



**OPTIMIZACIÓN DE EQUIPO TRITURADOR DE ENVASES DE VIDRIO CON  
CAPACIDAD 130 kg/h, PARA LA EMPRESA SCHOTT ENVASES  
FARMACEUTICOS S.A.S**

**OMAR YESID CADENA CAMPOS**

**HEIBER STIVEN FANDIÑO DÍAZ**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Bogotá D.C, Colombia  
2021

**OPTIMIZACIÓN DE EQUIPO TRITURADOR DE ENVASES DE  
VIDRIO CON CAPACIDAD 130 kg/h, PARA LA EMPRESA  
SCHOTT ENVASES FARMACEUTICOS S.A.S**

**OMAR YESID CADENA CAMPOS**

**HEIBER STIVEN FANDIÑO DÍAZ**

Proyecto de grado presentado para optar al título de:  
**Ingeniero Electromecánico**

Director:  
Ing. MSc. Diego Alejandro Pardo Amaya

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Bogotá D.C, Colombia  
2021

## **Lema**

*Es para nosotros un orgullo estar en esta instancia de nuestra formación profesional, queremos dedicarle este proyecto a nuestras esposas y familiares, que a través del tiempo siempre estuvieron a nuestro lado siendo aliento y motivación.*



## **Agradecimientos**

En primer lugar, agradecemos a Dios por nuestras vidas, por su provisión y bendición en todo tiempo.

A nuestras esposas por su confianza y apoyo incondicional en las adversidades presentadas a lo largo de estos años, igualmente a nuestros padres y hermanos.

Agradecemos a cada uno de los docentes que hizo parte en algún momento de nuestra formación, en especial al Ingeniero José German Gutiérrez por su humildad, colaboración y excelente vocación, al ingeniero Diego Pardo Amaya agradecemos su paciencia, dedicación, profesionalismo y apoyo durante el desarrollo de este proyecto.

A Schott Envases Farmacéuticos S.A.S, agradecemos su apoyo y confianza, por permitir desarrollar nuestro proyecto de grado, en una aplicación dentro de su compañía.

## Resumen

Para Schott envases farmacéuticos S.A.S las continuas complicaciones mecánicas y difícil operación que presentaba la maquina trituradora de envases rechazados, creó la inminente necesidad de optimizar el equipo, para conseguir mayor disponibilidad, eficiencia y reducción en los costos de mantenimiento, para ello se formuló la implementación de una banda transportadora como nuevo mecanismo de elevación para los envases, para el triturador de envases se planteó aumentar la cantidad de martillos de modo que se incremente la eficiencia y adicionalmente el cambio del tipo de acero en que se construyen los martillos de impacto para lograr mayor durabilidad.

Las bandas transportadoras resultan ser equipos sumamente apropiados para el transporte de materiales a granel, sus configuraciones brindan numerosas posibilidades, entre ellas el ascenso o descenso de material, en el presente documento se desarrolló el cálculo y selección de los elementos que componen la banda transportadora implementada y mediante la cual se llevará a cabo el transporte de los envases hasta depositarlos dentro del triturador, la trituración es un proceso mediante el cual se realiza la reducción del tamaño de un elemento o material, en este caso los envases de vidrio son desintegrados por impactos que les generan los martillos ubicados en el eje motriz .

Con la implementación del transportador de banda se consiguió que los envases no se rompieran antes de ingresar en el triturador, esto elimino las condiciones de contaminación física (partículas de vidrio) en los elementos móviles del equipo y en el área de trabajo, evitándose así el desgaste prematuro de mecanismos, aumentando la disponibilidad del equipo y eliminando condiciones inseguras del proceso, adicionalmente se logró una reducción del 50% en los costos de mantenimiento anual del equipo.

La cámara de trituración incrementa su eficiencia en un 16% evitando reprocesos esto gracias a la incorporación de once nuevos matillos de impacto y una nueva distribución, el acero AISI/SAE 4140 brinda a los martillos de impacto una mayor resistencia al desgaste por abrasión en comparación con el acero AISI/SAE 1020.

**Palabras clave:** Trituración, martillos, banda transportadora, envases vidrio, desgaste.

## Abstract

The continuous mechanical complications and difficult operation that the rejected container crushing machine presented, created the imminent need to optimize the equipment, to achieve greater availability, efficiency and reduction in maintenance costs, for which the implementation of a conveyor belt was formulated as new lifting mechanism for the containers, for the container crusher it was proposed to increase the number of hammers so as to increase efficiency and additionally change the type of steel in which the impact hammers are built to achieve greater durability.

Conveyor belts turn out to be highly appropriate equipment for the transport of bulk materials, their configurations offer numerous possibilities, including the ascent or descent of material, in this document the calculation and selection of the elements that make up the implemented conveyor belt were developed. and through which the transport of the containers will be carried out until they are deposited inside the shredder, the shredding is a process by which the size of an element or material is reduced, in this case the glass containers are disintegrated by impacts generated by the hammers located on the drive shaft.

With the implementation of the belt conveyor, it was achieved that the containers did not break before entering the shredder, this eliminated the conditions of physical contamination (glass particles) in the moving elements of the equipment and in the work area, thus avoiding the Premature wear of mechanisms, increasing equipment availability, and eliminating unsafe process conditions, additionally a 50% reduction in annual equipment maintenance costs was achieved.

The crushing chamber increases its efficiency by 16% avoiding reprocessing this thanks to the incorporation of eleven new impact hammers and a new distribution, AISI/SAE 4140 steel gives impact hammers greater resistance to abrasive wear compared to steel AISI/SAE 1020.

**Keywords:** Trituration, hammers, conveyor belt, glass containers, wear.

# Contenido

Resumen .....	6
Lista de figuras .....	11
Lista de tablas.....	12
Lista de siglas .....	14
1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1 Descripción del problema .....	16
2. JUSTIFICACION.....	16
3. OBJETIVOS .....	17
3.1 Objetivo general .....	17
3.2 Objetivos específicos.....	17
MARCO TEORICO .....	17
4. ENVASES FARMACÉUTICOS .....	17
4.1 Materiales.....	18
4.2Tipos .....	19
4.3Fabricación.....	21
4.4 Envases rechazados .....	23
5. TRITURACIÓN .....	25
5.1Generalidades.....	25
5.2 Clasificación de los trituradores.....	25
6. BANDAS TRANSPORTADORAS .....	28
6.1Generalidades.....	28
6.2Componentes básicos de una banda transportadora .....	28
6.3Funcionamiento.....	29
6.4Clasificación .....	29
6.5Parametros de diseño .....	31
7. MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS .....	31
7.1 Criterio de máxima tensión de Von Mises.....	32
7.2 Frecuencia angular.....	32
7.3 Frecuencia de resonancia .....	32
METODOLOGIA .....	32
8. DIAGNOSTICO.....	32



8.1 Estado.....	32
8.2 Fallas frecuentes.....	34
8.2.1 Concepto técnico del recambio elementos críticos: .....	36
8.3 Costos de reparación y mantenimiento .....	37
8.4 Ambiente y operación.....	37
8.5 Estudio de necesidades y variables de diseño .....	39
▪ Capacidad .....	39
▪ Dimensionamiento.....	39
▪ Materiales.....	39
▪ Martillos de impacto.....	39
▪ Modo funcionamiento .....	39
▪ Tiempo de operación.....	39
▪ Consumo energético.....	39
▪ Propiedades físicas del material a triturar .....	39
▪ Fácil operación(recurso) .....	40
▪ Seguridad.....	40
▪ Mantenimiento .....	40
9. DISEÑO.....	40
9.1 Casa de calidad.....	40
9.2 Banda transportadora.....	44
9.2.1 Caracterización del material .....	44
▪ Peso específico ( $\gamma$ ).....	44
▪ Angulo de reposo ( $\alpha$ ).....	44
▪ Ángulo de sobrecarga ( $\beta$ ) .....	45
9.2.2 Dimensiones y Capacidad .....	46
▪ Trayecto y dimensiones:.....	46
▪ Ancho de la banda.....	47
▪ Factor por inclinación de la banda .....	49
▪ Capacidad volumétrica .....	49
▪ Velocidad de la banda .....	50
▪ Capacidad de transporte.....	51
▪ Cálculo del peso de las partes móviles de la banda.....	51
▪ Valores del coeficiente C .....	52

▪	Coeficiente $f$ de fricción en los rodillos .....	53
▪	Distancia entre rodillos .....	54
9.2.3	Peso de banda y rodillos .....	55
▪	Peso de los rodillos.....	55
▪	Peso de la banda.....	56
9.2.4	Fuerzas sobre la banda.....	56
▪	Fuerza para mover la banda en vacío ( $F_1$ ).....	56
▪	Fuerza para transportar el material horizontalmente ( $F_2$ ).....	56
▪	Fuerza necesaria para elevar el material ( $F_3$ ) .....	57
9.2.5	Sistema de Potencia.....	59
▪	Potencia del motor.....	59
9.2.6	Tensiones de la banda .....	60
▪	Tensión efectiva .....	60
▪	Coeficiente de accionamiento.....	60
▪	Tensión del lado tenso de la banda .....	61
▪	Tensión del lado flojo de la banda .....	61
▪	Tensiones en el retorno de la banda.....	62
▪	Tensión por el peso de la banda en la pendiente.....	62
9.2.7	Material y características de la cinta transportadora.....	63
9.2.8	Tambores.....	65
▪	Velocidad tambor motriz .....	66
▪	Análisis dinámico de cargas .....	67
▪	Límite de resistencia a la fatiga para los tambores .....	71
9.2.9	Estructura de la banda transportadora .....	75
▪	Análisis estático de estructura soporte de banda transportadora.....	77
9.2.10	Resumen propuesta de diseño banda transportadora .....	80
9.3	Cámara de Trituración.....	81
9.4	Material para martillos de impacto.....	85
9.5	Elementos y circuitos eléctricos.....	88
▪	Motores eléctricos.....	88
▪	Cálculo de conductores .....	88
▪	Disyuntor termomagnético.....	92
▪	Totalizador.....	93

▪	Variador de frecuencia.....	93
▪	Puesta a tierra .....	93
10.	COSTOS.....	95
10.1	Costo implementación banda transportadora.....	95
10.1	Costo optimización cámara de trituración .....	95
10.2	Costo tablero eléctrico .....	96
11.	ENSAMBLE .....	97
11.1	Tablero eléctrico.....	97
11.2	Estructura banda transportadora .....	97
12.	CONCLUSIONES .....	101
13.	BIBLIOGRAFÍA .....	104
14.	ANEXOS .....	107

## Lista de figuras

Figura 1.	Viales.....	20
Figura 2.	Ampollas.....	20
Figura 3.	Jeringas.....	20
Figura 4.	Carpules .....	21
Figura 5.	Fabricación de viales .....	21
Figura 6.	Proceso de fabricación envases de vidrio (viales-ampollas) .....	22
Figura 7.	Rechazo mensual durante el 2020-2 en Schott envases Farmacéuticos S.A.S	24
Figura 8.	Rechazo, enero del 2021 en Schott envases Farmacéuticos S.A.S.....	24
Figura 9.	Triturador de mandíbula.....	26
Figura 10.	Triturador de rodillos .....	26
Figura 11.	Triturador giratorio o de cono .....	27
Figura 12.	Triturador de impacto eje horizontal .....	27
Figura 13.	Equipo de trituración .....	33
Figura 14.	Equipo de trituración (2).....	34
Figura 15.	Sistema de transmisión del tornillo sinfín .....	35
Figura 16.	Medición del nivel de ruido.....	37
Figura 17.	Angulo de reposo.....	45
Figura 18.	Esquema geométrico de una banda transportadora.....	46
Figura 19.	Distribución de material sobre un rodillo plano.....	48
Figura 20.	Coefficiente C de fricción por longitud de banda. ....	52
Figura 21.	Distancia entre rodillos.....	54
Figura 22.	Soportes en tramo portante y de retorno.....	55
Figura 23.	Diagrama de cuerpo libre para fuerzas sobre una banda inclinada.....	57
Figura 24.	Diagrama de tensiones sobre la banda.....	62

Figura 25. Constitución banda de transporte .....	63
Figura 26. Banda transportadora con empujadores .....	63
Figura 27. Runner y empujador .....	64
Figura 28. Escala dureza Shore.....	65
Figura 29. Tambor motriz, vista isométrica .....	65
Figura 30. Dimensiones tambor motriz .....	66
Figura 31. Mallado .....	69
Figura 32. Modo de vibración 1 .....	70
Figura 33. Modo de vibración 2.....	71
Figura 34. Factor de tamaño.....	73
Figura 35. Factor de carga.....	73
Figura 36. Diagrama límite de fatiga - Numero de ciclos.....	74
Figura 37. Perfil modular de aluminio.....	76
Figura 38. Estructura soporte de banda transportadora .....	76
Figura 39. Análisis estático .....	77
Figura 40. Mallado .....	78
Figura 41. Resultado análisis estático - Tensiones .....	79
Figura 42. Resultado análisis estático - Desplazamientos .....	79
Figura 43. Resultado análisis estático - Factor de seguridad .....	80
Figura 44. Cámara de trituración actual .....	82
Figura 45. Muestreo – Eficiencia triturador.....	82
Figura 46. Propuesta cámara de trituración .....	84
Figura 47. Disyuntor termomagnético .....	92
Figura 48. Tablero eléctrico .....	97
Figura 49. Corte de perfiles con sierra .....	98
Figura 50. Proceso ensamble de estructura.....	98
Figura 51. Fabricación platinas .....	99
Figura 52. Platinas de fijación instaladas .....	99
Figura 53. Montaje tablero eléctrico y sistema motriz.....	100
Figura 54. Ensamble final .....	100
Figura 55. Medicion nivel de ruido equipo optimizado.....	101

## Lista de tablas

Tabla 1. Composición química del vidrio de borosilicato .....	18
Tabla 2. Propiedades vidrio de borosilicato (FIOLAX).....	19
Tabla 3. Causales de rechazo y desperdicio.....	23
Tabla 4. Clasificación según trayecto.....	30
Tabla 5. Fallas frecuentes.....	34
Tabla 6. Vida útil aproximada de los elementos del equipo triturador.....	36
Tabla 7. Costos de reparación y mantenimiento .....	37
Tabla 8. Valores límites permisibles para exposición ocupacional al ruido.....	38
Tabla 9. Niveles de decibelios. ....	38

Tabla 10. Características físicas de los envases a triturar .....	40
Tabla 11. Requerimientos e importancia relativa (HOQ) .....	41
Tabla 12. Objetivos (HOQ).....	41
Tabla 13. Como's (HOQ) .....	42
Tabla 14. Correlaciones (HOQ) .....	42
Tabla 15. Correlaciones como's - que's (HOQ) .....	43
Tabla 16. Valoración de la importancia técnica de los objetivos (HOQ) .....	44
Tabla 17. Características del material según su fluidez, sobrecarga y ángulo de reposo..	46
Tabla 18. Ancho de banda según tamaño del material .....	48
Tabla 19. Velocidad de banda máxima recomendada (m/s).....	50
Tabla 20. Valores del coeficiente C.....	53
Tabla 21. Coeficiente f de fricción en los rodillos .....	53
Tabla 22. Distancia entre rodillos de transporte y retorno .....	54
Tabla 23. Peso de los rodillos .....	55
Tabla 24. Peso de la banda .....	56
Tabla 25. Eficiencia mecánica de equipos reductores de velocidad.....	59
Tabla 26. Coeficiente de fricción tambor - banda.....	60
Tabla 27. Ángulo de contacto en cabezal motriz.....	61
Tabla 28. Cargas en el tambor.....	68
Tabla 29. Detalles de la malla.....	69
Tabla 30. Factor de Superficie .....	72
Tabla 31. Factor de temperatura.....	73
Tabla 32. Factor de confiabilidad .....	74
Tabla 33. Comparación elementos estructurales .....	75
Tabla 34. Fuerzas actuantes en la estructura .....	77
Tabla 35. Detalles de la malla.....	78
Tabla 36. Resumen propuesta de diseño banda transportadora.....	80
Tabla 37. Eficiencia trituración .....	83
Tabla 38. Comparación aceros de ingeniería.....	85
Tabla 39. Ponderación tipos de acero.....	87
Tabla 40. Motores eléctricos - Características .....	88
Tabla 41. Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V .	90
Tabla 42. Número máximo conductores en tubería EMT .....	91
Tabla 43. Calibre mínimo para conductores de puesta a tierra .....	94
Tabla 44. Costo implementación banda transportadora .....	95
Tabla 45. Costo optimización cámara de trituración.....	96
Tabla 46. Costo tablero eléctrico.....	96

## Lista de siglas

**AISI:** American Iron and Steel Institute (Instituto americano del hierro y el acero)

**dBA:** Decibelio ponderado

**DIN:** Instituto Alemán para la Normalización

**C:** Carbono

**Cr:** Cromo

**HP:** Caballo de fuerza

**ISO:** Organización Internacional de Estandarización

**Kg:** Kilogramo

**Kg/h:** Kilogramo por hora

**Kg/m<sup>3</sup>:** Kilogramo por metro cubico

**kW:** Kilovatio

**m:** Metro

**m<sup>2</sup>:** Metro cuadrado

**mm:** Milímetro

**m/s:** Metro por segundo

**Mn:** Manganeseo

**Mo:** Molibdeno

**N:** Newton

**rpm:** Revolución por minuto

**SAE:** Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotrices)

**Si:** Silicio

**T/h:** Tonelada por hora

**T/m<sup>3</sup>:** Tonelada por metro cubico

**V:** Voltio

## Lista de ecuaciones

- Ecuación 1.** Teorema de Pitágoras
- Ecuación 2.** Ángulo de reposo del material
- Ecuación 3.** Longitud del tramo inclinado
- Ecuación 4.** Longitud total de la banda
- Ecuación 5.** Ángulo de inclinación
- Ecuación 6.** Ancho útil ocupado por el material
- Ecuación 7.** Área de sección transversal de la banda
- Ecuación 8.** Factor por inclinación de la banda
- Ecuación 9.** Capacidad volumétrica
- Ecuación 10.** Capacidad volumétrica requerida
- Ecuación 11.** Velocidad de la banda
- Ecuación 12.** Capacidad de transporte
- Ecuación 13.** Peso de las partes móviles de la banda
- Ecuación 14.** Coeficiente de fricción C
- Ecuación 15.** Fuerza para mover la banda en vacío
- Ecuación 16.** Fuerza necesaria para transportar el material horizontalmente
- Ecuación 17.** Fuerza necesaria para elevar el material
- Ecuación 18.** Peso de los envases transportados a lo largo del trayecto inclinado
- Ecuación 19.** Componente de los envases tangencial a la banda
- Ecuación 20.** Fuerza necesaria para elevar los envases.
- Ecuación 21.** Componente de los envases normal a la banda.
- Ecuación 22.** Fuerza para desplazar la carga horizontalmente.
- Ecuación 23.** Potencia teórica para desplazar el material.
- Ecuación 24.** Potencia del motor.
- Ecuación 25.** Tensión efectiva.
- Ecuación 26.** Coeficiente de accionamiento.
- Ecuación 27.** Tensión del lado tenso de la banda.
- Ecuación 28.** Tensión del lado flojo de la banda.
- Ecuación 29.** Tensión en el rodillo de retorno.
- Ecuación 30.** Tensión en el rodillo de retorno.
- Ecuación 31.** Velocidad radial tambor motriz
- Ecuación 32.** Límite de resistencia a la fatiga
- Ecuación 33.** Regla de tres simple.
- Ecuación 34.** Corriente total del equipo.
- Ecuación 35.** Caída de tensión por distancia del equipo.
- Ecuación 36.** Área transversal de los conductores.
- Ecuación 37.** Potencia eléctrica del motor.
- Ecuación 38.** Corriente nominal.
- Ecuación 39.** Corriente de sobrecarga.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Descripción del problema

Schott Envases Farmacéuticos S.A.S, es una empresa que se dedica a la transformación de vidrio específicamente para la elaboración de viales y ampollas, estos son envases diseñados para contener medicamentos o cosméticos. Durante la cadena de producción se detectan y rechazan envases que no cumplen los estándares de calidad esos envases deben ser destruidos de tal manera que se garantice a los clientes de la compañía, total confidencialidad del diseño y de la geometría de los envases, evitando que exista alguna probabilidad de réplica o plagio de algún producto. Para tal propósito la compañía dispone de un equipo de trituración, el cual está compuesto por un triturador tipo martillo de eje vertical y un tornillo sinfín que se encarga de elevar los envases y depositarlos dentro de la cámara de trituración.

Los envases de vidrio son depositados por el operario en la tolva dispuesta al inicio del tornillo sinfín, seguidamente el tornillo eleva los envases para depositarlos dentro del triturador. En la elevación del material hacia la cámara de trituración, el tornillo sinfín(móvil) aplasta envases contra la camisa(fija), esos impactos y la abrasión van creando fisuras en la camisa, a través de las cuales se salen partículas de vidrio que caen sobre la transmisión mecánica que estando en funcionamiento genera desgaste en los piñones, cadena y rodamientos dando origen a fallas, altos costos de reparación y retrasos en el proceso. Los martillos de impacto debido a la abrasión que se genera durante el proceso de trituración, se desgastan y al disminuir sus dimensiones aparecen grandes vacíos, donde no se logra impactar y fragmentar los envases ocasionando reprocesos, los martillos de impacto actualmente están construidos en acero AISI/SAE1020 y a causa del desgaste deben ser reemplazados aproximadamente cada 3 o 4 meses.

Anexo a los percances mecánicos, la forma actual en que el operario del equipo carga el material, demanda alto riesgo, al tener que con un elemento adicional (varilla), empujar los envases hacia el interior de la camisa para que el sinfín produzca la respectiva elevación del material, por ello se requiere que mediante el nuevo diseño del equipo se tomen las consideraciones necesarias para mitigar los riesgos a los que se expone al operador, igualmente el vidrio que cae al suelo genera una condición insegura en el área de trabajo.

## 2. JUSTIFICACION

Para Schott envases Farmacéuticos S.A.S la destrucción de los envases no aptos, es de carácter obligatorio debido a los riesgos sociales y/o legales que implicaría una réplica o uso indebido de cualquiera de los envases, por ello el equipo de trituración resulta de gran utilidad e importancia. A causa de las continuas fallas en su actual equipo de trituración, la compañía desde su departamento de mantenimiento ha venido estudiando las diversas posibilidades que le permitan mejorar el proceso, en sus consideraciones estuvo adquirir un equipo totalmente nuevo, pero debido a su alto costo no fue viable, puesto que triturar los envases no genera lucro alguno que facilite la retribución a una cuantiosa inversión, vale aclarar que este tipo de vidrio no es reutilizable dentro del mismo proceso de fabricación de envases.



Por tal motivo mediante el desarrollo de nuestro proyecto de grado, se brindará una solución de ingeniería, acorde al presupuesto y que satisfaga los requerimientos, para eliminar el déficit de continuidad en la operación y reducir los costos de mantenimiento, para ello se propone la implementación de una banda transportadora para alimentar la cámara de trituración, la modificación de la cámara de trituración y la selección de un material para la construcción de los martillos de trituración mitigando su desgaste.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general**

Optimizar el funcionamiento de la cámara de trituración y diseñar e implementar una banda transportadora para la alimentación del equipo triturador de envases de vidrio, con capacidad 130 kilogramos/hora, para el uso de Schott envases Farmacéuticos S.A.S.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Diagnostico e identificación de las necesidades y las variables de funcionamiento del equipo.
- Diseñar una banda transportadora, con capacidad de transporte mínimo de 130 kilogramos/hora para provisionar envases al triturador de la compañía Schott envases Farmacéuticos S.A.S.
- Rediseñar y evaluar mediante software (SolidWorks), mejoras aplicables en cuanto a distribución y ubicación de los martillos de impacto dentro de la cámara de trituración.
- Evaluar y definir el material óptimo para la construcción de los martillos de impacto.
- Ensamblar banda transportadora, acorde al diseño previamente desarrollado.
- Realizar documento, que contenga planos y análisis de cargas sobre los elementos diseñados, manual de operación y lineamientos de mantenimiento preventivo del equipo.
- Poner a punto y entregar el equipo a satisfacción de Schott envases Farmacéuticos S.A.S.

### **MARCO TEORICO**

#### **4. ENVASES FARMACÉUTICOS**

El propósito general de los envases farmacéuticos es preservar medicamentos en perfectas condiciones fisicoquímicas, durante su almacenamiento, transporte y comercialización, haciéndolos seguros y aptos para su uso.

El aumento de las inversiones en salud y los avances medicinales, son factores de impacto directo que impulsan el crecimiento del mercado de envases farmacéuticos, se proyecta que a nivel mundial en el 2022 se llegue a una cifra en ventas de \$ 104,882 millones USD, teniendo en cuenta que en 2015 se obtuvieron ventas por \$ 68,749 millones USD, creciendo a una tasa compuesta anual de 6.27% de 2016 a 2022. (ALLIED MARKET RESEARCH, s.f.).

La industria farmacéutica, ha contribuido en el desarrollo global a través de los años desde distintos escenarios, por ejemplo, mediante la investigación y desarrollo de medicamentos logran ofrecer a pacientes una mejor calidad de vida. A su vez tienen una contribución significativa en la generación de empleos que según la Federación Latinoamericana de la Industria Farmacéutica (FIFARMA) para el año 2015 en América latina fueron 259.000.

En Colombia durante los últimos años se ha multiplicado por cuatro el número de medicamentos que se fabrican o envasan en las plantas certificadas, fortaleciendo la capacidad productiva de la industria farmacéutica del país. Así mismo, se destaca que desde el año 2013 hasta el 2016, el país ha logrado mantener un número constante de plantas fabricantes certificadas que oscila entre 100 y 110. (INVIMA, 2019)

Schott, es una compañía con presencia a nivel mundial en 13 países, fabrica más de 500.000 artículos a base de vidrio, sus productos son utilizados en muchos sectores como el automovilismo, la aviación, cosmética, medicina dental, microscopia, electrónica, sensores, componentes para cámaras, envases primarios, tubos de vidrio para aplicaciones farmacéuticas, electrónica médica, entre otros. Su sede en Colombia Schott Envases Farmacéuticos S.A.S, se dedica a la transformación de vidrio proveniente de Schott Brasil Ltda, desarrollando la fabricación de envases primarios para aplicaciones farmacéuticas, veterinarias y cosméticas, su planta de producción tiene capacidad para fabricar mensualmente 38 millones de envases.

#### 4.1 Materiales

La selección de envases farmacéuticos en lo que respecta a material vidrio o plástico, se debe ejecutar detenidamente según los requerimientos de estabilidad del producto que se pretende envasar.

El vidrio es un material inerte, es decir no es químicamente reactivo, su composición química puede variar según su propósito, por ejemplo, el vidrio de borosilicato es el tipo de material usado en la industria de envases farmacéuticos y de laboratorio gracias a que ofrece excelente resistencia química, neutralidad e impermeabilidad, su composición química y propiedades son las siguientes:

Tabla 1. Composición química del vidrio de borosilicato

COMPONENTE		PORCENTAJE
SiO <sub>2</sub>	Dióxido de silicio (sílice)	81%
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de Boro	13%
Na <sub>2</sub> O	Óxido de Sodio	4%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de Aluminio	2%

Fuente: Elaboración propia, Datos: (GLASSTECH, s.f.)

Tabla 2. Propiedades vidrio de borosilicato (FIOLAX)

PROPIEDAD	VALOR (APROX.)
Densidad a 25°C	2.34 g/cm <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad (E)	73x10 <sup>3</sup> N·mm <sup>-2</sup>
Temperatura de transformación	565°C
Temperatura de reblandecimiento	785°C
Temperatura de elaboración	1160°C
Clase hidrolítica (ISO 719)	I
Clase de resistencia a los ácidos (ISO 12116)	I

Fuente: Elaboración propia, Datos: (SCHOTT GLASS TUBING, s.f.)

Como se evidencia la tabla N°2, el vidrio de borosilicato brinda excelentes propiedades su resistencia al agua y a los ácidos, son clase I según normas ISO siendo estas las más altas calificaciones respectivamente, así mismo es posible identificar su alta resistencia a la temperatura, alta resistencia al choque térmico, sin embargo, al igual que todos los tipos de vidrio son muy propensos a la fractura.

