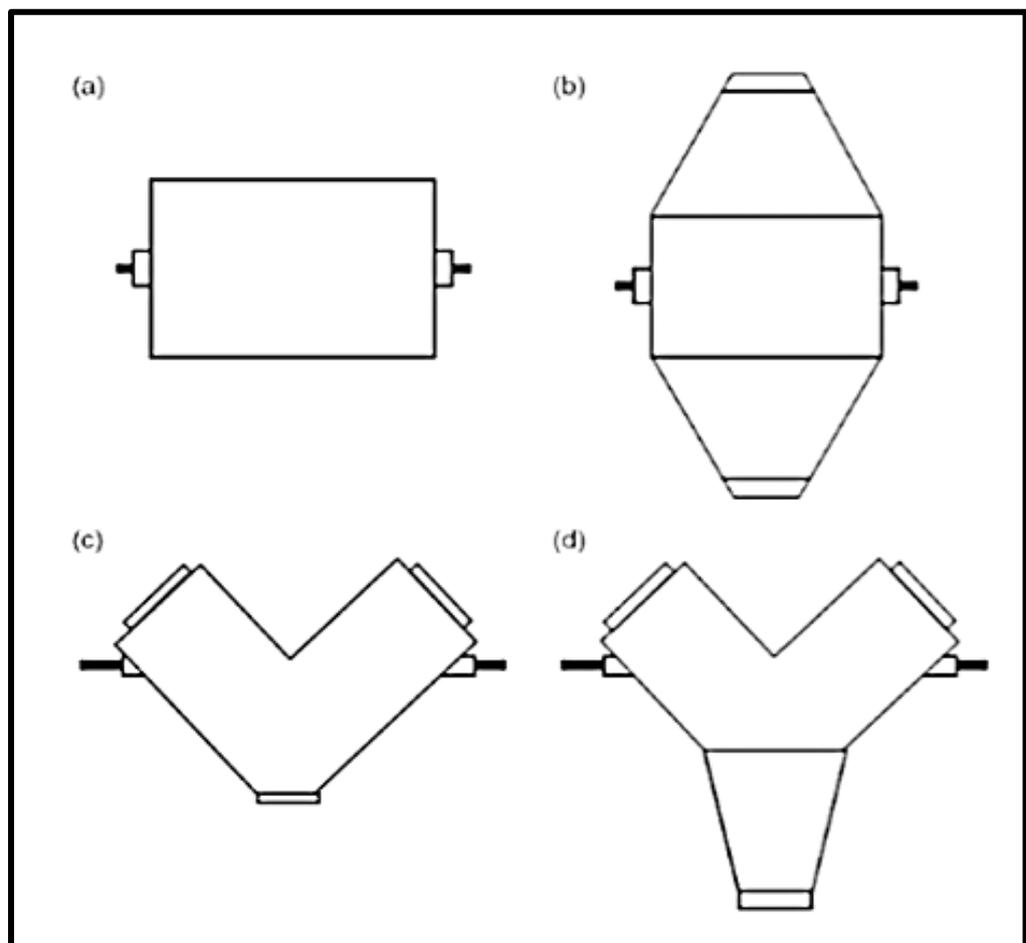
En la industria farmacéutica, se elaboran formulaciones constituidas por excipientes y principios activos con la finalidad de lograr una buena administración en dosis efectivas. En dichas formulaciones, los elementos a mezclar deben estar perfectamente homogéneos para que se pueda elaborar la forma farmacéutica (Lieberman, 1989).

Entre las variables que influyen en el mezclado, el tamaño que tiene la partícula a mezclarse tiene una participación notable, a tal punto que en algunos estudios se ha demostrado que conforme aumenta el tamaño de la partícula, el tiempo del proceso de mezclado aumenta (A.D. SMALL, 1995 ). Sin embargo, en esa investigación se consideraron partículas de tamaño 1.4, 1.7, 2.0 milímetros, mientras que el producto que se desea mezclar con la máquina que se propone en este estudio es de aproximadamente 75 $\mu$ m, por lo que los efectos del tamaño de partícula sobre el tiempo de mezclado no son relevantes. Sin embargo, la uniformidad de la mezcla dependerá de más variables como:

- La Geometría del tambor
- Condiciones de mezclado

### 1.4.1 Geometría del Tambor

La función principal del tambor es la de contener materias primas durante el proceso de mezclado. En la figura 1.1, se pueden observar las geometrías que se pueden encontrar actualmente en el mercado para mezcladoras.



**Figura 1.1 Formas típicas de los mezcladores de volteo, a) cilindro horizontal, b) de doble cono, c) cono en V, d) cono en Y. Fuente: Ortigas-Rivas (2005)**

En este estudio, la geometría del tambor está limitada a lo que requiere el cliente de la empresa, por lo tanto, la geometría del tambor será de doble cono, como se muestra en el elemento b de la figura 1.1.

Para poder realizar el dimensionamiento del tambor, se debe considerar la densidad de la materia prima y un factor de tamaño. Para este estudio se considera la densidad del Colágeno Hidrolizado, la cual se puede observar

en el certificado de análisis proporcionado por el cliente de la empresa en la sección de Apéndices. El factor de tamaño que se considerará será de 0.5, valor que permitirá dimensionar el volumen del tambor al doble del volumen de la capacidad de trabajo. Esto recomiendan algunos fabricantes, dado que en estudios científicos se ha logrado observar que en los tambores que son simétricos se forma un cuello de botella en su plano de simetría, lo que provoca que la mezcla por encima de ese plano, no se realice con eficacia (Maher Moakher, 1999). El ángulo de las caras del tambor deberá ser de tal manera que se pueda producir un flujo libre de la materia prima. Para esto, la Universidad de Antioquía (Antioquía, s.f.) recomienda los siguientes valores de ángulo de reposo para obtener diferentes tipos de flujos.

**Tabla 1.1 Ángulos de reposos para diferentes intensidades de flujos.**  
Fuente: (Antioquía, s.f.)

Ángulo de reposo (°)	Características de flujo
Mayor de 50	Sin flujo libre
30 – 50	Poco flujo
Menor de 30	Flujo fácil

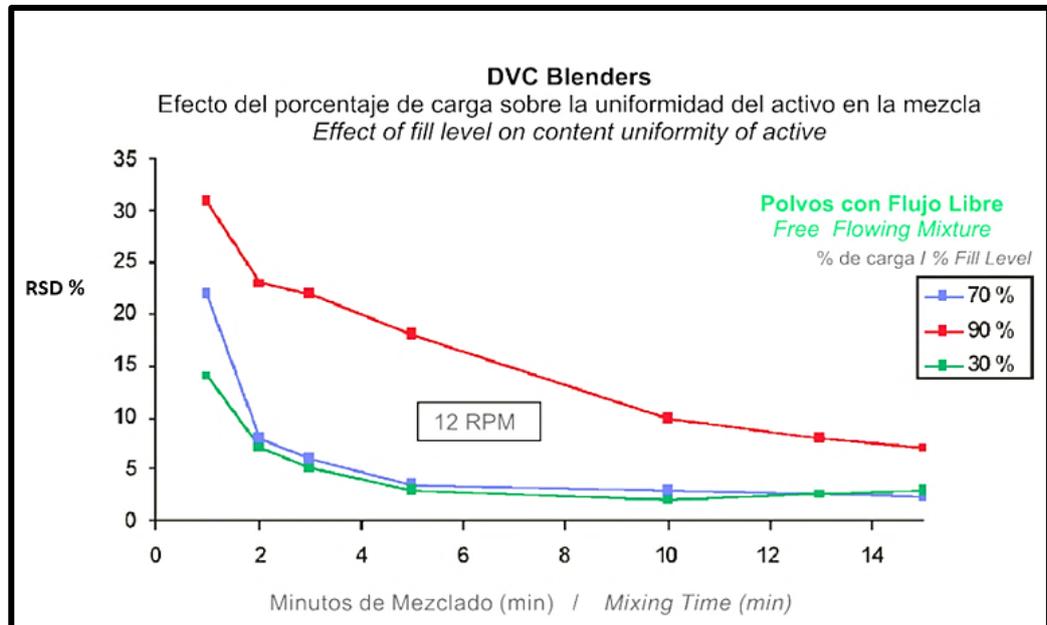
#### 1.4.2 Condiciones de Mezclado

Entre las principales condiciones de mezclado que se consideran en este estudio para el diseño de la mezcladora, tenemos:

- Nivel de llenado o carga del equipo
- Velocidad de Mezclado
- Uso de paletas en el interior del tambor
- Posición de la materia prima dentro del tambor

Para el nivel de llenado o carga del equipo, estudios realizados por un fabricante de mezcladoras de doble cono, han logrado obtener graficas RSD % vs tiempo de mezclado, donde el valor de RSD % representa la

Desviación Estándar Relativa porcentual (Comasa, 2018). Este resultado se puede observar en la figura 1.2.

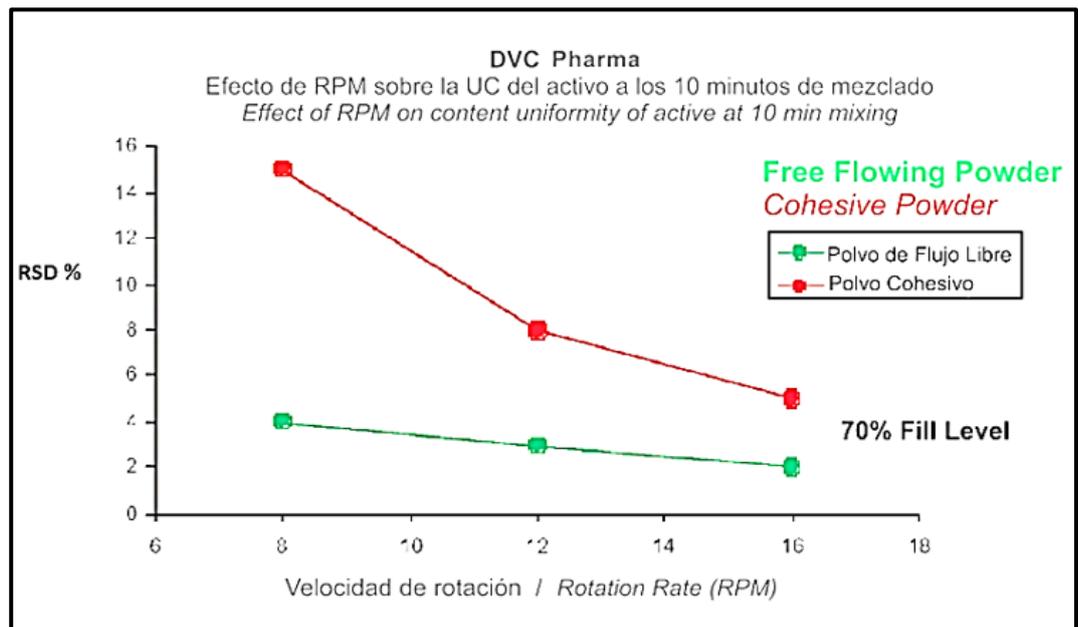


**Figura 1.2 Efecto del porcentaje de carga sobre la uniformidad del activo en la mezcla. Fuente: (Comasa, 2018)**

Según Comasa, mientras menor sea el valor del RSD %, mejor será la uniformidad de la Mezcla, por lo que, a partir de esto se puede observar que para los valores de carga del 30% y 70%, el RSD % se estabiliza en menor tiempo de mezclado que para el 90% de carga.

Para la velocidad de mezclado, es necesario conocer si el polvo de trabajo o las materias primas que participarán en el proceso son de flujo libre o cohesivos. Para el caso de estudio, la empresa proporciona la información de que el colágeno hidrolizado es un polvo de flujo libre.

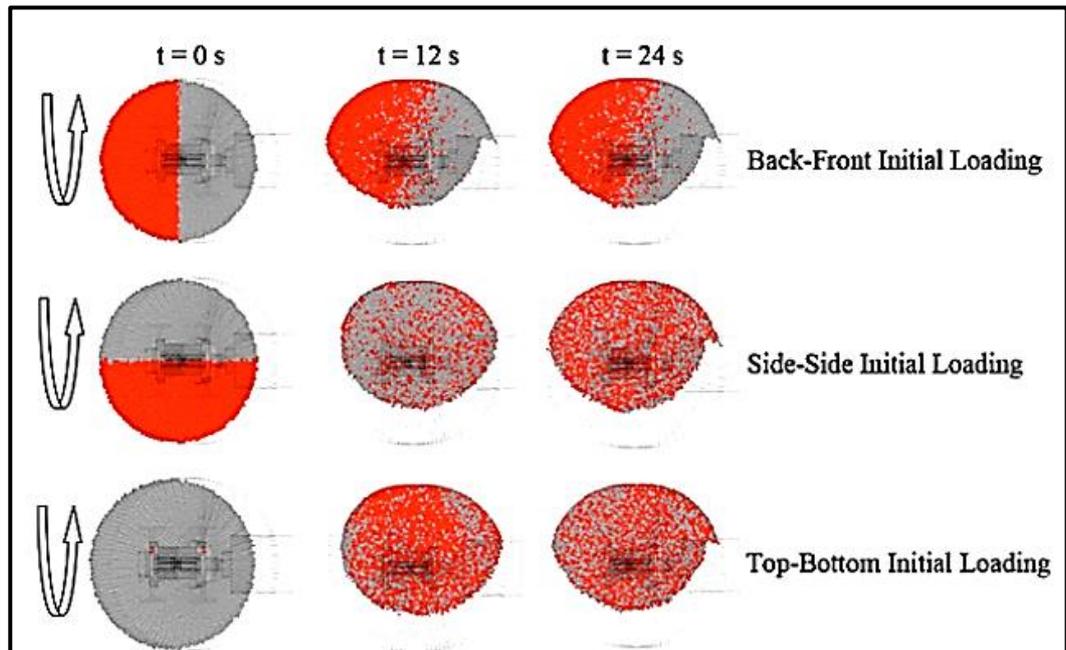
Comasa, también realizó un estudio para conocer el RSD% de la mezcla de polvos de flujo libre y polvos cohesivos, para diferentes valores de velocidad de rotación el cual se puede observar en la figura 1.3.



**Figura 1.3 Efecto de la velocidad de rotación sobre la UC del activo a los 10 minutos de mezclado para polvo de flujo libre y polvo cohesivo. Fuente: (Comasa, 2018)**

De aquí, se puede observar que para polvos de flujo libre para un tiempo de mezclado de 10 min y una velocidad de 16 rpm, 12 rpm, 8 rpm, se puede obtener un buen valor de RSD % en la mezcla.

Según estudios realizados, la forma en la que se ubican las materias primas que se desean mezclar en el interior del tambor influyen en el proceso de mezclado. Estos estudios destacan 3 posibles maneras de colocar las materias primas que se desean mezclar en el interior de la mezcladora. De manera radial, de manera axial y uno encima del otro (Meysam Alian, 2015). A continuación, en la figura 1.4 se puede apreciar el resultado de la mezcla después de cierto periodo de tiempo para las 3 configuraciones.



**Figura 1.4 Resultado visual de la mezcla de materias primas para la configuración axial (Back-Front), Radial (Side-side) y uno encima de otro (Top-Bottom). Fuente: (Meysam Alian,2015)**

En la industria, de las 3 configuraciones que se mencionaron, la que se utiliza es la de uno encima de otro. De manera visual, se puede observar que la homogenización de la mezcla es buena y en el estudio científico, se concluye que efectivamente es la mejor configuración para obtener una buena mezcla en poco tiempo de mezclado.

En cuanto al uso de paletas, un estudio científico demostró que, al hacer uso de estas, el tiempo de mezclado es menor que cuando no se usan (Dean Brone, 2000).

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Selección y Formulación de las mejores alternativas para solucionar el problema

En el capítulo 1 se definieron las variables que se tomarán a consideración para el diseño de la mezcladora, por lo que ahora se procederá a realizar el planteamiento de posibles alternativas que solucionen el problema que se plantea en este estudio y cumpla con los requerimientos y expectativas del cliente.

