	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**DISEÑO DEL SISTEMA DE TRANSPORTE DE CARBÓN PARA LA MINA LA MAGA UBICADA EN EL
DEPARTAMENTO DE SANTANDER**

Alumnos:

Miguel Albeiro Salazar Yépez Autor

Ana Marcela Chávez López

Trabajo realizado para optar al título de ingeniero Electromecánico

Director(es) del trabajo de grado:

Juan Gonzalo Ardila Marín
Msc. Gestión Energética Industrial

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

4 de Octubre del 2018

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

En la industria de la minería es muy importante el transporte de la materia prima, para esto se utilizan las bandas transportadoras, encargadas de llevar el material hasta el lugar de almacenamiento. En muchas minas el transporte de este material se hace de forma manual, utilizando gran cantidad de personal, pero se presenta muchos inconvenientes, porque se aumentan las horas de trabajo, incapacidades laborales por fatiga y cansancio muscular, por eso en la mina La maga ubicada en el departamento de Santander, se tomó la decisión de diseñar un sistema para el transporte de carbón desde la boca de la mina hasta las tolvas de almacenamiento.

Existen diferentes tipos de bandas transportadoras: multicapa, antifuego, resistentes al aceite o grasa, resistentes al calor, anti cortes, etc. Para el diseño del sistema de transporte de carbón se utilizó una banda transportadora multicapa, por ser la más utilizada para el transporte carbón, esta cuenta con rodillos cilíndricos ubicados a cierto ángulo garantizando que el material no se caiga de la banda, además disminuyen la fricción entre la banda y la estructura de soporte.

Para la realización del proyecto, se siguió la siguiente metodología: primero se calcularon varios parámetros fundamentales del sistema como: distancia existente entre la boca de la mina hasta las tolvas de almacenamiento, cantidad de material a transportar por unidad de tiempo, velocidad mínima lineal de la banda y por último el ángulo de inclinación que debe tener la banda y los rodillos; quedando definida la banda a utilizar y la fuente motriz impulsora.

Posteriormente, se diseñó la estructura que soportara la banda y el peso del material transportado, con sus respectivos planos definiendo por completo el sistema de transporte. Con el diseño del sistema de transporte, se espera disminuir los costos de producción, la cantidad de trabajadores utilizados y los pagos por incapacidades presentadas.

Palabras Claves: Sistemas de transporte, rodamientos, lubricación, alineación, materia caliza, fricción, tolerancias y ajustes de eje.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos enormemente a los profesores de ingeniería electromecánica por su paciencia, empeño y dedicación incondicional. A mi compañero de trabajo de grado, por su motivación y empeño en momentos difíciles, en los cuales se pensó en abandonar este proyecto por su complejidad.

Se le agradece también a nuestras familias, por su paciencia y comprensión por nuestra ausencia durante estos 5 años.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

A_{Total}= área total del carbón transportado (mm²)

B= ancho de la banda (mm)

σ_b= Esfuerzo de Aplastamiento

σ_y= Esfuerzo de Fluencia del material

S_{sy}= Resistencia de Fluencia al cortante

N= Factor de seguridad

σ= esfuerzo Normal

τ= Esfuerzo cortante

L_o= distancia de separación entre rodillos de carga (m)

L_u= distancia de separación entre rodillos de retorno (m)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	9
1. OBJETIVOS.....	10
1.1 Objetivo General	
1.1.2 Objetivos Específicos	
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1 TIPOS DE TRANSPORTADORES	
2.2.1 Transportadores de Banda	
2.2.2 Transportadores Aéreos	
2.2.3 Transportadores de Paletas.....	
2.2.4 Transportadores de índice de Precisión	
2.3 TIPO DE MATERIALES.....	
2.4 PARTES FUNDAMENTALES DE SISTEMA DE TRANSPORTE POR BANDA.....	
2.4.1 La Banda Transportadora	
2.4.2 Ancho de la Banda	
2.5 FORMULAS PARA EL DISEÑO DE BANDAS Y DEMAS CARACATERISTICAS	
2.6 FORMULAS PARA CALCULAR LOS ESFUERZOS PRODUCIDOS EN LOS COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA.	
2.6.1 Esfuerzo Normal (σ):.....	
2.6.2 Esfuerzos de aplastamiento (σ_b):.....	
2.6.3 Esfuerzos cortantes (T):.....	
2.6.4 Esfuerzos Normales por Flexión (σ):.....	
2.6.5 Esfuerzos Cortantes de Torsión (T):	
2.7 TEORIAS DE DISEÑO APLICADA A ESTRUCTURAS.....	
2.7.1 Teoría de Cortante Máximo	
2.7.2 Teoría de Energía de Distorsión o Vonn-Mises	
3. METODOLOGÍA	25
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
4.1 Diseño de la Banda Transportadora	
Los parámetros para el diseño de la banda fueron los siguientes, ver Figura 18:	
4.1.1 Velocidad de la Banda.	
4.1.2 Cantidad de Material a Transportar	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2 CARACTERISTICAS DE LA BANDA TRANSPORTADORA.....	
4.2.1 Área de la Sección Transversal	
4.2.2. Velocidad de la Banda Transportadora	
4.2.3 Calculo del Espacio Entre Rodillos	
4.2.4 Velocidad Angular de los Rodillos (RPM)	
4.2.5 Requisitos de Potencia	
4.2.6 Selección del Motor Eléctrico a Utilizar.....	
4.2.7 Diseño del Sistema de Transmisión de Potencia.....	
4.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.....	
4.4 PRESUPUESTO	
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	57
6. REFERENCIAS.....	58
7. ANEXOS	60