La resistencia mecánica define cuánta fuerza por área se puede aplicar a un material hasta que se produce la rotura. Para el vidrio, no es una característica material bien predecible que dependa estrictamente de las fuerzas intermoleculares que mantienen los compuestos de vidrio juntos, sino que tiene una cierta naturaleza estadística, su magnitud y su varianza estadística es principalmente una función de la calidad de la superficie del vidrio (espesores, rayaduras, temperaturas etc.) motivo por el cual no es posible determinar un valor para la rotura para los envases de vidrio. (schott, 2021)

Resulta entonces ser el vidrio, de los materiales tradicionalmente más empleados para la elaboración de envases, ya que por sus propiedades asegura estabilidad, visibilidad, resistencia, rigidez, resistencia a la humedad y economía (CARRANZA, 2014).

Para los envases plásticos suelen usarse materiales como el polietileno (HDPE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), estos materiales en comparación al vidrio no son totalmente inertes y requieren un análisis más detallado para proceder con su uso, se debe garantizar compatibilidad entre el envase y el producto a modo que no exista ningún tipo de reacción química que deteriore el envase y/o contamine el producto, este tipo de material es cada vez más usado, las industrias de envases invierten en técnicas para evolucionar sus propiedades y aumentar su confiabilidad, el plástico es un material sumamente asequible, con bajo costo de producción y de fácil recuperación para ser reciclado.

## 4.2Tipos

Existe gran variedad de envases con geometrías, volúmenes y colores acordes a los requerimientos de cada producto, los más usados y conocidos en la industria de los envases farmacéuticos son los viales, ampollas, jeringas y carpules.

**Viales:** Son envases en forma cilíndrica, usados para contener líquidos o polvos para diluir, inyectables y no inyectables, por su diseño permiten la extracción del medicamento de manera fraccionada (varias dosis), permitiendo volver a sellarlo sin que el producto se deteriore, se les encuentra igualmente de vidrio y de plástico.

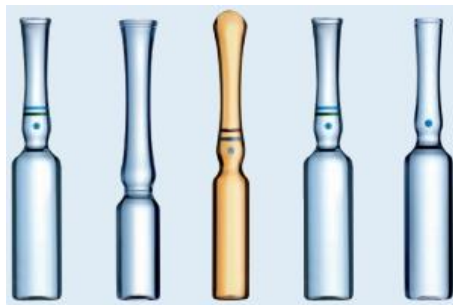
Figura 1. Viales



Fuente: (SCHOTT, s.f.)

**Ampollas:** Son un tipo de envase farmacéutico usualmente fabricadas en vidrio, en el cual una vez envasado el producto se sella herméticamente, usados generalmente para contener productos inyectables, una vez destapado el contenido debe ser suministrado en una única dosis, pues no es resellable.

Figura 2. Ampollas



Fuente: (SCHOTT, s.f.)

**Jeringas:** Son elementos bastante conocidos, se trata básicamente de un cilindro y un pistón que son accionados de forma manual, diseñados para inyectar o extraer líquidos, en su uso son complementadas con una aguja plenamente adaptable a la jeringa, según su propósito se les encuentra construidas en vidrio, plástico y metal.

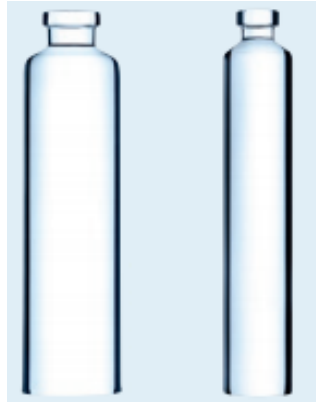
Figura 3. Jeringas



Fuente: (SCHOTT, s.f.)

**Carpules:** Son un tipo de envase muy similar a los viales, su función es ser incorporados en una jeringa carpule y mediante presión ejercida por el pistón de la jeringa inyectar el contenido, en el ámbito odontológico y quirúrgico su uso es frecuente para las anestésicos locales.

Figura 4. Carpules

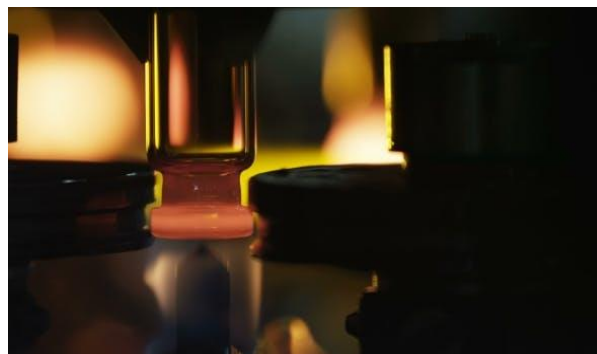


Fuente: (SCHOTT, s.f.)

### 4.3 Fabricación

En la fabricación de envases de vidrio, se emplean máquinas rotativas de tipo carrusel, inicialmente los tubos de vidrio se depositan en el cabezal de la máquina, haciendo girar el tubo sobre su propio eje, la parte inferior del tubo se calienta con la llama de un mechero hasta alcanzar su punto de reblandecimiento (785°C aprox.), automáticamente el tubo es trasladado a una estación de moldeado, allí se da forma a la boca del frasco, seguidamente el tubo cae un por gravedad a otra estación donde se corta según la longitud requerida, en este corte se consigue sellar la parte inferior del tubo obteniendo el fondo de un nuevo frasco, el ciclo que termina la construcción del frasco, da inicio a la fabricación de la parte superior del siguiente, el ciclo sigue repitiéndose una y otra vez, la fabricación de las ampollas es muy similar, a diferencia que este tubo es tomado entre dos cabezales, en los cuales el tubo se calienta y es estirado dando forma a la ampolla, luego térmicamente se hace un corte en la parte inferior del cabezal superior finalizando la construcción del envase, el tubo baja nuevamente para ser tomado por el cabezal inferior e iniciar el proceso.

Figura 5. Fabricación de viales



Fuente: (ENVATO ELEMENTS, 2020)

Figura 6. Proceso de fabricación envases de vidrio (viales-ampollas)



Fuente: Elaboración propia, Datos: Schott Colombia

En la actualidad existe gran variedad de métodos para transformar los plásticos en lo que respecta a envases se utilizan métodos como la inyección-soplado y extrusión-soplado, mediante el calentamiento y expansión del material dentro de un determinado molde, es posible obtener casi cualquier tipo de diseño con la facilidad de replicarse una y otra vez.

En la etapa de diseño los fabricantes de envases procuran implementar métodos y sistemas que aseguren la calidad de los productos, por ejemplo, existen dispositivos que permiten evidenciar de forma visualmente fácil si el envase fue abierto o manipulado, también se implementan impresiones con tintas especiales sobre los envases que se activan mediante lectores laser, esto permite evidenciar la originalidad y procedencia del producto.

La fabricación de envases farmacéuticos se encuentra regulada, a nivel internacional por la ISO15378 que establece buenas prácticas de producción y especifica los parámetros de calidad en diseño y fabricación, contenidos en la ISO9001.

#### 4.4 Envases rechazados

En un proceso industrial existen rechazos, debido a inconsistencias en los estándares o requerimientos del producto elaborado, en lo que respecta a envases de vidrio farmacéuticos, algunas causales de rechazo son: desviación en las dimensiones, espesores, pirograbado (tonalidad, no legible), excentricidad, desportillado, entre otros, para la detección de las diferentes desviaciones compañías como Schott envases Farmacéuticos S.A.S, disponen en sus líneas de proceso cámaras que permiten un control y monitoreo cien por ciento computarizado siendo más riguroso y confiable, en ciertos casos se requiere retirar envases de la línea de producción para que una persona inspeccione, una vez evaluados, se deben retirar y destruir para prevenir cualquier tipo de contaminación cruzada.

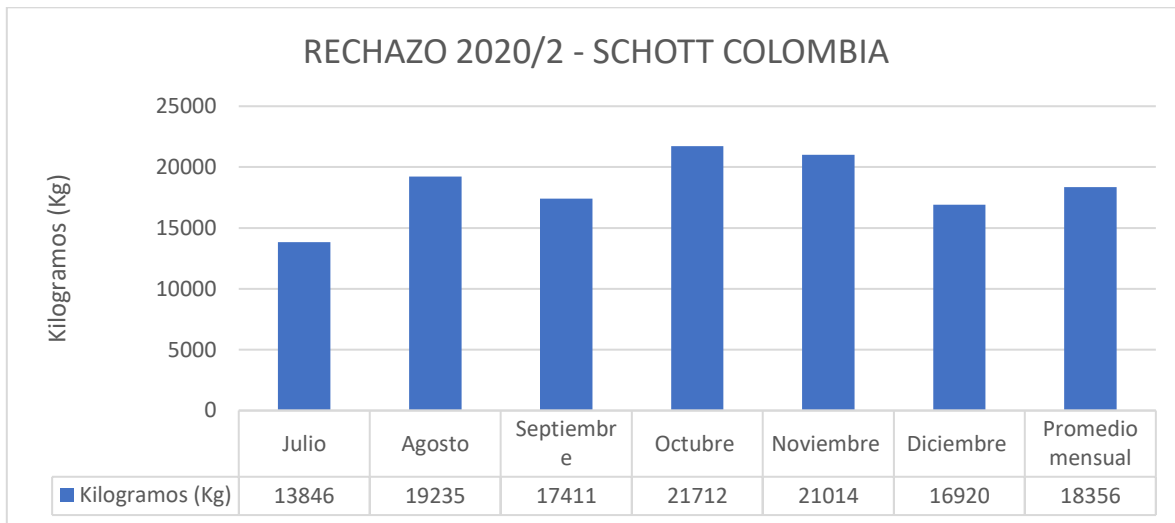
Tabla 3. Causales de rechazo y desperdicio

ETAPA DEL PROCESO	CAUSALES DE RECHAZO Y DESPERDICIO
<b>CARGADOR</b>	Operario deja caer accidentalmente los tubos o los carga mal en la maquina
	Problemas mecánicos o electroneumáticos, se estrella y rompe el tubo o se cae al suelo.
<b>FORMADORA</b>	Ajuste de medidas durante el cuadro del producto.
	Recorte de vidrio que genera la maquina en cada tubo
	Producto no conforme: rechazado por cámaras.
	Taponamientos de máquina, generan acumulaciones de envases que caen al suelo, y deben ser desechados.
	Calidad toma muestras de la línea que no pueden ser ingresados nuevamente por contaminación.
<b>TRANSPORTADOR</b>	Problemas electroneumáticos, caídas de envases
<b>SCREEN</b>	Calibrador de altura y envases sin fondo son rechazados.
	Envases utilizados para ajuste de pirograbado, aros, OPC y fisura, son desechados.
	Pantalla de pirograbado rota, contamina el transportador y los envases.
<b>HORNO</b>	Tonalidad, pirograbado quemado.
	Envases torcidos, problemas de tensión
	Caídas de envases dentro del horno, taponamientos.
	Envases crudos.
<b>EMPAQUE</b>	Envases no cumplen las especificaciones, rechazos por calidad.
	Taponamientos en la empacadora
<b>EXTERNOS</b>	Caídas de energía, causan fallas en maquinaria y hornos

Fuente: Elaboración propia, Datos: Schott Colombia

En Schott envases Farmacéuticos S.A.S, cuando el departamento de calidad determina que un envase es no apto, este se retira inmediatamente de la línea de proceso y se dispone como rechazo para proceder con su destrucción, en la Figuras N°7 se muestra mes a mes la cantidad en kilogramos de envases rechazados durante el segundo semestre del 2020.

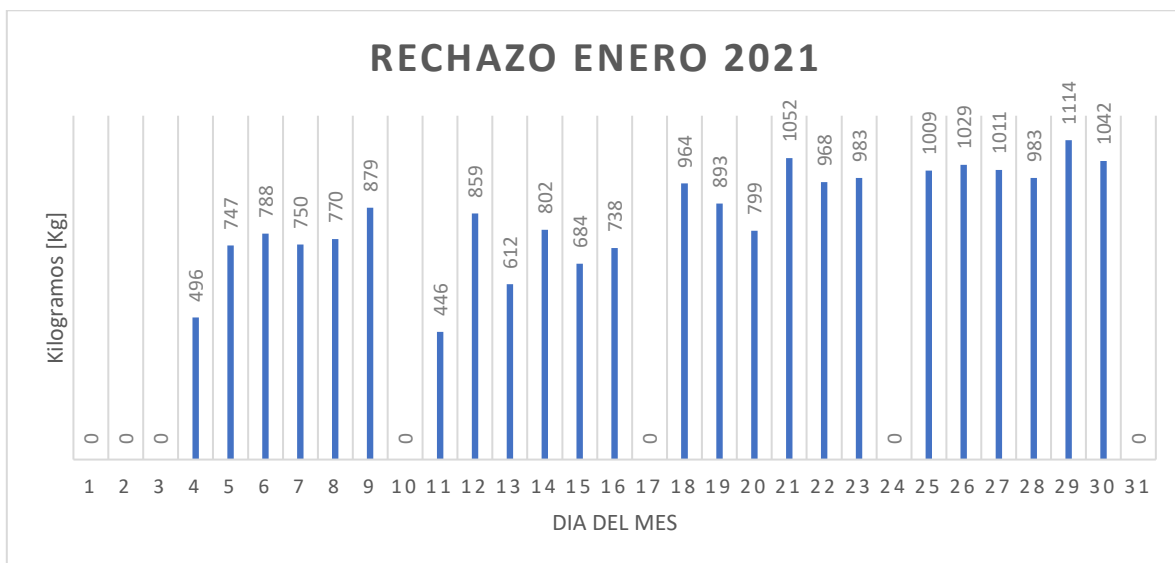
Figura 7. Rechazo mensual durante el 2020-2 en Schott envases Farmacéuticos S.A.S



Fuente: Elaboración propia, Datos: Schott Colombia

La Figura N°8 muestra la cantidad en kilogramos de los envases rechazados diariamente durante el mes de enero del año 2021, la destrucción de esos envases rechazados tiene como propósito salvaguardar la autenticidad de cualquier producto, eliminando las posibilidades de uso indebido o no autorizado, dando cumplimiento a una política de confidencialidad que la compañía maneja con sus clientes, según la Organización Mundial de la Salud, *“uno de cada diez medicamentos vendidos en el mundo es una falsificación”*, cifras que resaltan la importancia de destruir los envases rechazados y evitar que estos puedan ser usados inescrupulosamente.

Figura 8. Rechazo, enero del 2021 en Schott envases Farmacéuticos S.A.S



Fuente: Elaboración propia, Datos: Schott Colombia



# 5. TRITURACIÓN

## 5.1 Generalidades

Existen procesos industriales donde se requiere disminuir el tamaño de un elemento o material, ello podrá facilitar su uso, transporte, almacenamiento o mezcla, como por ejemplo en plantas productoras de agregados para la construcción se precisa obtener rocas de granulometrías inferiores a las que ofrece la naturaleza, también en procesos de reciclaje y transformación de un determinado material como vidrio o plástico es necesario desintegrar envases o formas para poder llevar acabo procesos subsiguientes. El proceso es conocido como trituración y para ello existen maquinas trituradoras con tipologías técnicas acordes al material y volumen que se desee triturar, sus características mecánicas son diversas, pero su objetivo general consiste en la fragmentación o reducción del tamaño inicial de un material mediante impacto o compresión.

Los trituradores son equipos altamente versátiles permitiendo su uso en diferentes escenarios, desde aplicaciones básicas para cocina donde sus tamaños pueden ser muy compactos, hasta llegar a la minería o industria con tamaños y capacidades realmente considerables, según el campo de aplicación, se debe seleccionar el equipo eligiendo, principio de funcionamiento, características y especificaciones técnicas como tamaño partícula de entrada, tamaño partícula de salida y capacidad del triturador.

## 5.2 Clasificación de los trituradores

De acuerdo con el principio de funcionamiento es decir con el método en que se ejecute la trituración impacto o compresión, se les puede clasificar de la siguiente manera.

**Triturador de mandíbula:** Caracterizado por su gran capacidad de compresión y aplastamiento, compuesto básicamente por una mandíbula fija y una mandíbula móvil acoplada a un eje excéntrico de una rueda que es impulsada por un motor eléctrico, genera movimientos repetitivos que Trituran el material una vez depositado en medio de las dos mandíbulas, su estructura mecánica permite graduar el espaciamento entre las mandíbulas, regulando así el tamaño del material a la salida, la trituración ejecutada por este tipo de equipos no suelen ser homogéneas, es un tipo maquina comúnmente usada para Triturar elementos grandes en el campo de la minería, existen modelos con capacidades superiores a 1000 toneladas por hora.

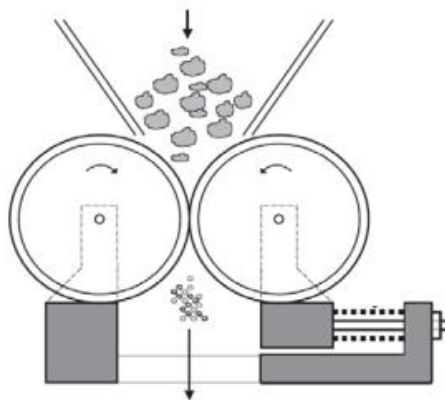
Figura 9. Triturador de mandíbula



Fuente: (Metso Minerals, 2008)

**Triturador de cilindros:** Conformado por dos o tres cilindros que giran en sentido opuesto y por lo general junto a una tolva de carga permiten canalizar el material, se les encuentra de cilindro liso o con cilindro dentado según el tipo de material que se requiera triturar, el tamaño de la partícula salida depende de la separación entre los cilindros, pero los cilindros suelen desgastarse rápidamente y de una manera irregular, situación que en ocasiones no permite un distanciamiento simétrico entre los cilindros.

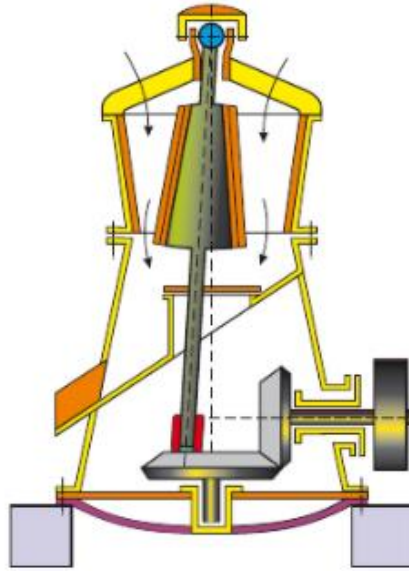
Figura 10. Triturador de rodillos



Fuente: (Rivas, 2005)

**Triturador giratorio:** Conformado principalmente por un par de engranajes cónicos, siendo el engrane de eje vertical el elemento conducido, donde se encuentra soportado de manera excéntrica el eje principal del triturador, esta excentricidad permite la descarga del material al mismo tiempo que se va realizando la trituración, este tipo de maquinaria logra triturar los materiales gracias a la compresión y cizallamiento que se efectúa entre la parte fija (carcasa) y el elemento móvil (cono), son frecuentemente usadas en la trituración de rocas y minerales, como su trituración no resulta tan fina son usadas en etapas primarias de trituración para facilitar el cargue y transporte de los materiales.

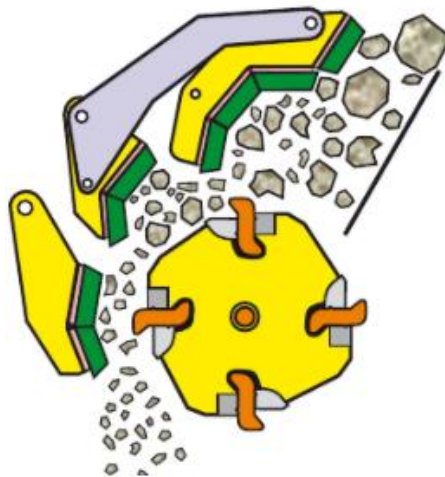
Figura 11. Triturador giratorio o de cono



Fuente: (Metso Minerals, 2008)

**Triturador de impacto o martillos:** Este tipo de maquinaria logra efectuar la trituración, gracias a los fuertes impactos y cizallamientos que se generan directamente al material, causando la fragmentación del mismo, los martillos de impacto están acoplados al eje motriz, existen diferentes diseños pero que operan bajo el mismo principio, se les encuentra de eje horizontal y de eje vertical, cada uno ofrece prestaciones diferentes por ejemplo en los de eje vertical cuando se regula la velocidad del rotor y la separación entre los martillos es posible obtener diferentes granulometrías, en los de eje horizontal se suelen acoplar cribas o tamices en la descarga, para controlar el tamaño de salida del material, logrando que el material sea impactado una y otra vez hasta disminuirlo al tamaño deseado.

Figura 12. Triturador de impacto eje horizontal



Fuente: (Metso Minerals, 2008)

## 6. BANDAS TRANSPORTADORAS

### 6.1 Generalidades

Las bandas transportadoras son equipos diseñados y construidos para transportar materiales de un punto a otro, siendo su mayor característica el flujo continuo de carga y descarga, ofrecen abundantes ventajas respecto a otros métodos o equipos de transporte gracias a su seguridad, adaptabilidad, economía y capacidades de carga, su implementación se puede lograr fácilmente sin importar la distancia entre trayectos, con posibles inclinaciones ascendentes y/o descendentes, incluso con curvas, según corresponda el diseño es factible transportar casi cualquier tipo de material desde los muy pequeños y livianos como polvos o harinas hasta llegar a algunos más grandes y pesados como rocas o madera, además en su funcionamiento se destaca que no afectan ni degradan los materiales transportados, no requieren de un operario en forma continua, son accionadas generalmente por un motor eléctrico resultando ser operativamente muy económicas, de fácil intervención y bajos costos de mantenimiento.

### 6.2 Componentes básicos de una banda transportadora

**Cinta o Banda:** Es el principal componente de una banda transportadora, encargado de transmitir la potencia otorgada por el componente motriz a lo largo de su recorrido, recibe y transporta el material, para su construcción los materiales a usar dependen de factores como el producto a transportar, inclinaciones, temperaturas de operación, humedad, entre otros, una de las configuraciones más usadas es la de tejido interno de textil o acero, recubierto con polímeros de superficie lisa o rugosa, para su correcto diseño se deben considerar las fuerzas longitudinales y transversales a las que será sometida durante el funcionamiento.

**Cabezal motriz:** Es el conjunto de motorreductor y tambor motriz en ocasiones se complementa de piñones y cadenas, este cabezal se encarga de generar y transmitir a la cinta la fuerza necesaria para lograr su desplazamiento y el transporte del material, puede ubicarse al inicio, al final o intermedio a la estructura de la banda transportadora, según corresponda el diseño y requerimientos de cada proceso, el tambor motriz esta recubierto de un material, casi siempre un polímero, aumentando el coeficiente de fricción entre el tambor y la cinta, para mejorar la adherencia y evitar deslizamientos, es oportuno recordar que a mayor ángulo de abrace que tenga la cinta para con el tambor motriz mayor será la fuerza transmitida.

**Tambor de reenvío:** Ubicado al extremo final opuesto del cabezal motriz, tiene como función retornar la cinta cuando se ha terminado el trayecto, es factible que junto al eje de este tambor se acoplen pernos para tensionar la cinta, el diámetro del tambor de reenvío debe ser el mismo del tambor motriz.

**Soportes en tramo portante:** Cuando se habla de tramo portante se hace referencia al trayecto durante el cual se ha de soportar el peso del material sobre la banda, para brindar

soporte durante este tramo existen los métodos de cuna o rodillos (planos o en artesa), cada uno con aplicaciones específicas de acuerdo a las características del material a transportar, por ejemplo para transportar cajas resulta más conveniente usar soporte de cuna que gracias a su continuidad no permitirá volcamientos y para materiales a granel es viable usar soporte de rodillos.

**Rodillos:** Dependiendo de su ubicación en la banda transportadora es posible clasificarlos así, rodillos portantes o superiores soportan el peso y ayudan a canalizar el material transportado, la separación longitudinal entre cada rodillo o grupo de rodillos estará determinada por la cantidad y características del material transportado, rodillos de retorno o inferiores se encargan de sostener la cinta vacía en su trayecto de retorno suelen usarse en una cantidad menor a los superiores, por último están los rodillos de amortiguamiento usados donde la alimentación o cargue de la banda transportadora genera grandes impactos, se fabrican o recubren en polímeros para absorber la energía con que cae el material, se instalan de manera más cercana unos de los otros y en las cantidades que se requiera para la controlar el impacto.

**Estructura soporte:** Es el conjunto de perfiles o formas comúnmente metálicas que brindan el soporte y permiten la interacción de todos los componentes, su diseño ha de ser igualmente minucioso y profesional, de manera que se garantice una plena utilidad y resistencia acorde a la demanda.

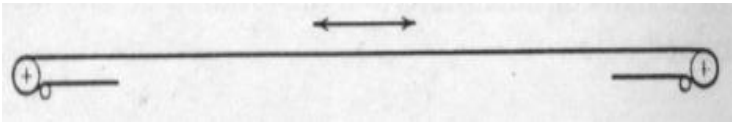


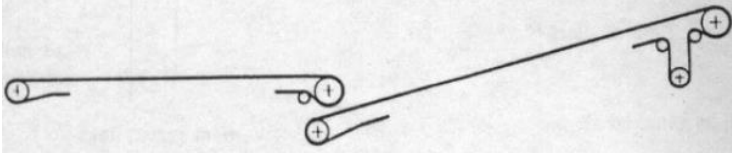
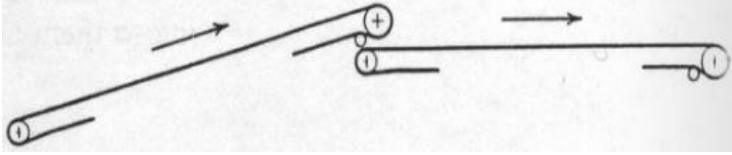
### **6.3Funcionamiento**

En general para este tipo de equipos se suele contar con un tablero de mando muy sencillo, con pulsadores de encendido y apagado, control de velocidad y paradas de emergencia en diferentes puntos de la banda transportadora si así se requiere, siendo de fácil manipulación y óptima seguridad, no obstante, algunos tipos de banda transportadora por sus capacidades y dimensiones pueden requerir de otras configuraciones para un control de funcionamiento más elaborado. Una vez se da arranque al motor eléctrico este provocará el accionamiento del tambor motriz que inmediatamente transmitirá potencia a la cinta, empezando a realizar automáticamente el transporte continuo por el lapso que se requiera.

### **6.4Clasificación**

Es posible obtener casi cualquier tipo de configuración de una banda transportadora, con inclinaciones ascendentes y/o descendentes, curvas de ser necesario, incluso adicionar elementos u otros equipos permitirán diferentes configuraciones, la interacción de varias bandas por ejemplo, puede facilitar el transporte en un trayecto muy largo y reducir cargas en la cinta, igualmente se tienen limitaciones como, el grado de inclinación, el espacio disponible, el recurso económico, entre otros, que obligaran a realizar un análisis de utilidad o diseño según se requiera. Las configuraciones más utilizadas de acuerdo con su trayectoria se clasifican a continuación.

Tabla 4. Clasificación según trayecto

<p>Recorrido horizontal</p>	
<p>Recorrido horizontal con inclinación ascendente, de una sola cinta.</p>	
<p>Recorrido ascendente con nivelación horizontal, de una sola cinta.</p>	
<p>Recorrido horizontal con inclinación ascendente, usando dos cintas.</p>	
<p>Recorrido ascendente con nivelación horizontal, usando dos cintas.</p>	

Fuente: (CEMA, s.f.)

## 6.5 Parámetros de diseño

De la correcta selección y combinación de los componentes de una banda transportadora, depende su óptimo funcionamiento, para ello es conveniente contemplar ciertos parámetros, que igualmente están sujetos a modificaciones según el avance del diseño.

- ✓ Material por transportar: Es el parámetro con más jerarquía, puesto que la banda se diseña entorno a las condiciones que demande poder hacer un transporte efectivo del material, ello implica de primera necesidad conocer el peso del material ( $\text{Kg/m}^3$ ), densidad, tamaño o granulometría, temperatura, abrasividad y ángulo de reposo.
- ✓ Capacidad: Necesariamente se debe estipular una capacidad, en toneladas o metro cúbico por hora, permitiendo un correcto dimensionamiento de la banda transportadora acorde a la demanda del proceso.
- ✓ Tipo de cinta: Una vez caracterizado el material a transportar y la capacidad requerida será posible determinar el modelo o tipo de cinta con la mayor conveniencia.