Para esto es necesario definir ciertos factores, atributos y características que van a influir de manera crítica en el diseño. Entre los principales factores de influencia que se considerarán para el diseño se tienen:

- **Capacidad del Sistema:** La capacidad del sistema que requiere el cliente es de 100 kg
- **Velocidad de Rotación del tambor:** Como se definió en el capítulo 1, se recomiendan velocidades entre 12 a 16 rpm.
- **Geometría del tambor:** Como se mencionó en el capítulo 1, actualmente en el mercado existen una gran cantidad de geometrías que se pueden emplear para el tambor.
- **Material del tambor:** Puesto que se procederá a emplear materia prima para aplicaciones farmacéuticas, es de suma importancia emplear acero inoxidable de grado alimenticio para la fabricación de los elementos que estarán en contacto con el producto.
- **Fabricación:** Se debe tener conocimiento de los elementos, materiales y procesos de manufactura que están a la disposición en el mercado de la ciudad de Guayaquil.
- **Costo de Fabricación:** Se debe escoger los precios más económicos al momento de comprar un elemento o realizar la fabricación de este tomando en cuenta la calidad.

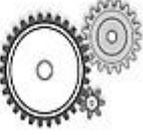
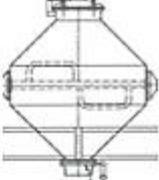
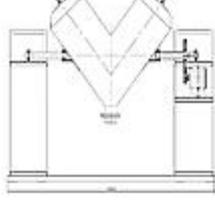
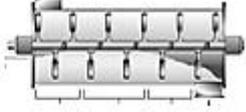
- **Tamaño:** Las dimensiones de la máquina no deben exceder las del puesto del trabajo en donde se procederá a instalar
- **Seguridad:** Durante la operación de la máquina, esta debe brindar seguridad al operador.

Tomando en cuenta estas variables y los diferentes elementos que ya existen actualmente en el mercado, se procede a elaborar una tabla morfológica con la finalidad de obtener una vista más detallada de las diferentes alternativas que pueden solucionar el problema que se plantea en este estudio. Esta herramienta nos permitirá analizar de manera visual las posibles opciones para una determinada solución. Para esto se consideran las siguientes variables y elementos:

- Geometría del tambor
- Sistema de transmisión de Potencia principal
- Motor
- Uso de paletas
- Seguridad durante la operación
- Material
- Fabricación

En la tabla 2.1 se muestra el desarrollo de las tablas morfológicas.

**Tabla 2.1 Tabla Morfológica con las posibles alternativas. Fuente: Elaboración Propia.**

Variable	Opción A	Opción B	Opción C
Geometría del Tambor	Doble cono	Forma en v	Horizontal
			
Sistema de transmisión de potencia principal	Engrane-piñón	Piñón-cadena	Banda-Polea
			
Motor	Trifásico	Trifásico	Monofásico
Uso de Paletas	Con paletas	Sin paletas	Con paletas
			
Material	Acero inoxidable 316	Acero inoxidable 316	Acero inoxidable 316
Seguridad durante la operación	Cerca de separación que cubre el área de rotación del tambor	Cerca de separación que cubre el área de rotación del tambor	No aplica
			

Para realizar la selección del mejor concepto, se procederá a evaluar las alternativas de acuerdo con las necesidades del cliente, sus fortalezas y debilidades. Para eso se empleará el método de decisión por matrices en cual consistirá en aplicar el método Weighted scoring Method o mejor conocido por sus siglas WSM, (Anil Jadhav, 2009). El método consiste en tener m

alternativas (A1, A2,...Am) con n criterios de determinación (C1, C2,.....Cn). Las alternativas son completamente caracterizadas por una matriz de decisión, del cual se obtiene el valor Mij, donde Mij es el valor que representa que tan buen desempeño tiene la alternativa Ai considerando el criterio Cj. Los pesos (W1, W2,...Wk), explican la importancia relativa de los criterios. La mejor alternativa es el que tenga el mayor puntaje. En este método, el puntaje final para la alternativa Ai se calcula usando la siguiente ecuación:

$$M(A_i) = \sum W_j * M_{ij} \quad (2.1)$$

Se procedió a clasificar los criterios en 4 grandes grupos que son Desempeño, Seguridad, costos y apariencias como se puede apreciar en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2 Tabla Clasificación de los criterios según el desempeño, seguridad, costos y apariencia de la máquina. Fuente: Elaboración propia**

	<b>Objetivo</b>
<b>1</b>	<b>Desempeño</b>
1.1	Sistema de transmisión de potencia principal
1.2	motor
1.3	Uso de paletas
<b>2</b>	<b>Seguridad</b>
2.1	Seguridad durante su operación
<b>3</b>	<b>Apariencia</b>
3.1	Geometría del tambor
3.2	Material
<b>4</b>	<b>Costos</b>
4.1	Bajo costo de producción
4.2	Bajo costo en mantenimiento
4.3	Facilidad para encontrar repuestos

Para poder asignar los pesos relativos entre las variables, procederemos a realizar las respectivas matrices para cada una de las clasificaciones que se muestran en la tabla anterior y sus respectivos criterios. En la figura 2.1, se encuentran los valores que se les asigna dependiendo de la relación que existirá entre las variables a analizar.

Judgment	Values
X is equally preferred to Y	1
X is moderately preferred over Y	3
X is strongly preferred over Y	5
X is very strongly preferred over Y	7
X is extremely preferred over Y	9
Intermediate values	2,4,6,8
Preference of Y compared to X	1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7, 1/8, 1/9

**Figura 2.1. Pair-wise comparison judgments. Fuente (Anil Jadhav, 2009)**

El primer análisis que se realiza es de los 4 grandes grupos que son desempeño, seguridad, costos y apariencia. Se procede a comparar cada uno de los grupos con respecto al otro con la finalidad de poder asignar un valor que describa que tan importante es uno sobre el otro. En la tabla 2.3 se observa la matriz en donde se describe el proceso de asignación de los pesos relativos para los 4 grandes grupos. Se puede observar que la diagonal de la matriz es igual a 1 y esto se debe a que cuando se realiza la comparación entre las mismas variables, la importancia es la misma. Finalmente se procede a sumar de manera horizontal cada uno de los valores que se obtuvieron al comparar cada grupo con los otros para poder realizar una suma de todos estos totales. El valor de peso del atributo se obtiene al dividir la suma horizontal de los valores de las relaciones entre los grupos para la suma de los totales.

**Tabla 2.3. Proceso de asignación de los pesos relativos a los grupos de desempeño, seguridad, costos y apariencia. Fuente: Elaboración Propia.**

Criterio (X-Y)	1	2	3	4	Total	Peso del Atributo (Total Relativo)
1	1,00	3,0	7	5	11,0	0,64
2	0,33	1,0	3	5	4,3	0,25
3	0,14	0,3	1	9	1,5	0,09
4	0,20	0,2	0,1	1	0,5	0,03
<b>Total</b>					17,3	1,00

En las tablas 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7, se describe el proceso de obtención de los pesos relativos y absolutos de cada uno de los criterios que conforman los 4 grandes grupos que se mencionaron en la tabla 3. Se debe repetir la misma metodología que se empleó para obtener los valores de peso relativo de la tabla 4. El valor del peso absoluto se obtiene de multiplicar el valor del peso relativo del criterio con el valor del peso relativo del grupo que se está analizando el cual se obtiene de la tabla 4.

**Tabla 2.4. Proceso de asignación de los pesos relativos para los criterios que forman parte del grupo de desempeño. Fuente: Elaboración propia**

Criterio (X-Y)	1.1	1.2	1.3	Total	Peso Relativo	Peso Absoluto
1.1	1	3	9	4	0,52	0,33
1.2	1,33	1	3	2,33	0,30	0,192
1.3	0,11	0,33	1	1,44	0,18	0,1152
Total				7,77	1	0,64

**Tabla 2.5. Proceso de asignación de los pesos relativos para los criterios que forman parte del grupo de Seguridad. Fuente: Elaboración propia.**

Criterio (X-Y)	2.1	Total	Peso Relativo	Peso Absoluto
2.1	1	1	1	0,25
Total		1	1	0,25

**Tabla 2.6. Proceso de asignación de los pesos relativos para los criterios que forman parte del grupo de Apariencia. Fuente: Elaboración propia.**

Criterio (X-Y)	3.1	3.2	Total	Peso Relativo	Peso Absoluto
3.1	1	0,3	1,33	0,25	0,02
3.2	3	1	4	0,75	0,06
Total			5,33	1	0,09

**Tabla 2.7. Proceso de asignación de los pesos relativos para los criterios que forman parte del grupo de costos. Fuente: Elaboración propia.**

Criterio (X-Y)	4.1	4.2	4.3	Total	Peso Relativo	Peso Absoluto
4.1	1	7	4	12	0,71	0,0213
4.2	0,14	1	2	3,14	0,2	0,006
4.3	0,25	0,5	1	1,75	0,1	0,003
Total				16,89	1	0,03

Una vez finalizado este proceso, los pesos relativos y absolutos asignados para cada grupo y para cada criterio se muestran en la tabla 2.8.

**Tabla 2.8. Pesos relativos y absolutos de los 4 grupos de atributos con sus respectivos criterios. Fuente: Elaboración propia.**

	<b>Objetivo</b>	<b>Pesos</b>
<b>1</b>	<b>Desempeño</b>	<b>0,64</b>
1.1	Sistema de transmisión de potencia principal	0,33
1.2	motor	0,192
1.3	Uso de paletas	0,1152
<b>2</b>	<b>Seguridad</b>	<b>0,25</b>
2.1	Seguridad durante su operación	0,25
<b>3</b>	<b>Apariencia</b>	<b>0,09</b>
3.1	Geometría del tambor	0,02
3.2	Material	0,06
<b>4</b>	<b>Costos</b>	<b>0,03</b>
4.1	Bajo costo de producción	0,0213
4.2	Bajo costo en mantenimiento	0,006
4.3	Facilidad para encontrar repuestos	0,003

A continuación, se realiza una matriz de decisión a partir de los valores obtenidos por el método MSM, la cual se muestra en la tabla 2.9, con el objetivo de seleccionar la alternativa que presente un mayor puntaje global. En el puntaje que se le asigna a cada variable (p), se emplearon valores de 0 al 4, siendo el valor de 0 no satisface, 1 aceptable, 2 suficiente, 3 bueno y 4 satisface.

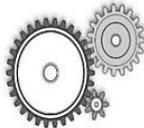
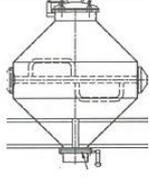
**Tabla 2.9. Matriz de decisión realizada empleando el método MSM. Fuente: Elaboración Propia**

Alternativas de Solución			Solución A		Solución B		Solución C	
No.	Criterios de Evaluación	Peso en el Diseño (w)	Puntaje Asignado (p)	w*p	Puntaje Asignado (p)	w*p	Puntaje Asignado (p)	w*p
1.1	Sistema de transmisión de potencia principal	0,33	3	0,99	3	0,99	3	0,99
1.2	Motor	0,192	3	0,576	3	0,576	0	0
1.3	Uso de paletas	0,1152	4	0,4608	0	0	3	0,3456
2.1	Seguridad durante la operación	0,25	3	0,75	3	0,75	4	1
3.1	Geometría del tambor	0,02	4	0,08	0	0	0	0
3.2	Material	0,06	4	0,24	4	0,24	4	0,24
4.1	Bajo costo de Producción	0,0213	2	0,0426	2	0,0426	2	0,0426
4.2	Bajo costo en Mantenimiento	0,006	2	0,012	2	0,012	2	0,012
4.3	Facilidad para encontrar repuestos	0,003	2	0,006	2	0,006	2	0,006
	Total	1		3,1574		2,6166		2,6362

De este resultado se observa que la alternativa que mayor puntaje presenta y, por lo tanto, la mejor para poder solucionar el problema que se plantea en este estudio, es la alternativa A.

Los principales elementos que conforman esta alternativa se pueden apreciar en la tabla 2.10.

**Tabla 2.10. Elementos que conforman la Opción A. Fuente: Elaboración Propia.**

OPCIÓN A					
Geometría del tambor	Sistema de transmisión de potencia principal	Motor	Uso de paletas	Material	Seguridad durante la operación
		Trifásico		Acero inoxidable 316	

Es posible dividir los elementos de la máquina en grandes grupos, para poder facilitar la comprensión y el desarrollo de modelos matemáticos que permitan realizar el dimensionamiento de los mismo.

Para este estudio se considerarán los siguientes grupos:

- Tambor
- Sistema de transmisión de Potencia
- Estructura de Soporte
- Eje principal

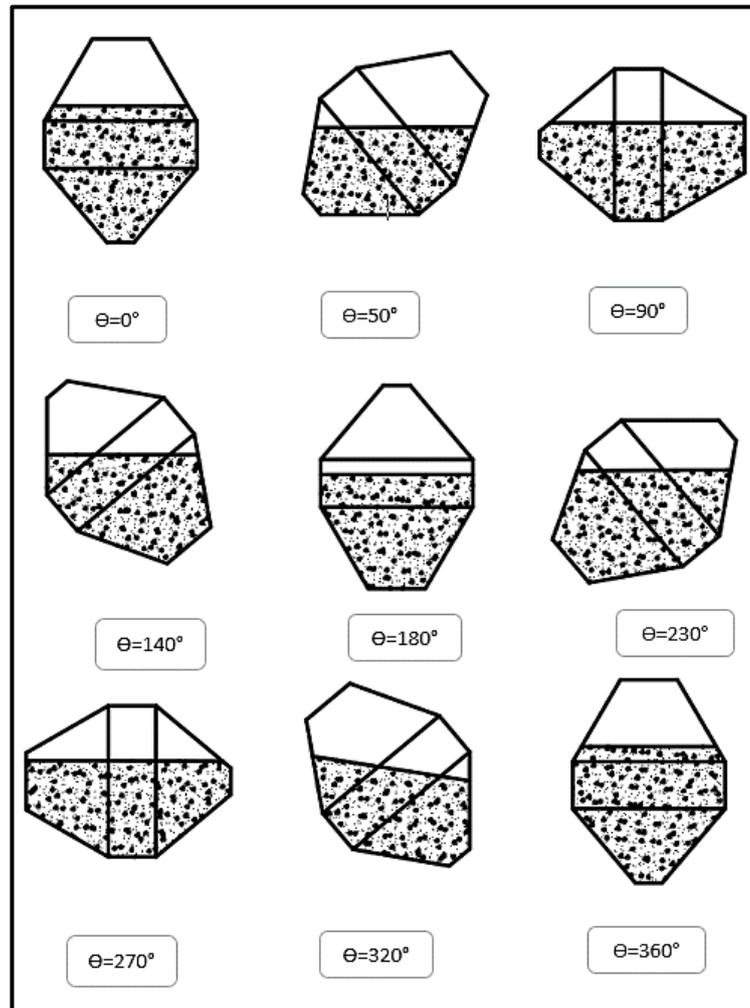
Previo a realizar el análisis de cada uno de estos grupos, es de suma importancia calcular o definir las fuerzas principales que actuarán en el sistema.

Debido a que el sistema giratorio tendrá una masa producto de la materia prima en polvo, esta producirá un torque, el cual variará dependiendo en la posición en la que se encuentre el tambor del sistema. En la sección 2.2, se describirá la metodología para poder obtener el torque del sistema.

## 2.2 Obtención del torque que actúa sobre el sistema.

Se analizarán 9 posiciones angulares del tambor en donde se procederá a calcular en cada posición el torque que se produce debido a una carga de materia prima de 140 kg. Con esto se espera obtener un comportamiento aproximado del torque que actúa sobre el tambor producto de la masa de la materia prima en polvo. Para el intervalo de 0° a 90°, procederemos a calcular

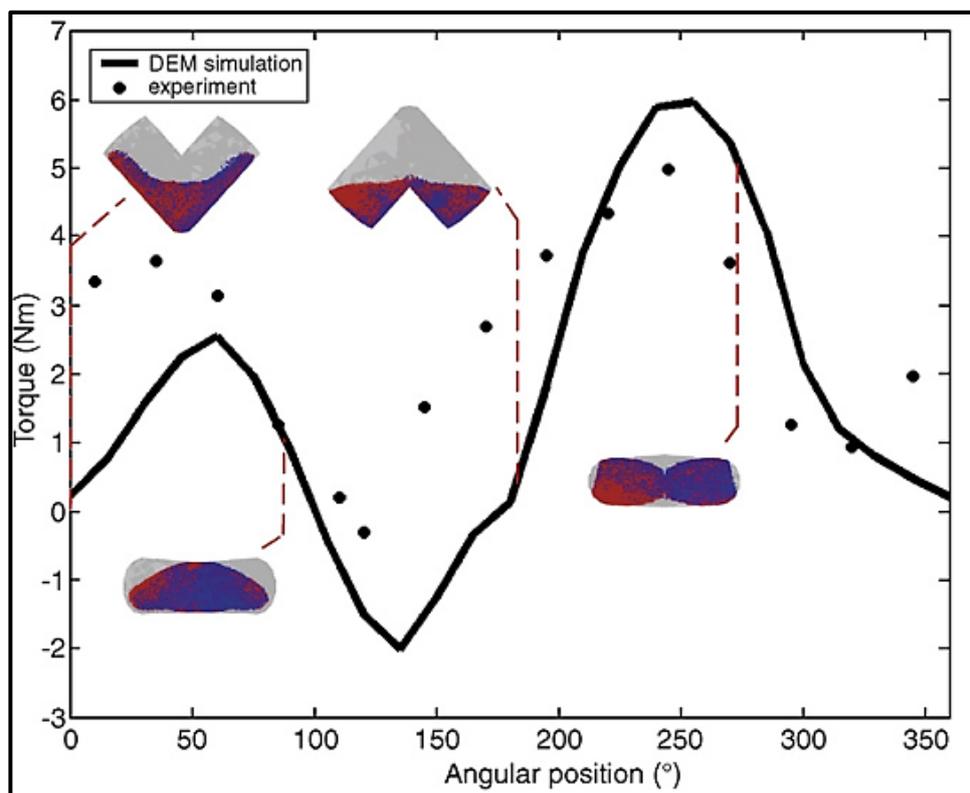
el torque que se produce en el sistema debido a la inercia, ya que se asume que el sistema parte del reposo. En la figura 2.2, se muestra un esquema de las posiciones angulares analizadas con la distribución de masa aproximada de la materia prima que se empleará para el cálculo del torque.