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Banda transportadora con rodillos y accionada por motor.	
Figura 2. Transportador aéreo de cajas de cartón.	
Figura 3. Transportador de Paletas.	
Figura 4. Diferentes materiales.	
Figura 5. Partes fundamentales de una banda transportadora.	
Figura 6. Estaciones tensoras.	
Figura 7. Rodillos de apoyo.	
Figura 8. Angulo de reposo de la banda.	
Figura 9. Área transversal de la banda.	¡Error! Marcador no de
Figura 10. Esfuerzos Normales.	¡Error! Marcador no de
Figura 11. Esfuerzo de Aplastamiento.	¡Error! Marcador no de
Figura 12. Esfuerzos Cortantes.	¡Error! Marcador no de
Figura 13. Esfuerzo de Flexión.	¡Error! Marcador no de
Figura 14. Esfuerzo de Torsión.	¡Error! Marcador no de
Figura 15. Esfuerzo Cortante debido a una carga Transversal.	¡Error! Marcador no de
Figura 16. Teoría de Cortante Máximo.	¡Error! Marcador no de
Figura 17. Teoría de Energía de Distorsión o Vonn- Mises.	¡Error! Marcador no de
Figura 18. Trolva encargada de almacenar el carbón en la mina.	
Figura 19. Distancia entre rodillos.	
Figura 20. Programa MDSolids 3.5.	
Figura 21. Estructura metálica de soporte en acero 1045.	
Figura 22. Fuerzas Puntuales Aplicadas.	
Figura 23. Fuerzas Internas en las Barras.	
Figura 24. Viga con carga distribuida.	
Figura 25. Viga con carga distribuida.	
Figura 26. Diagramas de fuerza cortante y momento flector.	
Figura 27. Momento flector en la viga.	
Figura 28. Vista 3D de la banda transportadora.	
Figura 29. Vista detallada del sistema de transporte.	
Figura 30. Dimensiones del eje de soporte de los rodillos.	
Figura 31. Plano detallado del Eje del rodillo de retorno.	
Figura 32. Plano detallado de la placa de soporte del sistema de rodillo.	
Figura 33. Plano detallado de las láminas verticales externas de soporte de los rodillos.	
Figura 34. Plano detallado de las láminas verticales internas de soporte de los rodillos.	
Figura 35. Plano detallado de las láminas verticales de soporte del rodillo principal.	
Figura 36. Plano detallado del eje de los rodillos de carga de la banda.	
Figura 37. Plano detallado del orificio ocupado por el rodamiento en el sistema de banda.	

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de las bandas según el tipo de superficie.
Tabla 2. Bandas con Características Especiales.
Tabla 3. Longitud estándar de rodillos.
Tabla 4. Velocidades recomendadas para bandas según el tipo de material
Tabla 5. Factores de corrección según el ángulo de inclinación de la banda
Tabla 6. Diámetros de rodillos estándar
Tabla 7. Factor C_B de ancho de banda
Tabla 8. Factor de longitud C_L
Tabla 9. Factor de servicio K_f
Tabla 10. Potencias perdidas.....
Tabla 11. Potencia de Motores Estándar
Tabla 12. Motores Eléctricos Siemens.....
Tabla 13. Factores de servicio para transmisiones por cadenas.
Tabla 14. Cadena de rodillo numero 60
Tabla 15. Propiedades de la cadena.....
Tabla 16. Características de Motoreductores
Tabla 17. Dimensiones de tubos cuadrados en acero 1010.....
Tabla 18. Esfuerzos generados en cada una de las barras.
Tabla 19. Presupuesto de banda transportadora de tres rodillos.....
Tabla 20. Presupuesto de estructura metálica acero.....

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

INTRODUCCIÓN

Las bandas transportadoras han sido la solución a los problemas de transporte continuo de material, por su versatilidad, capacidad de carga y rapidez. Estas son utilizadas en diferentes industrias y procesos; Por ejemplo, en la minería es muy común encontrarlas, porque reducen el tiempo de transporte y las horas de trabajo. En la mina La Maga del departamento del Santander, era primordial diseñar un sistema de transporte de materia prima que cumpliera con sus necesidades: tipo de material a transportar, cantidad y distancia que este debe ser transportado.

Este trabajo, está dividido en cinco capítulos fundamentales: primero se hace una pequeña introducción sobre los beneficios del proyecto y su justificación desde diferentes puntos de vista. En el capítulo siguiente, se realizó el marco teórico, donde se habla de las diferentes tipos de bandas utilizadas para el transporte de material, sus ventajas, desventajas y todo lo relacionado con su funcionamiento.

En el tercer capítulo, se describe claramente el objetivo principal que es el diseño de un sistema de transporte de carbón para la mina La Maga y sobre los objetivos específicos que nos llevarán a cumplir el objetivo principal, los cuales fueron aprobados por el comité de trabajos de grado. En el capítulo siguiente, se habla de la metodología utilizada y describen las actividades realizadas paso a paso para dar cumplimiento a lo propuesto, como fórmulas utilizadas, porque se seleccionó cierto material, características de la banda a utilizar, fuente motriz, entre otros. Por último, se muestran los resultados obtenidos, con la metodología utilizada y se proponen futuras mejoras del sistema.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

Diseñar el sistema de transporte de carbón para la mina La maga ubicada en el departamento de Santander.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar los parámetros de diseño (longitud de la banda, velocidad lineal de transporte, cantidad de material a transportar por unidad de tiempo, peso del material, caracterización del material, etc.) para el sistema de transporte de carbón en la mina La maga Santander.
- Seleccionar el tipo de banda y fuente motriz más indicada a utilizar en la mina La maga ubicada en Santander.
- Realizar los cálculos de diseño Mecánico para el sistema de transporte y la estructura encargada de soportar el peso de la banda y el material a transportar.
- Elaborar los planos mecánicos, presupuesto de compra e instalación del sistema de transporte.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

Uno de los sistemas de transporte continuo más utilizados son las bandas, las cuales garantizan un suministro continuo de materia prima y disminuyen el tiempo de transporte, debido a esto son muy utilizadas en la industria agraria, minera, alimenticia y en cualquiera que se fabriquen productos en grandes cantidades, algunas de las razones por las cuales son utilizadas son las siguientes (Madrid, 2017):

- La gran distancia a la que puede efectuarse el transporte de material, ya sea como una sola cinta o con varias, una a continuación de otras.
- Su facilidad de adaptación al perfil del terreno.
- Su gran capacidad de transporte de carga.
- La posibilidad de transportar materiales muy variados en clase y granulometría.

El sistema de transporte correcto, está justificado por la banda que transporte mayor cantidad de material al menor costo de operación, para esto se tiene en cuenta variables fundamentales como: ancho de banda, velocidad, capacidad, altura, distancia entre centros, material a transportar, máquina impulsora (Ramirez, CONTITECH, 2017).

Las bandas de transporte continuo son muy utilizadas en la industria, tanto para el transporte de cargas aisladas o bultos, como para materiales a granel. El procedimiento consiste en una cinta sin fin más o menos flexible, accionada por un motor, sobre la que se transportan las cargas de forma horizontal y con cierta inclinación.