## 7. MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

El análisis del elemento finito es un método numérico ampliamente usado en ingeniería para resolver problemas descritos por una serie de ecuaciones diferenciales parciales. Este tipo de problemas se encuentran muy comúnmente en distintas disciplinas como diseño mecánico, acústica, electromagnetismo, mecánica de fluidos, entre otros estudios, y específicamente en ingeniería mecánica es utilizado para resolver problemas estructurales, de vibraciones y térmicos. (Ditlag, s.f.)

La mayoría de estos análisis se llevan a cabo mediante uso de softwares que utilizan el Método de Elementos Finitos, lo cual permite obtener respuestas para numerosos problemas de ingeniería, la geometría de una pieza es sometida a cargas y restricciones, se subdivide en partes más pequeñas, conocidas como “elementos”, que representan el dominio continuo del problema.

El método propone que un número infinito de variables desconocidas, sean sustituidas por un número limitado de elementos de comportamiento bien definido. Esas divisiones pueden tener diferentes formas, tales como triangular, cuadrangular, entre otros, dependiendo del tipo y tamaño del problema. Como el número de elementos es limitado, son llamados de “elementos finitos”, palabra que da nombre al método.

Los elementos finitos están conectados entre sí por puntos, que se llaman nodos o puntos nodales. Al conjunto de elementos y nodos se lo denomina malla (ESSS, s.f.)

### **7.1 Criterio de máxima tensión de Von Mises**

El criterio de Von Mises, también llamado criterio de la máxima energía de distorsión es un criterio de resistencia estática, aplicado a materiales dúctiles, según el cual, el material no fluirá en el punto analizado siempre que la energía de distorsión por unidad de volumen en el punto no supere la energía de distorsión por unidad de volumen que se da en el momento de la fluencia en el ensayo de tracción (Enciclopedia virtual de ingeniería mecánica, 2014). Su aplicación en simuladores computacionales es recurrente un ejemplo muy sencillo puede ser la comparación de la tensión de Von Mises con la tensión máxima admisible de un material, esta puede ser la correspondiente al límite elástico. Entonces, si la tensión de Von Mises en un punto del elemento analizado da 300 MPa y la tensión de fluencia es 600 MPa, quiere decir que en ese punto no se va a romper o fallar el elemento, y se puede evidenciar que el factor de seguridad es  $600/300 = 2$ . Ahora si hallamos un punto donde la tensión de Von Mises es 700 y se está usando el mismo material, ya existe una advertencia pues ahora el factor de seguridad es  $600/700 = 0.86$  (Pereiras, 2018).

### **7.2 Frecuencia angular**

Corresponde a la medida de velocidad de rotación de un cuerpo. Es el ángulo recorrido durante el giro en una unidad de tiempo, medido en la medida del arco. Se representa con el símbolo  $\omega$ , unidad rad/s. El tiempo T que necesita una rotación es el período, el número de rotaciones f durante 1s es la frecuencia de rotación o el número de revoluciones (Diccionario Técnico Electrotecnia. Editorial Científico-técnica, , 1990).

### **7.3 Frecuencia de resonancia**

Si una fuerza periódica se aplica a un sistema mecánico, la amplitud del movimiento resultante es mayor cuando la frecuencia de la fuerza aplicada es igual a una de las frecuencias naturales del sistema, por lo tanto, la rigidez también incrementará la frecuencia natural, y el aumento de la masa reducirá la frecuencia natural o de resonancia. El dramático aumento en amplitud cerca de la frecuencia natural se llama resonancia, y la frecuencia natural también se llama la frecuencia de resonancia del sistema (Serway, 2008).

## **METODOLOGIA**

### **8. DIAGNOSTICO**

#### **8.1 Estado**

El actual equipo de trituración, que posee Schott Envases Farmacéuticos S.A.S, fue construido por el personal de mantenimiento de la compañía en el año 2000, como respuesta a la necesidad de contar con un equipo que facilitara la destrucción de los envases rechazados y eliminara el desgaste físico en el personal, que para ese entonces destruía los envases en un triturador más pequeño, donde el operario debía cargar los envases dentro de una lona y subir a una escalera para depositar los envases dentro del molino.



Figura 13. Equipo de trituración

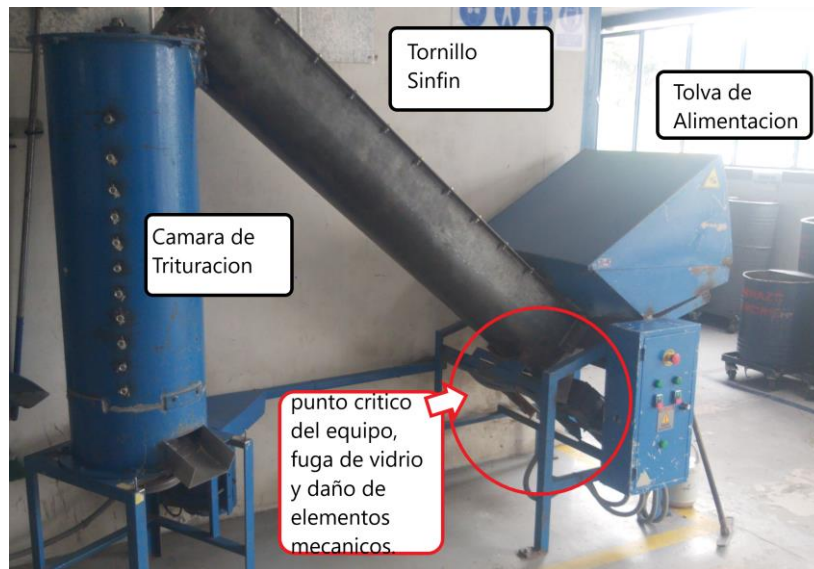


Fuente: Schott Colombia

El equipo de trituración está conformado por un molino de impactos de eje vertical y un elevador tipo tornillo sinfín o también conocido como tornillo de Arquímedes, la cámara de trituración es de forma cilíndrica, con diámetro 43cm y altura efectiva 1.2m, sobre la carcasa del triturador se hallan acoplados treinta y tres (33) martillos de impacto fijos o estacionarios, con diámetro 19mm y longitud 15cm, posicionados hacia la parte interna de la cámara de trituración, los cuales se entrecruzan con los treinta y seis (36) martillos del eje motriz que se ubican de manera perpendicular al eje y al igual que en la carcasa están distribuidos en hileras, por grupos de a tres con separaciones simétricas de  $120^\circ$ , el tornillo sinfín tiene una longitud de 2.0m, con inclinación de  $50^\circ$  respecto al suelo.

En cuanto a los sistemas de transmisión mecánica, el tornillo sinfín en la parte inferior tiene un sistema de piñón - cadena conectado a un motorreductor de 0.75 kW con una velocidad de salida 432 rpm, para el triturador se está usando un sistema de polea y correa conectadas a un motor de 2.2 kW a 1735 rpm, según datos nominales de placa en los equipos.

Figura 14. Equipo de trituración (2)



Fuente: Schott Colombia

Al equipo se le realiza mantenimiento preventivo con frecuencia anual, para entonces se suelen cambiar todos los martillos de impacto del triturador, según el desgaste se sellan las fugas o se cambia la camisa del tornillo sinfín y se remplazan piezas del sistema motriz (piñones, cadena, rodamientos de caja reductora) que presenten desgaste, el resto de las averías que se presentan durante este periodo son subsanadas con mantenimientos correctivos.

## 8.2 Fallas frecuentes

Por los hallazgos encontrados durante labores de mantenimiento y las experiencias de interacción con el equipo, el departamento de mantenimiento de la compañía refiere que las siguientes averías como las más recurrentes y de mayor impacto.

Tabla 5. Fallas frecuentes

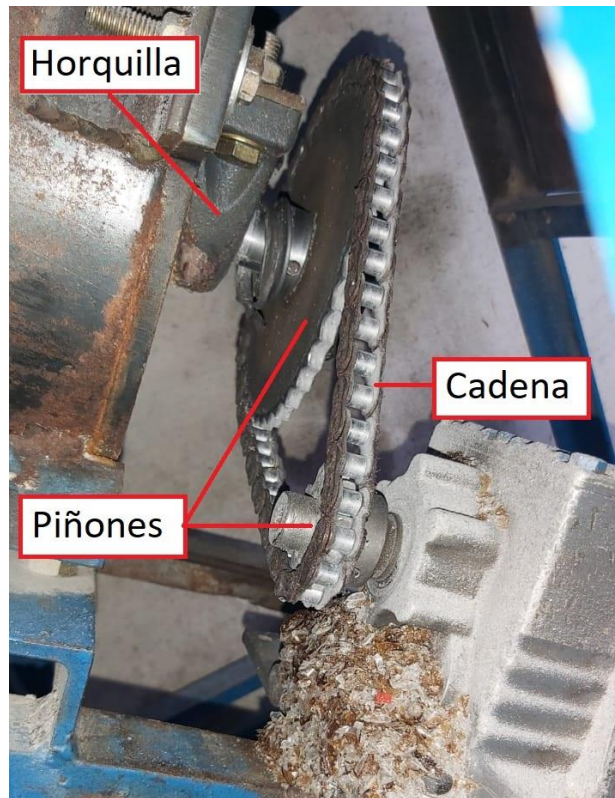
Falla	Causas
Desgaste y Fisuras en la camisa del tornillo sinfín	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acumulación de pequeñas partículas de vidrio, que el sinfín no logra subir y se mueven constantemente en la parte baja del tornillo, provocando desgaste de la camisa.</li> <li>• Envases que el tornillo sinfín por su movimiento impacta fuertemente contra la camisa.</li> </ul>
Desgaste en los piñones, sistema de transmisión tornillo sinfín	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fugas de vidrio, a través de la camisa del tornillo, que generan desgaste por abrasión entre los elementos móviles.</li> <li>• Falta de limpieza y lubricación, mantenimiento preventivo.</li> </ul>

Deterioro horquilla de soporte inferior del tornillo sinfín	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fugas de vidrio, a través de la camisa del tornillo, que generan desgaste por abrasión entre los elementos móviles.</li> <li>• Falta de limpieza y lubricación, mantenimiento preventivo.</li> </ul>
Cadena de transmisión tornillo sinfín rota	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fugas de vidrio, a través de la camisa del tornillo, que generan desgaste por abrasión entre los elementos móviles.</li> <li>• Falta de limpieza y lubricación, mantenimiento preventivo.</li> </ul>
Desgaste de los martillos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impactos generados a los envases.</li> <li>• Abrasión</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia, Datos: Schott Colombia

El sistema motriz del tornillo sinfín, está ubicado en la parte inferior del plano inclinado, sobre los piñones, cadena y rodamientos caen todos los fragmentos de vidrio que escapan a través de las fisuras de la camisa, esto produce un inminente desgaste en todos estos elementos.

Figura 15. Sistema de transmisión del tornillo sinfín



Fuente: Schott Colombia

En la tabla N°6 se relaciona la vida útil aproximada, de los elementos con mayor recurrencia en fallas, los datos fueron proporcionados por el departamento de mantenimiento de la compañía.

Tabla 6. Vida útil aproximada de los elementos del equipo triturador

Elemento	Vida útil aprox. (meses)
Camisa del sinfín	10-12
Sinfín	10-12
Piñones	1-2
Cadena	1-2
Rodamiento horquilla	1-2
Martillos de impacto	4-5

Fuente: Elaboración propia, Datos: Schott Colombia

### 8.2.1 Concepto técnico del recambio elementos críticos:

- **Camisa del sinfín:** Se suelen ejecutar reparaciones correctivas con soldadura sin embargo llega un punto donde el desgaste de la lámina no permite corregir con este método y se debe proceder con el cambio total de la camisa, puesto que a través de las fisuras salen fragmentos de vidrio que caen sobre el sistema motriz acelerando el desgaste de esos componentes.
- **Sinfín:** El desgaste en los alabes del sinfín ocasiona disminución en la capacidad de transporte, cuando el desgaste está en una etapa avanzada los envases más pequeños no puedan ser elevados para depositarlos en el triturador y se deben triturar de forma manual.
- **Piñones y cadena:** Estos elementos mecánicos suelen ser reemplazados cuando su desgaste desencadena en averías, por ejemplo cuando el dentado del piñón se desgasta y la potencia que se transmite al tornillo sinfín disminuye incluso hasta llegar a ser nula, si la cadena se rompe dejando el equipo fuera de servicio, adicionalmente que el deterioro de estos elementos incrementa el ruido durante el funcionamiento, es importante recordar que la durabilidad de estos elementos en gran medida depende del ambiente de trabajo y el correcto mantenimiento (limpieza-lubricación).
- **Rodamiento horquilla:** Pese a que el rodamiento cuenta con sellos o escudos laterales para evitar el ingreso de partículas o suciedad hacia el interior del rodamiento, partículas diminutas de vidrio ingresan y causan deterioro en las pistas, jaula y esferas, motivo por el cual este elemento se debe cambiar con una frecuencia no mayor a dos meses.
- **Martillos de impacto:** El impacto de los martillos contra los envases de vidrio genera un desgaste progresivo del metal, en este suceso los martillos pierden diámetro y longitud, que afecta directamente el rendimiento del triturador, aumentando la cantidad de envases sin triturar una vez terminado el proceso y estos deben ser reprocesados.

### 8.3 Costos de reparación y mantenimiento

A continuación, en la tabla N°7 se relaciona el costo (IVA incluido) de los repuestos utilizados en reparaciones y mantenimientos del equipo, datos suministrados por el departamento de mantenimiento de la compañía.

Tabla 7. Costos de reparación y mantenimiento

<b>Elemento</b>	<b>Costo (COP)</b>
Camisa Tornillo sinfín	\$ 1.000.000
Sinfín	\$ 2.000.000
Martillos impacto	\$ 1.970.000
Cadena	\$ 98.000
Piñón conductor	\$92.000
piñón conducido	\$150.000
Rodamiento horquilla	\$122.000

Fuente: Elaboración propia, Datos: Schott Colombia

De los anteriores datos se concluye que el costo anual para el mantenimiento del equipo asciende en promedio a \$9.000.000 (COP).

### 8.4 Ambiente y operación

Durante el funcionamiento del equipo los choques entre los envases, martillos, camisa y tornillo sinfín, producen un ruido de 100.3 dBA (Dato obtenido en campo), que de acuerdo con la Resolución 1792 de 1990 es un nivel de ruido al que no se debe tener exposición durante más de una hora continua.

Figura 16. Medición del nivel de ruido



Fuente: Schott Colombia

Tabla 8. Valores límites permisibles para exposición ocupacional al ruido

Tiempo límite de exposición (horas)	Valor (dBA)
8	85
4	90
2	95
1	100
1/2	105
1/4	110
1/8	115

Fuente: Elaboración propia, Datos: Resolución 1792 de 1990

Tabla 9. Niveles de decibelios.



Fuente: (ALLPE, s.f.)

**Nota:** Curva A (dBA). Mide la respuesta del oído, ante un sonido de intensidad baja. Es la más semejante a la percepción logarítmica del oído humano. Se utiliza para establecer el nivel de contaminación acústica y el riesgo que sufre el hombre al ser expuesto a la misma (Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito, s.f.).



Además, durante la operación del equipo es posible observar el esfuerzo y riesgo físico, al que se somete el operario del equipo, pues debe alzar una canasta con 20 Kg de envases un metro desde el suelo para depositarlos dentro de la tolva y seguidamente con una varilla empujarlos hacia el interior del tornillo sinfín para que sean elevados.

## 8.5 Estudio de necesidades y variables de diseño

### ▪ **Capacidad**

Mediante datos suministrados por Schott Envases Farmacéuticos, se estableció que el equipo triturador de envases debe contar una capacidad mínima de 130 Kg/h, para que en una jornada de 8 horas se logre triturar el rechazo que genera la planta en 24 horas de producción y que asciende en promedio a una tonelada.

### ▪ **Dimensionamiento**

Para la optimización e implementación del equipo triturador Schott Envases Farmacéuticos dispone de un espacio de 6m<sup>2</sup>, con altura de 2.2 m.

### ▪ **Materiales**

El material de la cinta transportadora debe ser lo más resistente posible a la abrasión, previniendo daños o desgaste, causados por envases rotos y/o fragmentos de vidrio. Para el momento en que se carguen los envases en el equipo triturador estos se encontraran a temperatura ambiente.

### ▪ **Martillos de impacto**

Se debe indicar un tipo de material que resulte más conveniente que el acero AISI/SAE1020, aumentándose la dureza y tenacidad para reemplazar los martillos de impacto de modo que se aumente la resistencia al desgaste por abrasión es decir que se prolongue la vida útil de estos elementos.

### ▪ **Modo funcionamiento**

Schott envases farmacéuticos S.A.S, solicita sustituir el tornillo sinfín, mediante la implementación de una banda transportadora, que eleve los envases y los deposite en el triturador, el triturador conservara su principio de funcionamiento.

### ▪ **Tiempo de operación**

El equipo funciona diariamente de lunes a sábado durante 8 horas continuas, ocasionalmente y según la acumulación de material rechazado se requiere de su funcionamiento los días domingo, lo que permite obtener un promedio de funcionamiento de 216 horas mensuales o 2592 horas al año.

### ▪ **Consumo energético**

Si bien es cierto que Schott Envases Farmacéuticos S.A.S contempla mermas y desperdicios durante la producción, triturar el desperdicio y los envases no aptos, es una operación ineludible que no brinda ningún lucro, ello conduce a procurar que el consumo de energía para el funcionamiento del equipo tenga el menor costo posible.

### ▪ **Propiedades físicas del material a triturar**

Siendo de gran importancia durante el diseño y selección de materiales, en la tabla 10, se relacionan propiedades físicas de los envases elaborados en Schott Envases

Farmacéuticos. Los datos son obtenidos y organizados únicamente con fines para el diseño del equipo triturador y no tienen correlación con las referencias de envases ofertados por la compañía.

Tabla 10. Características físicas de los envases a triturar

Tipo de envase	Diámetro (mm)		Altura (mm)		Espesor máximo (mm)	Densidad del vidrio (FIOLAX) (g/cm <sup>3</sup> )
	Min.	Max.	Min.	Max.		
Vial	8 ± 0.2	30 ± 0.2	35 ± 0.2	125 ± 0.2	1.2 ± 0.05	2.34
Ampollas	10 ± 0.2	22.5 ± 0.2	32 ± 0.2	80 ± 0.2	0.7 ± 0.05	2.34

Fuente: Elaboración propia, Datos: (SCHOTT, s.f.)

- **Fácil operación(recurso)**

Se requiere que la operación del equipo no demande la permanencia de más de un operario, que sea un equipo fácil y seguro de maniobrar.

- **Seguridad**

El equipo cuente con elementos, mecanismos o señales de seguridad que minimicen o alerten los riesgos asociados a la operación del equipo.

- **Mantenimiento**

Implementar hoja de vida o instructivo de mantenimiento para el equipo, que especifique las intervenciones y practicas a desarrollar en cada elemento.

## 9. DISEÑO

### 9.1 Casa de calidad

Mediante el uso de la matriz conocida como casa de la calidad (HOQ, House of Quality), que hace parte del método despliegue de la función calidad (QFD, Quality Function Deployment), se desarrolla un análisis cualitativo para identificar, organizar y priorizar los requerimientos generales que tiene el cliente (SCHOTT ENVASES FARMACEUTICOS S.A.S) en cuanto al producto.

En primera instancia el cliente especifica los requerimientos en cuanto al equipo, y de acuerdo con el criterio técnico de los autores se asignan valores a las importancias relativas siendo 1 la calificación más baja y 10 la más alta, en esta asignación y teniendo como referencia las tres más altas valoraciones se concluye, que se priorizo que el equipo cumpla con la capacidad requerida, que sea construido con materiales que otorguen durabilidad y su construcción se logre al menor costo posible.



Tabla 11. Requerimientos e importancia relativa (HOQ)

		Características de calidad - como's	Importancia relativa
		Requisitos del cliente - que's	
1	Banda transportadora	Capacidad	10
2		Durabilidad	9
3		Dimensiones acordes al espacio	4
4		Bajo costo	8
5		Costos de reparación	7
6		Facil mantenimiento	7
7		Facil operación	5
8		Eliminar residuos	3
9		Nivel ruido	3
10	Martillos de impacto	Bajo costo	7
11		Durabilidad	9
12		Conservar diseño actual	9

Fuente: Elaboración propia

Habiendo establecido los requerimientos y valorado la importancia técnica que representara en nuestro proyecto cada uno ellos, lo siguiente es plantear objetivos específicos mediante los cuales se brindará solución a los requerimientos previamente señalados.

Tabla 12. Objetivos (HOQ)

Objetivo	
I	
	Eliminar fallos mecanicos del sistema elevador de envases
	Durabilidad de piezas y elementos
	Resistente y adaptable a posibles modificaciones
	Minimizar el esfuerzo fisico del operario
	Capacidad del equipo 130Kg/h y continuidad del proceso
	Ocupar menor espacio
	Hacer una eficiente trasmision de fuerza
	Facil operación
	Evitar incidentes o accidentes
	Prolongar vida util del equipo
	Ahorro

Fuente: Elaboración propia

Los como's o características de calidad son establecidos con el fin de satisfacer cada objetivo anteriormente planteado, por ejemplo uno de los objetivos es prolongar la vida útil del equipo, para ello se propone la implementación de un plan de mantenimiento donde a través de la inspección e intervenciones técnicas profesionales se conserve el buen estado y funcionamiento del mismo, el establecer los como's facilita canalizar los estudios y recursos para lograr el cumplimiento de los objetivos y satisfacer los requerimientos.

Tabla 13. Como's (HOQ)

<p>Características de calidad - como's</p>	Importancia relativa	Tipo de cinta transportadora	Materiales	Estructura soporte	Diseño ergonómico	Velocidad de funcionamiento	Inclinación banda transportadora	Tipo de rodillos	Tablero de mandos	Dispositivos de seguridad	Plan de mantenimiento	Bajo consumo energético
--	----------------------	------------------------------	------------	--------------------	-------------------	-----------------------------	----------------------------------	------------------	-------------------	---------------------------	-----------------------	-------------------------

Fuente: Elaboración propia

El objetivo de las correlaciones, entre las características de calidad (como's) y los requerimientos (que's), es asignar un valor numérico a dicha correlación para luego tabular y obtener un ponderado de la importancia técnica que han de tener los objetivos.

Tabla 14. Correlaciones (HOQ)

SIMBOLOGIA		Valor Numerico
++	Fuerte correlación positiva	5
+	Correlacion positiva	3
-	Correlacion moderada	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Correlaciones como's - que's (HOQ)

Requisitos del cliente - que's	Características de calidad - como's											
	Importancia relativa	Tipo de cinta transportadora	Materiales	Estructura soporte	Diseño ergonómico	Velocidad de funcionamiento	Inclinación banda transportadora	Tipo de rodillos	Tablero de mandos	Dispositivos de seguridad	Plan de mantenimiento	Bajo consumo energético
Capacidad	10	++	-	+		++	+	+				-
Durabilidad	9	+	++	-				+			++	-
Dimensiones acordes al espacio	4	+		-	+	+	+					
Bajo costo	8	-	+	+				+	-	-	-	+
Costos de reparación	7	-	+	+				+	-	-	+	-
Facil mantenimiento	7	-	-	-			-	-	-	-	++	
Facil operación	5				+	-			++	++		
Eliminar residuos	3	-					+					
Nivel ruido	3	-										
Bajo costo	7		+								-	+
Durabilidad	9		++									-
Conservar diseño actual	9											-

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°15 se evidencian las correlaciones de mayor puntaje, de izquierda derecha encontramos:

- Que la capacidad marca una alta correlación con el tipo de cinta transportadora y la velocidad de funcionamiento, puesto su correcta selección y cálculos pertinentes garantizaran la capacidad de transporte requerida.
- La adecuada selección de los materiales, complementada con un adecuado plan de mantenimiento preventivo otorgara durabilidad a los componentes del equipo, y por ende disminución en los costos de mantenimiento y/o reparación.
- Facilitar las tareas de mantenimiento posee una alta correlación con el plan de mantenimiento, esto permitirá orientar al personal encargado, para garantizar que se intervenga el equipo de manera segura y con frecuencias establecidas.
- La fácil operación del equipo se correlaciona en gran medida con dispositivos de seguridad y el diseño del panel de mandos, para no demandar esfuerzos o riesgos al recurso operativo.

Tabla 16. Valoración de la importancia técnica de los objetivos (HOQ)

Objetivo	I	Eliminar fallos mecánicos del sistema elevador de envases	Durabilidad de piezas y elementos	Resistente y adaptable a posibles modificaciones	Minimizar el esfuerzo físico del operario	Capacidad del equipo 130Kg/h y continuidad del proceso	Ocupar menor espacio	Hacer una eficiente trasmisión de fuerza	Fácil operación	Evitar incidentes o accidentes	Prolongar vida útil del equipo	Ahorro	
Importancia técnica	=	16	21	12	6	9	10	13	8	8	15	11	129
		12%	16%	9%	5%	7%	8%	10%	6%	6%	12%	9%	100%

Fuente: Elaboración propia

El resultado final para las importancias técnicas, indica:

- El equipo deberá estar construido con materiales debidamente seleccionados que otorguen durabilidad en piezas y elementos.
- Mediante la implementación de la banda transportadora se reemplace el tornillo sinfín y se eliminen paradas del equipo asociadas a fallas mecánicas
- El equipo cumpla con la capacidad mínima exigida de 130 Kg/h de envases triturados.
- El uso eficiente de la energía dependerá del correcto diseño y la acertada selección de elementos, la disminución de fallas, tiempos y costos de reparación reflejaran ahorro y bajo costo de operación del equipo.
- El equipo debe ser de fácil y segura operación, el recurso humano para su operación debe ser el mínimo.

Ver Anexo A, Casa de calidad (HOQ).

## 9.2 Banda transportadora

### 9.2.1 Caracterización del material

Previo a desarrollar cálculos de componentes de la banda transportadora es necesario estudiar las características fisicoquímicas del material a transportar, con el fin de extraer parámetros que se conviertan en variables de diseño.

#### ▪ **Peso específico ( $\rho$ )**

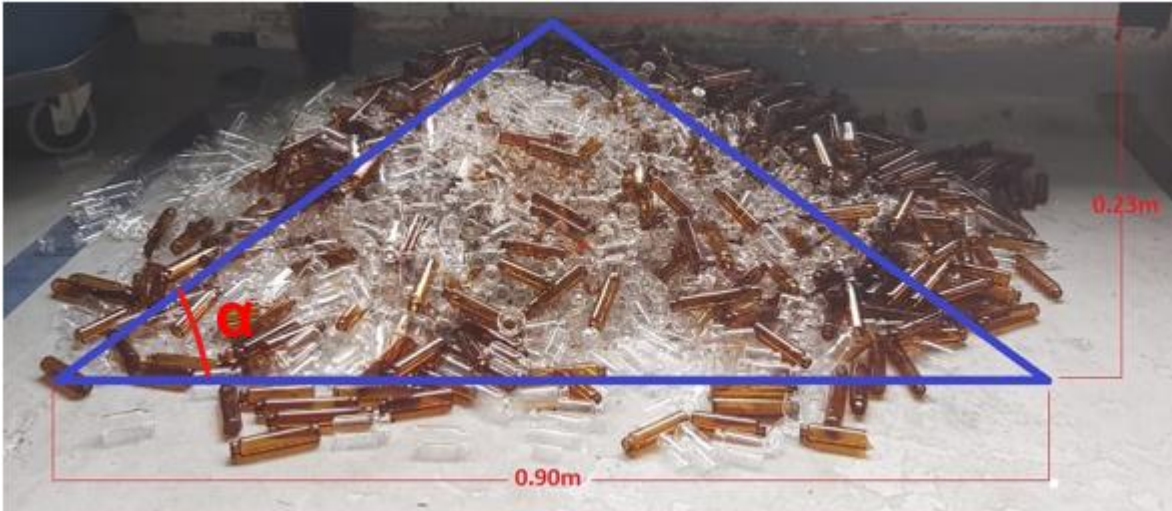
Se expresa en toneladas por metro cubico ( $t/m^3$ ), el peso específico teórico del vidrio es de  $2500 \text{ kg}/m^3$  que equivalen a  $2.5 \text{ t}/m^3$ , para nuestro caso las mediciones en campo de varias muestras y de diferentes tipos de envases de vidrio, nos arrojó como resultado un peso promedio de  $387 \text{ Kg}/m^3$  equivalentes a  $0.387 \text{ t}/m^3$ .