**Figura 2.2. Esquema de las posiciones angulares analizadas para la obtención del torque en el tambor de doble cono. Fuente: Elaboración propia.**

Para cada una de estas aproximaciones de la posición de la masa, se procedió a obtener el centro de masa haciendo uso de software CAD con la finalidad de poder calcular el torque. Para los casos de la posición de  $180^\circ$  y  $360^\circ$ , en donde el ángulo entre la fuerza y el vector de posición es  $0$  o  $180^\circ$  se procedió a obtener el valor a partir de la línea de tendencia de la gráfica obtenida mediante otros puntos de interés.

Este no es el primer análisis que se realiza para este tipo de sistemas. Actualmente existen estudios científicos en los cuales se ha obtenido el torque en sistemas donde se emplea un tambor en forma de V empleando softwares que usan el método de elementos discretos o mejor conocido por sus siglas DEM, (M. Lemieux, Large-scale numerical investigation of solids mixing in a V-blender using the discrete element method, 2008). De este estudio, los autores obtienen una gráfica de torque vs posición angular del tambor. Con el análisis que se busca realizar, se espera obtener una gráfica similar al que se propone en este estudio científico. En la figura 2.3, se muestra la gráfica que se obtuvo en este estudio.



**Figura 2.3. Valores numéricos y experimentales de torque con respecto a la posición angular del tambor en forma de V. Fuente: (M. Lemieux, Large-scale numerical investigation of solids mixing in a V-blender using the discrete element method, 2008)**

### 2.3 Dimensionamiento del tambor.

Como se mencionó en el capítulo 1, para poder realizar el dimensionamiento del tambor, se debe considerar la densidad del producto a mezclar, la capacidad del sistema, ángulo de reposo y un factor de tamaño.

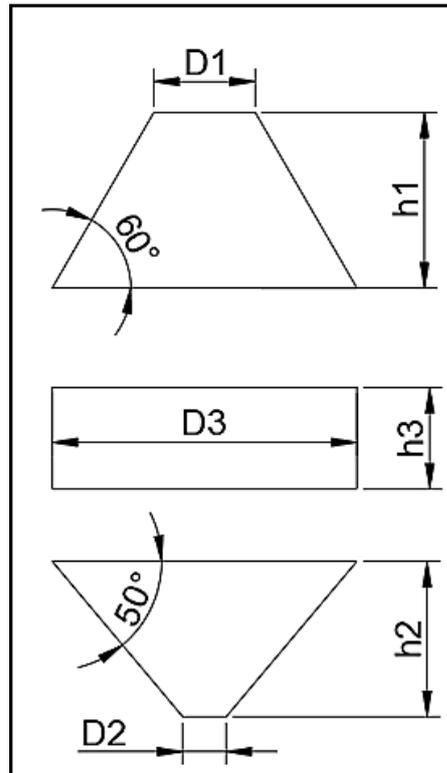
A partir de la densidad del producto que se desea preparar, la capacidad en masa del sistema y el factor de tamaño es posible obtener el volumen del sistema mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{m}{\rho} * \frac{1}{ft} \quad (2.1)$$

Donde m representa la masa, la cual será la capacidad de 100 kg,  $\rho$  representa la densidad del colágeno hidrolizado la cual se puede obtener de la ficha técnica en la sección de apéndices y ft es el factor de tamaño de 0,5 del cual se habló en el capítulo 1.

Es posible dividir el tambor de doble cono en 3 volúmenes de cuerpos geométricos conocidos, por ejemplo, en 2 conos truncados y un cilindro, en donde el ángulo de la cara de los conos truncados deberá recibir un valor que permita un flujo libre de la materia prima durante la operación.

Para el valor del ángulo de las caras de los conos truncados, también se consideró el tomar como referencia valores de tambores de doble cono que existen actualmente en la industria. En la figura 2.4, se muestra un esquema de los 3 volúmenes mencionados formando el tambor de doble cono.

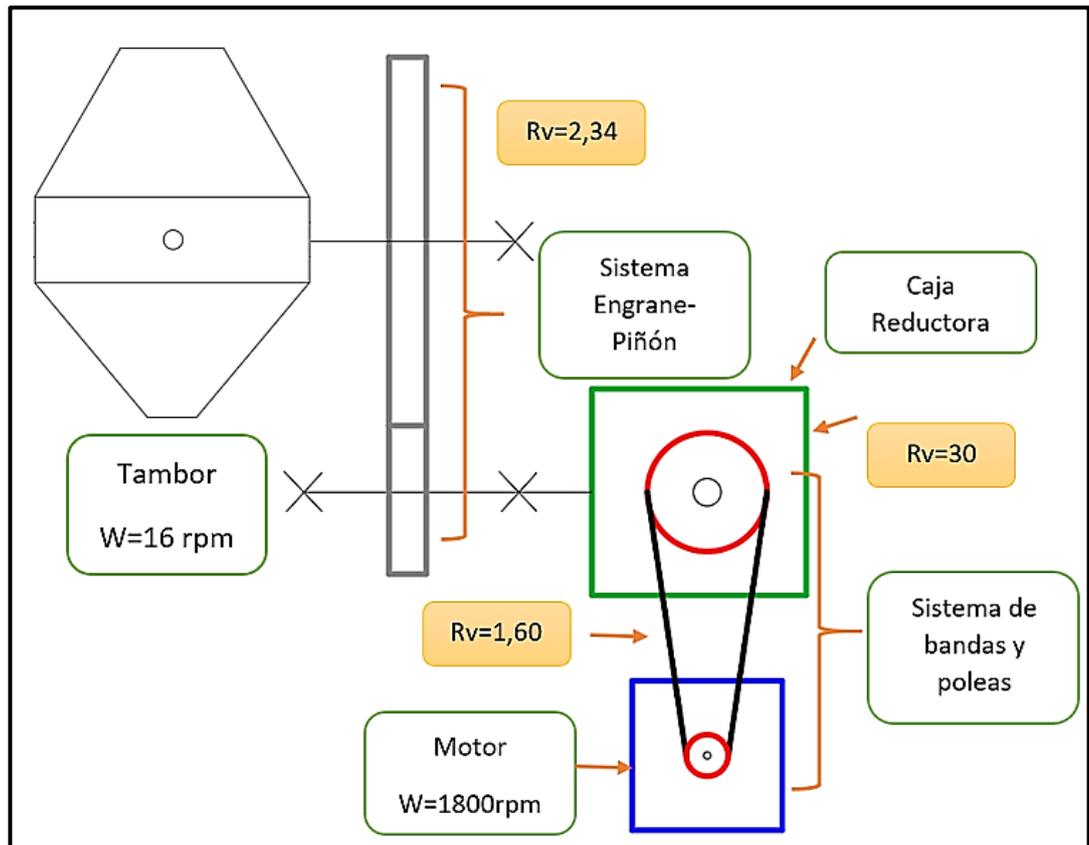


**Figura 2.4. Diagrama del tambor de doble cono. Fuente: Elaboración propia.**

El espesor de las planchas para elaborar el tambor debe ser de 3 mm, ya que se debe realizar un pulido en la cara exterior y la cara interior en donde se busca desbastar medio milímetro de cada cara para darle un acabado brillante. Finalmente se espera tener un espesor de mínimo 2 milímetros, valor adecuado con la finalidad de obtener un buen cordón de soldadura.

## **2.4 Sistema de transmisión de Potencia**

Para que el sistema pueda efectuar la acción giratoria, es necesario entregar una cierta potencia y velocidad al tambor para que este pueda girar. Para eso se hará uso de un sistema de transmisión de potencia, el cual contará con un motor trifásico, bandas y poleas, caja reductora y un sistema engrane-piñón. El sistema engrane-piñón tendrá dientes rectos. Los elementos estarán distribuidos como se muestra en la figura 2.5.



**Figura 2.5. Esquema del sistema de transmisión de potencia. Fuente: Elaboración propia.**

Con este sistema de transmisión, se busca:

- Entregar la potencia necesaria al eje principal de la máquina para que pueda realizar la acción de volteo.
- Reducir la velocidad del motor a la velocidad de trabajo que se requiere. En la figura 8 se muestran las relaciones de velocidad para cada uno de los sistemas de transmisión. Con esto se busca que para una entrada de 1800rpm se obtenga 16 rpm en el eje principal.
- Amortiguar y reducir los efectos del torque negativo que se produce en el sistema.

#### 2.4.1 Selección del motor.

Para seleccionar el motor, se debe conocer la Potencia que se debe entregar al eje principal para que pueda realizar la operación de volteo, la

potencia para poder vencer la inercia del tambor y la eficiencia de cada uno de los sistemas de transmisión. La velocidad de rotación del eje del motor puede ser de 1800 y 3600 rpm. De estos 2 valores que son los más comunes de encontrar en el mercado, se seleccionara uno con velocidad de rotación del eje de 1800 rpm. La potencia del motor, será posible obtenerla mediante la siguiente ecuación:

$$Pot = \frac{Pot\ eje}{\eta_{engranes} * \eta_{Reductor} * \eta_{Bandas} * \eta_{Motor}} \quad (2.2)$$

La eficiencia de algunos de los sistemas de transmisión se puede observar en la figura 2.6, la cual se obtuvo del libro de Diseño de Máquinas de la Universidad Pontificia Bolivariana, (Andrés Castaño Posada, 2004).

TRANSMISIÓN	EFICIENCIA	CAUSA PÉRDIDA	POTENCIA
Ejes	98% - 100%	Fricción En Cojinetes, Elasticidad Torsional	
Bandas en "V"	75% - 90% (Vel 6000 fpm)	Fricción, Deslizamiento Entre Banda Y Polea	
Bandas Dentadas	92% - 98% (Vel 4 m s /)	Fricción En Cojinetes	
Cadenas De Rodillos	95% - 98% (Vel 520 fpm)	Fricción, Vibración, Desgaste Por Impacto	
Engranajes	85% - 90% (Vel 300 m s /)	Fricción, Deslizamiento, Vibración	

**Figura 2.6. Valores de eficiencia para diferentes sistemas de transmisión de potencia. Fuente: (Andrés Castaño Posada, 2004).**

La eficiencia de un motor eléctrico marca WEG es de 82,5% y la eficiencia de una caja reductora es del 60% al 80%. Estos valores se obtuvieron de catálogos, los cuales serán explicados en las siguientes secciones.

A esta potencia también se le debe agregar la potencia necesaria para poder sacar el sistema de reposo. Para eso se considerará el torque necesario para vencer la inercia del sistema asumiendo que el motor eléctrico alcanzará su velocidad nominal en 2 segundos. El torque para vencer la inercia se obtendrá mediante la siguiente ecuación:

$$\Sigma T = I * \alpha \quad (2.3)$$

Donde I representa la inercia del tambor cargado un 70% de su capacidad y la cual se obtendrá haciendo uso de softwares CAD,  $\alpha$  representa el valor de la aceleración angular el cual se obtendrá dividiendo la rapidez angular para el tiempo en que el motor tarda en alcanzar su velocidad nominal.

#### **2.4.2 Selección del Sistema de Bandas y Poleas.**

Para la selección de bandas y poleas, se usará la metodología proporcionada por la empresa que se dedica a fabricar poleas MARTIN, la cual se encuentra disponible en su catálogo, (MARTIN, 2018). En dicho catálogo se explica paso a paso el proceso de selección de Bandas y Poleas para diferentes tipos de secciones. A continuación, se detalla el procedimiento que se debe seguir.

1. Determinar la potencia de diseño.

Esta potencia se obtendrá mediante la siguiente ecuación.

$$Pot \ de \ Diseño = Pot \ de \ la \ unidad \ motriz \ x \ Fs \quad (2.4)$$

Donde, FS representa un factor de servicio el cual se puede obtener de la tabla 1 de la página D-43 del catálogo.

2. Determinar la sección de banda de su preferencia.

Esta selección se puede realizar empleando las figuras 2.7 y 2.8.

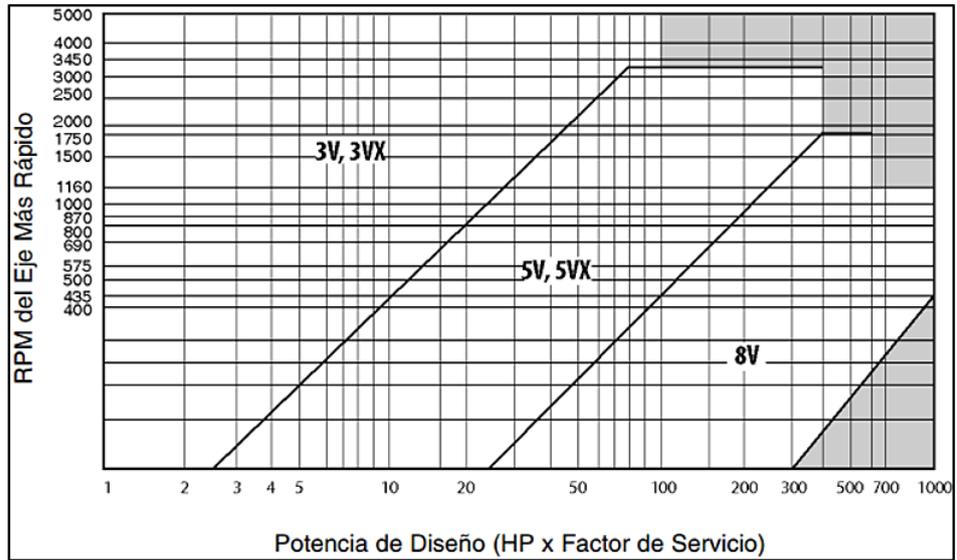


Figura 2.7. Figura de selección para bandas de alta capacidad. Fuente: (MARTIN, 2018).

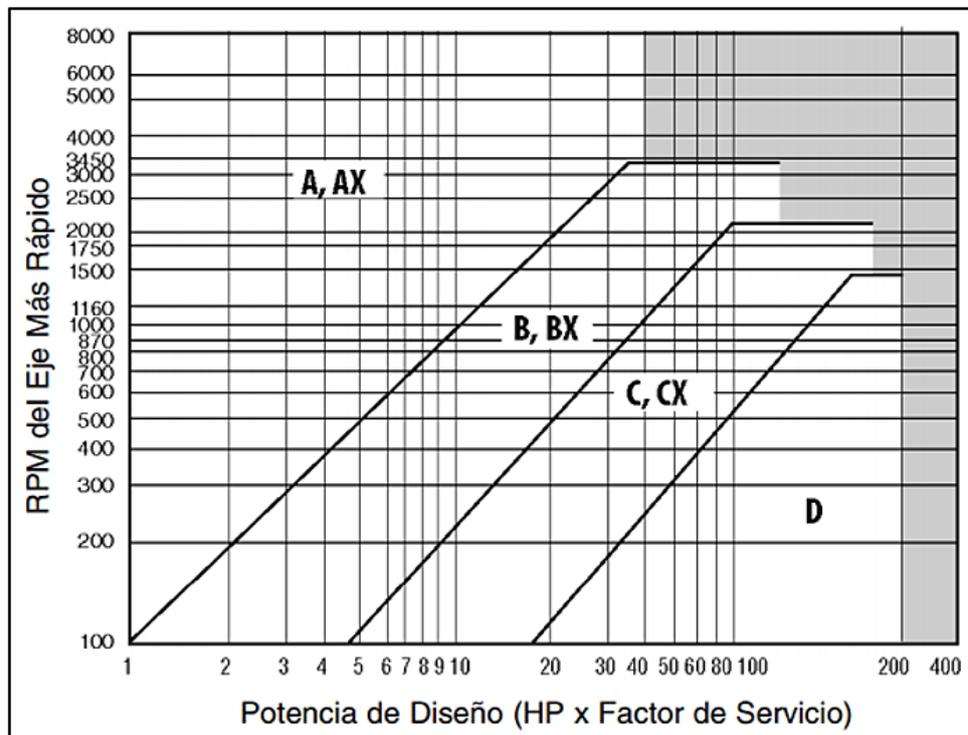


Figura 2.8. Figura de selección para bandas convencionales. Fuente: (MARTIN,2018).