Otras razones por las cuales las cintas o bandas transportadoras gozan de un lugar privilegiado al momento de seleccionar un sistema de transporte, son las siguientes:

- Marcha suave y silenciosa.
- Posibilidad de realizar la descarga en cualquier punto de su trazado.
- Posibilidad de desplazamiento de las mismas ya sea en trayectorias fijas y horizontales o en movimiento de vaivén.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.1 TIPOS DE TRANSPORTADORES

Algunos de los sistemas de transporte más comunes son (Valle, 2017):

2.2.1 Transportadores de Banda

Este sistema continuo, es ideal para el transporte de piezas sencillas o materiales que no tienen necesidad de orientación, ver figura 1. Los transportadores de banda consisten en dos o más poleas y un bucle sin fin, que gira alrededor de la banda transportadora. Pero estos poseen una subclasificación:

- Fajas transportadora
- Elevadores o transportadores de cangilones
- Tornillo sinfín
- Transportadores neumáticos
- Transportadores por gravedad



Figura 1. Banda transportadora con rodillos y accionada por motor.
Fuente: (SICSA, 2018).

2.2.2 Transportadores Aéreos

Este sistema es ideal para cargas ligeras, se trata de un sistema aéreo de transporte para cajas u otro tipo de cargas ligeras que permite trasladar la mercancía entre cualquier punto de la instalación, con máxima rapidez y sin ocupar mayor espacio, ver figura 2.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 2. Transportador aéreo de cajas de cartón.

Fuente: (Mercury, 2015).

2.2.3 Transportadores de Paletas

Estos pueden ser de cadenas o rodillos y están diseñados para unidades de cargas hasta de 1500kg. Estos sistemas tienen la función de suministrar un flujo continuo de material, además de mantener la pieza en una posición indicada hasta la entrega”, ver figura 3.



Figura 3. Transportador de Paletas.

Fuente: (OMT, 2010).

2.2.4 Transportadores de índice de Precisión

(Valle, 2017) afirma. “Los accesorios mantienen la orientación de las piezas durante el traslado en un transportador de índice de precisión. Este sistema permite el movimiento a alta velocidad de la pieza

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

durante todo el proceso de fabricación, al tiempo que garantiza la orientación de la pieza para otros sistemas automatizados”.

2.3 TIPO DE MATERIALES

La pieza o material juega un papel fundamental al momento de elegir el tipo de transportador que se necesita, si no es importante su orientación, solo tiene que ser trasladada del punto A al punto B, un simple transportador de cinta es suficiente para lograr la tarea de manera rápida, ver figura 4.



Figura 4. Diferentes materiales.
Fuente: (nme, 2018).

La superficie de la pieza puede determinar los materiales de composición de la cinta o banda. Si la superficie de la pieza es un componente crítico, puede ser necesario un cambio en la dureza del material de la correa para mantener la integridad de la pieza intacta.

Por ejemplo, la industria alimentaria requiere sistemas de transporte que estén hechos de materiales que cumplan con el código de salud, además deben contar con especificaciones sobre su limpieza, por eso se realizan muchos estudios sobre materiales que mantienen la integridad estructural e higiénica de las piezas transportadas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.4 PARTES FUNDAMENTALES DE SISTEMA DE TRANSPORTE POR BANDA

Un transportador de banda, consta de una banda sinfín que es el elemento encargado de llevar el material y de una estación accionadora (motor) que pone en movimiento el tambor impulsor, tensando la banda y haciendo la mover, consta también de los rodillos de apoyo en los ramales de trabajo y libres de la banda, en otros casos no posee rodillos de apoyo pero si un revestimiento uniforme de madera o metálico, ver figura 5. También posee de dispositivos de cargue y descarga, como de tambores desviadores y dispositivos para limpiar la banda.

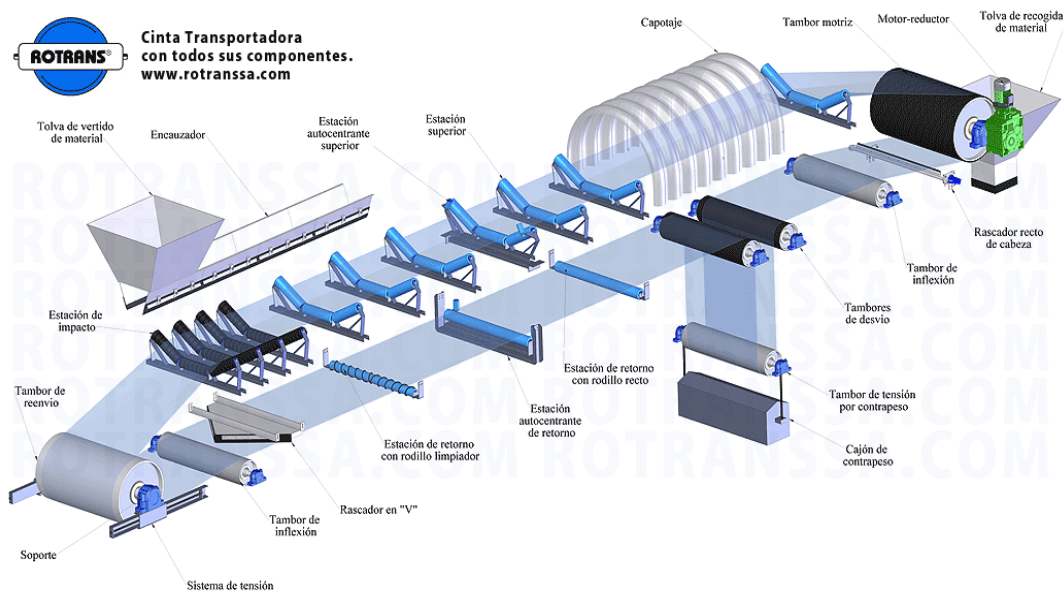


Figura 5. Partes fundamentales de una banda transportadora.
Fuente: (ROTRANS, 2014).