#### ▪ **Angulo de reposo ( $\alpha$ )**

Se determina de manera practica dejando caer libremente sobre el suelo o una superficie plana una cantidad de material en este caso envases de vidrio farmacéuticos, obteniendo el ángulo que formo el montículo respecto a la horizontal en estado estático, para determinar el ángulo de reposo se ejecutaron muestreos con diferentes referencias de envases tomando como referente el talud de menor altura, de modo que se contempla el escenario

con menor capacidad de transporte en la banda respecto a las características de los envases.

Figura 17. Angulo de reposo



Fuente: Elaboración propia

Para hallar el ángulo ( $\alpha$ ) del talud, necesitamos conocer la longitud de todos los lados del triángulo proyectado, conociendo base y altura lo siguiente será utilizar la ecuación del teorema de Pitágoras.

$$h^2 = a^2 + b^2 \quad (1)$$

$$h = \sqrt{(0.23m)^2 + (0.45m)^2}$$

$$h = 0.505m$$

Obteniendo el lado faltante, y usando la siguiente razón trigonométrica se puede hallar el ángulo ( $\alpha$ ).

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{b}{h} \quad (2)$$






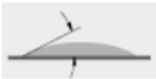
$$\alpha = \tan^{-1} \frac{0.23m}{0.505m}$$

$$\alpha = 24.5^\circ$$

- **Ángulo de sobrecarga ( $\beta$ )**

El ángulo de sobrecarga o ángulo del talud dinámico para la mayor parte de materiales es de  $10^\circ$  a  $15^\circ$  menor que el ángulo de reposo, la tabla N°17 presenta la correlación entre estos dos ángulos permitiendo determinar  $\beta$  para los envases sin triturar.

Tabla 17. Características del material según su fluidez, sobrecarga y ángulo de reposo.

Fluidez					Perfil en la banda plana
Muy elevada	Elevada	Media	Baja		
Ángulo de sobrecarga $\beta$					
5 ° 	10 ° 	20 ° 	25 ° 	30 ° 	B 
Ángulo de reposo					
0-19 °	20-29 °	30-34 °	35-39 °	40 ° y mas	otros
Características del material					
Dimensión uniforme, partículas redondas muy pequeñas, muy húmedas, o muy secas como arena silíceo seca, cemento y hormigón húmedo, etc.	Partículas redondeadas, secas y lisas, con peso medio como, por ejemplo, semillas de cereales, trigo y judías	Material irregular, granular en tamaño de peso medio, como, por ejemplo, carbón de antracita, arcilla, etc.	Materiales típicos comunes, como por ejemplo, carbón bituminoso, grava, etc.	Material irregular, viscoso, fibroso y que tiende a entrelazarse (virutas de madera, arena etc.)	Pueden incluir material con cualquier característica indicada a continuación en la Tab 2.

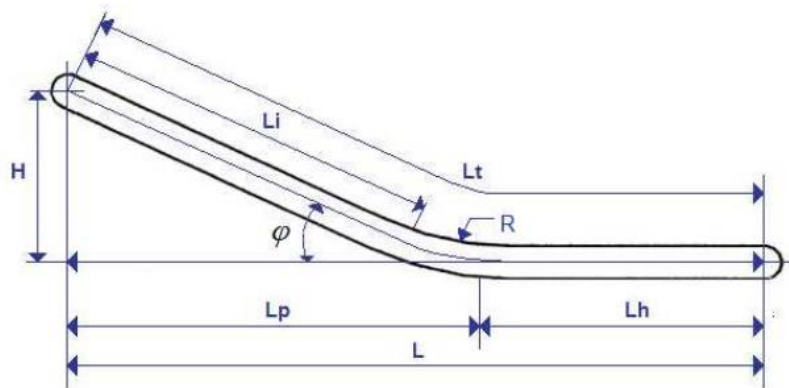
Fuente: (LOPEZ, 2014)

De acuerdo con la anterior tabla y en concordancia con los 24.5° del ángulo de reposo ( $\alpha$ ) se puede establecer que el ángulo de sobrecarga ( $\beta$ ) es de 10°.

## 9.2.2 Dimensiones y Capacidad

- Trayecto y dimensiones:

Figura 18. Esquema geométrico de una banda transportadora



Fuente: (GOODYEAR, handbook or conveyor belt)

Se propone una banda transportadora inicialmente de recorrido horizontal, seguida de una inclinación ascendente que llegara hasta la parte superior del triturador, esto haciendo uso de una sola cinta o banda de transporte. De acuerdo con el espacio disponible para la ubicación del equipo, que la proyección horizontal del tramo inclinado ( $L_p$ ) sea de 2.4m y la longitud del tramo horizontal ( $L_h$ ) fuese 0.7m, por ende, la longitud horizontal total ( $L$ ) de la banda seria de 3.1m, con altura ( $H$ ) aproximada de 1.8m, la longitud del tramo inclinado ( $L_i$ ) se determina mediante el teorema de Pitágoras.

$$L_i^2 = H^2 + L_p^2 \quad (3)$$

$$L_i = \sqrt{(1.8 \text{ m})^2 + (2.4 \text{ m})^2}$$

$$L_i = 3 \text{ m}$$

Se debe hallar la longitud total ( $L_t$ ) de trayecto que tendrá la cinta transportadora al sumar la longitud del tramo inclinado ( $L_i$ ) con la longitud del tramo horizontal ( $L_h$ ).

$$L_t = L_i + L_h \quad (4)$$

$$L_t = 3 \text{ m} + 0.7 \text{ m}$$

$$L_t = 3.7 \text{ m}$$

Con estos datos es posible conocer el grado de inclinación ( $\varphi$ ) que tendrá el tramo ascendente de la banda respecto a la horizontal.

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{H}{L_p} \quad (5)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{1.8 \text{ m}}{2.4 \text{ m}}$$

$$\varphi = 36.87^\circ$$

#### ▪ Ancho de la banda

Siempre que sea posible, debe seleccionarse un ancho de banda estándar, el tipo y la granulometría del material determinan el ancho mínimo de la banda, generalmente para transportar materiales de granulometría mayor a 50mm se sugiere que el ancho de la banda transportadora sea aproximadamente tres veces el mayor tamaño del material a transportar (DUNLOP, s.f.).

*Ecuaciones 3,4,5 Obtenidas de (Ruiz, 2002)*

Tabla 18. Ancho de banda según tamaño del material

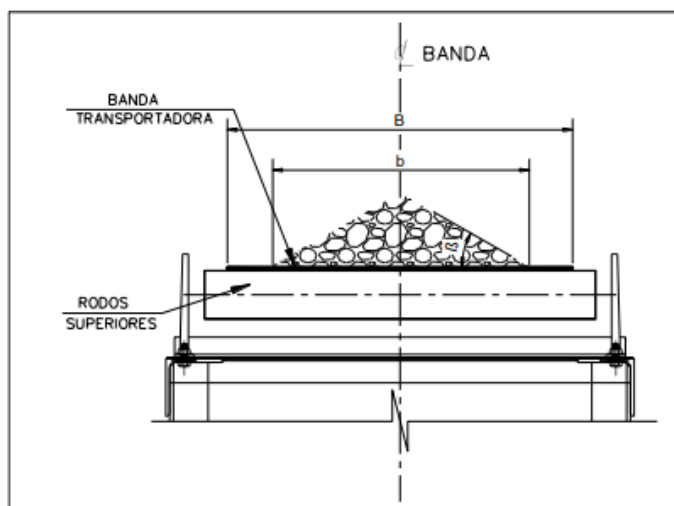
Ancho de banda (mm)	Tamaños de material a transportar (mm)	
400	50	100
500	75	150
600	125	200
800	170	300
1000	250	400
1200	350	500

Fuente: (DUNLOP, s.f.)

El envase más grande que se transportara hacia el triturador tiene una longitud de 120 mm, con referencia en la tabla N°18 y considerando que el triturador tiene un diámetro de 430 mm, por criterio técnico de los autores se determina que el ancho de la banda transportadora debe ser de 400 mm, cabe resaltar que los ángulos de reposo y sobrecarga no son influyentes en la selección del ancho de la banda, pues como se mencionó anteriormente para seleccionar este parámetro se contempla únicamente el tamaño del material a transportar.

De acuerdo con la disposición de los rodillos que se van a utilizar, es posible calcular el área de sección transversal, en este caso se usaran rodillos planos.

Figura 19. Distribución de material sobre un rodillo plano.



Fuente: (Ruiz, 2002)

Siendo, **B** el ancho de la banda, con la ecuación N°6 hallar, **b**= ancho útil ocupado por el material, sobre la banda transportadora:



$$b = 0,9B - 0,05 \quad (6)$$

$$b = 0,9 * 0,4m - 0,05$$

$$b = 0,31 m$$

Luego, es posible calcular el área de sección transversal de la banda con la siguiente ecuación:

$$A = \frac{1}{4} b^2 (\tan \beta) \quad (7)$$

$$A = \frac{1}{4} * 0,31^2 * (\tan 15^\circ)$$

$$A = 0,0042 m^2$$

- **Factor por inclinación de la banda**

Si una banda transportadora tiene tramos inclinados en ascenso o descenso, a mayor grado de inclinación menor efectividad de esta, debido al deslizamiento que puede presentar el material a transportar sobre la banda.

Este factor influye en la capacidad volumétrica que tiene la banda y se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$K = 1 - 1,64 \left( \frac{\varphi \pi}{180} \right)^2 \quad (8)$$

$$K = 1 - 1,64 \left( \frac{36,87\pi}{180} \right)^2 = 0,321$$

- **Capacidad volumétrica**

Dada en unidades de volumen sobre tiempo, hace referencia a la capacidad que tiene la banda para transportar un volumen de un punto a otro.

$$Q_v = 3600 * v * k * A \quad (9)$$

La capacidad de la banda transportadora requerida para nuestro proyecto es  $Q = 130 \text{ Kg/h}$  como mínimo y el peso específico de los envases es  $P = 387 \text{ kg/m}^3$ , con estos dos datos es posible calcular la capacidad volumétrica requerida.

$$Q_v = \frac{Q}{P} \quad (10)$$

$$Q_v = \frac{130 \text{ Kg/h}}{387 \text{ Kg/m}^3} = 0,3359 \frac{m^3}{h}$$

▪ **Velocidad de la banda**

Al despejar la ecuación 10, será posible hallar la velocidad de la banda transportadora de la siguiente manera:

$$v = \frac{Q_v}{3600 * k * A} \quad (11)$$

$$v = \frac{0,3359 \text{ m}^3/h}{3600 \frac{s}{h} * 0,321 * 0,0042 \text{ m}^2} = 0,069 \frac{m}{s} = 6.9 \text{ cm/s}$$

La velocidad de funcionamiento para la banda obtenida con la ecuación N°11 es bastante baja, por ello en concordancia con lo analizado en la casa de la calidad (Anexo A), donde se evidencio una fuerte correlación entre la velocidad de funcionamiento y la capacidad, se recurre al uso de velocidades estandarizadas en manuales de diseño para bandas transportadoras, las cuales se relacionan en la siguiente tabla.

Tabla 19. Velocidad de banda máxima recomendada (m/s)

Ancho de Banda		Material		
mm	pulg	ligero(<0.8ton/m <sup>3</sup> ) grano fino	mediano(0.8-1.6 ton/m <sup>3</sup> ) abrasivo	pesado(>1.6ton/m <sup>3</sup> ) muy abrasivo
350	14	2	1.5	1.5
400	16	2.5	1.6	1.25
450	18	2.5	2	1.6
500	20	3.15	2.0	1.6
600	24	3.15	2.5	1.8
650	26	3.15	2.5	1.8
750	30	3.5	2.5	1.8
800	32	3.55	2.5	1.8
900	36	4.0	3.15	2.24
1000	40	4.0	3.15	2.24
1050	42	4.0	3.15	2.24
1200	48	4.0	3.15	2.24
1350	54	4.0	3.15	2.24
1400	56	4.0	3.15	2.24
1500	60	4.0	3.15	2.5
1600	64	4.0	3.55	2.5
1650	66	4.0	3.55	2.5
1800	72	4.5	3.55	2.5

Fuente: (GOODYEAR, handbook or conveyor belt)

Ecuación 11 Obtenidas de (Ruiz, 2002)

Teniendo como referente los 400mm del ancho de la banda, la tabla N°19 sugiere que para material muy abrasivo y pesado se use 1.25 m/s y para materiales de grano fino y ligero 2.5 m/s, sin embargo los envases de vidrio que se pretenden transportar son abrasivos pero de peso específico ligero, razón por la cual se define 1,6 m/s como la velocidad lineal de trabajo para la cinta transportadora, ahora con la ecuación N°9 nuevamente se calcula la capacidad volumétrica de la banda, de acuerdo con la velocidad definida.

$$Q_v = 3600 * v * k * A$$

$$Q_v = 3600 \frac{s}{h} * \frac{1,6 m}{s} * 0.321 * 0.0064 m^2$$

$$Q_v = 7.77 \frac{m^3}{h}$$

▪ **Capacidad de transporte**

Esta dada por la relación entre capacidad volumétrica y peso específico del material transportado, se expresa en toneladas/ hora.

$$Q_t = Q_v * \gamma \tag{12}$$

$$Q_t = 7.77 \frac{m^3}{h} * 0.387 \frac{T}{m^3}$$

$$Q_t = 3,00 \frac{T}{h}$$

▪ **Cálculo del peso de las partes móviles de la banda**

Siendo **G** el peso de las partes que componen la banda transportadora, acudimos a tablas de fabricantes para conocer un aproximado del peso de cada elemento.

En la Tabla N°22 se muestra la distancia entre rodillos de transporte y retorno (S<sub>1</sub> y S<sub>2</sub> respectivamente).

En la Tabla N°23 está considerado el diámetro y el peso estimado para los rodillos, también se especifica el diámetro de rodillo comúnmente usado en base al ancho de la cinta de transporte.

Por último, de la Tabla N°24 se obtiene el peso aproximado de la banda de transporte, la ecuación N°13 considera todos los datos obtenidos para poder tener una sumatoria de los datos recopilados anteriormente:

*Ecuación 12 Obtenida de (Ruiz, 2002)*

$$G = 2 * G_b + \frac{G_s}{s_1} + \frac{G_i}{s_2} \quad (13)$$

Donde:

**G<sub>b</sub>**: Peso por metro de banda (Kg/m).

**G<sub>s</sub>**: Peso de los rodillos superiores (Kg).

**G<sub>i</sub>**: Peso de los rodillos inferiores (Kg).

**G**: peso de las partes móviles (Kg/m).

**S<sub>1</sub>**= Espaciamiento entre rodillos superiores (m).

**S<sub>2</sub>**= Espaciamiento entre rodillos inferiores (m).

**Datos:**

**G<sub>b</sub>**: 4 Kg/m.    **G<sub>s</sub>**: 3 Kg.    **G<sub>i</sub>**: 3 Kg.

**S<sub>1</sub>**= 1,35 m.    **S<sub>2</sub>**= 3 m.

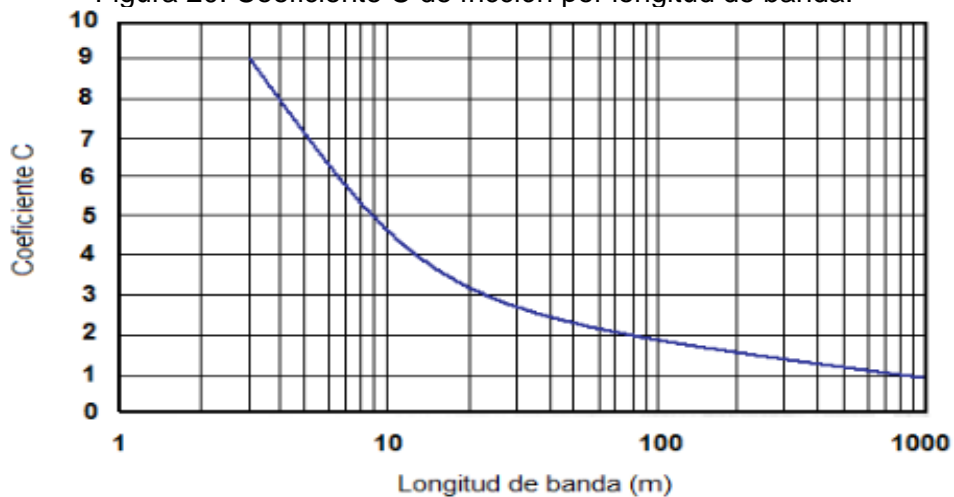
$$G = 2 * 4 \frac{Kg}{m} + \frac{3Kg}{1,35m} + \frac{3Kg}{3m}$$

$$G = 11,22 \frac{Kg}{m}$$

▪ **Valores del coeficiente C**

El objetivo es compensar ciertos factores como el aumento de la fricción por la suciedad de los rodillos y otras resistencias imprevistas. En la siguiente figura es posible observar la variación que presenta en coeficiente respecto a la longitud de la banda.

Figura 20. Coeficiente C de fricción por longitud de banda.



Fuente: DIN 22101(Transportadores de banda para materiales sueltos a granel, conceptos básicos de cálculo y dimensionamiento)

Ecuación 13 Obtenida de (Ruiz, 2002)

Tabla 20. Valores del coeficiente C

VALORES DEL COEFICIENTE C													
L (m)	3	4	5	6	8	10	12,5	16	20	25	32	40	50
C	9	7,6	6,6	5,9	5,1	4,5	4	3,6	3,2	2,9	2,6	2,4	2,2

L (m)	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500	1.000	40	50
C	2	1,85	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,05	1,05	2,4	2,2

Fuente: (NOR-RUBBER, Bandas transportadoras, Catalogo técnico).

El coeficiente de fricción C y la longitud se relacionan con la siguiente ecuación.

$$C = 15.9 L^{-0.61} + 0.77 \quad (14)$$

$$C = 15.9 (3.1 m^{-0.61}) + 0.77$$

$$C = 8.74$$

▪ **Coeficiente f de fricción en los rodillos**

Este coeficiente considera aspectos como, el arrastre de la banda debido al peso, la desalineación de la banda, el peso de los rodillos de retorno, el peso de los rodillos de arrastre, el contacto con los rascadores, entre otras.

Tabla 21. Coeficiente f de fricción en los rodillos

COEFICIENTE DE FRICCIÓN DE LOS RODILLOS			
	ESTADO	CONDICIÓN	COEFICIENTE f
TIPO DE COJINETE RODAMIENTOS	Favorable	Buenos transportadores con marcha suave y pequeña fricción interna en el material.	0.018
	Normal	Valor estándar para bandas transportadoras con ambiente normal de trabajo	0.020
	Desfavorable	Condiciones de marcha desfavorables operación con polvo, sobrecargas periódicas.	0.023 ÷ 0,030
		Transportadores descendentes que requieren frenado por medio de motor	0,012
FRICCIÓN			0,050

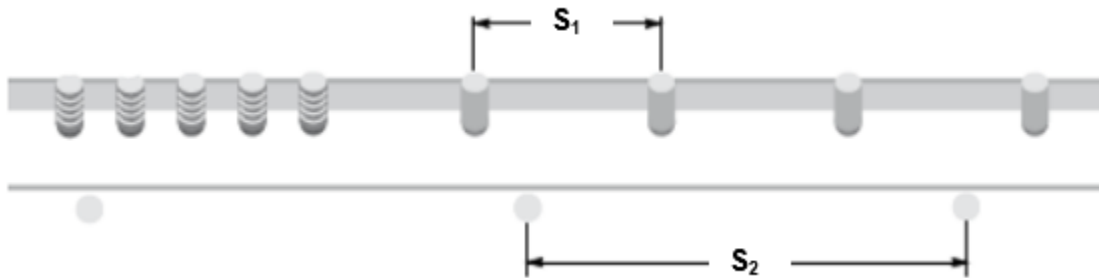
Fuente: (NOR-RUBBER, Bandas transportadoras, Catalogo técnico).

Ecuación 14 Obtenida de (Ruiz, 2002)

▪ **Distancia entre rodillos**

En la figura N°21 se observa la distancia  $s_1$  que hace referencia al distanciamiento entre los rodillos de carga o arrastre, igualmente la distancia  $s_2$ , que es la distancia de los rodillos de retorno, estos rodillos permiten guiar y soportar la cinta transportadora.

Figura 21. Distancia entre rodillos



Fuente: (LOPEZ, 2014)

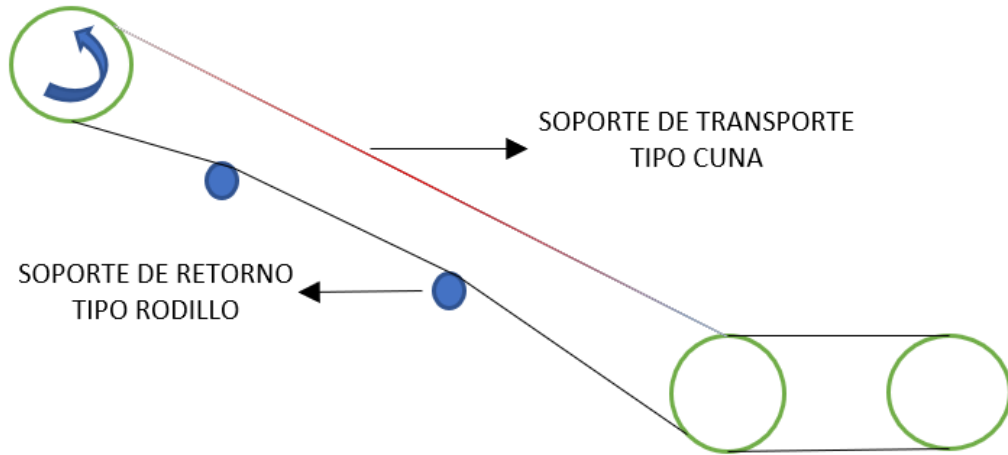
Tabla 22. Distancia entre rodillos de transporte y retorno

DISTANCIA ENTRE RODILLOS DE APOYO			
ANCHO DE BANDA (mm)	LADO TRANSPORTE (m)		LADO RETORNO (m)
	$\gamma \leq 0,6$	$\gamma > 0,6$	
400	1,35	1,35	3,00
500	1,35	1,20	3,00
650	1,20	1,10	3,00
800	1,20	1,00	3,00
1.000	1,00	1,00	3,00
entre 1000 y 1800	1,00	1,00	3,00
$\geq 1800$	1,00	1,00	2,40

Fuente: (NOR-RUBBER, Bandas transportadoras, Catalogo técnico)

Para el tramo portante se utilizará el método tipo cuna con el propósito de lograr estabilidad de los envases durante el ascenso, para el tramo de retorno se implementará el método de rodillos los cuales tendrán un distanciamiento de 3m, de acuerdo con la anterior tabla en consideración con el ancho de la banda.

Figura 22. Soportes en tramo portante y de retorno



Fuente: Elaboración propia

### 9.2.3 Peso de banda y rodillos

Para determinar este valor se recurre a catálogos, donde los fabricantes de bandas transportadoras exponen pesos orientativos de estos elementos, permitiendo ejecutar de manera teórica cálculos y diseños.

- **Peso de los rodillos**

Tabla 23. Peso de los rodillos

PESO ORIENTATIVO DE LAS PARTES GIRATORIAS DE LOS RODILLOS													
Ancho (mm)	DIÁMETROS DE RODILLOS (mm) Y TIPO DE MONTAJE												
	63,5		89		108		133		159		193,7		
	Plano	Artesa	Plano	Artesa	Plano	Artesa	Plano	Artesa	Plano	Artesa	Plano	Artesa	
400	3	3,6											
500	3,5	4,1											
650	4,1	4,7	5,9	7,6									
800	5	5,6	7,1	8,9	10	13							
1.000			8,4	10,2	11,8	14,8	16,6	20,6					
1.200					14	17	19,8	23,8	28,6	35,2			
1.400							22,3	26,3	32,2	38,8			
1.600							25	29	35,8	42,4			
1.800									39,6	46,1	78,7	86,3	
2.000									43,2	49,8	86,2	93,8	
2.200											93,7	101,3	
2.400											101,2	108,8	
2.600											108,7	116,3	

Fuente: (NOR-RUBBER, Bandas transportadoras, Catalogo técnico)

- **Peso de la banda**

Tabla 24. Peso de la banda

PESO ORIENTATIVO (G <sub>v</sub> ) EN BANDAS TEXTILES (Kp/m)		
ANCHO DE BANDA (mm)	PESO/METRO (Kp/m)	ESPELOR TOTAL (mm)
400	4	8
500	5	
650	6,5	
800	8,5	8,5
1.000	13	11
1.200	15,5	
1.400	18	
1.600	25	13
1.800	30	14
2.000	33	

Fuente: (NOR-RUBBER, Bandas transportadoras, Catalogo técnico)

### 9.2.4 Fuerzas sobre la banda

La fuerza mide la intensidad de cambio de momento de dos cuerpos, su unidad es el N (newton) en el sistema internacional (SI), es una magnitud vectorial en la que interviene el tiempo y la magnitud, el Newton es una unidad derivada de la fuerza necesaria acelerar en  $1\text{m/s}^2$  un objeto de 1Kg de masa. (CENAM, s.f.)

- **Fuerza para mover la banda en vacío (F<sub>1</sub>)**

Es la fuerza necesaria para vencer la inercia de la banda de transporte y sus componentes cuando esta se encuentra sin carga.

$$F_1 = (C * f * L * G) * g \quad (15)$$

$$F_1 = \left( 8.74 * 0.025 * 3.1\text{m} * 11.22 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \right) * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_1 = 74.48 \text{ N}$$

- **Fuerza para transportar el material horizontalmente (F<sub>2</sub>)**

Es la fuerza necesaria para trasladar el material desde el punto de carga hasta el punto de descarga horizontalmente.

$$F_2 = \left( \frac{C * f * L * Q_t}{3.6 * v} \right) * g \quad (16)$$

$$F_2 = \left( \frac{8.74 * 0.025 * 3.1\text{m} * 4.58 \frac{\text{T}}{\text{h}}}{3.6 * 1.6 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \right) * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_2 = 3,46 \text{ N}$$

Ecuaciones 14,15,16 obtenidas de (Ruiz, 2002)



- **Fuerza necesaria para elevar el material (F<sub>3</sub>)**

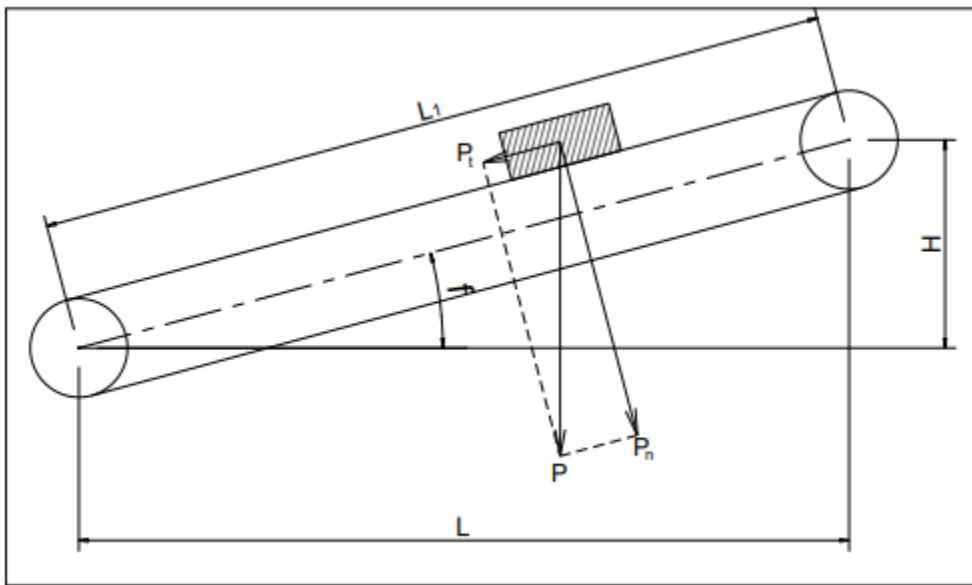
Es la fuerza necesaria para elevar el material desde el punto de carga hasta el punto de descarga.

$$F_3 = \left( \frac{H * Q_t}{3.6 * v} \right) * g \quad (17)$$

$$F_3 = \left( \frac{1.8m * 3.00 \frac{T}{h}}{3.6 * 1.6 \frac{m}{s}} \right) * 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$F_3 = 9.19 N$$

Figura 23. Diagrama de cuerpo libre para fuerzas sobre una banda inclinada.