Con estas figuras, usando la Potencia de Diseño que se calculará mediante la ecuación 2.4 y la velocidad de rotación del eje más rápido, es posible seleccionar esta sección.

3. Revisar el diámetro mínimo de la polea motriz.

A partir de la tabla 2.11, con la potencia del motor en Hp y los rpm del motor, es posible seleccionar el diámetro mínimo de la polea motriz.

**Tabla 2.11. Diámetro mínimo recomendado para poleas de motor. Fuente (MARTIN,2018)**

POTENCIA DEL MOTOR HP	RPM DEL MOTOR					
	575	695	870	1160	1750	3450
.50	2.50	2.50	2.50	—	—	—
.75	3.00	2.50	2.50	2.50	—	—
1.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25	—
1.50	3.00	3.00	3.00	2.50	2.50	2.25
2.00	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50	2.50
3.00	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50	2.50
5.00	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00	2.50
7.50	4.25	4.50	4.50	3.75	3.00	3.00
10.00	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75	3.00
15.00	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50	3.75
20.00	8.25	6.75	6.00	5.25	4.50	4.50
25.00	9.00	8.25	6.75	6.00	4.50	4.50*
* 30.00	10.00	9.00	6.75	6.75	5.25	—
40.00	10.00	10.00	8.25	6.75	6.00	—
50.00	11.00	10.00	9.00	8.25	6.75	—
60.00	12.00	11.00	10.00	9.00	7.50	—
75.00	14.00	13.00	10.00	10.00	9.00	—
100.00	18.00	15.00	13.00	13.00	10.00	—
125.00	20.00	18.00	15.00	13.00	11.00	—
150.00	22.00	20.00	18.00	13.00	—	—
200.00	22.00	22.00	22.00	—	—	—
250.00	22.00	22.00	—	—	—	—
300.00	27.00	27.00	—	—	—	—

#### 4. Selección de la transmisión

Para la selección de la transmisión, se debe ir a las tablas que se encuentran a partir de la página D-48 del catálogo. En dichas tablas, se debe buscar la tabla que corresponde a la sección de la banda que se seleccionó en el paso 2 y luego se debe encontrar la columna que corresponde a la velocidad de unidad motriz. En la columna de la velocidad de la unidad motriz, se debe encontrar la velocidad de la unidad impulsada y en la misma columna se encontrará la Potencia por banda. Luego de esto, se debe leer la columna de la extrema izquierda sobre el mismo renglón, hasta encontrar la combinación de poleas, asegurándose que el diámetro de la polea motriz sea mayor o igual al diámetro mínimo que se obtuvo en el paso 3.

Finalmente, hacia la derecha se debe leer la distancia entre centros que más se acerca a la aplicación, lo que permitirá seleccionar la longitud de la banda.

#### 5. Determinar el número de bandas requeridas

Para determinar el número de bandas para el sistema, se debe emplear la siguiente ecuación.

$$No. de Bandas = \frac{Pot de Diseño}{Pot Corregida por Banda} \quad (2.5)$$

Donde la Potencia corregida por banda se obtiene mediante la siguiente ecuación.

$$Pot. corregia por Banda = Pot por Banda \times Fc \quad (2.6)$$

La potencia por banda se obtiene del paso 4 y  $F_c$  corresponde al factor de corrección por longitud y arco, el cual se encuentra en la parte inferior de la columna de donde se obtuvo la distancia entre centros.

### 2.4.3 Selección de Caja Reductora.

Para la selección de la caja reductora, se usará el catálogo proporcionado por la empresa CHENTA, (CHENTA, 2018). En la cual, con variables como la potencia de entrada, torque de entrada, relación de velocidad, entre otras, será posible realizar la selección de una caja reductora que satisfaga el Sistema. Es de suma importancia considerar que la caja reductora no permita que el eje lento se mueva producto de la fuerza producida por la carga de la materia prima, para que al momento de que se produzca el torque negativo, el sistema no tienda a aumentar su velocidad de giro. Para que esto se cumpla, se debe seleccionar un tipo de caja reductora que sea estáticamente irreversible de manera que solo será posible generar movimiento en la caja reductora desde el eje que gira a mayores revoluciones. De los tipos de cajas que existen en la actualidad, el tipo

sinfín-corona, cumple con esta condición, debido al ángulo que posee la hélice del sinfín. En la información proporcionada por el catálogo de la empresa REM (REM, 2018), se puede observar en la tabla 2.12, los valores del ángulo de la hélice del sinfín para que se cumpla ciertas condiciones de reversibilidad estática.

**Tabla 2.12. Diferentes condiciones de reversibilidad en términos del ángulo de la hélice del sinfín.**

	Irreversibilidad	
	dinámica	estática
$\beta > 20^\circ$	Reversibilidad total	
$10^\circ < \beta < 20^\circ$	Alta reversibilidad dinámica	Reversibilidad casi total - Retorno rápido
$8^\circ < \beta < 10^\circ$	Alta reversibilidad dinámica Baja irreversibilidad	Retorno rápido
$5^\circ < \beta < 8^\circ$	Baja reversibilidad dinámica, pero fácilmente reversible en caso de vibraciones	Buena reversibilidad y bajo autobloqueo
$3^\circ < \beta < 5^\circ$	Baja reversibilidad dinámica y buena irreversibilidad	Muy baja reversibilidad y buena irreversibilidad
$1^\circ < \beta < 3^\circ$	Irreversibilidad total	

Además, de la información que proporciona la empresa Chenta a partir de su catálogo, para los reductores de tipo sinfín corona, la empresa menciona que la entrada solida del reductor es por el eje que gira a mayor velocidad.

#### 2.4.4 Diseño del sistema Engrane-Piñón de dientes Rectos

Para el diseño del sistema de Engrane-Piñón, se usará la metodología proporcionada por AGMA, la cual recomienda diseñar el engrane y el piñón en base a 2 teorías de falla:

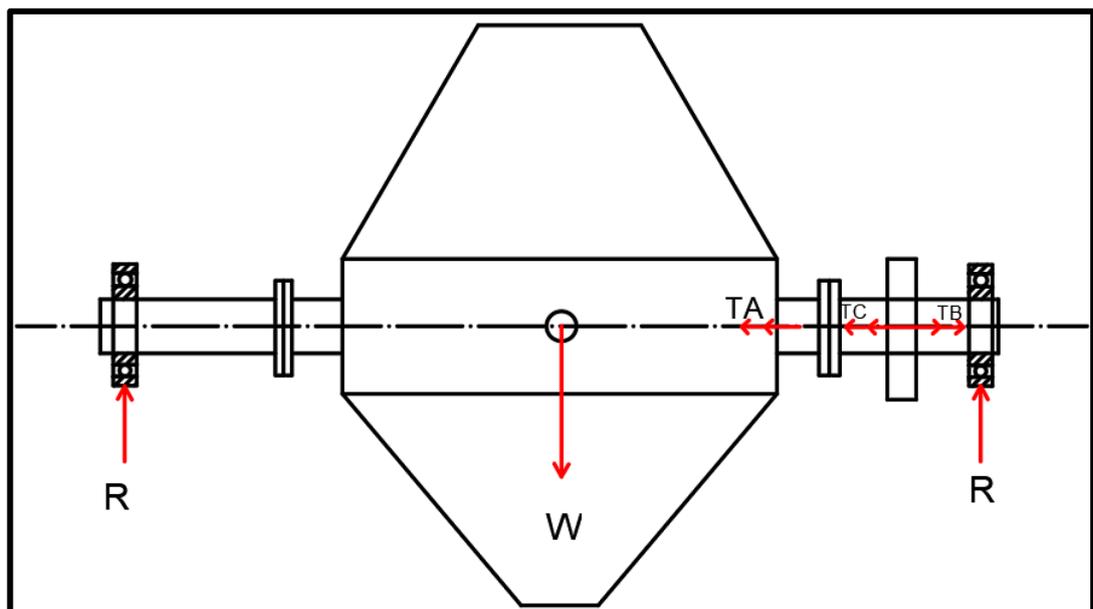
- Diseño por Fatiga-Flexión
- Diseño por fatiga Superficial

También existe la posibilidad de comprar piñones ya fabricados, por lo que, si se presenta este caso, el proceso que se realizaría es de validar el engrane y el piñón para asegurarnos de que estos no fallarán por Fatiga-Flexión o Fatiga Superficial.

En el siguiente manual para diseño de engranes, se explica la metodología que se empleará en este estudio para el diseño o validación de engranes. (Stokes, 1992)

## 2.5 Diseño del eje principal

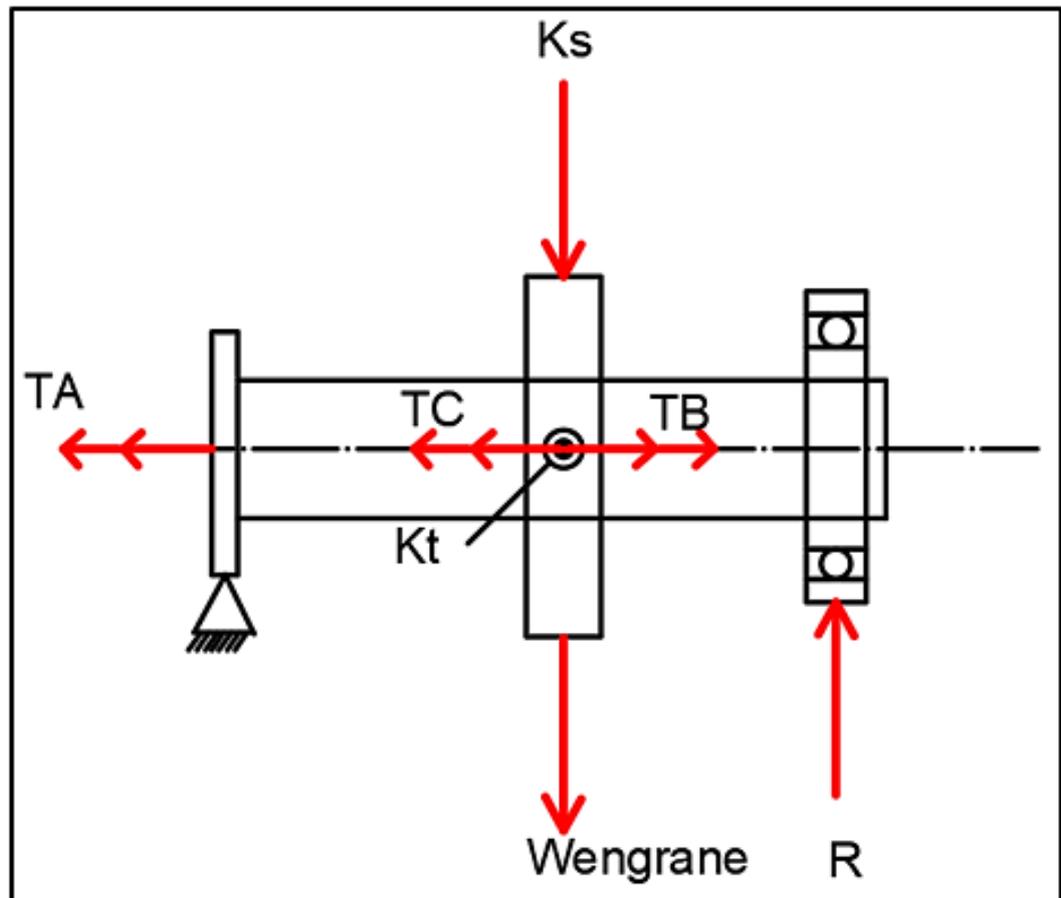
Para el dimensionamiento del eje, se procederá a realizar un análisis Estático y un análisis a Fatiga, tomando como referencia el manual para diseño de ejes y árboles de la Universidad Industrial de Santander, (ENOC ARENAS MANCILLA, 2012). El diagrama del sistema completo se muestra a continuación en la Figura 2.9.



**Figura 2.9 Diagrama del sistema Eje principal y tambor con sus respectivas cargas. Fuente: Elaboración propia.**

Donde,  $W$  representa el peso del tambor junto con el peso que produce una masa de 140 kg, valor que representa el sistema cuando está cargado en un 70% de su capacidad como se mencionó en el capítulo 1. A partir de este modelo matemático, se espera obtener las reacciones sobre los rodamientos, las cuales están representadas por  $R$ . Dicho valor de la reacción  $R$ , cuando se realice el análisis a fatiga, se asumirá como una fuerza variable reversible, dado a que al eje que se le hará el análisis estará girando.

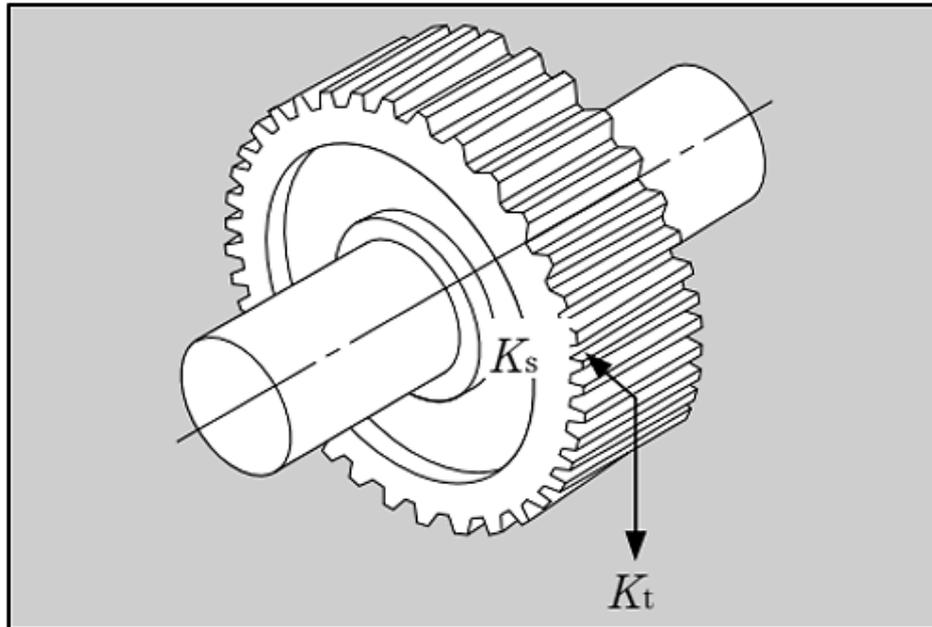
Una vez obtenida el valor de la reacción sobre los puntos de apoyo, se procederá a realizar el respectivo análisis estático y análisis a Fatiga para determinar el diámetro del eje principal, para lo cual se empleará el diagrama que se muestra en la figura 2.10.



**Figura 2.10 Diagrama del Eje principal que contiene al engrane. Fuente: Elaboración Propia.**

Donde, TA representa el torque que producirá la materia prima durante la mezcla en el tambor, el cuál será variable y se obtendrá empleando la metodología de la sección 2.2, TC representa el torque que se produce debido a la carga tangencial que se produce en los dientes rectos del engrane, TB representa el torque que produce el motor para compensar el torque variable que produce la materia prima durante la mezcla, Ks representa la carga radial que se produce sobre los dientes del engrane, Kt representa la carga tangencial que se produce sobre los dientes del engrane y R representa la

reacción que se obtuvo empleando el diagrama de la figura 2.9. Las fuerzas  $K_s$  y  $K_t$  que actúan sobre los dientes del engrane de dientes recto, se pueden observar mejor en la figura 2.11, la cual se obtuvo del catálogo de rodamientos de bolas y rodillos de la empresa NTN, (NTN Corporation, 2018) .