2.4.1 La Banda Transportadora

Es el elemento más importante del sistema de transporte y su estructura está formada por una serie de tejidos superpuestos que forman el armazón, protegidos por sus caras libres con coberturas protectoras. Los tejidos utilizados para la construcción de bandas transportadoras, predominan los armazones que están constituidas por urdimbre y trama, revestidos por goma a fin de conseguir una alta adherencia entre las distintas capas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La banda transportadora debe reunir los siguientes requisitos:

- Alta resistencia mecánica longitudinal
- Flexibilidad en direcciones longitudinal (en tambores) y transversal (en apoyos de rodillos) elevada resistencia al desgaste y a la desestatificación por reiterados dobleces
- Alta resistencia a la humedad.

Existe una clasificación de las bandas según su material de fabricación:

- Telas naturales
- Sintéticas
- Acero

Existe otra clasificación según su superficie, ver tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las bandas según el tipo de superficie.

Lisa	Para instalaciones pequeñas y de bajo ángulo de inclinación
De superficie rugosa	Para evitar el desplazamiento de las sustancias transportadas
Con pestañas onduladas y salientes y con nervios en V	Para instalaciones de elevado ángulo de inclinación, a fin de impedir el corrimiento del material

Fuente: (Bandas transportadoras, 2015).

A estas bandas también se les puede mejorar otras propiedades como:

Tabla 2. Bandas con Características Especiales.

Normales	Muy resistentes a la abrasión.
Resistentes al calor	Para transportes de materiales en general hasta 140°C
Antillamas	Para instalaciones en galerías

Fuente: (Bandas transportadoras, 2015).

En los transportadores de banda, se distinguen tambores accionadores y tensores, los accionadores están ubicados en los extremos y son accionados por motores, tienen la función de poner en movimiento la banda; Pero los tensores solo sirven para tensar la banda, facilitando el retorno de la banda después de realizar su recorrido de trabajo, ver figura 6.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

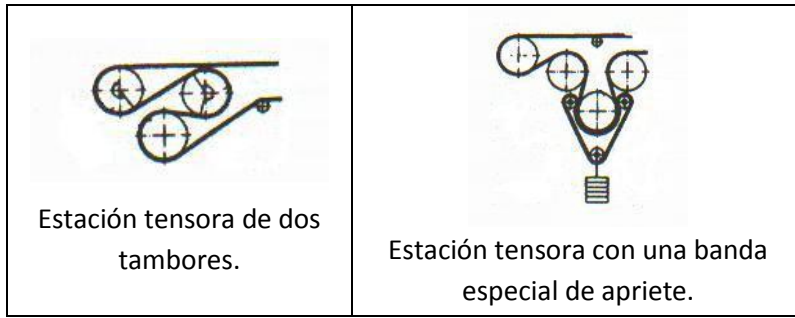


Figura 6. Estaciones tensoras.
Fuente: (Bandas transportadoras, 2015).

También poseen rodillos de apoyo, para que la banda no se curve por el peso del material transportado, comúnmente estos están ubicados de forma horizontal, ver figura 7.



Figura 7. Rodillos de apoyo.
Fuente: (Dismet, 2019).

2.4.2 Ancho de la Banda

El ancho de la cinta es determinado por la cantidad de material que se desea transportar y por el tipo de cinta. En la Figura 8, se puede apreciar los diferentes ángulos de reposo que forma el material transportado con una línea horizontal a la banda.

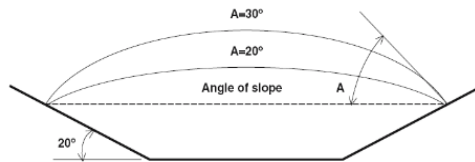


Figura 8. Angulo de reposo de la banda.
Fuente: (SICSA, 2018).

Los sólidos cuando son dispuestos en pilas presentan un ángulo con la horizontal que es característico del material y que se denomina ángulo de reposo. Cuando transportamos material a granel el ángulo de transporte máximo es cercano a 0.5 veces el de reposo. Como los ángulos de

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

reposo de los materiales que fluyen libremente son como máximo alrededor de los 40° , un ángulo de 20° para la cinta resulta adecuado.

Para el cálculo de las demás variables del sistema de transporte, se dispone de los conceptos y formulas encontradas en libros, como el de elementos de máquinas de Robert Mott 4 edición y resistencia de materiales de Beer Johnston 6 edición, tesis de bandas transportadoras encontradas por internet, entre otros y referenciadas en diferentes partes del trabajo.

Algunas de estas fórmulas utilizadas se muestran a continuación:

2.5 FORMULAS PARA EL DISEÑO DE BANDAS Y DEMAS CARACTERISTICAS

- **Área de la Sección Transversal**

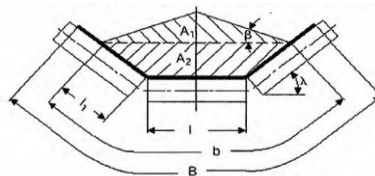


Figura 9. Área transversal de la banda.

Fuente: (Pacheco, 2015).

$$A_{total} = A_1 + A_2 \quad \text{Ecuacion 1}$$

Entonces A_1 :

$$A_1 = 0,25 * \tan \beta * [L + (b - L) * (\cos \gamma)]^2 \quad \text{Ecuacion 2}$$

Y A_2 será:

$$A_2 = l_1 * \sin \gamma * [L + l_1 * \cos \gamma] \quad \text{Ecuacion 3}$$

- **Volumen de flujo por carga Q v será:**

$$Q_v = A * v * 3600 * \varphi \quad \text{Ecuacion 4}$$

- **Masa de carga transportada por unidad de tiempo**

$$Q_m = A * v * 3600 * \rho * \varphi^2 \quad \text{Ecuacion 5}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **Velocidad angular de los rodillos**

$$N_R = \frac{60 * V}{\pi * D_R} \quad \text{Ecuacion 6}$$

- **Potencia que necesita la banda para moverse sin carga de forma horizontal**

$$P_1 = \frac{C_B * V * Q_m}{C_L * K_f} \quad \text{Ecuacion 7}$$

- **Potencia Necesaria para Elevar la Carga**

$$P_2 = \frac{H * Q_m}{367} \quad \text{Ecuacion 8}$$

2.6 FORMULAS PARA CALCULAR LOS ESFUERZOS PRODUCIDOS EN LOS COMPONENTES DE LA ESTRUCTURA.

La mayoría de elementos en la vida diaria están sometido a una combinación de esfuerzos, a continuación describiremos las fórmulas utilizadas para el diseño de la estructura metálica que sirvió de soporte a la banda transportadora:

2.6.1 Esfuerzo Normal (σ): Es el esfuerzo al que están sometidos los elementos debido a cargas axiales de tensión o compresión.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

F = fuerza de tensión o compresión (N)

A= área transversal del elemento o perpendicular a la fuerza

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

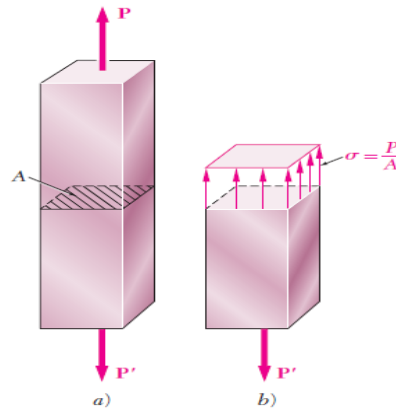


Figura 10. Esfuerzos Normales
Fuentes: (Beer F. P., 2010).

2.6.2 Esfuerzos de aplastamiento (σ_b): son los esfuerzos generados por cargas axiales de compresión en los elementos.

$$\sigma_b = \frac{F}{A_b} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

F= fuerza de compresión (N)
A_b= área proyectada del elemento

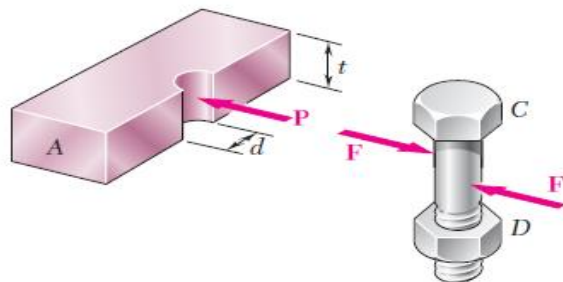


Figura 11. Esfuerzo de Aplastamiento.
Fuente: (Beer F. P., 2010).

2.6.3 Esfuerzos cortantes (T): son los esfuerzos generados en elementos sometidos a zilladura o fuerzas en direcciones contrarias, comúnmente ocurre en pernos, remaches, pasadores y barras.

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{2A} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

F= fuerza paralela al área de corte (N)

A= área paralela a la fuerza, si el elemento la sujeción es doble el área será el doble también

Y soportara mayor carga.

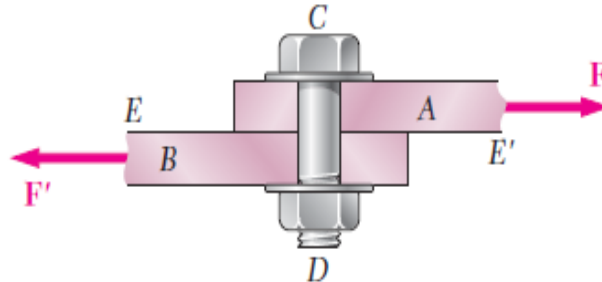


Figura 12. Esfuerzos Cortantes.

Fuente: (Beer F. P., 2010).

2.6.4 Esfuerzos Normales por Flexión (σ): son los esfuerzos generados por momentos flectores en los elementos, los cuales tienden a doblar el elemento, ocurren en vigas, barras, etc.

$$\sigma = \frac{M * C}{I} \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

M= momento flexionante o generado por una fuerza a cierta distancia del punto de análisis.

C= distancia del eje neutro al punto de análisis.

I= momento de inercia del elemento los cuales aparecen en una tabla dependiendo del tipo de figura.

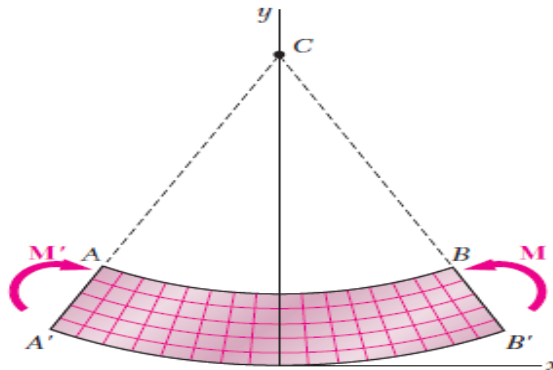


Figura 13 Esfuerzo de Flexión.

Fuente: (Beer F. P., 2010).

2.6.5 Esfuerzos Cortantes de Torsión (T): son los esfuerzos cortantes generados por un torque que es aplicado al elemento.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\tau = \frac{T * C}{J} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

T= torque al cual se somete el elemento.

C= distancia desde el centro al punto de análisis.

J= momento polar de inercia

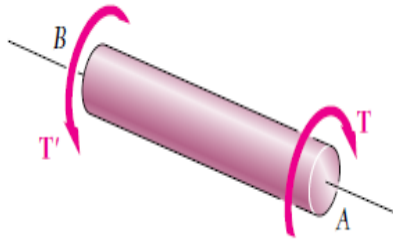


Figura 14. Esfuerzo de Torsión.

Fuente: (Beer F. P., 2010).

Existe otro tipo de esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{V * Q}{I * t} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

V= fuerza cortante paralela al área

Q= Área que está por encima del punto analizar multiplicada por el Y barra de esta área

I= momento de inercia de la figura completa

t= espesor del elemento

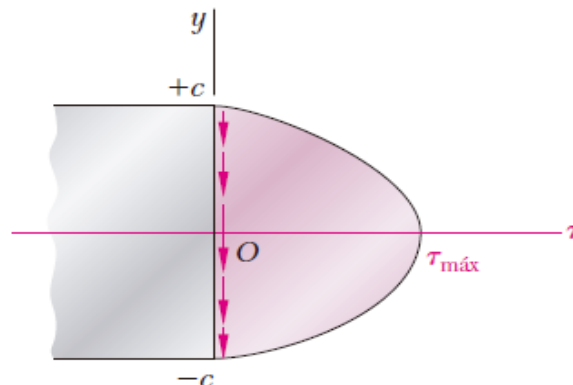


Figura 15. Esfuerzo Cortante debido a una carga Transversal.

Fuente: (Beer F. P., 2010).