Fuente: (PHOENIX, Fundamentos de diseño de las cintas transportadoras)

Las componentes que actúan sobre la banda durante el transporte del material, de acuerdo con la figura 23 son:

p: Peso de los envases transportados a lo largo del trayecto inclinado (L<sub>1</sub>)

Ecuación 17 Obtenida de (Ruiz, 2002)

$$p = \left( \frac{Q_t}{3,6 * v} \right) * L_i + (L_i * G) \quad (18)$$

$$p = \left( \frac{4.58 \frac{T}{h}}{3.6 * 1.6 \frac{m}{s}} \right) * 3m + (3m * 11,22 \frac{Kg}{m})$$

$$p = 35.22 Kg$$

Pt: Es la componente de los envases tangencial a la banda, donde p es el peso de los envases transportados y φ el grado de inclinación.

$$P_t = p * \sin \varphi \quad (19)$$

$$P_t = 35.22 Kg * \sin 36.87^\circ$$

$$P_t = 21.13 Kg$$

Así, p<sub>t</sub> resulta ser la fuerza necesaria para elevar los envases, dada en unidad de Kg

$$p_t = \left( \frac{H * Q_t}{3,6 * v} \right) \quad (20)$$

$$p_t = \left( \frac{1.8m * 3.00 \frac{T}{h}}{3.6 * 1.6 \frac{m}{s}} \right) = 0.94 Kg$$

Componente normal:

$$p_n = p * \cos \varphi \quad (21)$$

$$P_n = 35.22 Kg * \cos 36.87^\circ$$

$$P_n = 28.18 Kg$$

Así:

$$p_n = \left( \frac{Q_t}{3,6 * v} \right) * L + (L * G) \quad (22)$$

$$p_n = \left( \frac{Q_t}{3,6 * v} + G \right) * L$$

Ecuaciones 18,19,20,21,22 obtenidas de (Ruiz, 2002)

Para calcular la parte inclinada de la banda el valor (L), se debe remplazar por el valor (L<sub>P</sub>)

$$p_n = \left( \frac{3.00 \frac{T}{h}}{3,6 * 1,6 \frac{m}{s}} + 11,22 \frac{Kg}{m} \right) * 2,4 m$$

$$p_n = 28.18 Kg$$

## 9.2.5 Sistema de Potencia

La potencia es el trabajo ejercido por unidad de tiempo. Su unidad de medida en el sistema internacional (SI) es el vatio sobre segundo (W/s).

- **Potencia teórica**

$$P = \frac{(F_1 + F_2 + F_3) * v}{1000} \quad (23)$$

$$P = \frac{(74.48 N + 3.49 N + 9.19 N) * 1.6 \frac{m}{s}}{1000}$$

$$P = 0.14 Kw$$

- **Potencia del motor**

Mediante la ecuación N°24 se determinará la potencia necesaria en el motor eléctrico siendo P la potencia teórica, ε la eficiencia mecánica del equipo reductor de velocidad y η la eficiencia del motor eléctrico.

$$P_m = \frac{P}{\varepsilon * \eta} \quad (24)$$

Tabla 25. Eficiencia mecánica de equipos reductores de velocidad.

Tipo de reducción	Eficiencia (%)
Poleas y fajas en V	94
Sprockets y cadena de rodillos	93
Sprocket y cadenas de rodillos lubricados en aceite	95
reductor de engranes helicoidales (una reducción)	95
Reductor de engranajes helicoidales (doble reducción)	94
Reductor de engranajes helicoidales (triple reducción)	93
Reductor de tornillo sin fin (relación 20:1)	90
Reductor de tornillo sin fin (relación 20:1 a 60:1)	70
Reductor de tornillo sin fin (relación 60:1 a 100:1)	50
Reductor de engranajes rectos (maquinados)	90
Reductor de engranajes rectos (fundidos)	85

Fuente: CEMA, BELT CONVEYORS FOR BULK MATERIALS

Ecuaciones 23,24 obtenidas de (Ruiz, 2002)

De acuerdo con la tabla N°25 se determina 90% como eficiencia mecánica del equipo reductor de velocidad tipo tornillo sin fin y para la eficiencia del motor eléctrico se contempla 74% estipulado en el Anexo G.

$$P_m = \frac{0.14 \text{ Kw}}{0.90 * 0.74}$$

$$P_m = 0.21 \text{ Kw}$$

Comercialmente no es viable encontrar un motor de esa potencia en específico, por tal motivo se determina el uso un motor eléctrico de 0.37Kw.

### 9.2.6 Tensiones de la banda

La tensión es la acción de dos fuerzas opuestas a las que está sometido un cuerpo.

- **Tensión efectiva**

Es la diferencia entre el lado tenso y el lado flojo  $T_1$  y  $T_2$  respectivamente, como se evidencia en la figura N°24.

$$T_e = \frac{1000 * P}{v} \tag{25}$$

$$T_e = \frac{1000 * 0,14 \text{ Kw}}{1,6 \frac{m}{s}}$$

$$T_e = 87.50 \text{ N}$$

- **Coefficiente de accionamiento**



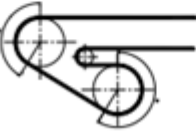
El resultado de  $m$  depende del coeficiente de fricción entre tambor y banda Tabla N°26, y el ángulo de contacto en el cabezal motriz Tabla N°27.

Tabla 26. Coeficiente de fricción tambor - banda.

	Tambor motriz			
	Revestido		Desnudo	
	seco	húmedo	seco	húmedo
<b>Coefficiente <math>\mu</math></b>	0.4	0.35	0.35	0.2

Fuente: ROULONDS. Catálogo de bandas transportadoras.

Tabla 27. Ángulo de contacto en cabezal motriz.

Ángulo cabezal motriz	Ángulo de contacto
	120 150 180
	210 220 230 240
	360 380 400

Fuente: ROULONDS. Catálogo de bandas transportadoras.

$$m = 1 + \left[ \frac{1}{e^{\mu \cdot \theta \frac{\pi}{180}} - 1} \right] \quad (26)$$

$$m = 1 + \left[ \frac{1}{e^{0,35 \cdot 180 \frac{\pi}{180}} - 1} \right]$$

$$m = 1.499$$

▪ **Tensión del lado tenso de la banda**

Esta en el trayecto de banda donde estará presente la carga, es el trayecto que genera la fuerza para trasladar el material

$$T_1 = T_e * m \quad (27)$$

$$T_1 = 87.50 \text{ N} * 1.499$$

$$T_1 = 131.16 \text{ N}$$

▪ **Tensión del lado flojo de la banda**

Se presenta cuando la banda termina su traslado y retorna hacia los rodillos tensores, por esta razón esta tensión es menor y tiene este nombre.

$$T_2 = T_1 - T_e \quad (28)$$

$$T_2 = 131.16 \text{ N} - 87.50 \text{ N}$$

$$T_2 = 43.66 \text{ N}$$

Ecuaciones 26,27,28 obtenidas de (Ruiz, 2002)

- **Tensiones en el retorno de la banda**

Son las tensiones en el rodillo de retorno donde inicia la banda a trasladar el material hasta un punto específico.

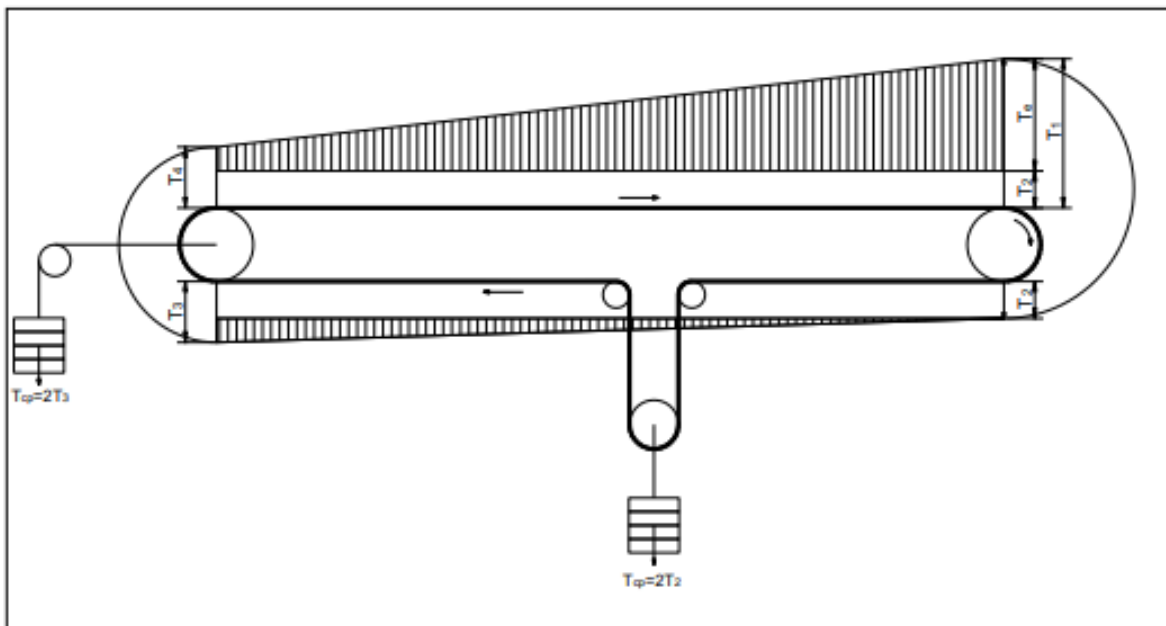
$$T_3 = T_4$$

$$T_3 = C * f * L * \left( G_b + \frac{G_i}{s_2} \right) * g + T_2 \quad (29)$$

$$T_3 = 8.74 * 0.025 * 3 \text{ m} * \left( 4 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} + \frac{3 \text{ Kg}}{3 \text{ m}} \right) * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 43.66 \text{ N}$$

$$T_3 = 75.78 \text{ N}$$

Figura 24. Diagrama de tensiones sobre la banda.



Fuente: PIRELLI, Manual de cálculo de cintas transportadoras.

- **Tensión por el peso de la banda en la pendiente**

$$F_{banda} = G_b * H * g \quad (30)$$

$$F_{banda} = 4 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 1.8 \text{ m} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

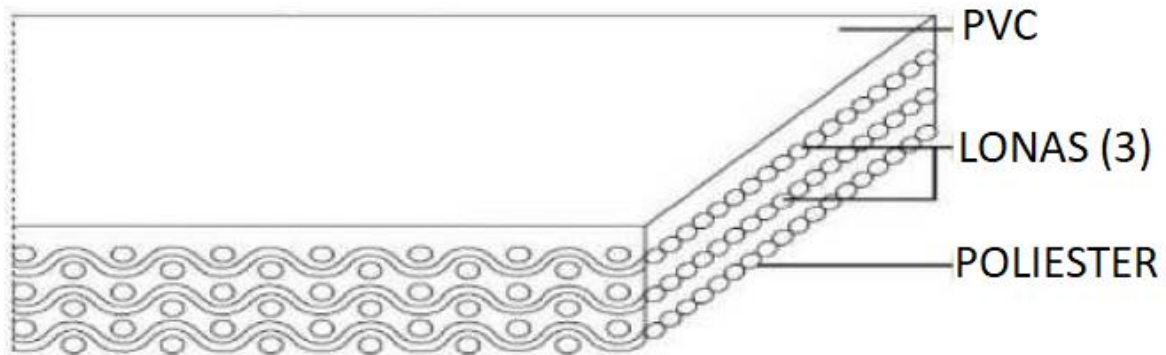
$$F_{banda} = 70.56 \text{ N}$$

Ecuaciones 29,30 obtenidas de (Ruiz, 2002)

### 9.2.7 Material y características de la cinta transportadora

La cinta de transporte que se utilizara está constituida por tres lonas textiles internas, una cubierta superior de policloruro de vinilo (PVC) y la cubierta inferior de poliéster, su espesor total 4mm, esta combinación de materiales ofrece una dureza de 75 ShA, otorgando muy buena resistencia a la abrasión y soportando una tensión máxima de 270N/mm, puede ser usada en condiciones de trabajo donde las temperaturas oscilen desde -5°C hasta 80°C (Ver anexo B).

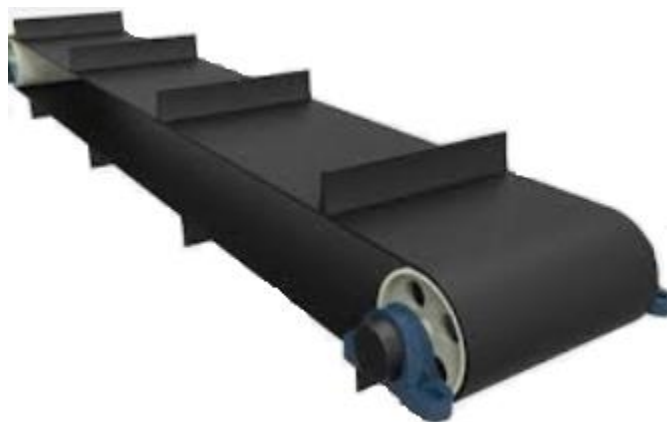
Figura 25. Constitución banda de transporte



Fuente: Bamocol Group

Las cintas o bandas que son totalmente lisas no resultan pertinentes cuando se requiere transportar materiales a granel en tramos inclinados ascendentes, debido a que pueden presentarse deslizamientos de material en menor o mayor proporción dependiendo de las características físicas del mismo y el grado de inclinación que tenga la banda transportadora. Para evitar el deslizamiento del material, resulta conveniente implementar bandas de transporte con empujadores o también conocidos como chevrones, que facilitan el ascenso de los materiales.

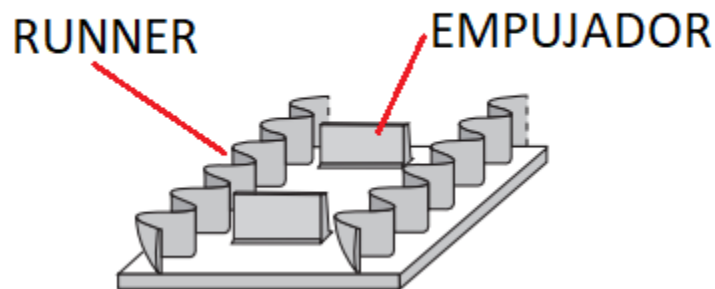
Figura 26. Banda transportadora con empujadores



Fuente: (EMPRO, s.f.)

Debido a la características de los envases a transportar y el ángulo de inclinación del transportador, se implementará el uso empujadores rectos de 80mm de altura y 350mm de longitud, distanciados entre si 250mm a lo largo de las banda de transporte, serán construidos en el mismo material de la cubierta superior (PVC). Adicionalmente para evitar el desbordamiento de los envases por los costados, se recurre al uso de bordes laterales de contención tipo runner con altura de 90mm de altura, estos accesorios evitaran el deslizamiento de los envases durante el ascenso y el posible desbordamiento por los laterales, lo cual concederá una operación impecable durante el transporte.

Figura 27. Runner y empujador



Fuente: (Esbelt- bandas para transportadores, 2011)

La implementación de runner y empujadores que asemejan un canjilón, otorgan un espacio con volumen aproximado de 7000 cm<sup>3</sup>.

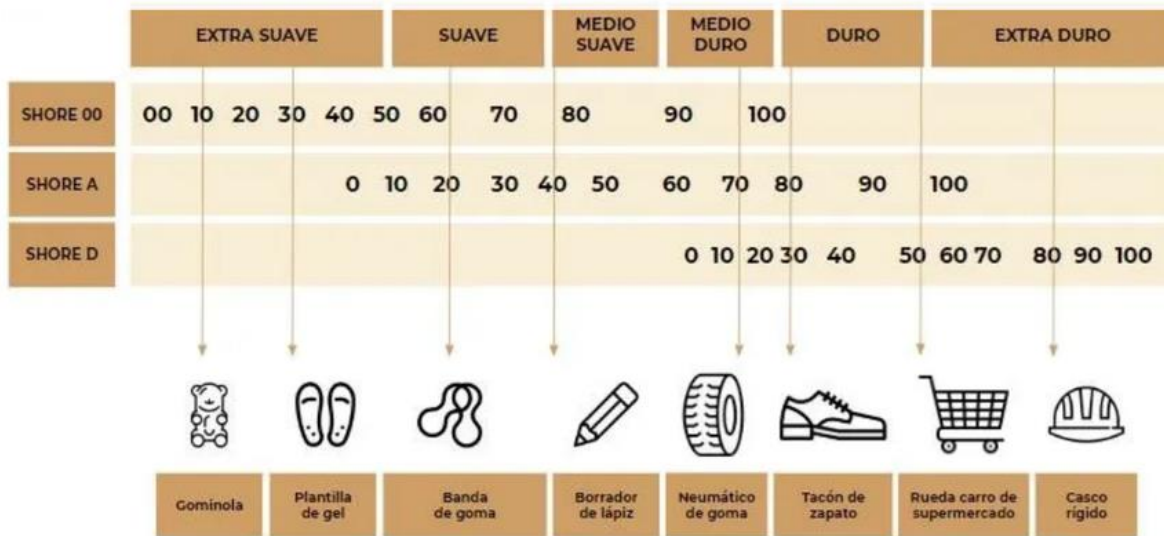
- **Dureza de la banda de transporte**

De acuerdo con la ficha técnica suministrada por el proveedor de la banda de transporte se mencionó anteriormente que este tipo de banda tiene una dureza de 75ShA, para comprender mejor esta característica a continuación, se presenta una breve explicación:

Los elastómeros termoplásticos se miden en Shore A y Shore D según ISO 868. La dureza Shore es una medida de la resistencia de un material a la penetración de una aguja bajo una fuerza de resorte definida. Se determina como un número de 0 a 100 en las escalas A o D. Cuanto mayor sea el número, mayor será la dureza. La letra A se utiliza para los tipos flexibles y la letra D para los tipos rígidos. Sin embargo, los rangos se superponen. Este gráfico muestra una comparación de las escalas Shore (Minerelastomer, s.f.)



Figura 28. Escala dureza Shore



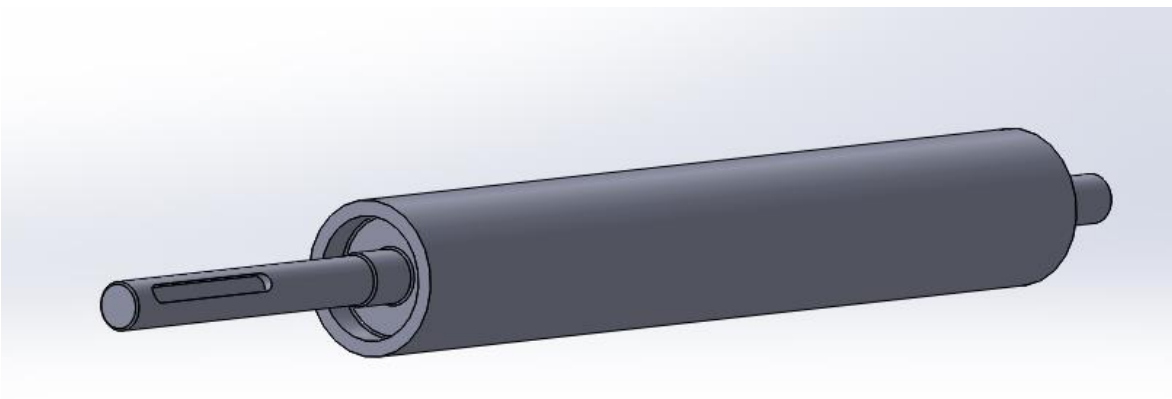
Fuente: (Sugraher, s.f.)

En conclusión, la banda de transporte tiene una dureza 75ShA (Shore A), que es semejante a la dureza que ofrece una cubierta para llanta vehicular o el tacón de un zapato, esta dureza en la cinta de transporte resulta pertinente, ofreciendo resistencia a la abrasión o rayado, que puedan generar envases rotos o partículas de vidrio cargadas en la banda transportadora.

### 9.2.8 Tambores

Tambor motriz se encarga de recibir y transmitir a la cinta de transporte la fuerza necesaria para lograr su desplazamiento y de ese modo transportar el material, el tambor de reenvío es encargado de retornar la cinta transportadora.

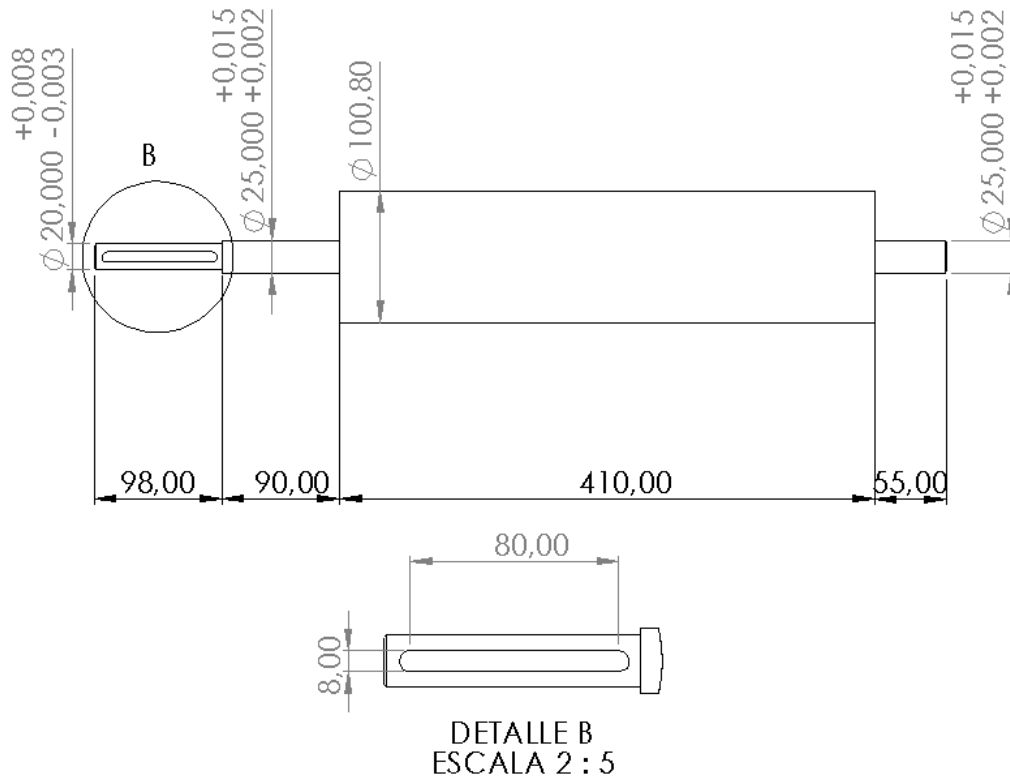
Figura 29. Tambor motriz, vista isométrica



Fuente: Elaboración propia

Los tambores tendrán diámetro de 100mm, longitud 410mm, acoplados a un eje con diámetro de 25mm, para el tambor motriz el eje de acople con la caja reductora tendrá un diámetro de 20mm y longitud de 98mm, como se observa en la figura N°30.

Figura 30. Dimensiones tambor motriz



Fuente: Elaboración propia

▪ **Velocidad tambor motriz**

Teniendo en cuenta que se requiere que la velocidad lineal de la banda transportadora sea 1.6 m/s y que el diámetro del tambor motriz es de 100 mm, mediante la ecuación N°31 se obtendrá en revoluciones por minuto la velocidad radial requerida a la salida de la caja reductora.

$$rpm = \frac{v' * 60 \frac{s}{min}}{\pi * D} \quad (31)$$

Donde: D es el diámetro del tambor motriz

V' es la velocidad lineal de la banda transportadora

$$rpm = \frac{1.6 \frac{m}{s} * 60 \frac{s}{min}}{\pi * 0.1 m}$$

$$rpm = 305$$

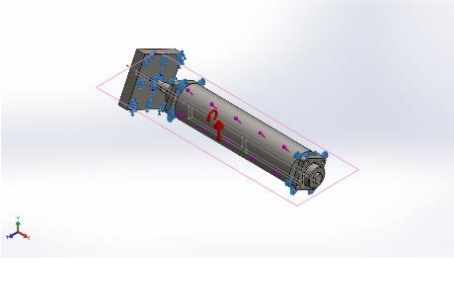
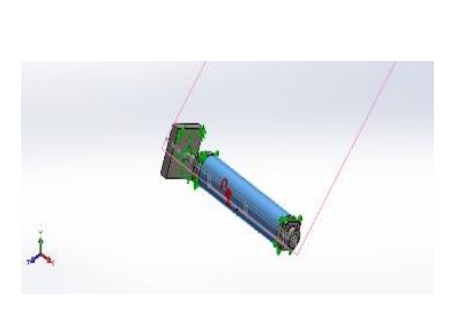
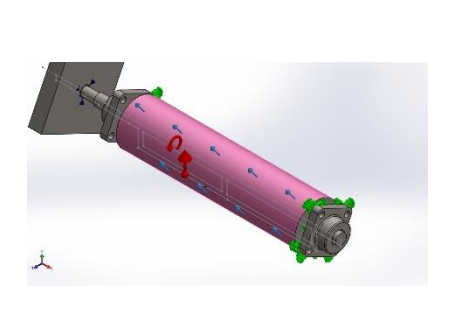
#### ▪ **Análisis dinámico de cargas**

La deflexión de un eje contribuye de manera importante a su tendencia a vibrar, mientras gira, un eje oscila en los modos de flexión y de torsión lo cual causa movimientos mayores que las deflexiones estáticas debidas sólo a la gravedad, las cargas y los pares torsionales aplicados, el comportamiento dinámico del eje puede volverse peligrosamente destructivo si funciona cerca de su velocidad crítica. En la velocidad crítica, el sistema entra en resonancia, continúa aumentando la deflexión del eje, virtualmente sin límite y al final se autodestruirá (Mott, 2006).

Con el propósito de comprobar el comportamiento de los tambores cuando están sometidos a cargas dinámicas se ejecutara un análisis dinámico de cargas, puesto que el tambor motriz y el de reenvío conservarán las mismas dimensiones y características, se realizará análisis de frecuencia a un solo elemento, teniendo como referencia el tambor motriz ya que será este el elemento sometido a los mayores esfuerzos y cargas durante el funcionamiento de la banda transportadora, para ello es necesario determinar e ingresar en el software las suposiciones propias del análisis que deseamos ejecutar:

- **Gravedad:** La fuerza de gravedad  $9.81 \text{ m/s}^2$  existirá perpendicular al eje.
- **Fuerza 1:** Por la tensión que ejerce la cinta de transporte, sobre el tambor motriz se ejercerá una fuerza con el mismo grado de inclinación que posee la banda transportadora ( $37^\circ$ ) aproximadamente, en el desarrollo teórico la mayor tensión tangencial ejercida sobre el tambor motriz tendrá un valor de 175 N, que resulta de la suma de las tensiones 1 y 2 como se puede evidenciar en la figura N°24.
- **Centrifuga:** Por requerimiento del software para poder ejecutar el análisis de frecuencia critica es necesario aplicar una velocidad radial (rpm) al tambor, a esta velocidad puede asignarse cualquier valor sin afectarse los resultados finales del análisis, pues el propósito del análisis es precisamente dar a conocer las velocidades criticas donde el elemento entra en resonancia mecánica.