**Figura 2.11. Cargas en engranes de dientes rectos. Fuente: (NTN Corporation, 2018)**

En este catálogo, se describen ecuaciones que permiten calcular las cargas que produce el engrane de diente recto sobre el eje principal. La carga  $K_t$  se obtendrá mediante la siguiente ecuación.

$$K_t = \frac{19.1 \times 10^6 \times H}{D_p \times n} \quad (2.7)$$

Donde:

$H$  [kw]: es la potencia que transmite el engrane hacia al eje. Sus unidades son kilo watts.

$D_p$  [mm]: Representa el diámetro de paso del engrane en milímetros.

$n$  [rpm]: Representa la velocidad de rotación del engrane.

De igual forma, la carga  $K_s$  se obtendrá mediante la siguiente ecuación.

$$K_s = K_t * \tan(\gamma) \quad (2.8)$$

Donde el valor de  $\gamma$  representa el ángulo de presión del engrane.

El diagrama de la figura 2.10 representa el diagrama del eje que contendrá al sistema de transmisión de potencia principal, dado que, de los 2 ejes que sostienen al tambor, este será el más crítico.

El diámetro del eje se obtendrá empleando a siguiente ecuación, la cual se obtiene a partir de la teoría de falla a fatiga de Goodman y cuando los esfuerzos de torsión y flexión que se aplican sobre el eje son fluctuantes.

$$d = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[ \frac{\sqrt{(k_f M_a)^2 + \frac{3}{4}(k_{fs} T_a)^2}}{S_f} + \frac{\sqrt{(k_{fm} M_m)^2 + \frac{3}{4}(k_{fsm} T_m)^2}}{S_{ut}} \right] \right\}^{\frac{1}{3}} \quad (2.9)$$

Donde:

$N_f$  = Representa el factor de seguridad a fatiga

$k_f, k_{fs}, k_{fsm}, k_m$  = Son factores de concentración para fatiga

$M_a, T_a$  = Representan los valores de amplitud del momento y torque variables del sistema

$M_m, T_m$  = Representan los valores medios del momento y torque variables del sistema

$S_f$  = Representa la resistencia a la fatiga

$S_{ut}$  = Representa el esfuerzo último a la tensión

## 2.6 Diseño de la Estructura de Soporte

La estructura de Soporte tendrá la función de soportar cada uno de los elementos que participan en el sistema por lo que es de suma importancia emplear vigas de secciones importadas en lugar de emplear vigas que se doblan nacionalmente. Esto debido a que, las importadas son mucho más rígidas y presentar una mayor resistencia que las dobladas.

Para la selección de las secciones y los tipos de vigas que se emplearán para fabricar la estructura de soporte, se tomará en cuenta las recomendaciones de los fabricantes y Profesores tutores que se encuentran más familiarizados con el tópico.

En su mayoría, la estructura contará con vigas estructurales de perfil UPN y ángulos importados.

Para verificar que la estructura de soporte es la adecuada para soportar las cargas del sistema, se usará un software CAD que permitirá obtener una gráfica de los factores de seguridad para los elementos críticos de la estructura de soporte. Si los valores del factor de seguridad son mayores que 1, entonces la estructura de soporte es la adecuada para soportar todo el peso del sistema.

Otro elemento que forma parte de esta estructura y que servirá para soportar el eje principal del sistema, son las chumaceras. La metodología para la selección de las chumaceras se describe en la siguiente sección.

### **2.6.1 Selección de Rodamientos**

Para la selección de los rodamientos, se tomará como referencia la metodología que se expone en el catálogo general para rodamientos de bolas y de rodillos de la empresa NTN, (NTN Corporation, 2018), la cual basa sus ecuaciones y metodología en las normas y recomendaciones que emite la AFBMA.

Como primer punto, dado a que nuestro sistema estará sometido a pequeños golpes producto del movimiento variable de la materia prima dentro del tambor, es de suma importancia seleccionar un tipo de rodamiento que pueda trabajar en dichas condiciones. En la tabla 2.13, obtenida del catálogo de NTN, se pueden observar los diferentes tipos de rodamientos a disposición y una breve comparación en su desempeño para diferentes condiciones.

**Tabla 2.13. Tipos de rodamientos y comparación de su desempeño. Fuente: (NTN Corporation, 2018)**

Tipos de rodamientos	Rodamientos rígidos de bolas	Rodamientos de bolas a contacto angular	Rodamientos de doble hilera de bolas a contacto angular	Rodamientos de bolas a contacto angular apareados	Rodamientos autoalineables de bolas	Rodamientos de rodillos cilíndricos	Rodamientos de rodillos cilíndricos de una sola pestaña	Rodamientos de rodillos cilíndricos de doble pestaña	Rodamientos de doble hilera de rodillos cilíndricos	Rodamientos de agujas
Características										
Capacidad de manejo de carga										
Carga axial										
Alta velocidad <sup>1</sup>	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆	☆☆☆☆	☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆
Alta precisión rotacional <sup>1</sup>	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆	☆☆☆☆	☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆	☆☆	☆☆☆☆	☆☆☆☆
Bajo ruido/vibración <sup>1</sup>	☆☆☆☆	☆☆☆☆		☆☆		☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆
Bajo torque friccional <sup>1</sup>	☆☆☆☆	☆☆☆☆		☆☆	☆	☆☆				
Alta rigidez <sup>1</sup>			☆☆	☆☆		☆☆	☆☆	☆☆	☆☆☆☆	☆☆
Resistencia a los choques/vibración <sup>1</sup>			☆		★	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆	☆☆
Desalineamiento permitido para anillos int./ext. <sup>1</sup>	☆				☆☆☆☆	☆☆				
Fijo en la dirección axial <sup>2</sup>	⊙	○	⊙	⊙ Para arreglos DB y DF	⊙		○	⊙		
Movible en la dirección axial <sup>2</sup>	○		○	○ Para arreglos DB	○	○	○	○	○	○
Anillos interior/exterior separables <sup>3</sup>										
Diámetro interior cónico en el anillo interior <sup>3</sup>					○	○			○	
Comentarios		Para arreglos apareados				Tipo NU, N	Tipo NJ, NF	Tipo NUP, NP, NH	Tipo NNU, NN	Tipo NA
Página de referencia	B-5	B-43	B-74	B-43	B-79	B-91	B-91	B-91	B-116	E-2

- 1 ☆ El número de estrellas indica el grado al cual ese rodamiento en particular, muestra esta determinada característica.  
★ No se aplica para este tipo de rodamiento.
- 2 ⊙ Indica dirección dual. ○ Indica movimiento axial en una sola dirección.
- 3 ○ Indica que el movimiento axial es posible para la superficie de la pista. ○ Indica que el movimiento en la dirección axial es posible para las superficies de ajuste de los anillos interior y exterior.
- 4 ○ Indica que ambos anillos, el interior y el exterior son separables.
- 5 ○ Indica que este rodamiento puede fabricarse con agujero cónico.

Para este proyecto, se usarán rodamiento de bolas, ya que son mucho más económicos que los que son de rodillos. A partir de esto, observando la tabla 13, el rodamiento de bola que tiene la característica de resistir los choques y vibraciones es el Rodamiento de donde hilera de bolas a contacto angular. Además, en la tabla 2.2, página A-15 del catálogo, se puede confirmar que cuando se usa una caja reductora de sinfín-corona, se deben emplear estos tipos de rodamientos.

Una vez definido el tipo de rodamiento, ahora se deberá calcular la Capacidad de carga dinámica del rodamiento la cual se representa mediante la letra C y con este valor, proceder a seleccionar un rodamiento del catálogo.

Para poder calcular la carga dinámica del rodamiento, NTN define la siguiente ecuación.

$$Lna = a1 * a2 * a3 * \left[ \frac{C}{P} \right]^p \quad (2.10)$$

Esta ecuación permite obtener el Valor de C si se conoce:

- $L_{na}$ : Vida corregida del rodamiento medida en horas, la cual se puede obtener de la tabla 3.4, página A-19
- $p = 3$  para rodamientos de bola y  $p = \frac{10}{3}$  para rodamientos de rodillos
- $P$  [N]: Carga dinámica equivalente medida en Newtons
- $a_1$ : Factor de confiabilidad, el cual se puede obtener de la tabla 3.2, página A-18 del catálogo
- $a_2$ : Factor de características del rodamiento, el cual se puede obtener de la tabla 3.3, página A-18 del catálogo
- $a_3$ : Factor de condiciones de operación, el cual se puede obtener de la figura 3.2, página A-19 del catálogo

El valor de la carga dinámica equivalente  $P$  se obtiene mediante la siguiente ecuación.

$$Pr = XFr + YFa \quad (2.11)$$

Donde  $F_r$  y  $F_a$  representa la fuerza radial y la fuerza axial que actúan sobre el rodamiento y los valores  $X$  y  $Y$  se obtienen del catálogo.

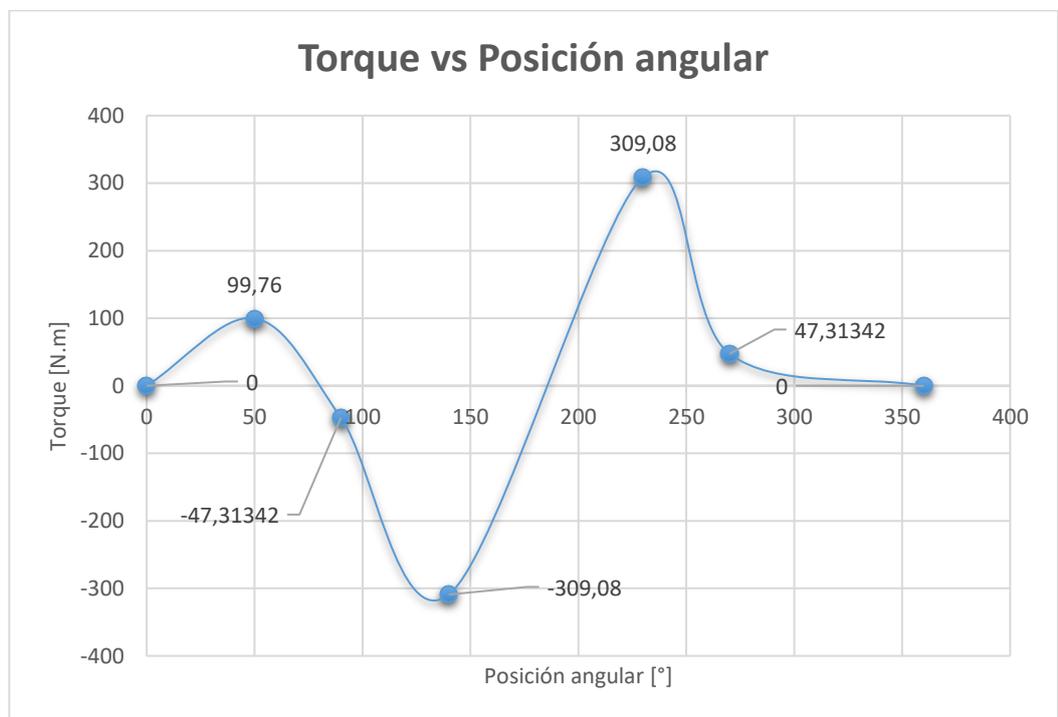
Una vez obtenido el valor de la carga dinámica  $C$  y con el diámetro del eje se procede a seleccionar los rodamientos para nuestro sistema.

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Torque del sistema

Según la metodología expuesta en la sección 2.2, la gráfica que se obtiene para el torque variable del sistema se puede observar en la figura 3.1.



**Figura 3.1. Gráfica de Torque vs Posición angular. Fuente: Elaboración propia.**

A continuación, en la tabla 3.1, se pueden observar los valores del torque para cada una de las posiciones angulares que se mencionaron en la sección 2.2.

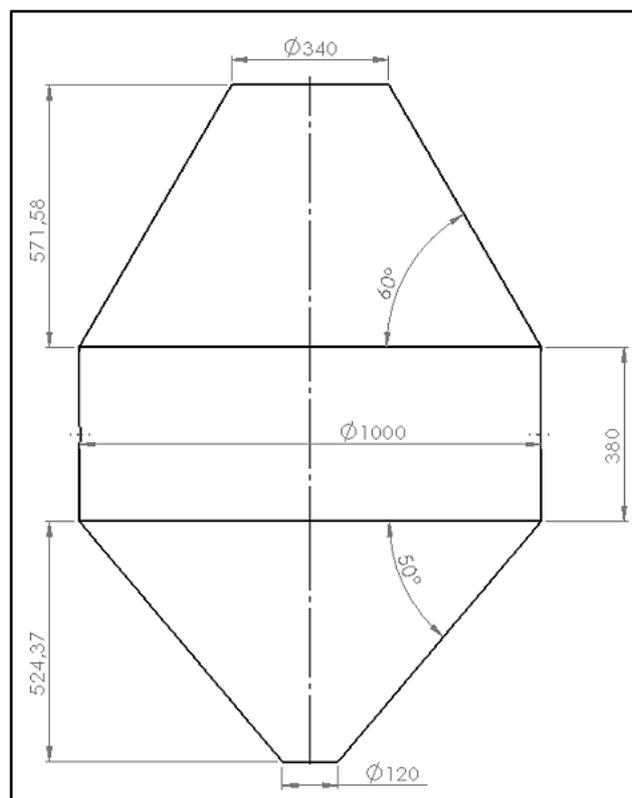
**Tabla 3.1. Valores de los torques para cada posición angular analizada.**  
 Fuente: Elaboración propia.

Posición Angular del tambor [°]	Torque [N.m]
0	0
50	99,76
90	-43,31
140	-309,08
180	-20
230	309,08
270	-47,31
320	236,6
360	0

## 3.2 Tambor

### 3.2.1 Dimensiones del tambor

A partir de la metodología expuesta en la sección 2.3 del capítulo 2, se obtiene las siguientes dimensiones en milímetros para el tambor de doble cono, las cuales se pueden observar en a figura 3.2.

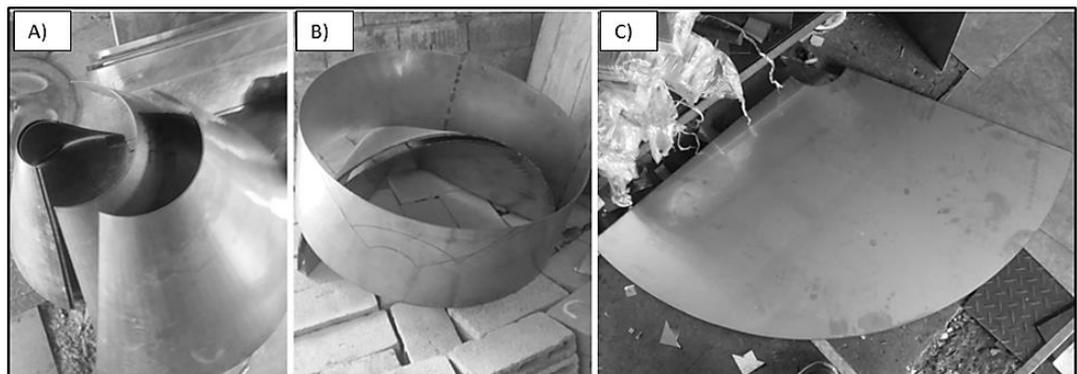


**Figura 3.2. Dimensiones del tambor de doble cono.** Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2 Proceso de Fabricación del tambor

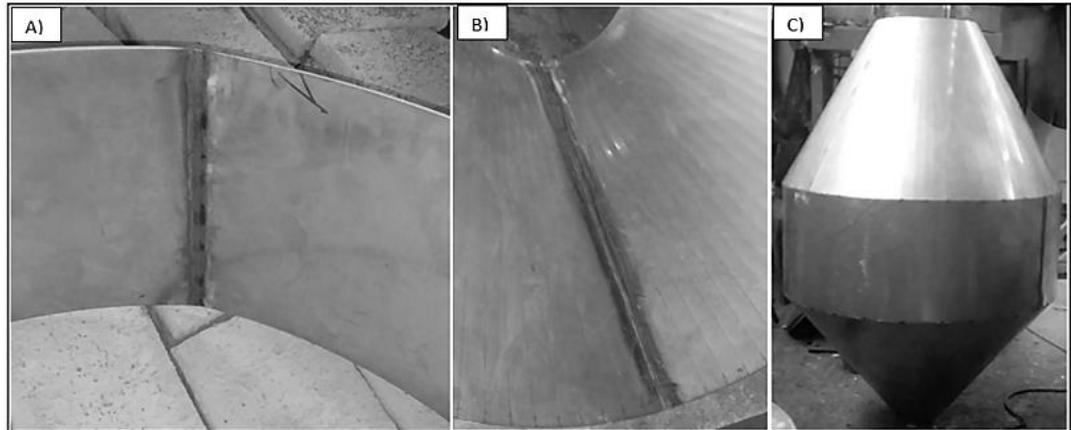
Para el proceso de fabricación del tambor, se procedió a realizar la compra de 3 planchas de acero inoxidable 316 de 1,22 x 2,44 m, para cumplir con los lineamientos del material que estará en contacto con la materia prima según el informe 32 emitido por la OMS, (Salud, 2000).