2.7 TEORIAS DE DISEÑO APLICADA A ESTRUCTURAS

2.7.1 Teoría de Cortante Máximo

La teoría de cortante máximo, dice que un material empezara su fluencia cuando su esfuerzo cortante sea mayor que el esfuerzo cortante para el cual fue diseñado.

$$\tau_{\max} < \tau_d = \frac{0,5 S_y}{N} = \frac{s_y}{\sigma_1 - \sigma_3} \quad \text{Ecuación 15}$$

Dónde:

Tmax= cortante o radio del circulo de Mohr

Sy= resistencia de fluencia del material

N= factor de seguridad

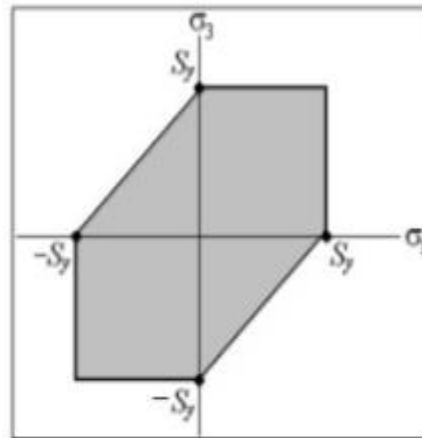
$$\sigma_1 - \sigma_3 = S_y \quad \text{Cuando } \sigma_1 > 0 > \sigma_3$$

$$\sigma_1 = S_y \quad \text{Cuando } \sigma_1 > \sigma_3 > 0$$

$$\sigma_1 = -S_y \quad \text{Cuando } 0 > \sigma_1 > \sigma_3$$

La falla ocurrirá cuando el punto determinado por los esfuerzos normales σ_1 y σ_3 se encuentren fuera del área sombreada

Representación gráfica de la teoría de Tresca



7

Figura 16. Teoría de Cortante Máximo.

Fuente: (MOTT, 2006).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.7.2 Teoría de Energía de Distorsión o Vonn-Mises

La teoría de vonn-mises que la falla ocurrirá cuando el mayor de los esfuerzos principales sea mayor que el esfuerzo (σ') o esfuerzo de vonn-mises.

$$\sigma' < \sigma d = \frac{\sigma_y}{N} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

σ_y = esfuerzo de fluencia del material

N= factor de seguridad

σ' = esfuerzo de von-mises

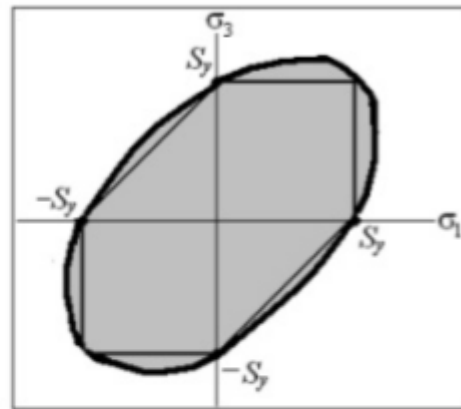
Pero para el esfuerzo de vonn-mises hay tres fórmulas dependiendo del estado de esfuerzos al cual estará sometido el material, ver figura 16:

En el caso bidimensional: $\sigma_2 = 0$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_3}$$

$$\sigma' = S_y$$

La falla ocurrirá cuando el punto determinado por los esfuerzos normales σ_1 y σ_3 se encuentren fuera del área sombreada



$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2)}{2}} \quad \sigma' = \sqrt{3}S_{sy}$$

$$S_y = \sqrt{3}S_{sy}$$

Figura 17. Teoría de Energía de Distorsión o Vonn- Mises

Fuente: (MOTT, 2006).

Con estas fórmulas, se calcularon las cargas producidas sobre la estructura y los esfuerzos generados, permitiendo seleccionar el material de fabricación y quedando definido las dimensiones de cada uno de sus componentes, permitiendo realizar los planos del sistema de transporte.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

Para la realización del diseño de la banda transportadora, se realizaron las siguientes actividades, con los cuales se alcanzó el objetivo principal, que es el diseño del sistema de transporte de carbón para la mina La maga ubicada en el departamento del Santander: Primero se realizó una consulta bibliográfica para conocer los diferentes tipos de sistemas de transporte de carbón utilizados en la actualidad, los cuales son mencionados y detallados en el capítulo 2, sirviendo como base para la selección del sistema a diseñar.

Luego se procedió a investigar y calcular las características del sistema seleccionado, en este caso una banda transportadora de tres rodillos, por ser la indicada a la hora de transportar grandes cantidades de material. Para esto se necesitaba conocer variables como: cantidad de material a transportar, distancia desde la boca de la mina hasta los depósitos, velocidad a la que debe ser transportado el material para evitar su caída, peso de material transportado, ángulo de inclinación del terreno, altura que necesita tener la estructura que soportará a la banda, peso del material y las características de las bandas disponibles en el mercado, entre otras.

Entonces se procedió a tomar los datos de entrada para los cálculos como: distancia entre la boca de la mina y la tolva de almacenamiento, inclinación entre el punto inicial y final. La segunda variable calculada fue la velocidad con la cual se moverá la banda, esta se calculó bajo tres condiciones: Primera, debe ser lo suficientemente alta para cumplir las necesidades diarias del proceso; Segunda, debe ser la exacta para evitar que el material transportado se caiga; Tercera debe permanecer constante durante la distancia existente entre la boca de la mina y la tolva de almacenamiento (Ramirez, 2016).

Luego se procedió a calcular la cantidad de material a transportar, el cual depende de la jornada de trabajo y la cantidad extraída durante un día. Las variables obtenidas anteriormente, fueron el punto de partida para la selección del tipo de banda y las características del sistema completo de transporte de carbón que satisficiera nuestras necesidades, tales como: fuente motriz, material de fabricación de la banda, sistema de transmisión de potencia, diámetro del rodillo impulsor, diámetro de los rodillos de carga como también la distancia entre estos, etc.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Por último, se diseñó la estructura que soportara toda la banda como el peso del carbón transportado, para esto se utilizó un software de resistencias de materiales(MDSOLID 3.5), con el cual se calcularon las fuerzas, luego se selecciona u área transversal y calculo el esfuerzo generado en cada uno de estos, finalizando con la selección del materia de fabricacion.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Diseño de la Banda Transportadora

Los parámetros para el diseño de la banda fueron los siguientes, ver Figura 18:

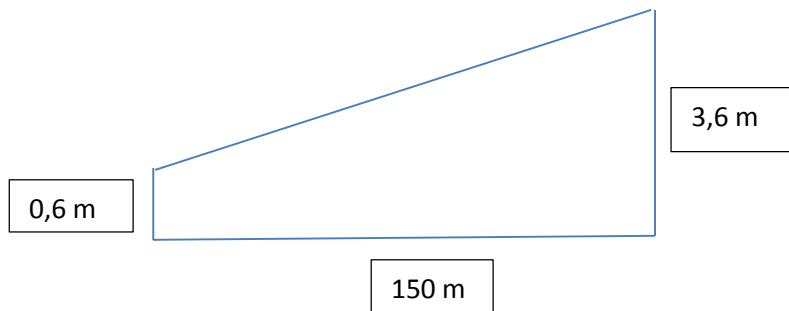


Figura 18. Tolva encargada de almacenar el carbón en la mina.