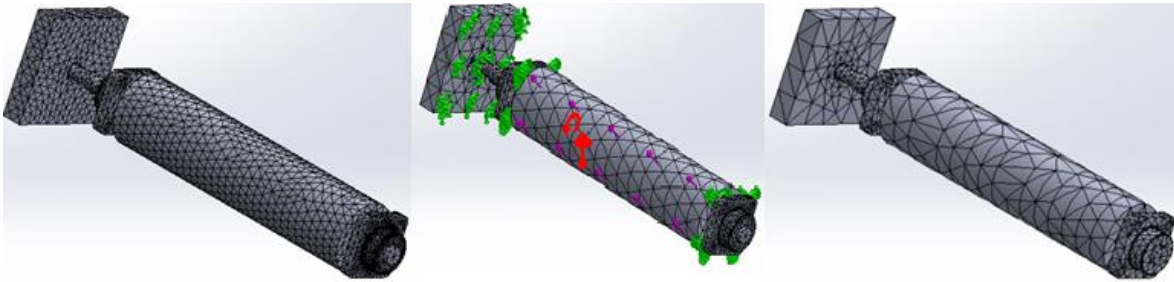
Tabla 28.Cargas en el tambor

Cargas	Imagen	Detalles carga
Gravedad		Referencia: Planta Valor: 9.81 m/s <sup>2</sup>
Fuerza 1		Referencia: Plano 2 Valor: 175 N
Centrifuga		Referencia: Cara 1 Valor: 1000 rpm

Fuente: Elaboración propia

- Realizar sujeciones fijas para las horquillas y conexiones con rodamiento entre la horquilla y el eje, adicionalmente se crea una placa simulando la caja reductora del motor, para soportar el eje.
- Aplicar control de mallado basado en curvaturas, con malla sólida.

Figura 31.Mallado



Fuente: Elaboración propia

Se ejecutaron tres análisis cada uno con diferente tamaño de elementos como se muestra en la figura N°31 y la tabla N°29, reducir el tamaño la malla incrementa el número de nodos y elementos esto permite aumentar la precisión de los resultados por consiguiente se tendrán en cuenta los resultados obtenidos en el análisis con la malla 1.

Tabla 29. Detalles de la malla

	<b>Malla 1</b>	<b>Malla 2</b>	<b>Malla 3</b>
Tipo de malla	Malla sólida	Malla sólida	Malla sólida
Mallador utilizado	Malla basada en curvatura	Malla basada en curvatura	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 puntos	4 puntos	4 puntos
Tamaño máximo de elemento	13.5439 mm	26.6051 mm	54.1756 mm
Tamaño mínimo del elemento	2.70878 mm	5.32102 mm	10.8351 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden	Elementos cuadráticos de alto orden	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	48922	25954	15100
Número total de elementos	28232	14822	8272

Fuente: Elaboración propia

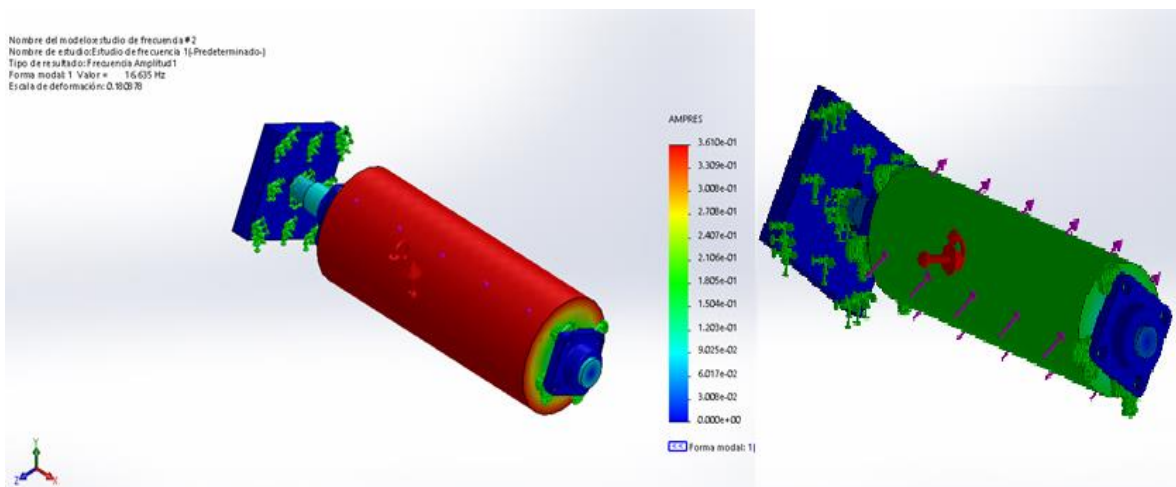
Cuando una maquina está en funcionamiento se generan movimientos oscilatorios (Vibraciones mecánicas) que son ocasionados por aspectos como las fuerzas de rotación, las cargas aplicadas al sistema, incluso posibles averías o desajustes de los componentes, estas vibraciones pueden llegar a ser perjudiciales para el correcto funcionamiento de un elemento o equipo (A-maq, s.f.), para conocer el desempeño del tambor frente a este tipo

de perturbaciones; a través de la simulación computacional se ejecutara el análisis para dos amplitudes o modos de vibración:

### Modo de vibración 1:

El estudio dinámico para la amplitud 1, proyecta como velocidad crítica 1000 rpm, en esta instancia la frecuencia de las fuerzas aplicadas iguala a una de las frecuencia naturales del sistema, siendo la frecuencia de resonancia 16.66 Hz, con frecuencia angular de 104.67 Rad/s, en estas condiciones el tambor alcanzara la máxima amplitud resultante 3.613e-01 mm, como se evidencia en la figura N°32.

Figura 32. Modo de vibración 1

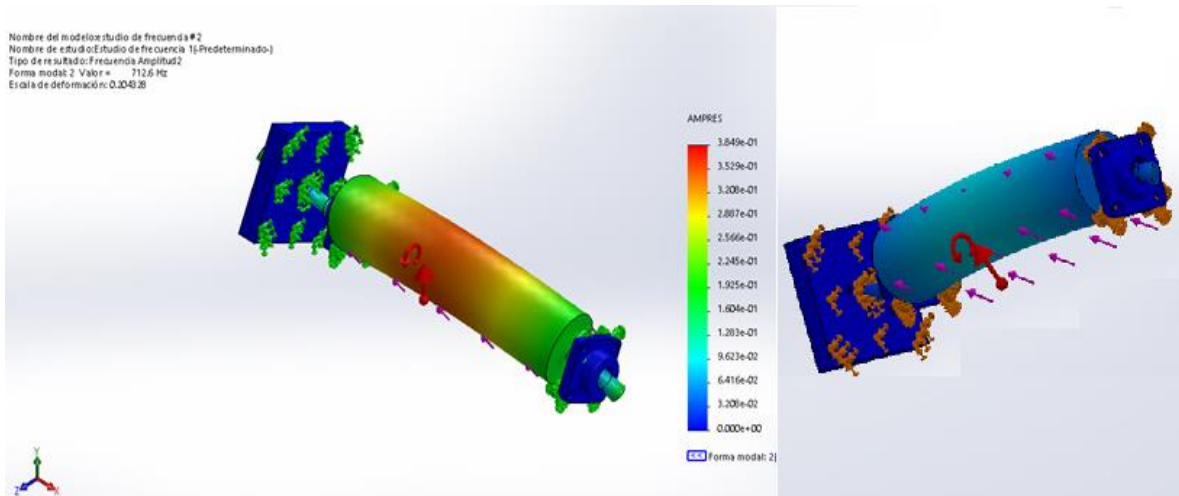


Fuente: Elaboración propia

### Modo de vibración 2:

El estudio dinámico para la amplitud 2, proyecta como velocidad crítica 42618 rpm, en esta instancia la frecuencia de las fuerzas aplicadas iguala a una de las frecuencia naturales del sistema, siendo la frecuencia de resonancia 710.3 Hz, equivalente a una frecuencia angular de 4459.9 Rad/s, en estas condiciones el tambor alcanzara la máxima amplitud resultante 3.849e-01 mm, como se evidencia en la figura N°33.

Figura 33. Modo de vibración 2



Fuente: Elaboración propia

Del análisis de frecuencia se puede concluir que, las velocidades de funcionamiento (rpm) donde hacen presencia las frecuencias de resonancia del tambor, son muy superiores al rango de trabajo estipulado según diseño teórico de los autores (305 rpm), es decir que el equipo nunca trabajara sobre esos rangos de velocidad y por ende los tambores no entrarán en resonancia, esto permite afirmar que son adecuados para su implementación en la banda transportadora y no serán afectados de manera abrupta por las fuerzas aplicadas durante su funcionamiento, garantizar que los tambores no entrarán en resonancia impacta satisfactoriamente la durabilidad el equipo, puesto que vibraciones excesivas y nocivas, pueden ocasionar fatiga en materiales, deformaciones o fracturas, incluso desalineación de ejes y afectación de rodamientos entre otras.

- **Límite de resistencia a la fatiga para los tambores**

A continuación, se realizará una estimación de la resistencia a la fatiga de los tambores para determinar su vida útil en ciclos.

La resistencia a la fatiga de un material es el valor del esfuerzo que puede resistir un material durante una cantidad dada de ciclos de carga (Mott, 2006).

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S_e \quad (32)$$

$K_a$  = Factor de superficie

$K_b$  = Factor de tamaño

$K_c$  = Factor de carga

$K_d$  = Factor de temperatura

$K_e = \text{Factor de confiabilidad}$

$S'_e = \text{Limite de resistencia a la fatiga (probeta)}$

Teniendo como referente el valor de esfuerzo ultimo a la tensión ( $S_{ut}$ ) del acero AISI/SAE 1020, que corresponde a 350MPa, se calcula el límite de resistencia a la fatiga ( $S'_e$ ) para una probeta construida en este acero.

$$S'_e = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$S'_e = 0.5 * S_{ut}$$

$$S'_e = 0.5 * 350 \text{ MPa}$$

$$S'_e = 175 \text{ MPa}$$

#### Factor de superficie ( $K_a$ ):

Los tambores tienen un acabado superficial correspondiente al maquinado, como se observa en la siguiente tabla se toma el valor de 4.51 para el factor  $a$  para escalas en MPa. y para el exponente  $-0.265$ .

Tabla 30. Factor de Superficie

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

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

Los valores anteriormente seleccionados se deben reemplazar y obtener el factor de superficie.

$$K_a = a * S_{ut}^b$$

$$K_a = 4.51 * 350^{-0.265}$$

$$K_a = 0.95$$

#### Factor de tamaño ( $K_b$ ):

Se evaluará la sección de menor diámetro de nuestro tambor siendo 20mm, correspondiente a los extremos del eje donde se ejecuta el soporte con los rodamientos, de la siguiente tabla seleccionamos la ecuación correspondiente al diámetro a evaluar.



Figura 34. Factor de tamaño

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

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

$$K_b = 1.24 * d^{-0.107}$$

$$K_b = 1.24 * 20^{-0.107}$$

$$K_b = 0.90$$

**Factor de carga ( $K_c$ ):**

Teniendo como referente que el tambor está sometido a cargas de torsión, como se evidencia en la siguiente imagen se debe seleccionar  $K_c=0.59$  como factor de carga.

Figura 35. Factor de carga

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases}$$

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

**Factor de temperatura ( $K_d$ ):**

Los tambores estarán operando bajo temperatura ambiente en el municipio de Cota Cundinamarca siendo aproximadamente 20°C.

Tabla 31. Factor de temperatura

Temperatura, °C	$S_T/S_{RT}$	Temperatura, °F	$S_T/S_{RT}$
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008)

De acuerdo con la anterior tabla para nuestro análisis se determina  $K_d=1$ .

### Factor de confiabilidad ( $K_e$ ):

Por criterio técnico de los autores se establece una confiabilidad de 99% para la evaluación del elemento.

Tabla 32. Factor de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación $\alpha$	Factor de confiabilidad $k_c$
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702

Fuente: (Budynas & Nisbett, 2008).

Siendo entonces  $K_e = 0.814$

El siguiente paso es reemplazar los valores obtenidos en la ecuación N°32.

$$S_e = 0.95 * 0.90 * 0.59 * 1 * 0.814 * 175MPa$$

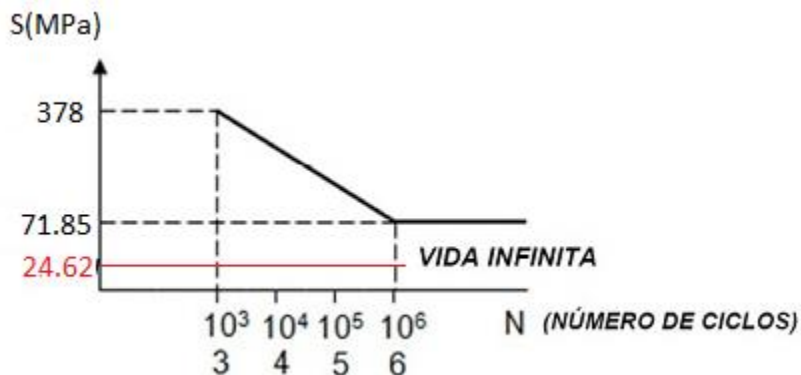
$$S_e = 71.85MPa$$

Conociendo el valor real del límite de fatiga ( $S_e$ ) para los tambores, se puede construir un diagrama S-N, el valor para la resistencia a la fatiga cuando  $N=10^3$  se obtiene con  $S=0.9*S_{ut}$ .

El momento máximo en el eje debido a la carga distribuida de 175N será de 19 N\*m, por tanto, el valor de la tensión causado corresponde a:

$$\sigma = \frac{19.2N * m}{0.78 * 10^{-6}m^3} = 24.62 * 10^6 \frac{N}{m^2} = 24.62MPa$$

Figura 36. Diagrama límite de fatiga - Numero de ciclos



Fuente: Elaboración propia

El valor del esfuerzo ( $\sigma$ ) es menor que el límite de fatiga ( $S_e$ ), por lo cual se considera que los tambores bajo esas condiciones de funcionamiento tendrán una vida infinita.

### 9.2.9 Estructura de la banda transportadora

La intención del análisis y diseño estructural para el soporte de la banda transportadora es garantizar estabilidad, resistencia y durabilidad. En la selección del material en que se construirá la estructura es importante analizar, propiedades mecánicas, costos y otras posibles características que puedan ofrecer los materiales y que resulten de algún modo beneficiosas para el equipo.

Tabla 33. Comparación elementos estructurales

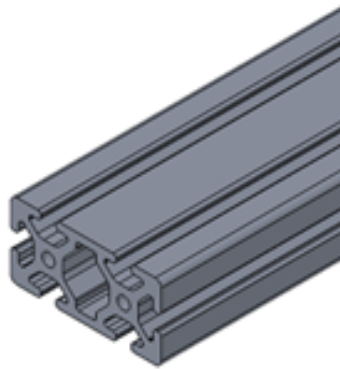
CARACTERISTICA	TIPO DE ELEMENTO		
	Tubo cuadrado	Angulo	Perfil modular
Material	Acero A36	Acero A36	Aluminio 6063
Dimensiones	Sección lado 2", espesor 3/16"	Sección lado 2", espesor 3/16"	40x80x600 (mm)
Modulo elástico	200000 MPa	200000 MPa	69000 MPa
Modulo cortante	79300 MPa	79300 MPa	25800 MPa
Limite elástico	250 MPa	250 MPa	145 MPa
Límite de tracción	400 MPa	400 MPa	185 MPa
Resistencia a la corrosión	No	No	Si
Usos	Estructuras metálicas, muebles, carpintería metálica etc.	Estructuras metálicas, puentes, fabricación de vigas, cerchas, torres y edificaciones etc.	Estructura de máquinas ruteadoras CNC, impresoras 3D, grabadores laser, transportadores etc.
Costo aproximado x 1m	\$20.000 (2"x2")	\$16.000 (2")	\$80.000 (40x80)

Fuente: Elaboración propia, Datos: (Deacero, s.f.) (Norelem, s.f.)

De acuerdo con las características de cada posible tipo de elemento estructural analizado en la tabla N°33, por criterio técnico de los autores y en concordancia con los objetivos planteados en el desarrollo de la casa de la calidad donde se planteó una estructura resistente y modular, la elección del material se inclina por el perfil de aluminio, gracias a sus buenas características mecánicas, permitiendo soportar tensiones hasta de 145MPa sin sufrir deformaciones permanentes según indica su modulo elástico, igualmente su modulo cortante 25.8GPa y su límite de tracción 128MPa indican una buena resistencia a

los esfuerzos cortantes y axiales de tracción respectivamente, su indiscutible resistencia a la corrosión otorga mayor durabilidad, su ensamble no requiere soldaduras, ni recubrimientos adicionales como pinturas o anticorrosivos, la versatilidad de este material permitirá llegado el caso desarmar, trasladar y armar nuevamente el equipo sin mayor complejidad.

Figura 37. Perfil modular de aluminio



Fuente: Elaboración propia

Una vez seleccionado el elemento estructural y haciendo uso de la herramienta de simulación computacional se acude a dibujar la estructura de acuerdo con el trayecto y dimensiones previamente planteadas en el numeral 9.2.2, a la estructura se le realizara un análisis estático, para comprobar que su diseño y características suplan los requerimientos de diseño.

Figura 38. Estructura soporte de banda transportadora



Fuente: Elaboración propia

▪ **Análisis estático de estructura soporte de banda transportadora**

El objetivo fundamental de este análisis estático es evidenciar el comportamiento de la estructura cuando se somete a las cargas y/o fuerzas propias del diseño para corroborar que la estructura será resistente, mediante la teoría de la máxima energía de distorsión o criterio de Von Mises, adicionalmente se obtendrá el factor de seguridad de la estructura.

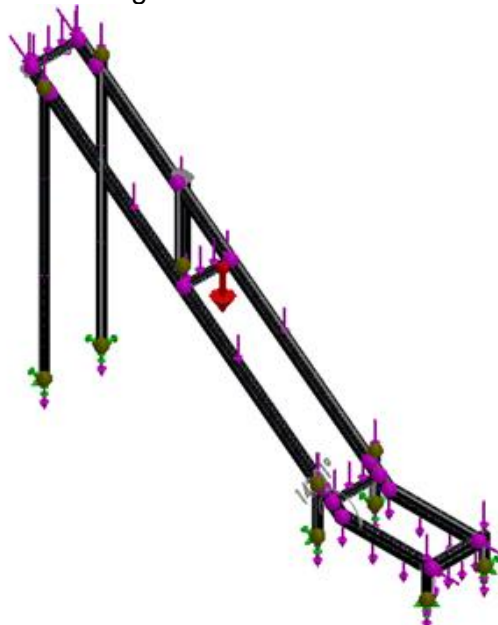
Tabla 34. Fuerzas actuantes en la estructura

Elementos	Fuerza
Tambores, cuna, horquillas, cinta de transporte y envases de vidrio	180Kgf
Motorreductor	25Kgf
Tablero eléctrico	20Kgf

Fuente: Elaboración propia

En la aplicación de las cargas, se debe tener en cuenta la dirección y la selección de los componentes que soportaran la fuerza, por criterio técnico de los autores se supone a lo largo de la estructura una carga de 180Kgf propia del peso de los elementos que componen el transportador como son tambores, cuna, horquillas, cinta de transporte entre otros, adicionalmente se consideran por separado las fuerzas que ejercen el motorreductor 25Kgf y el tablero eléctrico 20Kgf los cuales también estarán soportados a la estructura, por último se incorporan al análisis 175N correspondientes a la fuerza que ejerce la cinta transportadora sobre los tambores y que deberá ser igualmente tolerada por la estructura objeto del análisis.

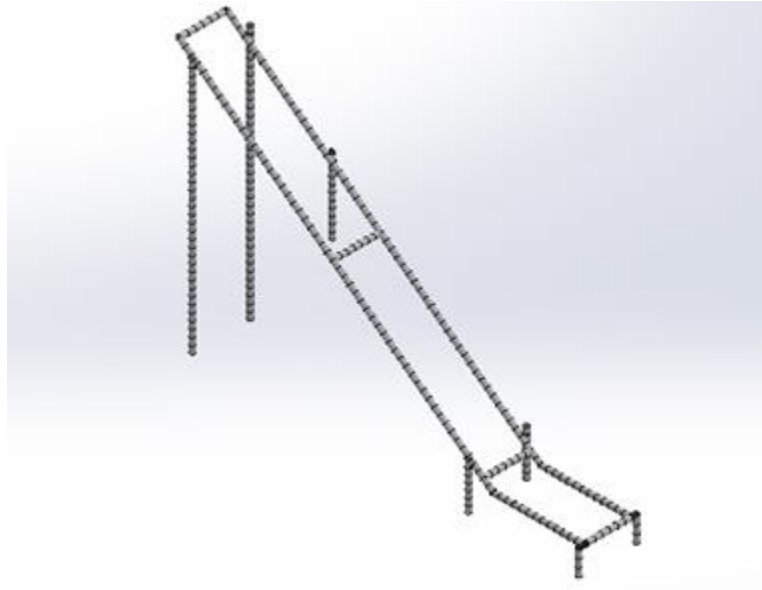
Figura 39. Análisis estático



Fuente: Elaboración propia

Se debe realizar una mallado de la estructura con malla tipo viga, debido a la similitud que presentan los perfiles usados para la construcción.

Figura 40. Mallado



Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. Detalles de la malla

	<b>Malla gruesa</b>	<b>Malla fina</b>
<b>Tipo de malla</b>	Malla de viga	Malla de viga
<b>Número total de nodos</b>	288	499
<b>Número total de elementos</b>	275	308

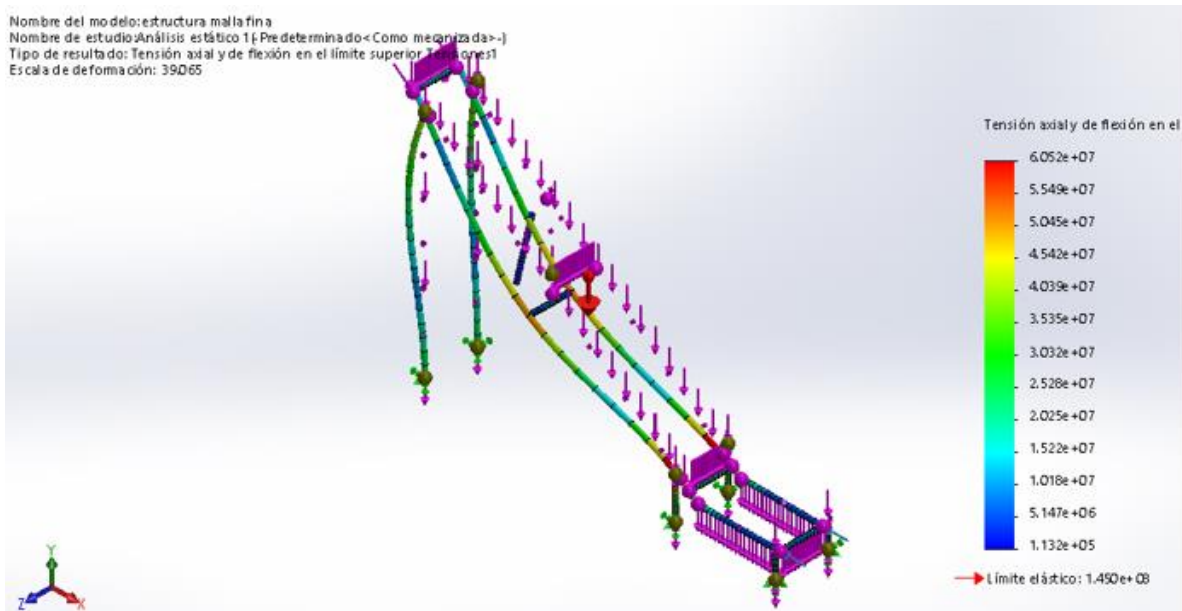
Fuente: Elaboración propia

Mediante el mallado fino se obtiene el mayor número de elementos posibles de este modo el análisis otorga resultados más precisos y cercanos a la realidad.

**Resultados del análisis estático:**

En cuanto a las tensiones axial y de flexión el estudio estático indica (Ver figura N°41) que siendo el límite elástico  $1.45e + 08 \frac{N}{m^2}$  y por la apremiante visualización del espectro de colores, se concluye que la estructura soportara las cargas y que su análisis estático por elementos finitos es satisfactorio, pues la tensión máxima será  $6.052e + 07 \frac{N}{m^2}$ .

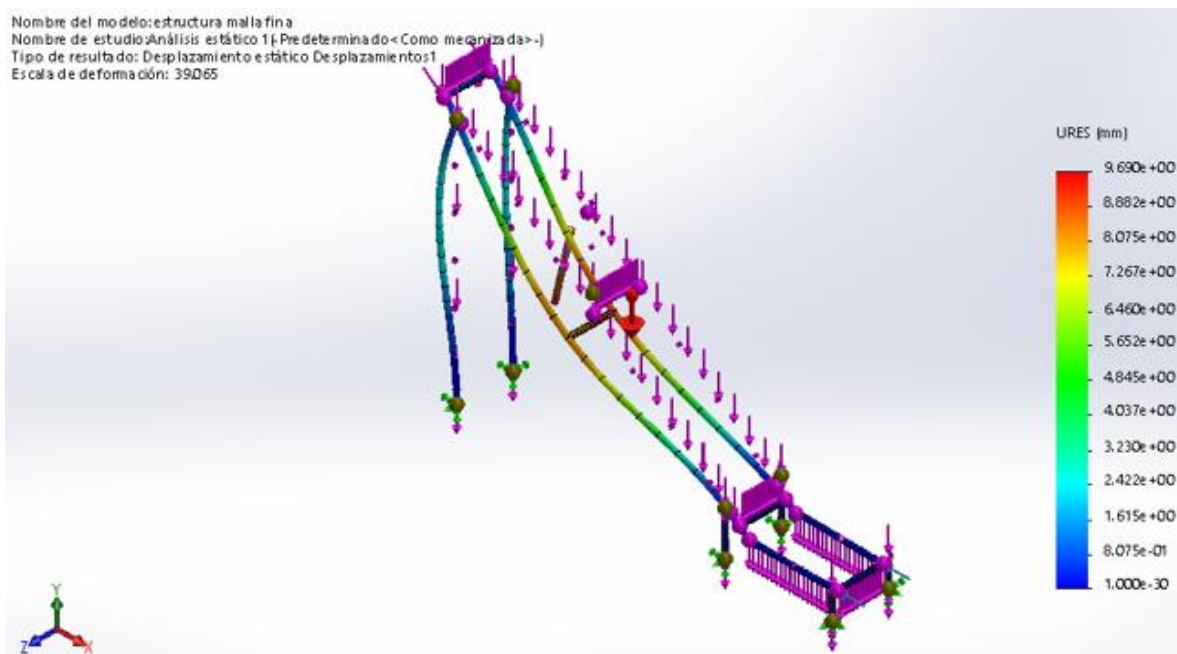
Figura 41.Resultado análisis estático - Tensiones



Fuente: Elaboración propia

El desplazamiento resultante (URES) máximo que se podría llegar a manifestar en la estructura sería de 9.6mm, como se evidencia en la Figura N°42.