Para la elaboración de los 2 conos y del cilindro, se procedió a contactar un taller mecánico que cuente con una máquina plegadora y roladora. Dado al diámetro mayor y menor que poseen los 2 conos, solo es posible lograr la curvatura mediante el plegado mientras que para el cilindro si se puede emplear el rolado para conseguir el diámetro. En la figura 17 se presenta los conos y el cilindro obtenidos en el proceso de plegado y rolado.



**Figura 3.3. A) Conos Plegados, B) Cilindro Rolado, C) Corte sobre la plancha de acero del contorno de los conos antes del plegado. Fuente: Elaboración Propia.**

Una vez realizado el plegado y el rolado se debe unir cada uno de los elementos que conforman al tambor. Para realizar este proceso, se debe contratar a un soldador de acero inoxidable, el cual se encargará de realizar soldadura TIG y soldadura de arco eléctrico con Electrodo 308 para acero inoxidable. En la figura 3.4, se muestran algunas fotos del proceso de soldadura del tambor.



**Figura 3.4. A) Proceso de soldadura del cilindro, B) Proceso de soldadura del cono, C) Proceso de unión de los 2 conos y el cilindro. Fuente: Elaboración propia.**

### 3.3 Sistema de transmisión de Potencia

#### 3.3.1 Motor seleccionado

Para la selección del motor, a continuación, se muestra la tabla 3.2, la cual contiene las variables que se emplearon en las ecuaciones mencionadas en la sección 2.4.1.

**Tabla 3.2. Variables que participan en el cálculo de la potencia del motor. Fuente: Elaboración propia.**

Eficiencia del sistema de transmisión por engranes	0,85
Eficiencia del sistema de transmisión caja reductora	0,7
Eficiencia del sistema de transmisión por poleas	0,75
Eficiencia del motor eléctrico	0,85
Torque máximo del sistema [N.m]	309,08
Inercia del tambor y de la masa [kg.m <sup>2</sup> ]	57,35
Velocidad angular [rpm]	16
Tiempo de estabilización del motor eléctrico [s]	0,96

Reemplazando estas variables en las ecuaciones mencionadas en la sección 2.4.1, podemos obtener la potencia que se debe entregar al eje para que este pueda girar y la potencia necesaria para poder vencer la inercia del tambor. En la tabla 3.3 se muestran estos valores.

**Tabla 3.3. Resultados de las potencias. Fuente: Elaboración propia.**

Potencia que se debe entregar al eje [hp]	1,00
Potencia para vencer la inercia del tambor [hp]	0,56
Potencia total [hp]	1,6

Con la Potencia de 1.6hp y con la velocidad de rotación de 1800 rpm, procedemos a seleccionar un motor trifásico mediante el catálogo proporcionado por la marca WEG, (WEG, 2018). En la figura 3.5, se puede observar un extracto de este catálogo, con las características del motor seleccionado.

Output		Frame	Full Load Torque (ft.lb)	Locked Rotor Current		Locked Rotor Torque Tl/Tn	Break-down Torque Tb/Tn	Inertia J (sq. ft.lb)	Allowable locked rotor time (s)		Weight (lb)	Sound dB(A)	Service Factor	460 V						Full load current In (A)	
HP	kW			% of full load					Rated speed (rpm)	Efficiency				Power Factor							
				Code	ll/in									50	75	100	50	75	100		
IV Poles																					
1	0,75	143/5T	2,93	N	8,6	2,8	3,5	0,0911	13	29	37,5	51,0	1,25	1770	78,5	82,5	82,5	0,48	0,60	0,69	1,65
1,5	1,1	143/5T	4,40	M	9,0	2,5	3,0	0,1172	14	31	40,8	51,0	1,25	1765	80,0	82,5	84,0	0,53	0,65	0,73	2,25
2	1,5	143/5T	5,94	K	7,0	2,4	2,8	0,1296	11	24	43,0	51,0	1,25	1745	82,5	84,0	84,0	0,54	0,66	0,75	2,99
3	2,2	182/4T	8,83	K	7,5	2,2	2,8	0,2636	18	40	83,8	56,0	1,25	1760	86,5	87,5	87,5	0,61	0,72	0,78	4,05
5	3,7	182/4T	14,8	J	6,8	1,9	2,6	0,3683	14	31	92,6	56,0	1,25	1750	86,5	87,5	87,5	0,60	0,72	0,80	6,63
7,5	5,5	213/5T	22,1	H	6,5	2,1	2,6	0,9800	13	29	139	58,0	1,25	1755	88,5	89,5	89,5	0,66	0,77	0,83	9,31
10	7,5	213/5T	29,5	H	6,5	2,0	2,5	1,16	12	26	154	58,0	1,25	1755	89,5	89,5	89,5	0,68	0,80	0,84	12,5

**Figura 3.5. Extracto del catálogo WEG para motores trifásicos. Fuente: (WEG,2018)**

Según los resultados obtenidos, se debe seleccionar un motor de 2 hp y 1800rpm, pero tal motor en el mercado de la ciudad de Guayaquil es difícil de conseguir, a diferencia de un motor de 3 hp y 1800rpm. Por lo tanto, el motor que se consiguió para el sistema es uno de 3hp, 1800 rpm, trifásico de marca WEG con frame 182/4T.

### 3.3.2 Bandas y Poleas

Siguiendo la metodología expuesta en la sección 2.4.2, y tomando como referencia el catálogo de la empresa MARTIN, tenemos lo siguiente.

De la tabla 1 de la página D-43, se considera que el servicio será normal, que el motor eléctrico no posee torques muy elevados y que la mezcladora se encuentra entre las primeras aplicaciones que se recomiendan en la tabla, por lo que el Factor de servicio para el sistema será de 1.1. Por lo tanto, para el paso 1, la potencia de diseño será igual a 3.3 hp.

Para el paso 2, se procede a usar la figura para bandas de alta capacidad. Ubicando el punto en la gráfica con la potencia de diseño y la velocidad de rotación del motor, se tiene que la sección de la banda debe ser 3V.

Para el paso 3, observando la tabla 4 de la página D-44, con la potencia del motor y la velocidad de rotación, el diámetro mínimo de la polea motriz debe ser 2.5 in.

Para el paso 4, dado que la sección de la banda que fue seleccionada es la 3V, es necesario ubicarse en las tablas a partir de la página D-48 que correspondan a dicha sección. Con la relación de velocidad de 1,6, la cual se puede observar en la figura 2.5, procedemos a ubicarnos en la fila que posea esta relación. En la figura 3.6, se puede observar un extracto del catálogo, indicando las características de las poleas que se mencionaron en el paso 4.

Relación de Velocidad	Combinación de Poleas		Velocidades Impulsadas y HP por Banda								Distancia Nominal entre Centros y Factor de Corrección por Longitud y Arco						
			3500 RPM Motriz		1750 RPM Motriz		1160 RPM Motriz		870 RPM Motriz		Designación de Largo de Banda 3VX						
	Motriz D.E.	Impuls. D.E.	Impuls. RPM	HP por Banda 3VX	Impuls. RPM	HP por Banda 3VX	Impuls. RPM	HP por Banda 3VX	Impuls. RPM	HP por Banda 3VX	250	300	355	400	450	500	560
1.46	4.12	6.00	2394	8.73	1197	4.87	793	3.39	595	2.61	—	7.0	9.8	12.0	14.5	17.0	20.0
1.46	4.75	6.90	2401	10.50	1201	5.90	796	4.10	597	3.16	—	—	8.5	10.8	13.3	15.8	18.8
1.47	2.50	3.65	2382	3.80	1191	2.14	789	1.50	592	1.17	7.6	10.2	12.9	15.2	17.7	20.2	23.2
1.48	2.80	4.12	2365	4.75	1182	2.66	784	1.86	588	1.44	7.0	9.5	12.3	14.6	17.1	19.6	22.6
1.50	3.35	5.00	2333	6.46	1167	3.60	773	2.50	580	1.94	5.9	8.4	11.2	13.4	15.9	18.4	21.4
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO											0.81	0.85	0.88	0.91	0.93	0.95	0.97
1.51	3.00	4.50	2320	5.39	1160	3.01	769	2.10	577	1.63	6.6	9.1	11.8	14.1	16.6	19.1	22.1
1.51	5.30	8.00	2311	11.99	1156	6.79	766	4.72	575	3.64	—	—	—	9.5	12.0	14.5	17.5
1.52	3.15	4.75	2309	5.86	1154	3.26	765	2.27	574	1.76	6.2	8.8	11.5	13.8	16.3	18.8	21.8
1.53	2.20	3.35	2280	2.84	1140	1.63	756	1.15	567	0.90	8.1	10.6	13.4	15.6	18.1	20.6	23.6
1.54	3.65	5.60	2270	7.38	1135	4.11	752	2.85	564	2.21	—	7.7	10.4	12.7	15.2	17.7	20.7
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO											0.81	0.85	0.88	0.90	0.93	0.95	0.97
1.54	4.50	6.90	2274	9.83	1137	5.51	754	3.82	565	2.95	—	—	8.7	11.0	13.5	16.0	19.0
1.54	6.90	10.60	2273	15.81	1136	9.27	753	6.47	565	5.00	—	—	—	—	—	—	—
1.57	2.35	3.65	2236	3.34	1118	1.89	741	1.33	556	1.04	7.8	10.3	13.0	15.3	17.8	20.3	23.3
1.57	2.65	4.12	2236	4.30	1118	2.41	741	1.69	556	1.31	7.1	9.7	12.4	14.7	17.2	19.7	22.7
1.58	4.12	6.50	2209	8.76	1104	4.89	732	3.40	549	2.62	—	—	9.3	11.6	14.1	16.6	19.6
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO											0.81	0.85	0.88	0.91	0.93	0.95	0.97
1.59	3.00	4.75	2197	5.41	1098	3.01	728	2.10	546	1.63	6.4	8.9	11.6	13.9	16.4	18.9	21.9
1.59	3.35	5.30	2200	6.48	1100	3.61	729	2.51	547	1.94	—	8.1	10.9	13.2	15.7	18.2	21.2
1.60	3.15	5.00	2192	5.87	1096	3.27	726	2.28	545	1.77	6.0	8.5	11.3	13.6	16.1	18.6	21.6
1.61	5.00	8.00	2179	11.22	1090	6.32	722	4.39	542	3.39	—	—	—	9.7	12.2	14.7	17.7
1.62	2.80	4.50	2163	4.79	1081	2.68	717	1.87	538	1.45	6.7	9.2	12.0	14.2	16.7	19.2	22.3
FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD Y ARCO											0.80	0.84	0.88	0.90	0.93	0.95	0.97

Figura 3.6. Extracto del catálogo MARTIN para selección de poleas. Fuentes: (MARTIN, 2018).

Para determinar el número de bandas en el paso 5, observamos que la potencia que se transmite por bandas es de 3.27hp y el factor de corrección por longitud de arco para una distancia entre centros de 560mm es de 0.97. Reemplazando en la ecuación 2.5, tenemos que el número de bandas requeridas para el sistema es de 1.04, pero dado a que este valor es mayor que 1, se necesitan 2.

Por lo tanto, se necesitan las siguientes bandas y poleas:

- 2 3V 315
- 2 3V 500
- 2 Bandas de sección V de alta capacidad de longitud de 50 in.

### 3.3.3 Caja Reductora

Siguiendo la metodología expuesta en la sección 2.4.3, se procedió a seleccionar una caja reductora para nuestro sistema.

Se tomó en consideración el hecho de que las cajas reductoras marca CHENTA disponibles en la ciudad de Guayaquil, son las de tipo BSS. Estas cajas reductoras tienen la característica de que son de reducción simple y que la única entrada de potencia es a través del eje del sinfín. En la figura 3.7 se muestra la caja reductora seleccionada.



**Figura 3.7. Fotografía de la caja reductora seleccionada. Fuente: Elaboración propia.**

### 3.3.4 Sistema Engrane-piñón

Siguiendo la metodología expuesta en la sección 2.4.4, se procederá a validar un sistema de engrane-piñón. En la tabla 3.4, se puede observar los

datos del engrane y piñón que se compraron para realizar la respectiva validación.

**Tabla 3.4. Datos para el diseño del sistema engrane-piñón. Fuente: Elaboración propia.**

Rv (Relación de velocidad)	2,36
$\Phi$ [°] (Angulo de presión)	20
Dp [in] (Diámetro del piñón)	5,5
pd [#dientes/in] (paso diametral)	2
Np (Número de dientes del piñón)	22
Dg [in] (Diámetro del engrane)	12,5
Ng (Número de dientes del engrane)	52
F [in] Espesor del engrane	2
wp [rpm] (Velocidad de rotacion del piñón)	37,5
wg [rpm] (Velocidad de rotacion del engrane)	15,88
PT [hp] (Potencia que transmiten los engranes)	3

En la tabla 3.5, se puede observar los factores de seguridad para las teorías de falla por Fatiga-Flexión y por fatiga Superficial.

**Tabla 3.5. Factores de seguridad obtenidos para el sistema engrane-piñón. Fuente: Elaboración propia.**

<b>factor de seguridad Fatiga por flexión</b>	
Nbp (Factor de seguridad para el piñón)	2,9
Nbg (Factor de seguridad para el engrane)	3,4
<b>factor de seguridad para la resistencia a la Fatiga Superficial</b>	
Ncp (Factor de seguridad a la fatiga superficial para el piñón)	3,9
Ncg (Factor de seguridad a la fatiga superficial para el engrane)	8,8

En la figura 3.8, se puede observar el piñón y engrane que se compraron para el sistema.



**Figura 3.8. Fotografías del engrane y piñón adquiridos para el sistema.**  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.4 Eje principal

En la tabla 3.6, se muestran los valores de las variables del modelo matemático de la figura 2.10.

**Tabla 3.6. Datos de las variables de la figura 2.10.** Fuente: Elaboración propia.

TA [N.m] Torque máximo de la figura 16	309,08
TB [N.m] Torque del motor para compensar el torque TA	309,08
TC [N.m] Torque que produce el engrane	1336,7
R[N] Reacción en el rodamiento	5150
Ks[N] Fuerza radial que se produce en el engrane	3100
Kt[N] Fuerza tangencial que se produce en el engrane	8420

Siguiendo la metodología expuesta en la sección 2.5 y en el manual para diseño de ejes y árboles de la Universidad Industrial de Santander, se procede a realizar un análisis estático y a fatiga para obtener un diámetro del eje principal de nuestro sistema. En la tabla 3.7, se muestran los valores que se les asigna a cada una de las variables de la ecuación 2.9.

**Tabla 3.7. Datos de las variables de la ecuación 2.9. Fuente: Elaboración propia.**

Nf (Factor de seguridad a Fatiga)	2
Kf (Factor de concentración de Esfuerzo por fatiga)	3,04
Kfs (Factor de concentración de Esfuerzos por fatiga)	3,04
kfm (Factor de concentración de fatiga del Esfuerzo medio)	3,04
Kfm (Factor de concentración de fatiga del Esfuerzo medio)	3,04
Ma (Momento de amplitud) [N.m]	317,8
Mm (Momento medio) [N.m]	0
Ta (Torque de amplitud) [N.m]	309,08
Tm (Torque medio) [N.m]	0
Sf (Resistencia a la fatiga) [MPa]	129,01
Sut (Esfuerzo último a la tensión) [MPa]	586

Finalmente, en la tabla 3.8, se muestran los diámetros obtenidos.

**Tabla 3.8. Valores de los diámetros obtenidos. Fuente: Elaboración propia.**

Diámetro del eje estático [mm]	76,4
Diámetro del eje a fatiga [mm]	60
Diámetro del eje seleccionado [mm]	65

El diámetro mínimo que debe tener el eje en la sección en donde se encuentra la chaveta del engrane, debe tener un diámetro a fatiga de 65mm. En la figura 3.9 se muestra las dimensiones del eje principal del sistema.