Fuente: Propia.

- Entre la boca de la mina y la tolva de almacenamiento existe 150 m y la tolva tiene una altura de 3,6 m.

Bajo estos parámetros se puede calcular la longitud que tendrá la banda:



La pendiente de la banda y su longitud serán:

$$\tan \theta = \frac{3 \text{ m}}{150 \text{ m}}$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,02 = 1^{\circ}14'57''$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$L_{banda} = 3^2 + 150^2 = \sqrt{22509} = 150,02 \text{ m}$$

4.1.1 Velocidad de la Banda.

Los cálculos para estimar la velocidad de la banda según las condiciones de trabajo son las siguientes:

- Diariamente de la mina se extraen 45 toneladas de carbón.
- Se trabaja 10 h/día
- tolva de almacenamiento tiene una capacidad de 80 toneladas.
- **Entonces, se harán los cálculos para transportar 50 Ton por día:**

$$M_{transportar} = \frac{50 \text{ ton}}{10 \text{ h}} = 5 \frac{\text{ton}}{\text{h}}$$

4.1.2 Cantidad de Material a Transportar

Las características del carbón extraído de la mina son las siguientes:

- densidad del carbón 1300 kg/m³ o 12353 N/m³
- peso de la banda 1,2 Kg/m
- tamaño del carbón 10 cm o 4 in
- textura (irregular)
- Grado de fricción (medio)

Las características del ambiente de trabajo:

- Polvo
- Humedad o expuesta a lluvias
- Temperatura 28 °C

Para poder utilizar las Tablas y saber el ancho de la banda, debo hacer una conversión:

$$W = g * \rho$$

Donde:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

W: peso específico del carbón (Lbf/ft³)

ρ: densidad del carbón (Kg/m³)

g: gravedad 9,81 m/s²

$$1300 \frac{kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2} = 12353 \frac{N}{m^3} * \frac{1 lbf}{4,4482 N} * \frac{1 m^3}{35,3147 ft^3} = 78,6380 \frac{lbf}{ft^3}$$

- Esta cantidad en libra masa será:

$$5 \frac{Ton}{h} * \frac{1000 kg}{1 Ton} * \frac{2,2046 lbm}{1 Kg} = 11023 \frac{lbm}{h}$$

Esto quiere decir que la banda debe transportar las 50 toneladas en 10 horas o 110230 lbm en 10 horas.

4.2 CARACTERISTICAS DE LA BANDA TRANSPORTADORA

4.2.1 Área de la Sección Transversal

Para el cálculo del área transversal, se utilizan las ecuaciones 1,2 y 3.

$$A_{total} = A_1 + A_2$$

Entonces A₁:

$$A_1 = 0,25 * \tan \beta * [L + (b - L) * (\cos \gamma)]^2$$

Y A₂ será:

$$A_2 = l_1 * \sin \gamma * [L + l_1 * \cos \gamma]$$

Donde:

L= Longitud del rodillo central (m), para este caso L= 160 mm

l₁= ancho de la carga sobre los otros rodillos (m)

b= ancho de la banda utilizable (m)

B= ancho de la banda estándar (m)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para calcular el área, se debe utilizar la Tabla 3, donde se tomara una banda con un ancho B= 400 mm de tres rodillos.

Tabla 3. Longitud estándar de rodillos.

Ancho de Banda	Tipo de canal				
	Planas	2 rodillos	3 rodillos	Canal profundo	colgante
300	380	200	-	-	-
400	500	250	160	-	-
500	600	315	200	-	-
600	700	340	250	-	-
650	750	380	250	-	-
800	950	465	315	20	165
1000	1150	600	380	25	205
1200	1400	700	465	31	250
1400	1600	800	530	38	290
1600	1800	900	600	46	340

Fuente: (DUNLOP, 2018).

- Pero b es igual a:

$$b = 0,9 * (0,4 \text{ m} - 0,05) = 0,31 \text{ m}$$

Ancho de la carga sobre los rodillos:

$$l_1 = 0,5 * (b - L) = 0,5 * (0,31 - 0,16) = 0,075 \text{ m}$$

Pero $\gamma = 45^\circ$ Y $\beta = 10^\circ$

- Entonces las áreas serán:

$$A_1 = 0,25 * \tan 10^\circ * [0,16 + (0,31 - 0,16) * (\cos 45^\circ)]^2 = 0,00312 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0,075 * \sin 45^\circ * [0,16 + 0,075 * \cos 45^\circ] = 0,01129 \text{ m}^2$$

$$A_{total} = 0,00312 \text{ m}^2 + 0,01129 \text{ m}^2 = 0,01441 \text{ m}^2$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2.2. Velocidad de la Banda Transportadora

Asumo una velocidad de 1,3 m/s de la banda, tomada según la recomendación de la tabla 4.

Tabla 4. Velocidades recomendadas para bandas según el tipo de material

Servicio	v (m/s)
Unidades de carga, líneas de ensamble	≤ 1.68
Transportadores móviles	0.5 – 1.68
Cargas muy polvorientas como harina o cemento	≤ 1.31
Cenizas y residuos	≤ 1.68
Granos, caliza triturada, Gravilla y arena mezcladas	1.05 – 2.00
Minerales, carbón bituminoso, almacenamiento en barcos de sinter , estaciones de poder	→ 1.31 – 3.35
Transportadores de largas distancias, carbón en sobrecarga	2.62 – 6.60
Bandas de descargue	≥ 8.40
Bandas perfiladas	0.84 – 2.62

Fuente: (DUNLOP, 2018).