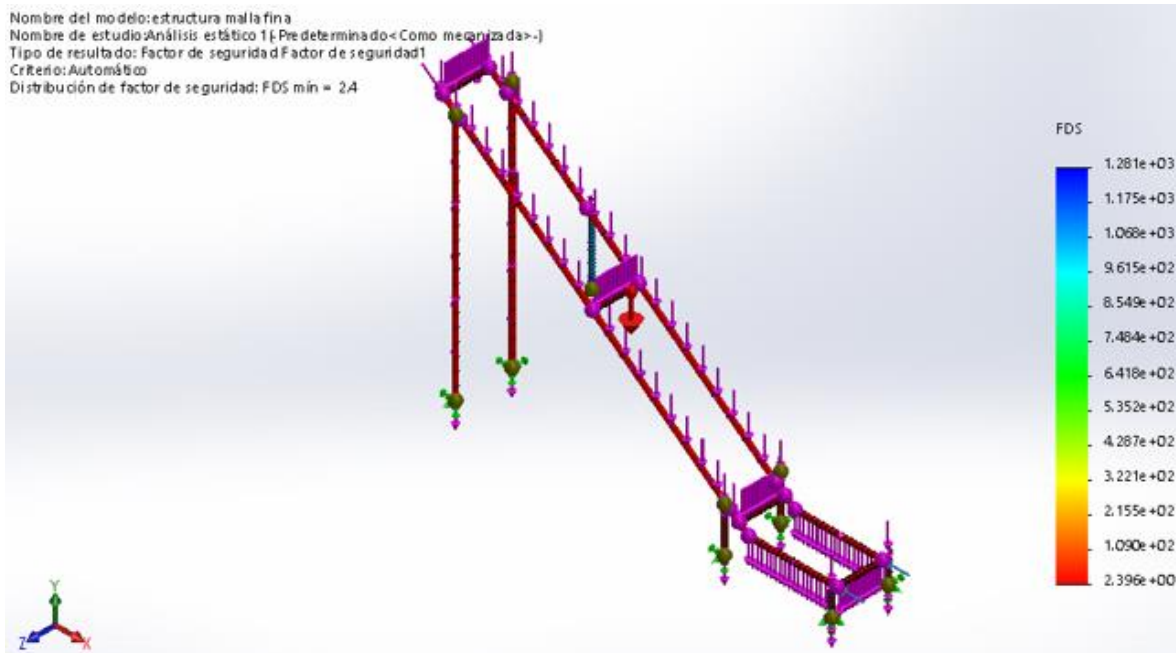
Figura 42.Resultado análisis estático - Desplazamientos



Fuente: Elaboración propia

El factor de seguridad es determinado por el criterio de error de Von mises, como indica la Figura N°43, para la estructura soporte de la banda transportadora el factor de seguridad (FDS) es de mínimo 2.4.

Figura 43. Resultado análisis estático - Factor de seguridad



Fuente: Elaboración propia

### 9.2.10 Resumen propuesta de diseño banda transportadora

En la tabla presentada a continuación, se encuentran consignadas las especificaciones técnicas y dimensiones establecidas para la implementación de la banda transportadora.

Tabla 36. Resumen propuesta de diseño banda transportadora

<b>ESPECIFICACIÓN</b>	
Proyección horizontal del tramo inclinado	2.4 m
Longitud del tramo horizontal	0.7 m
Longitud horizontal total	3.1 m
Altura	1.8 m
Longitud tramo inclinado	3.0 m
Grado inclinación	37°
Ancho de banda transportadora	0.4 m



Ancho útil ocupado por el material	0.31 m
Capacidad volumétrica	7.77 m <sup>3</sup> /h
Capacidad de transporte	3 T/h
Peso de las partes móviles de la banda	11.2 Kg/m
Distancia entre rodillos de transporte	1.35 m
Distancia entre rodillos de retorno	3.0 m
Diámetro rodillo	100mm
Longitud rodillo	410mm
Diámetro eje del rodillo	25mm
Fuerza para mover la banda en vacío	74.48 N
Fuerza necesaria para transporte horizontal	3.46 N
Fuerza necesaria para elevar el material	9.19 N
Tensión total cinta transportadora	175 N
Velocidad lineal cinta transportadora	1.6 m/s

Fuente: Elaboración propia

### 9.3 Cámara de Trituración

La cámara de trituración está compuesta principalmente por un cilindro y un eje vertical, el cilindro tiene 0.43m de diámetro y una altura 1.2m, sobre este se hallan acoplados treinta y tres (33) martillos de impacto estacionarios, posicionados hacia la parte interna del cilindro, en el eje vertical se ubican treinta y seis (36) martillos de impacto posicionados de manera perpendicular al eje y distribuidos a lo largo del mismo (Ver Figura N°44), con un total de 69 martillos de impacto, la función de este equipo es triturar los envases de vidrio mediante los impactos proporcionados por la rotación del eje vertical.

Figura 44. Cámara de trituración actual



Fuente: Elaboración propia

A través de una labor de muestreo realizada en campo se cargaron 40Kg de envases al equipo para su respectiva trituración, una vez terminado el proceso se hace la separación del material molido y los envases que no fueron triturados (Ver figura N°45), para pesarlos de nuevo y conocer que cantidad se debe reprocesar.

Figura 45. Muestreo – Eficiencia triturador



Fuente: Schott Colombia, fotografía tomada en campo

Como resultado del ejercicio se obtiene que de los 40Kg de envases cargados al triturador 8.2Kg no fueron desintegrados y deben reprocesarse. Mediante el uso de una regla de tres simple y asumiendo que los 40Kg son el 100% de la muestra analizada, se calculara la eficiencia del triturador.

$$\left. \begin{array}{l} a \rightarrow b \\ c \rightarrow x \end{array} \right\} \rightarrow x = \frac{b * c}{a} \quad (33)$$

A continuación, utilizando la ecuación N°33 se calcula el porcentaje de envases no triturados.

$$\left. \begin{array}{l} a \rightarrow b \\ c \rightarrow x \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} 40Kg \rightarrow 100\% \\ 8.2Kg \rightarrow x \end{array}$$

$$x = \frac{8.2Kg * 100\%}{40Kg} = 20.5\%$$

Usando nuevamente la ecuación N°33 es posible determinar la eficiencia actual del triturador, esto en referencia a la cantidad de envases triturados en la prueba realizada.

$$\left. \begin{array}{l} a \rightarrow b \\ c \rightarrow x \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} 40Kg \rightarrow 100\% \\ 31.8Kg \rightarrow x \end{array}$$

$$x = \frac{31.8Kg * 100\%}{40Kg} = 79.5\%$$

Tabla 37. Eficiencia trituración

Cantidad total envases	Envases sin triturar	Envases triturados
40Kg	8.2 Kg	31.8 Kg
100%	20.5%	79.5%

Fuente: Elaboración propia, Datos: Tomados en campo

De acuerdo con los datos obtenidos se evidencia que el triturador actual tiene una eficiencia del 79.5%, por esta razón con el propósito de mejorar la eficiencia de la cámara de trituración, se propone aumentar el número de martillos estacionarios a continuación, se calcula el número de martillos necesarios para aproximar la eficiencia del triturador hasta el 100%.

$$\left. \begin{array}{l} a \rightarrow b \\ c \rightarrow x \end{array} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} 79.5\% \rightarrow 33martillos \\ 100\% \rightarrow x \end{array}$$

$$x = \frac{33martillos * 100\%}{79.5\%} = 41.5martillos$$

De acuerdo con el resultado anterior sería necesario aumentar 8.5 martillos, teniendo en cuenta que la adición de los martillos debe hacerse en una nueva hilera vertical se sugiere incorporar un total de 11 martillos pasando de 33 a 44.

$$\begin{array}{l}
 a \rightarrow b \\
 c \rightarrow x
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} a \rightarrow b \\ c \rightarrow x \end{array}} \right\} \rightarrow \begin{array}{l} 33 \text{ martillos} \rightarrow 79.5\% \\ 44 \text{ martillos} \rightarrow x \end{array}$$

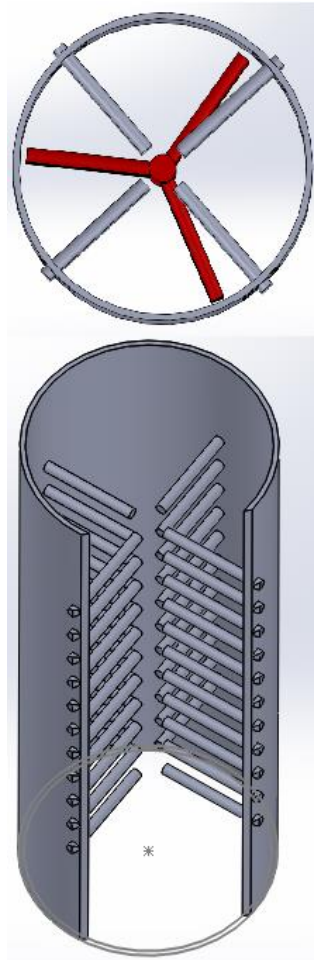
$$x = \frac{44 \text{ martillos} * 79.5\%}{33 \text{ martillos}} = 100.6\%$$

$$\% = 100.6\% - 79.5\% = 21.1\%$$

El aumento de martillos es sustentado en proporción a la deficiencia hallada mediante el trabajo de campo, por lo cual aumentar en 11 el número de martillos incrementará la eficiencia del equipo triturador en un 21.1%, alcanzando una eficiencia teórica del 100.6%.

La ubicación se dará simétricamente en cuatro columnas como se detalla en la figura N°46, el objetivo es incrementar el área de impacto dentro de la cámara de trituración y disminuir la cantidad de envases que una vez terminado el proceso salen del equipo sin haber sido triturados.

Figura 46. Propuesta cámara de trituración



Fuente: Elaboración propia

Por las limitaciones del presente proyecto se va a reutilizar el motor eléctrico generador de potencia para el triturador de envases con el cual contaba el diseño que motivo el actual proyecto, dicho motor tiene una potencia de 3 HP de fuerza según datos nominales de motor (ficha técnica ver anexo J).

#### 9.4 Material para martillos de impacto

Evaluar y definir un tipo de material para la construcción de los martillos de impacto, en afinidad de obtener mayor durabilidad de estos elementos, es importante optar por un material comercialmente fácil de adquirir, de un costo razonable y que brinde mayor utilidad en comparación con el acero AISI/SAE 1020, en que venían siendo construidos los martillos.

Tabla 38. Comparación aceros de ingeniería

Acero	Características	Propiedades mecánicas	Composición química (%)	Usos
<b>AISI /SAE 1020</b>	Acero de bajo carbono, responde bien al trabajo en frío y al tratamiento térmico de cementación. Tiene un alto índice de soldabilidad, por su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para elementos de maquinaria y usos convencionales de baja exigencia.	Dureza: 180 HB.  Modulo elástico: 205.000 MPa  Modulo cortante: 80.000 MPa  Límite de tracción: 420 MPa  Limite elástico: 350 MPa	C= 0.18 - 0.23 Mn= 0.30 – 0.60 Si= 0.15 – 0.30	Se utiliza en ejes, cadenas, remaches, tornillos, pernos, sujetadores, engranajes, piñones, piezas de maquinaria, pasadores de baja resistencia, prensas y levas.
<b>AISI /SAE 1045</b>	Acero de medio carbono, posee baja soldabilidad y buena maquinabilidad, responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción. Por su dureza y tenacidad es utilizado para la	Dureza: 220 HB.  Modulo elástico: 205.000 MPa  Modulo cortante: 80.000 MPa	C= 0.43 - 0.50 Mn= 0.60 – 0.90 Si= 0.20 – 0.40	Por sus características de temple, se tiene una amplia gama de aplicaciones automotrices y de maquinaria en general de resistencia media, tales como: ejes, cigüeñales, engranajes, piñones, cuñas, tornillos,

	fabricación de componentes de maquinaria.	Límite de tracción: 625 MPa  Limite elástico: 530 MPa		pernos, pasadores, partes de maquinaria y herramientas agrícolas.
<b>AISI /SAE 4140</b> <b>DIN 1.7225</b>	Acero de medio carbono aleado con Cromo y Molibdeno. Posee mediana templabilidad, buena maquinabilidad, alta resistencia, buena tenacidad y baja soldabilidad. Es comúnmente utilizado para la fabricación de piezas que requieran alta tenacidad y resistencia.	Dureza: 300 HB.  Modulo elástico: 205.000 MPa  Modulo cortante: 80.000 MPa  Límite de tracción: 1000 MPa  Limite elástico: 750 MPa	C= 0.33 - 0.43 Mn= 0.75 – 1.00 Si= 0.15 – 0.35 Cr=0.80 – 1.10 Mo= 0.15 – 0.25	Se utiliza en piñones, tornillos de alta resistencia. Piezas de alta exigencia para la industria petrolera. Cigüeñales, espárragos, árboles, engranajes de transmisión, etc.
<b>AISI /SAE 8620</b> <b>DIN 1.6523</b>	Acero de baja aleación al Níquel, Cromo, Molibdeno. Material de buena soldabilidad, poca tendencia a formar grietas en frío, buena maquinabilidad.	Dureza: 255 HB.  Modulo elástico: 205.000 MPa  Modulo cortante: 80.000 MPa  Límite de tracción: 820 MPa  Limite elástico:590 MPa	C= 0.18 - 0.23 Mn= 0.70 – 0.90 Si= 0.15 – 0.35 Cr=0.40 – 0.70 Mo= 0.15 – 0.25	Se utiliza en la fabricación de engranes, piñones, árboles de levas, moldes para la industria del plástico, mordazas, coronas y satélites, entre otros.

Datos: (Compañía general de aceros, s.f.) (Ferrecortes , s.f.), SolidWorks, Elaboración:

Propia

Como se evidencia en la tabla N°38 el módulo elástico y el módulo cortante tienen el mismo valor respectivamente para los cuatro aceros que se pretende evaluar, por tal motivo se descartan estas propiedades mecánicas en la evaluación y se continúa el ejercicio con dureza, límite de tracción y límite elástico.

En la siguiente tabla se realizará un análisis cuantitativo de los cuatro diferentes tipos de acero, estableciendo una valoración a sus respectivas propiedades y costo, para ello se propone calificar en un rango de 1 a 4 cada ítem de evaluación, siendo 1 la apreciación más baja y 4 la más alta, al final del ejercicio el objetivo es identificar el acero con mayor puntuación y por ende este será sugerido como el nuevo material para construcción de los martillos de impacto del triturador, como referente se cuenta con la información recopilada en diferentes fuentes y consignada en la tabla N°38.

Tabla 39. Ponderación tipos de acero

<b>Acero</b>	<b>1020</b>	<b>1045</b>	<b>4140</b>	<b>8620</b>
Dureza (HB)	180 1	220 2	300 4	255 3
Límite de tracción (MPa)	420 1	625 2	1000 4	820 3
límite elástico (MPa)	350 1	530 2	750 4	590 3
Costo por metro de barra diámetro ¾" (COP)	\$13000 4	\$16000 3	\$21000 2	\$22000 1
<b>Total, apreciación</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>14</b>	<b>10</b>

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°39, mediante la apreciación de algunas propiedades mecánicas y costo de los aceros AISI/SAE 1020, 1045, 4140 y 8620, se podría en primera instancia pensar que el acero AISI/SAE 1045 sería una buena opción, pero si observamos detalladamente sus propiedades mecánicas resultan ser bastante similares al acero AISI/SAE 1020 por lo cual este tipo de material no daría un valor agregado a la durabilidad de los martillos de impacto, en lo que respecta al acero AISI/SAE 8620 sus propiedades indican que se trata de un material con alta dureza y bajo límite elástico siendo muy frágil y adicionalmente es el tipo de acero con el mayor costo, motivos por los cuales se descarta su uso.

Se evidencia entonces que el acero AISI/SAE 4140 es el material con mayor puntuación, puesto que brindará excelentes características para el prolongamiento de la vida útil de estos elementos, su dureza resta el desgaste que generan los envases de vidrio a causa de la abrasión, adicionalmente el límite de tracción que tiene este acero es igualmente mayor en comparación con los otros materiales evaluados, esto otorga a los martillos una

mayor resistencia a cargas axiales de tracción que se generan en los martillos rotativos durante el funcionamiento, su límite elástico indica que soporta un amplio rango de tensiones que tan solo pudiesen causarle leves deformaciones temporales sin llegar a la rotura, por ello se puede concluir que aun siendo un material con alto grado de dureza no resulta ser frágil, por el contrario posee una gran tenacidad gracias a que como lo indican su modulo y limite elástico antes de llegar a romperse, podrá soportar grandes cargas o fuerzas que le generen deformaciones temporales, por ende el material seleccionado para implementarse en la construcción de los martillos de impacto.

## 9.5 Elementos y circuitos eléctricos

La selección de elementos y conductores se desarrollará de acuerdo con lo dispuesto en el Código eléctrico colombiano NTC2050 en su sección 430. “motores, circuitos de motores y controladores”.

El tablero eléctrico tendrá los elementos de protección y mandos necesarios, para controlar un motorreductor que estará conectado a un variador de frecuencia para ajustar la velocidad de la banda según requerimiento, para el accionamiento del triturador de envases se cuenta con un motor eléctrico de 3 HP de potencia que funciona a una única velocidad, el motor eléctrico generador de potencia para el triturador de envases será el mismo motor con el cual contaba el diseño que motivo el actual proyecto (Ver anexo J).

### ▪ Motores eléctricos

En la siguiente tabla se relacionan las principales características de los motores eléctricos que se usaran en el equipo de trituración, para mayor detalle del motorreductor de la banda transportadora ver Anexo G.

Tabla 40. Motores eléctricos - Características

Motor	HP	kW	V	A	rpm
Triturador	3	2.23	220	9.5	1735
Banda Transportadora	1/2	0.37	220	2.5	1730/300

Fuente: Elaboración propia

### ▪ Cálculo de conductores

430-24. Los conductores de suministro de varios motores o un motor(es) y otra(s) carga(s) deben tener una capacidad de corriente como mínimo igual a la suma de las corrientes a plena carga de todos los motores, más el 25 % de la capacidad de corriente del mayor motor del grupo, más la capacidad de corriente de todas las demás cargas (NTC2050).

Se calcula la corriente total que circulara por los conductores de alimentación del equipo, desde el tablero de distribución hasta el tablero de control y maniobra, aplicando un factor de servicio del 25%.



$$I_T = I * FS \quad (34)$$

$$I_T = (9.5A + 2.5A) * 1.25 = 15 A$$

$$I_T = 15 A$$

210-19 A-4. Los conductores de circuitos ramales deben contar con una sección que evite una caída de tensión superior al 3 % en las salidas más lejanas de fuerza, calefacción, alumbrado o cualquier combinación de ellas y en los que la caída máxima de tensión de los circuitos alimentador y ramal hasta la salida más lejana no supere al 5%, ofrecen una eficacia razonable de funcionamiento (NTC 2050).

Gracias a que la distancia de ubicación es relativamente corta se puede asumir una caída de tensión permisible del 1%.

$$\text{Caída de tensión (1\%)} = 220 V * \frac{1}{100} \quad (35)$$

$$\text{Caída de tensión (1\%)} = 2.2 V$$

Para el cálculo del área transversal de los conductores se aplica la siguiente ecuación.

$$S = \frac{\sqrt{3} * I * \rho * L}{\Delta V} \quad (36)$$

Donde:

$$S = \text{Área transversal (mm}^2\text{)}$$

$$I = \text{Corriente circulante (A)}$$

$$L = \text{Longitud del conductor eléctrico (m)}$$

$$\rho = \text{resistividad del cobre } \frac{\Omega * \text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$\rho = 0.0176 \Omega * \text{mm}^2 / \text{m}$$

$$\Delta V = \text{Caída de tensión (V)}$$

$$S = \frac{\sqrt{3} * 15 A * 0.0176 \Omega * \text{mm}^2 / \text{m} * 6\text{m}}{2.2 V}$$

$$S = 1.25 \text{ mm}^2$$

Habiendo hallado el área transversal del conductor eléctrico con la tabla N°41 (310-16 de la NTC 2050) se procede a seleccionar el calibre del conductor.

Tabla 41. Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V

Sección transv.	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	Calibre
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS,SA,SS,FEP*, FEPB*,MI,RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*,THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS,SA,SS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm²	COBRE			ALUMINIO 0 ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils
0,82	--	--	14	--	--	--	18
1,31	--	--	18	--	--	--	16
2,08	20*	20*	25	--	--	--	14
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,20	110	130	150	85	100	115	1
53,50	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	355	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	310	375	420	700
380,02	400	475	535	320	385	435	750
405,36	410	490	555	330	395	450	800
456,03	435	520	585	355	425	480	900
506,70	455	545	615	375	445	500	1.000
633,38	495	590	665	405	485	545	1.250
760,05	520	625	705	435	520	585	1.500
886,73	545	650	735	455	545	615	1.750
1.013,40	560	665	750	470	560	630	2.000

Fuente: (CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO, NTC 2050).

De acuerdo con la sección transversal del conductor calculada anteriormente la tabla N°41, recomienda el uso de un conductor calibre 16AWG, sin embargo, por criterio técnico de los autores se propone el uso de calibre 12AGW en cobre para la acometida desde el tablero de distribución hasta el tablero de control y para la alimentación de motores eléctricos calibre 14AWG en cobre.

Tabla 42. Número máximo conductores en tubería EMT

Tabla C1. Número máximo de conductores y conductores para aparatos en tuberías eléctricas metálicas -tipo EMT (según la [Tabla 1](#) del Capítulo 9)

Letras de tipo	Sección transversal del conductor		Tamaño comercial mm pulgadas									
	mm <sup>2</sup>	AWG/kcmil	16 ½	21 ¾	27 1	35 1 ¼	41 1 ½	53 2	63 2 ½	78 3	91 3 ½	103 4
RH	2,08	14	6	10	16	28	39	64	112	169	221	282
	3,30	12	4	8	13	23	31	51	90	136	177	227
RHH, RHW, RHW-2	2,08	14	4	7	11	20	27	46	80	120	157	201
	3,30	12	3	6	9	17	23	38	66	100	131	167
RH, RHH, RHW, RHW-2	5,25	10	2	5	8	13	18	30	53	81	105	135
	8,36	8	1	2	4	7	9	16	28	42	55	70
	13,29	6	1	1	3	5	8	13	22	34	44	56
	21,14	4	1	1	2	4	6	10	17	26	34	44
	26,66	3	1	1	1	4	5	9	15	23	30	38
	33,62	2	1	1	1	3	4	7	13	20	26	33
	42,20	1	0	1	1	1	3	5	9	13	17	22
	53,50	1/0	0	1	1	1	2	4	7	11	15	19
	67,44	2/0	0	1	1	1	2	4	6	10	13	17
	85,02	3/0	0	0	1	1	1	3	5	8	11	14
	107,21	4/0	0	0	1	1	1	3	5	7	9	12
	126,67	250	0	0	0	1	1	1	3	5	7	9
	152,01	300	0	0	0	1	1	1	3	5	6	8
	177,34	350	0	0	0	1	1	1	3	4	6	7
	202,68	400	0	0	0	1	1	1	2	4	5	7
	253,35	500	0	0	0	0	1	1	2	3	4	6
	304,02	600	0	0	0	0	1	1	1	3	4	5
	354,69	700	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4
	380,02	750	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4
	405,36	800	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4
456,03	900	0	0	0	0	0	1	1	1	3	3	
506,70	1000	0	0	0	0	0	1	1	1	2	3	
633,38	1250	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	
760,05	1500	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
886,73	1750	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
1013,4	2000	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	
TW	2,08	14	8	15	25	43	58	96	168	254	332	424
	3,30	12	6	11	19	33	45	74	129	195	255	326
	5,25	10	5	8	14	24	33	55	96	145	190	243
	8,36	8	2	5	8	13	18	30	53	81	105	135
RHH*, RHW*, RHW-2*, THHW, THW, THW-2	2,08	14	6	10	16	28	39	64	112	169	221	282
RHH*, RHW*, RHW-2*, THHW, THW	3,30	12	4	8	13	23	31	51	90	136	177	227
	5,25	10	3	6	10	18	24	40	70	106	138	177

Fuente: (CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO, NTC 2050).

La acometida o conductor de alimentación del tablero eléctrico del equipo, se debe canalizar usando tubería y accesorios EMT de 1/2 pulgada, de acuerdo con la tabla N°42 (Tabla C1-NTC 2050).

▪ **Disyuntor termomagnético**

Haciendo uso de los datos nominales de potencia, eficiencia, factor de servicio y voltaje de cada motor podremos calcular corrientes nominales y de ese modo definir sus respectivos guardamotores.

Figura 47. Disyuntor termomagnético



Fuente: Schneider Electric

En el caso del motor eléctrico que tendrá la banda transportadora será:

**Potencia eléctrica**

$$P_E = \frac{p}{\eta} \quad (37)$$

$$P_E = \frac{373 \text{ w}}{0.95} = 393 \text{ w}$$

**Corriente nominal**

$$I_n = \frac{P_E}{\sqrt{3} * V * \cos \theta} \quad (38)$$

$$I_n = \frac{393 \text{ W}}{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 0.74} = 1.39 \text{ A}$$

**Corriente de sobrecarga**

$$I_s = I_n * F_s \quad (39)$$

$$I_s = 1.39 * 1.15 = 1.6 \text{ A}$$

Y para el motor eléctrico del triturador

### Potencia eléctrica

$$P_E = \frac{p}{\eta}$$
$$P_E = \frac{2238W}{0.95} = 2356 \text{ w}$$

### Corriente nominal.

$$I_n = \frac{P_E}{\sqrt{3} * V * \cos \theta}$$
$$I_n = \frac{2356W}{\sqrt{3} * 220 \text{ V} * 0.74} = 8.35 \text{ A}$$

### Corriente de sobrecarga

$$I_s = I_n * F_s$$
$$I_s = 8.35 * 1.15 = 9.6 \text{ A}$$

En conclusión, el motor del triturador necesita un guardamotor de 9.0 a 14 amperios y el motorreductor de la banda transportadora tendrá un guardamotor de 2.5 a 4.0 amperios, como el motorreductor del trasportador está protegido y comandado por el variador de frecuencia no necesitaría de guardamotor, sin embargo, lo sumaremos para poder reiniciar el variador en caso de que esté presente un eventual fallo o bloqueo.

#### ▪ **Totalizador**

Habiendo identificado las características de corriente, voltaje y número de fases de las cargas, para proteger el conductor eléctrico de alimentación del equipo triturador de envases, y en concordancia con la tabla N°41 por la capacidad de corriente permisible en un conductor de calibre 12AGW se debe utilizar un interruptor termomagnético de máximo 25A.

#### ▪ **Variador de frecuencia**

Para la correcta elección del variador de frecuencia se deben tener en cuenta aspectos técnicos de operación como son, tensión de trabajo, frecuencia de la red (60Hz) y los datos de placa del motor que se encargara de mover la banda transportadora, para garantizar que el variador cuente con la capacidad de corriente y potencia que demandara el motor eléctrico.

#### ▪ **Puesta a tierra**

De acuerdo con lo dispuesto en el código eléctrico colombiano, se deben poner a tierra estructura metálica y motores eléctricos, de modo que se garantice protección contra sobretensiones transitorias (equipos), y protección diferencial contra contactos indirectos (personas).

250-43. Equipos fijos o conectados por métodos de alambrado permanente. Casos Específicos. Independientemente de su tensión nominal, se deben poner a tierra las partes metálicas expuestas no portadoras de corriente de los equipos. (CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO, NTC 2050).

430-12-e. Conexiones de puesta a tierra de equipos. En las cajas de terminales de motores para conexiones entre alambres o con terminales fijos, debe haber instalado un medio de conexión para la terminación del conductor de puesta a tierra de equipos (CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO, NTC 2050).

Con una corriente total de cortocircuito de 15 A, calculada mediante la ecuación N°33, se acude a la tabla 250-95 de la NTC 2050, la cual indica el calibre mínimo para el conductor de puesta a tierra en función del ajuste máximo del dispositivo de protección contra sobrecorriente.

Tabla 43. Calibre mínimo para conductores de puesta a tierra

Tabla 250-95. Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos

Corriente nominal o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, tubos conduit, etc. (A)	Sección Transversal			
	Alambre de cobre		Alambre de aluminio o de aluminio revestido de cobre *	
	mm <sup>2</sup>	AWG o kcmil	mm <sup>2</sup>	AWG o kcmil
15	2,08	14	3,30	12
20	3,30	12	5,25	10
30	5,25	10	8,36	8
40	5,25	10	8,36	8
60	5,25	10	8,36	8
100	8,36	8	13,29	6
200	13,29	6	21,14	4
300	21,14	4	33,62	2
400	26,66	3	42,20	1
500	33,62	2	53,50	1/0
600	42,20	1	67,44	2/0
800	53,50	1/0	85,02	3/0
1.000	67,44	2/0	107,21	4/0
1.200	85,02	3/0	126,67	250 kcmil
1.600	107,21	4/0	177,34	350 kcmil
2.000	126,67	250 kcmil	202,68	400 kcmil
2.500	177,34	350 kcmil	304,02	600 kcmil
3.000	202,68	400 kcmil	304,02	600 kcmil
4.000	253,25	500 kcmil	405,36	800 kcmil
5.000	354,69	700 kcmil	608,04	1.200 kcmil
6.000	405,36	800 kcmil	608,04	1.200 kcmil

Fuente: (CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO, NTC 2050).