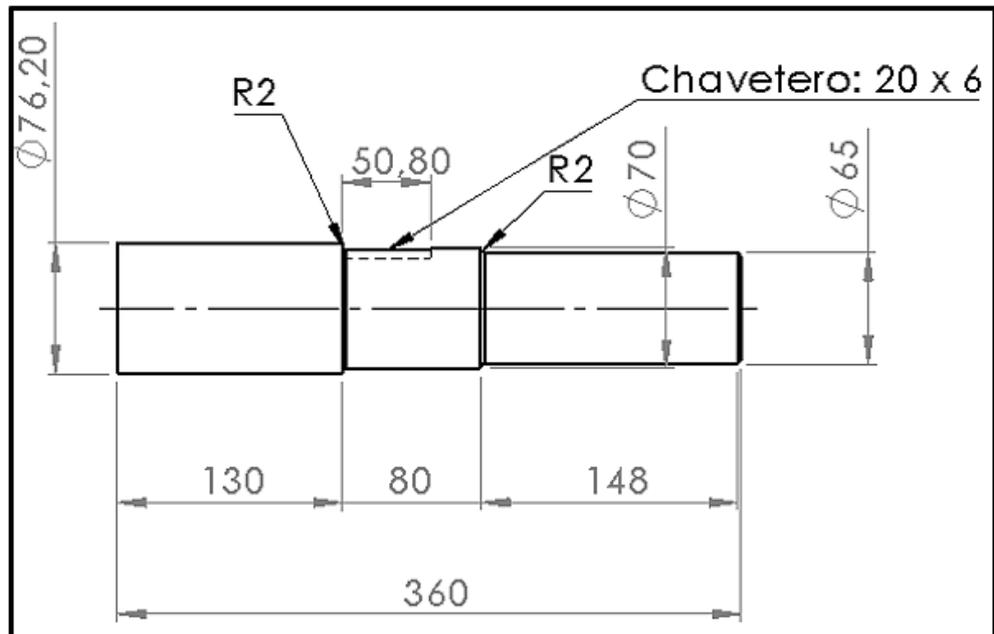
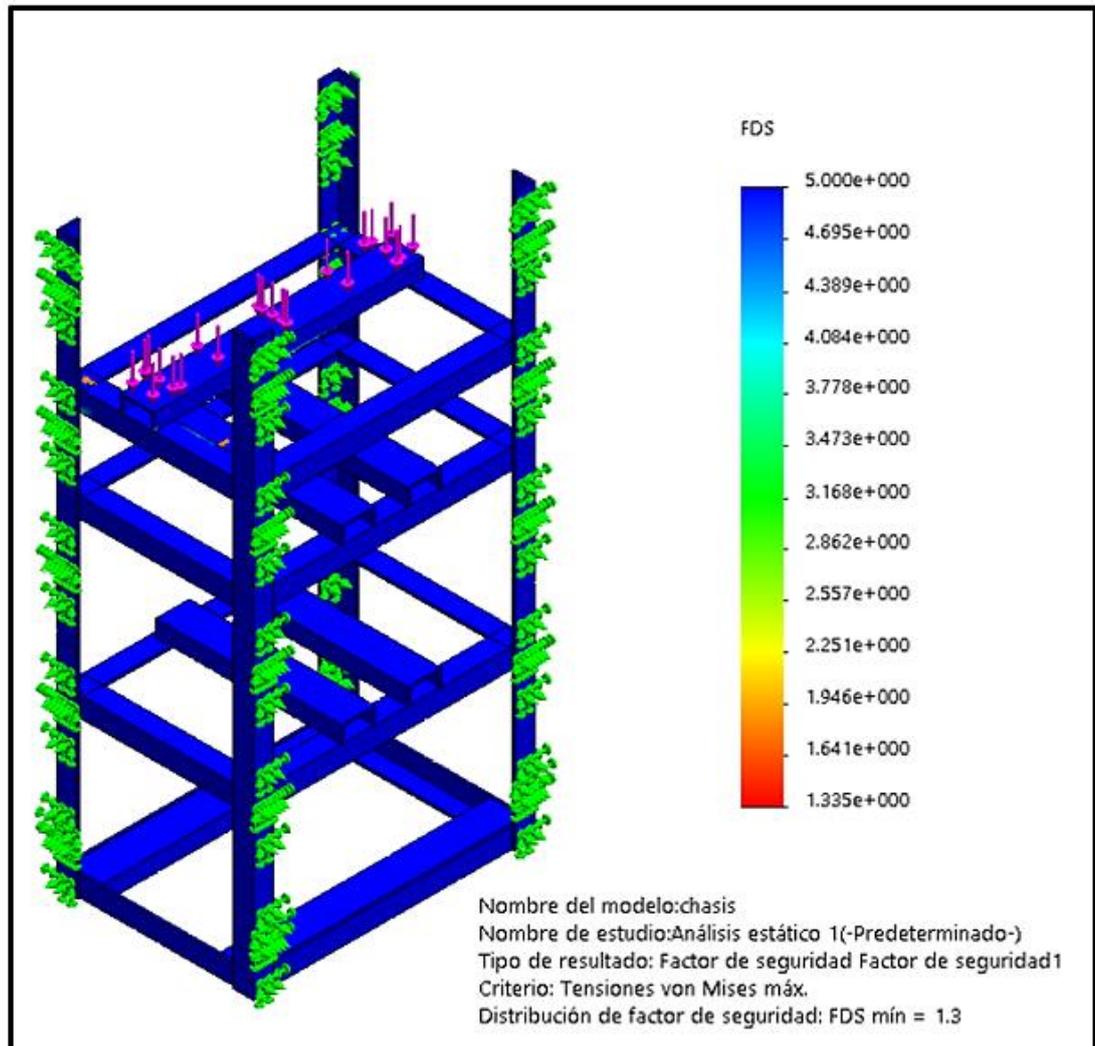


Figura 3.9. Dimensiones del eje principal. Fuente: Elaboración Propia.

### 3.5 Estructura de Soporte

Siguiendo la metodología expuesta en la sección 2.6, tenemos que, para una carga de 10000 N, que representa la mitad de la carga total del sistema y cual estará ubicada sobre la viga de perfil UPN de la parte superior, el caso más crítico del sistema. Usando softwares CADs, en la figura 3.10 se pueden observar los valores de factores de seguridad que se obtuvieron para el sistema de la estructura de soporte.



**Figura 3.10. Valores de los factores de seguridad para los elementos que conforman la estructura de soporte. Fuente: Elaboración propia.**

Usando software CAD, el valor mínimo de factor de seguridad que se obtiene para la estructura de soporte es de 1.3, el cual es mayor que 1, por lo tanto, la estructura soportará sin ningún problema el peso total del tambor.

### 3.6 Rodamientos y chumacera

En la tabla 3.9, se muestran los valores de las variables de la ecuación 2.10.

**Tabla 3.9. Valores asignados a las variables de la ecuación 2.10. Fuente: Elaboración Propia.**

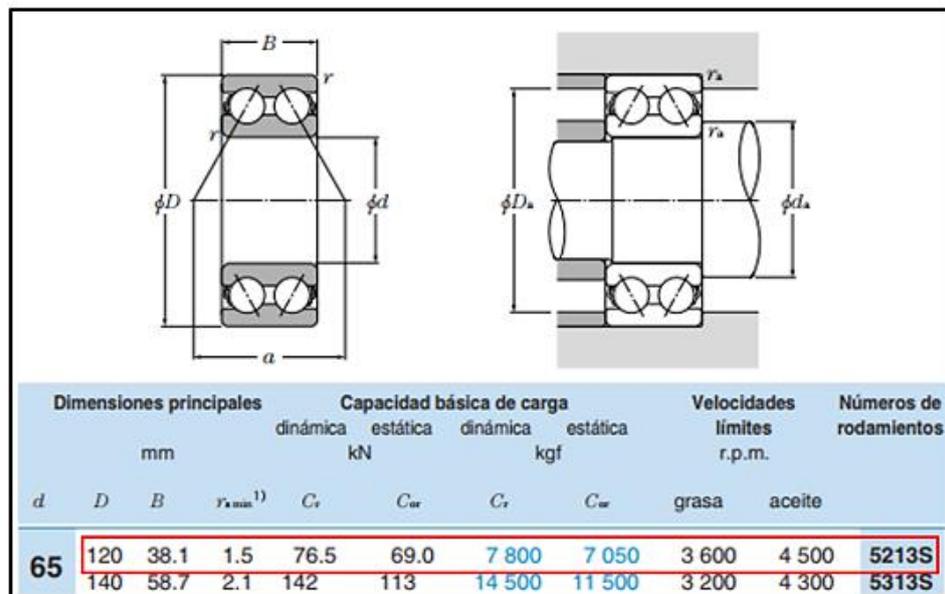
L10 (Vida Requerida) [horas]	8000
a1 (95%)	0,62
a2	1
a3	1
n [rpm]	16
P (Carga dinámica Equivalente) [kN]	5,15
p (Para rodamiento de bolas)	3

Siguiendo la metodología de la sección 2.6.1 y la del catálogo general de NTN, se obtienen los siguientes resultados, que se muestran en la tabla 3.10.

**Tabla 3.10. Resultados para el rodamiento. Fuente: Elaboración propia.**

d (Diámetro interior del rodamiento) [mm]	65
Cr (Capacidad básica de carga dinámica) [kN]	8,7

En la figura 3.11, se puede observar un extracto del catálogo general de NTN con el rodamiento seleccionado y un diagrama de este.



**Figura 3.11. Extracto del catálogo de NTN ubicando los rodamientos seleccionados. Fuente: Elaboración propia**

### 3.7 Análisis de costos

Dado a que la máquina se conectará directo a una línea de producción, se realizará un análisis con el que se buscará medir el ingreso neto total por mes, con finalidad de poder determinar en qué tiempo se podrá recuperar la inversión total de la máquina.

Para esto, se consideraron los siguientes gastos o egresos que representa la máquina por mes, las cuales se muestran en la tabla 3.11.

**Tabla 3.11 Costos que representa la máquina durante el primer mes de operación para la empresa. Fuente: Elaboración propia.**

Costo de fabricación de la máquina	\$ 7.500,00
Costo de la materia prima [100 Kg]	\$ 1.700,00
Sueldo del operador	\$ 600,00
Costos de Mantenimiento	\$ 140,00
Gastos mensuales en el primer mes	\$ 9.940,00

A parte de los gastos, también se deben considerar los ingresos que representa la máquina por mes. En la tabla 3.12 se muestran las unidades que se venden por mes.

**Tabla 3.12 Ingresos mensuales que representa la máquina para la empresa. Fuente: Elaboración propia**

Masa del sobre que se venden por mes [gr]	10
Cantidad de sobres que se venden por mes	15000
Precio de la unidad	\$ 0,40
Ingresos mensuales	\$ 6.000,00

En la tabla 3.13, se puede observar una tabla resumen de los ingresos por cada mes y se puede apreciar la cantidad de meses en los que se podrá recuperar la inversión, además de que se pueden observar los ingresos que representa la máquina para la empresa en cada mes.

**Tabla 3.13 Resumen de los ingresos por cada mes que representa la máquina para la empresa. Fuente: Elaboración propia.**

Meses	1	2	3	4	5
Gastos mensuales	\$ 9.940,0	\$2.440,0	\$ 2.440,0	\$ 2.440,0	\$ 2.440,0
Ingresos mensuales	\$ 6.000,0	\$6.000,0	\$ 6.000,0	\$ 6.000,0	\$ 6.000,0
Ingresos netos	\$ -3.940,0	\$ -380,0	\$ 3.180,0	\$ 6.740,0	\$ 10.300,0

De la tabla 3.13, se puede apreciar que en 5 meses se recupera la inversión total de la máquina.

Cada uno de los valores mencionados en este análisis, se obtuvieron de un laboratorio farmacéutico que actualmente cuenta con esta máquina y está conectada a una línea de producción.

En la tabla 3.14, se muestra una tabla resumen de los valores que se invirtieron para elaborar las partes de la máquina.

**Tabla 3.14 Resumen de los costos de fabricación total de la máquina. Fuente: Elaboración Propia.**

SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA	\$ 1.194,89
TAMBOR DE DOBLE CONO	\$ 4.287,19
ESTRUCTURA DE SOPORTE	\$ 2.011,54
TOTAL	\$ 7493,62

En la sección de apéndices, se pueden observar fotos del proceso de construcción de la máquina, ensamblaje y acabado final.

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Se realizó el diseño y la construcción de un mezclador de doble cono en base a las normativas que se especifican en el informe 32 de la OMS y los lineamientos de la FARMACOPEA. Así mismo, se logró realizar un diseño que cumpla con los requerimientos solicitados por el cliente de la empresa farmacéutica.
- También, se construyó un modelo 3D empleando software CAD el cuál brindo una gran ayuda para la elaboración de los planos y en consecuencia al proceso de construcción y ensamblaje de la máquina.
- En cuanto a los costos de fabricación, se realizó una tabla resumen de los costos totales que demandó el proyecto para la realización de la máquina, donde cada uno de estos valores incluye los costos de materiales y mano de obra.
- Se realizaron pruebas de funcionamiento, por lo que se pudo cumplir con las expectativas del cliente en el tiempo que lo requería. Sin embargo, no fue posible realizar pruebas piloto con la materia prima debido a problemas para conseguir la materia prima por parte del cliente.
- Se realizó un manual de operación el cual se encuentra disponible en la sección de apéndices.
- Cabe mencionar que inicialmente, el presupuesto que se tenía en mente para invertir en la construcción de la máquina fue de aproximadamente \$10,000, pero fue posible reducir costos gracias a la adquisición de algunos elementos prefabricados y la realización de contratos con técnicos por separados. Para el caso de los elementos prefabricados, tomando como ejemplo el sistema engrane-piñón, inicialmente se realizó la cotización de la fabricación de estos elementos en un taller metal mecánico. El precio fue de aproximadamente \$1000 incluyendo el material y la mano de obra, pero antes de realizar la inversión, se logró conseguir un engrane y un piñón de características similares a los que se

tenían pensado fabricar por el precio de \$260. Con la ayuda de estos elementos prefabricados, fue posible ahorrar aproximadamente \$2500.

- Como se mencionó al inicio de este proyecto integrador, se busca implementar esta máquina en una línea de producción, pero también es válido analizar el posible caso en el que se quiera vender la máquina y ver la factibilidad del proyecto. Para esto, se ha buscado información del precio de una máquina de características similares en la web. Como primer resultado se logró encontrar una mezcladora de características similares, pero de mucha menor complejidad al precio de \$11,000. A simple vista se puede observar que el mezclador que se propone en este proyecto integrador puede llegar a competir contra una máquina desarrollada en latino américa. Como segundo resultado de búsqueda, se encontró que una máquina de origen chino de características similares, pero que no cumple con las especificaciones detalladas en el informe 32 de la OMS, la cual está al precio de \$5,000. Sumándole a esto costos por importación y pago de impuesto es costo total de esta máquina de origen chino es de aproximadamente \$7,000, valor que en comparación con la propuesta de este proyecto integrador, muy difícilmente va a representar una competencia. El problema radica en que al no cumplir con las normas del informe 32, es muy probable que la ARCSA no apruebe la máquina para preparar medicamento. Tomando como ejemplo el eje principal de transmisión, la máquina de origen chino emplea acero de transmisión de potencia y realiza un recubrimiento con cromo, que a diferencia de este proyecto integrador, el eje es fabricado con acero inoxidable 304. Comparando el precio de estos dos materiales, aproximadamente la relación es de 3 a 1, en consecuencia, esto significa un gasto mayor a la máquina de este proyecto integrador.

### **Recomendaciones**

- Para el sistema de transmisión de potencia, es posible reemplazar todos los elementos que se emplearon para la máquina de este proyecto integrador por un motorreductor, pero es de suma importancia asegurarse y recordar el usar un reducto sinfín-corona. Con esto se busca reducir gastos en la parte de la transmisión de potencia.

- Para el tambor de doble cono, es recomendable realizar la fabricación de los 2 conos mediante el proceso de rolado. Con esto se busca tener un mejor acabado de la superficie del tambor y se busca facilitar el proceso de pulido de la superficie.
- Al momento de comprar las planchas de acero inoxidable, es importante comprar las que sean de tipo satinado y que vengan con protector de superficie plástico. Con esto se busca facilitar el proceso de acabado superficial y mejorar la estética de la máquina.
- Es importante que el espesor de las planchas que se empleen para recubrir la estructura de soporte, sean mínimo 1mm, para asegurarse de que el recubrimiento sea rígido y no vaya a generar ruido con el movimiento de la máquina.
- Se recomienda que, para la fabricación del tambor, se realice un solo contrato con una sola empresa. Con esta se busca que se garantice que cada uno de los elementos que conforman el tambor encajen perfectamente y se le facilite el trabajo al soldador.
- Es posible realizar otro tipo de estructura de soporte para el tambor de la máquina, de manera que se puedan reducir costos de fabricación y la complejidad de esta. Cabe mencionar que existen diferentes tipos de estructuras y configuraciones para realizar armaduras estructurales, las cuales brindaran un soporte rígido al sistema.
- Es importante tener fabricados cada uno de los elementos del tambor antes de realizar el proceso de soldadura. Con esto se busca reducir el tiempo de fabricación de la máquina. Realizando una estimación, si todos los elementos se encuentran fabricados y listos para ensamblar, aproximadamente el proceso de soldadura dura 1 semana laborable en jornadas de trabajo de 8 horas al día.

# BIBLIOGRAFÍA

- A.D. SMALL, J. C. (1995 ). *Particle Size and Mixing Time Effects on Sensory and Physical Properties of Low-fat, High-moisture Pork Frankfurters* .
- Andrés Castaño Posada, H. M. (2004). *Libro de Diseño de Máquinas*. Medellín.
- Anil Jadhav, R. S. (2009). Analytic Hierarchy Process (AHP), Weighted Scoring Method (WSM), and Hybrid Knowledge Based System (HKBS) for Software Selection: A Comparative Study.
- Antioquía, U. d. (s.f.). *Aprende en línea. Plataforma Académica para pregrado y postgrado*. Obtenido de <http://aprendeonline.udea.edu.co/lms/moodle/mod/page/view.php?id=129964>
- ARCSA. (2016). *NORMATIVA SANITARIA PARA LA OBTENCION DEL REGISTRO SANITARIO*.
- CHENTA. (2018). *CHENTA GEAR*. Obtenido de <https://s3-ap-northeast-1.amazonaws.com/static.iyp.tw/27522/files/6025642e-f593-4f9b-aa0f-fb2bd04f59a4.pdf>
- Comasa. (2018). *Mezclador Doble Cono*. Obtenido de Mezclador Doble Cono: <http://www.comasa-sa.com/producto/mezclador-doble-cono/>
- CONVENTION, T. U. (2005). FARMACOPEA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA. En T. U. CONVENTION. 12601 Twinbrook Parkway, Rockville, MD 20852.
- Dean Brone, F. M. (2000). Enhanced mixing in double-cone blenders.
- ENOC ARENAS MANCILLA, J. L. (2012). *Slide Share*. Obtenido de [https://es.slideshare.net/ClementeGarcia4/ejesy-arboles-manual-de-diseo-uis?from\\_action=save](https://es.slideshare.net/ClementeGarcia4/ejesy-arboles-manual-de-diseo-uis?from_action=save)
- Lieberman, H. A. (1989). *PHARMACEUTICAL DOSAGE FORM*. MARCEL DEKKER, INC.
- M. Lemieux, G. L.-A. (2008). Large-scale numerical investigation of solids mixing in a V-blender. *ELSEVIER*.
- M. Lemieux, G. L.-A. (2008). Large-scale numerical investigation of solids mixing in a V-blender using the discrete element method. *ScienceDirect*, 205-216.

- Maher Moakher, T. S. (1999). *Experimentally validated computations of flow, mixing and segregation of non-cohesive grains in 3D tumbling blenders*.
- Marisa, C. G. (2018). *Mezcla de Sólidos*.
- MARTIN. (2018). *MARTIN*. Obtenido de MARTIN:  
[http://es.martinsprocket.com/docs//catalogs/power%20transmission/6\\_poleas/seccion%20d%20low.pdf](http://es.martinsprocket.com/docs//catalogs/power%20transmission/6_poleas/seccion%20d%20low.pdf)
- Meysam Alian, F. E.-M. (2015). Using discrete element method to analyze the mixing of the solid particles in a slant cone mixer.
- Norton, R. L. (2011). *Diseño de Máquinas Un Enfoque Integrado* (4ta Edición ed.). Mexico: Pearson.
- NTN Corporation. (2018). *NTN Corporation*. Obtenido de  
<http://www.elementosindustriales.com/web/pdf/CATALOGOGENERAL.pdf>
- REM. (2018). *Sistemas Mecánicos GAES*. Obtenido de <http://www.soltecnica.com/doc/es-catalogo-rem-.pdf>
- SALUD, O. M. (2000). *COMITE DE EXPERTOS DE LA OMS EN ESPECIFICACIONES PARA LAS PREPARACIONES FARMACÉUTICAS. 32\_ Informe*. GINEBRA.
- Salud, O. M. (2000). *INFORME 32*.
- Stokes, A. (1992). *Manual Gearbox Design*. London: Butterworth Heinemann.
- WEG. (2018). *WEG*. Obtenido de WEG:  
<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hb6/h1c/WEG-w22-three-phase-electric-motor-50029265-brochure-english-web.pdf>

# APÉNDICES

# APÉNDICE 1

## Certificado de Análisis del Colágeno Hidrolizado

Peptan<sup>®</sup>

### Certificate of analysis - Certificado de Analisis Hydrolyzed Collagen - Colágeno Hidrolizado

Lote N°: 2224355.	Tipo: PEPTAN B 2000 LD AL
Fecha de Fabricación: ENE-2018	Fecha de Validez: ENE-2023

Rousselot © Peptan B 2000 LD cumple con la mayoría de las reglamentaciones alimenticias internacionales

ANÁLISIS	UNIDADES	ESPECIFICACIONES	RESULTADOS
<b>PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS</b>			
Viscosidad (20%, 25°C)	mPas	2.00 - 4.00	3.93
Turbidez	NTU	<=10	3
Olor		Característico	Característico
Color		<=3.50	2.75
Cenizas	%	<=2.00	0.87
Humedad	%	<=10.00	7.26
pH		5.00 - 6.50	5.86
Sulfitos (GME/EP/USP)	mg/kg	<=40.00	<=40.00
Cromo (10)	mg/kg	<=5.00	<=5.00
Arsénico (10)	mg/kg	<=1.00	<=1.00
Nitrógeno (11)	%	>= 15.00	>=15.00
Proteína	%	>= 90.00	91.87
Densidad	g/ml	0.25 - 0.35	0.33
Mesh Peptan Generic			
Abajo 1000 µm (mesh #18)		>= 85	CONFORME
Abajo 75 µm (mesh #200)		<=10	CONFORME
<b>PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS</b>			
Recuento Total de Bacterias	CFU/g	<=1000	<=1000
Coliformes totales	1g	Ausencia	Ausencia
Coliformes fecales	1g	Ausencia	Ausencia
Salmonella	25g	Ausencia	Ausencia
E. coli	1g	Ausencia	Ausencia

(10) Esta característica se monitorea a cada tres meses, en laboratorio externo calificado.

(11) Esta característica se considera calidad asegurada.

-Validación de la calidad

Firma:

GISELE DAMACENA  
CRQ IV n° 04364764  
Control de Qualidade  
Quality Control

Fecha: 29 MARZO 2018

Certified to IFS

Rousselot Gelatines do Brasil Ltda  
Rua Santo Agostinho, 280 - Cx. Postal 11  
CEP: 13908-080 - Distrito de Arcadas - Amparo/SP - Brasil  
T +55 19 3907-9000 - F +55 19 3907-9010

DEVELOPED BY ROUSSELLOT

DARLING



### APÉNDICE 3

#### Manual de Operación de la máquina

1. Es importante revisar el manual de operación y seguir las recomendaciones para realizar el plan de mantenimiento. Si se cumplen con las actividades de se mencionan en los documentos, la máquina podrá funcionar de manera correcta.
2. Previo a poner en funcionamiento la máquina, el operador debe usar EPP adecuados para trabajar en ambientes donde existirá material particulado producto de la materia prima en polvo y así evitar problemas en la salud.
3. Durante la operación de la máquina, el operador debe permanecer a una distancia prudente para evitar ser golpeado con el tambor que se encuentra en movimiento.
4. En la siguiente figura se muestra el tablero de control de la máquina.



**Figura 0.1. Tablero de control de la máquina. Fuente: Elaboración propia.**

- Verificador de energía: Luz led que se activa cuando pasa corriente por el sistema.
- Temporizador: Elemento que permite ingresar la cantidad de minutos que se desea que la máquina esté en funcionamiento.
- Apagado: En esta posición de la perilla, la máquina no realiza ningún movimiento.

- Automático: En esta posición de la perilla, funciona únicamente el temporizador
  - Manual: En esta posición de la perilla, funciona únicamente el contactor.
  - Contactor: Al presionar este botón, la máquina funciona y realiza un giro contrario al movimiento normal.
  - Para de emergencia: Al presionar este botón, se corta la energía de la máquina.
  - Energizado: Al presionar este botón se energiza la máquina.
5. Al cargar la máquina de materia prima, se debe verificar que el interior se encuentre limpio de cualquier sustancia.
  6. Para cargar la materia prima, se debe energizar la máquina y se debe ubicar la perilla en la posición de manual, luego se debe presionar el contactor hasta que la máquina se ubique en una posición tal que se tenga facilidad de acceso a la boca de mayor diámetro. Una vez hecho esto, se procede a cerrar la tapa y a ajustar los seguros.
  7. Una realizado el paso 6, para poner en funcionamiento la máquina, se debe ubicar la perilla en la posición de automático y luego se debe proceder a ingresar el tiempo de mezclado en minutos para el producto mediante el giro de la perilla del temporizador. Finalizada esta acción, la máquina trabajará hasta que culmine el tiempo que se ingresó en el temporizador.
  8. Para la descarga de la materia prima una vez finalizado el proceso de mezclado, se debe ubicar la perilla en la posición de manual y luego se procede a presionar el contactor hasta que la boca de menor diámetro se ubique en la parte inferior. Se debe ubicar un recipiente con capacidad para 140 kg o más en la parte inferior del tambor y luego se procede a abrir la compuerta.
  9. Una vez finalizado el proceso de descarga, si se desea preparar un producto diferente, se debe proceder a limpiar el interior del tambor.
  10. Se recomienda que al final de cada jornada, el operador limpie el polvo acumulado en la superficie exterior de la máquina.

**APÉNDICE 4**  
**Fotografía del proceso de Construcción**



**Figura 0.2. Proceso de Fabricación del cono. Fuente: Elaboración Propia.**



**Figura 0.3. Proceso de Fabricación de la Estructura de Soporte. Fuente: Elaboración propia**



Figura 0.4. Foto del Mezclador de Doble Cono terminado. Fuente: Elaboración Propia.

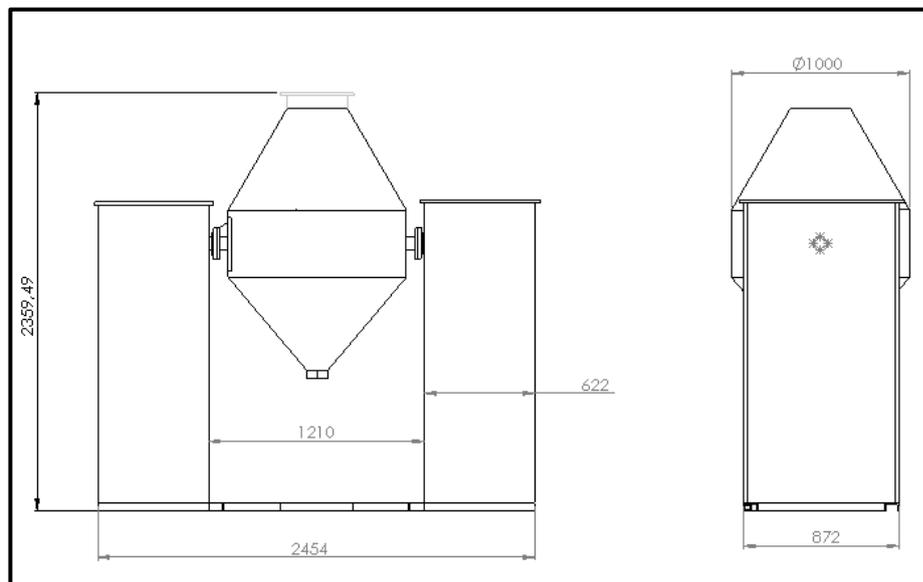
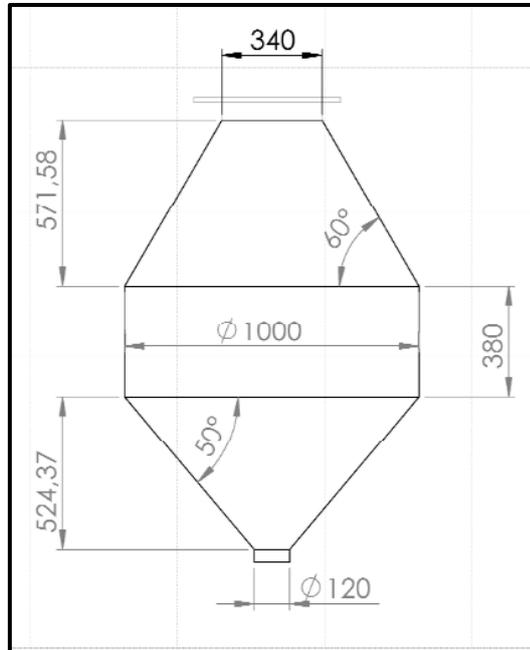
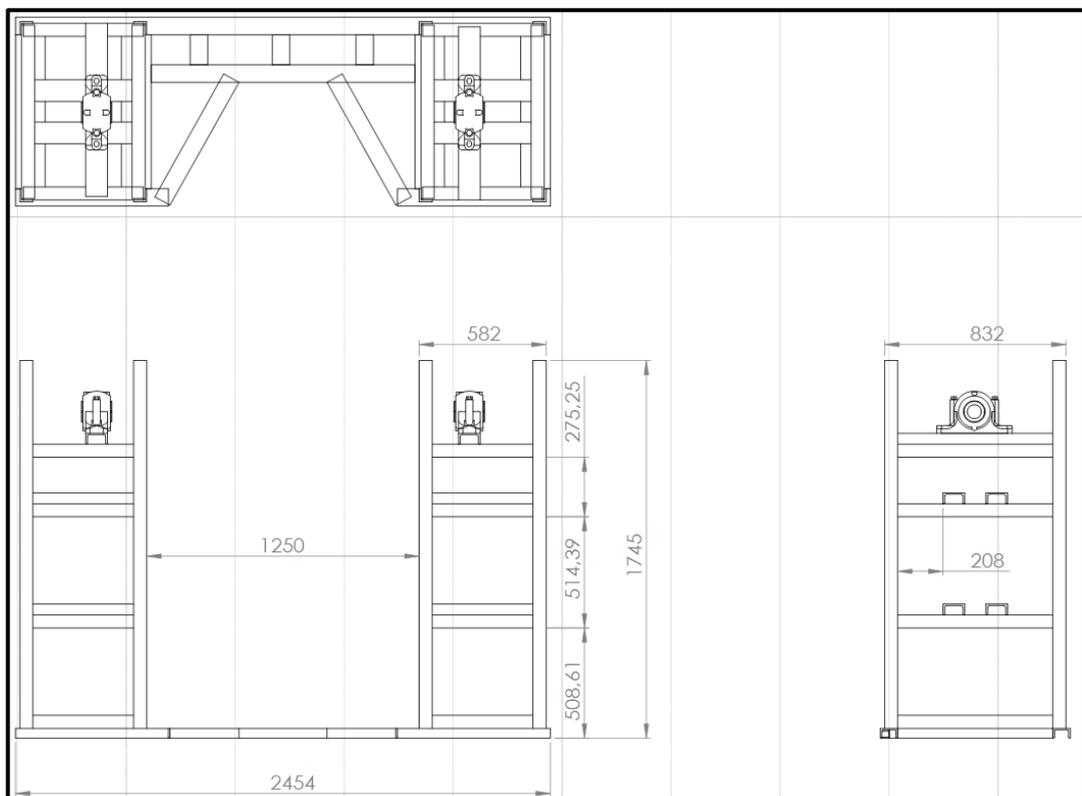


Figura 0.5. Dimensiones generales del mezclador de doble cono. Fuente: Elaboración Propia.

**APÉNDICE 5**  
**Planos generales de la máquina**



**Figura 0.6. Dimensiones generales del tambor**



**Figura 0.7. Dimensiones generales de la estructura de soporte**