De acuerdo con la tabla N°43, el conductor de puesta a tierra que se debe utilizar es de calibre 14 AWG en alambre de cobre o en su defecto calibre 12 AWG en alambre de aluminio o alambre de aluminio revestido de cobre.

## 10. COSTOS

De acuerdo con investigación de campo se pudo establecer en promedio el costo (IVA incluido) de los elementos y materiales necesarios para la implementación del proyecto.

### 10.1 Costo implementación banda transportadora

En la siguiente tabla se relacionan los costos asociados a la implementación del transportador de banda, la mano de obra se ejecutará por parte de los autores del proyecto sin embargo se incorpora un costo estimado por tal labor.

Tabla 44. Costo implementación banda transportadora

Cantidad	Unidad	Elemento	Costo (COP)
1	UND	Cinta transportadora	\$2.826.000
2	UND	Tambores	\$2.210.000
13	m	Perfil estructural de aluminio	\$1.040.000
4	UND	Horquilla o unidad completa de rodamiento (UCF)	\$446.300
4	UND	Platinas de fijación	\$100.000
1	UND	Motorreductor 0.37Kw 1730/300rpm	\$2.100.000
N/A	N/A	Mano de obra	\$1.500.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$10.222.300</b>

Fuente: Elaboración propia

### 10.1 Costo optimización cámara de trituración

A continuación, se relacionan los costos que implican la optimización de la cámara de trituración, requiriendo un total de 80 martillos cada uno con longitud de 15cm se demandan en total 12m del material para su construcción, se debe igualmente reemplazar el eje vertical sobre el cual van soldados 36 martillos, los 44 martillos estacionarios se deben mecanizar para hacer la rosca que permite su fijación a la carcasa del triturador, las labores de soldadura y mecanizado se contemplan en mano de obra.

Tabla 45. Costo optimización cámara de trituración

Cantidad	Unidad	Elemento	Costo (COP)
12	m	Barra en acero AISI/SAE 4140 diámetro ¾"	\$300.000
1	UND	Eje vertical	\$300.000
N/A	N/A	Acondicionamiento carcasa triturador	\$100.000
N/A	N/A	Mano de obra	\$2.100.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$2.700.000</b>

Fuente: Elaboración propia

## 10.2 Costo tablero eléctrico

En la tabla N°46 se relaciona el costo de los componentes necesarios para la construcción del tablero eléctrico de control para el equipo triturador de envases, el ensamble y conexión de los elementos eléctricos será realizado por los autores del proyecto.

Tabla 46. Costo tablero eléctrico

Cantidad	Unidad	Elemento	Costo (COP)
1	UND	Breaker Tripolar (25A)	\$50.000
2	UND	Guarda motor (9-14A) y (2.5-4A)	\$200.000
2	UND	Contactador (18A)	\$70.000
1	UND	Variador de frecuencia (0.5Hp)	\$530.000
1	UND	Paro de emergencia	\$20.000
3	UND	Pulsadores	\$30.000
N/A	N/A	Insumos (Cable, marquillas, terminales)	\$50.000
N/A	N/A	Mano de obra	\$400.000
<b>TOTAL</b>			<b>\$1.350.000</b>

Fuente: Elaboración propia

El costo total que tendría la implementación del proyecto asciende en total a **\$14.272.300(COP)**.



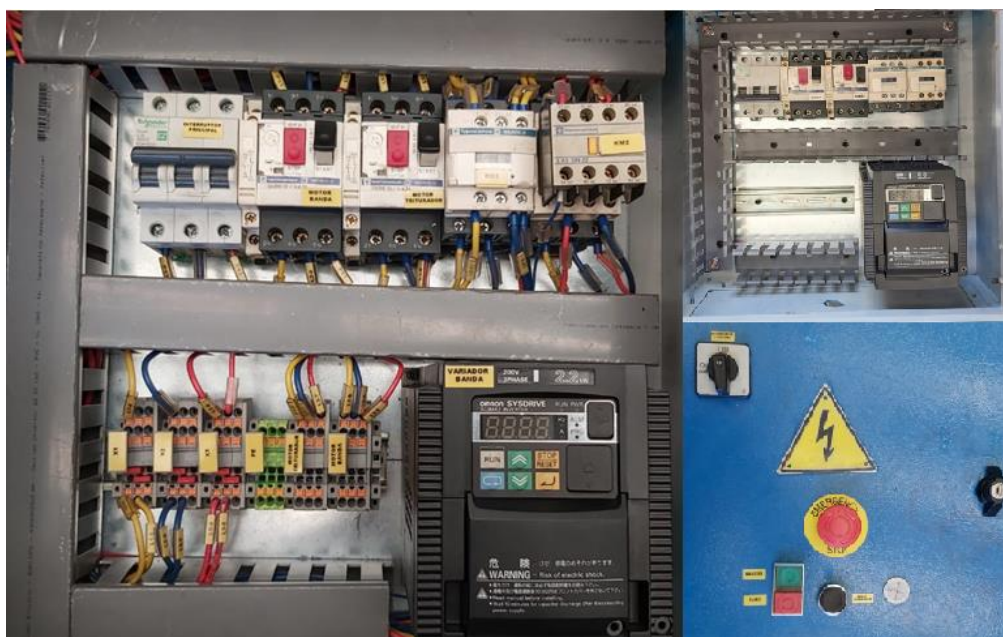
## 11. ENSAMBLE

La adquisición de los componentes y materiales requeridos para la construcción de la banda transportadora fue llevada a cabo por Schott envases Farmacéuticos S.A.S, el ensamble de la banda transportadora fue realizado por los autores del proyecto, de acuerdo con el diseño y materiales establecidos en este documento.

### 11.1 Tablero eléctrico

Se procede a el ensamble del tablero eléctrico, se ubican, instalan y conectan los elementos eléctricos acordes al diseño previo, se realizan pruebas de funcionamiento, para validar el correcto conexionado.

Figura 48. Tablero eléctrico



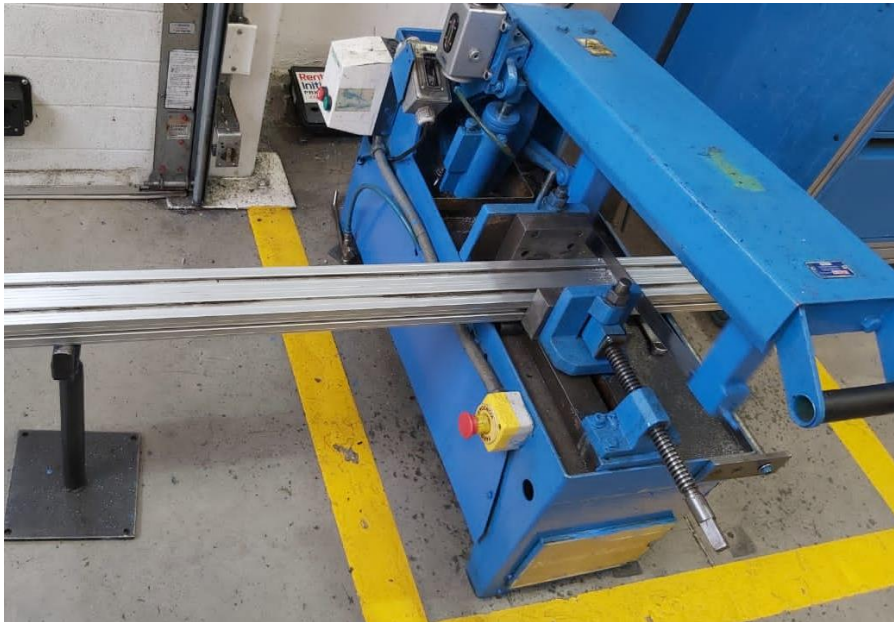
Fuente: Elaboración propia

Mediante este tablero eléctrico se controlará la banda transportadora y el triturador de envases, como se observa en la imagen anterior el panel de mando cuenta con un interruptor general, un pulsador de color verde para encender, un pulsador color rojo para apagar, un pulsador color negro de reinicio para el variador de la banda transportadora en caso de un eventual bloqueo y un dispositivo de parada de emergencia.

### 11.2 Estructura banda transportadora

Se inicia con el alistamiento de los perfiles de aluminio, en las longitudes especificadas durante el diseño y contenidas en los planos.

Figura 49. Corte de perfiles con sierra



Fuente: Elaboración propia

Una vez acondicionados los perfiles de aluminio en las longitudes requeridas, haciendo uso de los diferentes accesorios como son niveladores, rotulas y elementos conectores se procede con el ensamble de la estructura, las rotulas permiten articular la estructura y dar el grado de inclinación requerido.

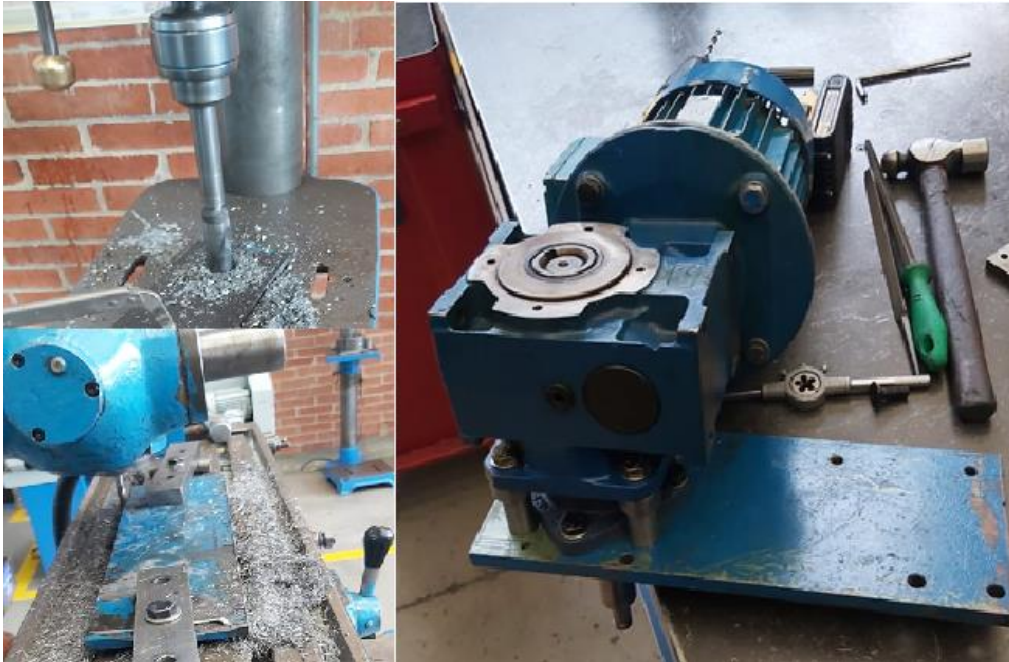
Figura 50. Proceso ensamble de estructura



Fuente: Elaboración propia

La siguiente etapa comprende la fabricación de las cuatro platinas de fijación, para el montaje del cabezal motriz y del sistema tensor

Figura 51. Fabricación platinas



Fuente: Elaboración propia

Instalación de las platinas de fijación, son ubicadas a los extremos superior e inferior de la estructura, sobre estas se instalan las unidades compactas de rodamiento como lo muestra la siguiente imagen.

Figura 52. Platinas de fijación instaladas



Fuente: Elaboración propia



Se realiza el anclaje del tablero eléctrico en la estructura y se instala el sistema motriz.

Figura 53. Montaje tablero eléctrico y sistema motriz



Fuente: Elaboración propia

Se efectúa la instalación de la cinta de transporte, se hacen pruebas de funcionamiento sin carga durante una hora para evidenciar el comportamiento de los componentes, en esta etapa se centra y ajusta la tensión de la cinta transportadora.

Figura 54. Ensamble final



Fuente: Elaboración propia

El ensamble de la banda transportadora finaliza con el montaje de las tolvas de carga (inferior) y descarga (superior), habiéndose acoplado la banda de transporte con el triturador y con apoyo del personal de producción se realizan pruebas de funcionamiento utilizando diferentes referencias de envases esto para tener un panorama completo de la funcionalidad del equipo transportador, este proceso concluye con un balance satisfactorio la elevación de los envases y descarga dentro del triturador se ejecutó sin ninguna novedad.

Con el equipo triturador optimizado se realiza una toma de nivel de ruido registrando 74.1 dBA (Figura N°55) lo cual indica que se logró una disminución de 26.2 dBA, en comparación cuando el equipo funcionaba con el elevador tipo tornillo sinfín.

Figura 55. Medicion nivel de ruido equipo optimizado



Fuente: Schott Colombia

## 12. CONCLUSIONES

El trabajo en campo mediante el cual se diagnosticó el equipo permitió conocer detalladamente el estado de los componentes, entender variables de funcionamiento, modo de operación, identificación de costos asociados a las fallas y su recurrencia, en esta etapa se identificó que el elevador tipo tornillo sinfín era el componente con mayor reincidencia en fallas asociadas a desgaste por abrasión, repercutiendo en el deterioro prematuro de cadena, piñones, rodamientos, camisa y hélices por ende se referencia como el elemento de mayor criticidad, la labor de diagnóstico condujo a razonamientos y propuestas esenciales para focalizar oportunidades de mejora en el equipo acordes a las necesidades de Schott envases Farmacéuticos S.A.S.

En la etapa inicial de diseño fue oportuna la incorporación de la metodología despliegue de la función calidad (QFD) (mediante la casa de la calidad-HOQ), esta técnica permitió en consenso con el cliente establecer de manera abreviada las exigencias técnicas y económicas asociadas al desarrollo del proyecto, convirtiéndose en el pilar y referente para la toma de decisiones durante todo el proceso.

Para llevar a cabo el diseño de la banda transportadora, fue preciso acudir a manuales de compañías especializadas en la fabricación de ese tipo de equipos, estos documentos brindan orientación puntual y estandarizada para el desarrollo de cálculos teóricos, se implementó una banda transportadora de cinta continua, su trayecto inicial o zona de carga es horizontal seguido de una inclinación ascendente de 37° hasta alcanzarse la altura de la cámara de trituración 1.8m, la cinta de transporte tiene 400mm de ancho y 4mm de espesor compuesta por tres capas de lona y una capa superficial de policloruro de vinilo que ofrece 75ShA de dureza asíndose muy resistente a las posibles rayaduras de envases rotos, con la incorporación de empujadores y runner en la cinta de transporte se eliminaron las condiciones de deslizamiento y desbordamiento de los envases causados por la inclinación ascendente que requería el transportador.

El modelamiento asistido por computadora mediante SolidWorks permitió generar geometrías exactas de elementos y mediante la aplicación de cargas asociadas al funcionamiento se desarrollaron simulaciones estáticas y dinámicas, lo que permitió una evaluación del diseño.

El análisis dinámico ejecutado a los tambores motriz y de reenvío proyecto resultados satisfactorios indicando que estos elementos durante su funcionamiento no estarán sometidos a vibraciones mecánicas nocivas (resonancia), que pudiesen causar deterioro o fatiga de los componentes.

El análisis estático aplicado a la estructura comprobó que el material y diseño de la estructura soporte otorgan un factor de seguridad de 2.4, lo cual indica que la estructura será resistente, adicionalmente gracias al material seleccionado esta será una estructura libre de corrosión y modular dando cumplimiento a los objetivos establecidos en la metodología despliegue de la función calidad.

El incremento de once martillos de impacto y su distribución en cuatro filas concede el aumento en un 21.1% de la eficiencia del triturador, gracias a que se aumentó el área de impacto de los martillos contra los envases, esto permite eliminar reprocesos, otorgando mayor rendimiento del equipo.

Mediante la evaluación de características mecánicas y costos, el acero AISI/SAE 4140 se determinó pertinente para construir los martillos de impacto, gracias a sus características de dureza, tenacidad y resistencia que les otorgan a estos elementos una mayor resistencia al desgaste por abrasión aumentando su durabilidad, comparados con martillos construidos en acero AISI/SAE 1020.

Habiendo seleccionado el tipo de acero, la nueva cantidad y distribución de los martillos de impacto, para el incremento de la eficiencia del triturador y el prolongamiento de la vida útil de los martillos, se presentó la propuesta ante el gerente de mantenimiento de Schott envases Farmacéuticos S.A.S, quien manifiesta que el recambio de los martillos no resulta viable por el impacto económico que se tiene en el momento, el cual asciende a la suma de \$2.700.000 COP, sin embargo expresa que una vez se cuente con el recurso para los martillos de impacto, se ejecutara el recambio con elementos construidos en acero AISI/SAE 4140, en la cantidad y distribución sugeridos en los resultados de este proyecto como consta en el anexo D.

Para el proceso de ensamble haber establecido medidas estandarizadas y comerciales para los componentes facilito su adquisición, la selección del perfil modular de aluminio como elemento estructural de la banda permitió un cómodo y rápido ensamble, el modelamiento de piezas para su respectiva fabricación garantizo el acople entre elementos al momento del ensamble, las pruebas de funcionamiento ejecutadas una vez finalizado el ensamble evidencian un adecuado funcionamiento, el equipo cumple satisfactoriamente la capacidad requerida de 130Kg de envases triturados durante una hora.

El manual de usuario (Anexo F) fue creado con el propósito de informar al personal operativo y de mantenimiento, los lineamientos de operación y de seguridad, su oportuno conocimiento, garantiza el correcto funcionamiento del equipo y la seguridad de las personas involucradas.

El plan de mantenimiento se propuso de tal forma que se conserve la integridad funcional del equipo, la correcta operación y la adecuada ejecución del mantenimiento preventivo permiten alcanzar el total de vida útil de una máquina, para la cinta de transporte se estiman 5 años y para los demás componentes de la banda transportadora se proyecta sea de 10 años.

El costo de mantenimiento anual del tornillo sinfín que tenía anteriormente el equipo ascendía a los \$7.000.000 mediante la incorporación de la banda de transporte se redujo ese costo en un 50%, adicionalmente la banda de transporte permite dar continuidad a la elevación de material logrando triturar 130Kg/h de envases situación que beneficia la productividad del equipo, el uso de materiales de ingeniería permiten obtener mayor durabilidad en el equipo, los perfiles modulares de aluminio en que se construyó la estructura facilita su ensamble en caso de requerirse un traslado.

Con la exclusión del tornillo sinfín se eliminaron los residuos de vidrio en el suelo del área de trabajo, el contacto del operador con partes móviles y la disminución de 26.2dBA de ruido en el área de trabajo aportando significativamente a la seguridad y salud del recurso humano.

Verificadas las óptimas condiciones de funcionamiento del equipo se hizo entrega formal a Schott envases Farmacéuticos S.A.S del nuevo triturador de envases de vidrio, siendo recibido a satisfacción como consta en el acta de entrega (Anexo E).

### 13. BIBLIOGRAFÍA

- ALLIED MARKET RESEARCH. (s.f.). Obtenido de <https://www.alliedmarketresearch.com/pharmaceutical-packaging-market>
- ALLPE. (s.f.). *Empresa de medio ambiente, Acustica, Topografia e Ingenieria*. Obtenido de <http://www.allpe.com>
- A-maq. (s.f.). Obtenido de <https://a-maq.com/>
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de shigley*. Mexico: Mc Graw Hill .
- Bulk solids handling - The international journal of Storing and Handling Bulk Materials. (s.f.). *TRANS TECH PUBLICATIONS*. Obtenido de [https://books.google.com.co/books/about/Bulk\\_Solids\\_Handling.html?id=f1xWAAAAMAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/Bulk_Solids_Handling.html?id=f1xWAAAAMAAJ&redir_esc=y)
- CARRANZA, J. D. (4 de 12 de 2014). *MÉTODO PARA LA FABRICACIÓN DE ENVASES DE VIDRIO PARA USO FARMACÉUTICO*. Obtenido de <http://patentimages.storage.googleapis.com/5c/a3/7e/0feee0801e40f4/WO2014191913A1.pdf>
- CEMA. (s.f.). *Belt Conveyors for Bulk Materials*. Obtenido de <https://fliphtml5.com/ucie/wbqd/basic>
- CENAM. (s.f.). *Centro nacional de metrologia*. Obtenido de <https://www.cenam.mx/FYP/Fuerza/Introduccion.aspx>
- Compañía general de aceros. (s.f.). Obtenido de <https://www.cga.com.co/>
- Deacero. (s.f.). Obtenido de <https://www.deacero.com/>
- Diccionario Técnico Electrotecnia. Editorial Científico-técnica, . (1990). Obtenido de [https://www.ecured.cu/Frecuencia\\_angular](https://www.ecured.cu/Frecuencia_angular)
- DIN 22101. (s.f.). *Transportadores de cinta para materiales sueltos a granel Conceptos básicos de cálculo y dimensionamiento*. Obtenido de [https://www.academia.edu/9226095/DIN\\_22101](https://www.academia.edu/9226095/DIN_22101)
- Ditlag. (s.f.). *Ditlag ingenieria y capacitacion*. Obtenido de <https://ditlag.wordpress.com/2018/03/05/introduccion-a-solidworks-simulation-y-analisis-de-elemento-finito/>
- DUNLOP. (s.f.). *Belt conveyor desing*. Obtenido de <https://vdocuments.mx/belt-conveyor-design-dunlop-558454eadcaef.html>
- EMPRO. (s.f.). *Empro all industrial solution*. Obtenido de <http://empro.lat/productos.html>



- Enciclopedia virtual de ingeniería mecánica. (23 de 06 de 2014). Obtenido de [http://www.mecapedia.uji.es/criterio\\_de\\_von\\_Mises.htm](http://www.mecapedia.uji.es/criterio_de_von_Mises.htm)
- ENVATO ELEMENTS. (2020). *ENVATO ELEMENTS*. Obtenido de <https://elements.envato.com/es-419/making-of-a-glass-ampoule-at-the-glass-blowing-pla-TCD26ES>
- Esbelt- bandas para transportadores. (2011). *www.esbelt.com*. Obtenido de <http://www.todobandas.com/portal/docs/CATALOGO%20RUNNER.pdf>
- Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito. (s.f.). *Laboratorio de condiciones de trabajo - ruido*. Obtenido de [https://escuelaing.s3.amazonaws.com/staging/documents/7863\\_ruido.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAWFY3NGTFBJGCIWME&Signature=n%2FambuvzM7Y44ciepC81bMGa9Qk%3D&Expires=1617118459](https://escuelaing.s3.amazonaws.com/staging/documents/7863_ruido.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAWFY3NGTFBJGCIWME&Signature=n%2FambuvzM7Y44ciepC81bMGa9Qk%3D&Expires=1617118459)
- ESSS. (s.f.). Obtenido de <https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>
- Ferrecortes . (s.f.). Obtenido de <https://www.ferrocortes.com.co/download/FT-02-003-AISI-SAE-8620.pdf>
- GLASSTECH. (s.f.). Obtenido de <https://glasstech.com.mx/informacion-tecnica/>
- GOODYEAR, handbook or conveyor belt. (s.f.). Obtenido de [https://goodyearrubberproducts.com/2018pdfs/Goodyear\\_Belt\\_Maintenance\\_Manual/pdf/Goodyear\\_Belt\\_Maintenance\\_Manual.pdf](https://goodyearrubberproducts.com/2018pdfs/Goodyear_Belt_Maintenance_Manual/pdf/Goodyear_Belt_Maintenance_Manual.pdf)
- ICONTEC. (s.f.). CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO . *NTC 2050*.
- INVIMA. (03 de Marzo de 2019). *INVIMA*. Obtenido de INVIMA: [https://www.invima.gov.co/web/guest/inicio?p\\_p\\_id=com\\_liferay\\_portal\\_search\\_web\\_portlet\\_SearchPortlet&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&\\_com\\_liferay\\_portal\\_search\\_web\\_portlet\\_SearchPortlet\\_mvcPath=%2Fview\\_content.jsp&\\_com\\_liferay\\_portal\\_se](https://www.invima.gov.co/web/guest/inicio?p_p_id=com_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_com_liferay_portal_search_web_portlet_SearchPortlet_mvcPath=%2Fview_content.jsp&_com_liferay_portal_se)
- LOPEZ, A. A. (SEPTIEMBRE de 2014). <http://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/107822?show=full>.
- Metso Minerals. (2008). Obtenido de Manual de trituración y cribado 3ª Edición: <https://pdfslide.net/documents/manual-de-trituracion-y-cribado-metsopdf.html>
- Minerelastomer. (s.f.). Obtenido de <https://www.minerelastomer.com/es/technical-data/caracteristicas-de-tecspak/comparacion-dureza-shore-hasta-shore-d/>
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de Elementos de maquina*. Pearson.

- Norelem. (s.f.). Obtenido de [https://www.norelem.mx/xs\\_db/DOKUMENT\\_DB/www/NORELEM/Kataloge/norelem\\_Katalog\\_Aluminiumprofile\\_ES\\_2017.pdf](https://www.norelem.mx/xs_db/DOKUMENT_DB/www/NORELEM/Kataloge/norelem_Katalog_Aluminiumprofile_ES_2017.pdf)
- NOR-RUBBER, Bandas transportadoras, Catalogo técnico. (s.f.). Obtenido de <http://www.norrubber.com/wp-content/plugins/pdfjs-viewer-shortcode/pdfjs/web/viewer.php?file=http://www.norrubber.com/wp-content/uploads/2014/11/CATALOGO-NOR-RUBBER-TECNICO.pdf&download=true&print=true&openfile=false>
- Pereiras, J. M. (07 de 08 de 2018). Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-y-para-sirve-la-tensi%C3%B3n-de-von-mises-jose-manuel-pereiras/?originalSubdomain=es>
- PHOENIX, Fundamentos de diseño de las cintas transportadoras. (s.f.). Obtenido de [https://www.academia.edu/9189992/Fundamentos\\_de\\_Dise%C3%B1o\\_de\\_las\\_Correas\\_Transportadoras\\_Phoenix](https://www.academia.edu/9189992/Fundamentos_de_Dise%C3%B1o_de_las_Correas_Transportadoras_Phoenix)
- Rivas, O. (2005). Handling and Processing of Food Powders and Particulars. En O. Rivas. Estados Unidos.
- Ruiz, H. H. (2002). Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/4477/6997.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Schott. (s.f.). Obtenido de [https://www.schott.com/pharmaceutical\\_packaging/spanish/products/ampoules/schott-ampoule-ac.html](https://www.schott.com/pharmaceutical_packaging/spanish/products/ampoules/schott-ampoule-ac.html)
- SCHOTT. (s.f.). Obtenido de [https://www.schott.com/pharmaceutical\\_packaging/spanish/download/index.html](https://www.schott.com/pharmaceutical_packaging/spanish/download/index.html)
- schott. (2021). *www.schott.com*. Obtenido de [www.schott.com](https://www.schott.com/tubing/spanish/products/properties/mechanical_strength.html): [https://www.schott.com/tubing/spanish/products/properties/mechanical\\_strength.html](https://www.schott.com/tubing/spanish/products/properties/mechanical_strength.html)
- SCHOTT GLASS TUBING. (s.f.). Obtenido de [https://www.schott.com/tubing/english/product\\_selector/#!/region--all/lang--spanish/product--8412](https://www.schott.com/tubing/english/product_selector/#!/region--all/lang--spanish/product--8412)
- Serway, J. (2008). *Física para ciencia e ingeniería Vol.1 Séptima Edición*. Cengage Learning.
- Sugraher. (s.f.). Obtenido de <https://www.sugraher.es/2020/08/24/qu%C3%A9-es-la-dureza-shore-filamentos-flexibles/#:~:text=Dureza%20Shore%3A%20es%20una%20escala,n%C3%BAmero%2C%20mayor%20ser%C3%A1%20la%20dureza.>

teva. (s.f.). Obtenido de <https://tevafarmacia.es/ofacademia/voy-ser-farmaceutico/como-son-los-envases-farmaceuticos>

## **14. ANEXOS**

Anexo A. Casa de la calidad

Anexo B. Ficha técnica cinta transportadora

Anexo C. Hoja de vida

Anexo D. Carta objetivo específico (Schott envases farmacéuticos S.A.S)

Anexo E. Carta aceptación proyecto (Schott envases farmacéuticos S.A.S)

Anexo F. Manual de funcionamiento

Anexo G. Ficha técnica motorreductor banda transportadora

Anexo H. Diagramas eléctricos

Anexo I. Planos banda transportadora

Anexo J. Ficha técnica motor eléctrico triturador