Para calcular el flujo volumétrico transportado por la banda, se utiliza la ecuación 4:

- **Volumen de flujo por carga Q_v será:**

$$Q_v = A * v * 3600 * \varphi$$

Donde:

A_{total}= área total transversal (m²)

V= velocidad de la banda (m/s)

φ= Angulo efectivo de relleno

Pero el ángulo efectivo de relleno es igual:

$$\varphi = \varphi_1 * \varphi_2$$

Donde:

φ₁= ángulo de relleno dependiendo de las características de la carga, donde para condiciones normales es 1, pero para condiciones adversas esta entre 0,8 y 0,91.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

φ_2 =factor de corrección de ángulo, ver Tabla 5.

Tabla 5. Factores de corrección según el ángulo de inclinación de la banda

ANGULO DE INCLINACIÓN	15°	20°	25°	30°	35°	40°
MATERIAL ESFÉRICO GRUESO	0.89	0.81	0.70	0.56	-	-
MATERIAL PEGAJOSO	1.00	0.93	0.85	0.68	0.58	0.47

Fuente: (DUNLOP, 2018).

El ángulo de inclinación de la banda transportadora es de $1,5^\circ$ y para 15° el factor es 0,89, realizando una regla de tres para $1,5^\circ$ el factor será = 0,089 por lo tanto φ será:

$$\varphi = 1 * 0,089 = 0,089$$

Para calcular el volumen de flujo por carga, se utiliza la ecuación 5:

$$Q_v = (0,01441 \text{ m}^2) * \left(1,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) * 3600 * 0,089 = 6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Entonces la capacidad máxima de carga del transportador, se calcula con la ecuación 6 y será:

$$Q_m = A * v * 3600 * \rho * \varphi^2$$

$$Q_m = (0,01441 \text{ m}^2) * \left(1,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) * 3600 * \left(1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * (0,089)^2 = 694,4375 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

4.2.3 Calculo del Espacio Entre Rodillos

Esta distancia dependerá de la tensión en la banda y la deflexión entre los rodillos.

- La deflexión de la banda tiene que estar entre 0,5 y 1,5 % la distancia entre rodillos de los rodillos de carga y de 2 al 3 % en los rodillos de retorno, ver figura 19.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

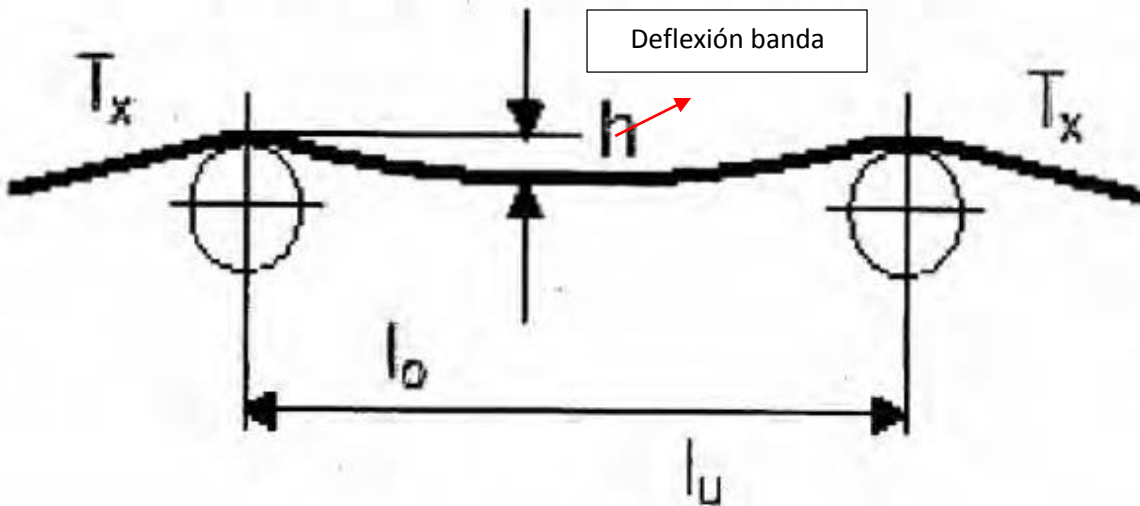


Figura 19. Distancia entre rodillos
Fuente: (Pacheco, 2015).

Las recomendaciones para la distancia entre centros de los rodillos son las siguientes (Pacheco, 2015):

- **Lado carga:**

$L_0 = 0.5$ a 1.0 m. Para pequeñas instalaciones o de alto impacto.

$L_0 = 1.2$ m. Para instalaciones normales.

$L_0 = 1.4$ a 4 m. Para instalaciones de alta tensión de banda

- **Lado retorno:**

$L_u = (2 - 3) * l_0$ Máximo espaciamiento aproximado **6** m.

Para nuestro diseño, es una instalación normal por lo tanto $L_0 = 1,2$ m y L_u será:

$$L_u = 2 * L_0 = 2 * 1,2 \text{ m} = 2,4 \text{ m}$$

- **Rodillo de Impacto**

Estos se encuentran localizados debajo del punto de carga de la banda, protegiéndola de los posibles daños causados por el impacto de material al caer sobre ella. Son rodillos de caucho moldeado que absorbe los impactos del material cuando cae sobre la banda. El espaciamiento sugerido de los rodillos de impacto es aproximadamente la mitad de la distancia de espaciamiento de los rodillos de carga (DUNLOP, 2018).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$L_i = \frac{L_0}{2} = \frac{1,2 \text{ m}}{2} = 0,6 \text{ m}$$

La deflexión de la banda será:

$$h_{carga} = L_0 * 0,01 = 0,012 \text{ m o } 1,2 \text{ cm}$$

$$h_{retorno} = L_0 * 0,025 = 0,03 \text{ m o } 3 \text{ cm}$$

4.2.4 Velocidad Angular de los Rodillos (RPM)

Este cálculo consiste en tomar un diámetro de rodillo sugerido de la Tabla 6 y calcular su velocidad de rotación, la cual no debe pasar de 650 RPM. Para nuestro diseño se tomó un diámetro 159 mm, su velocidad será:

Tabla 6. Diámetros de rodillos estándar

IDLERS DE CARGA	51	63.5	88.9	108	133	<u>159</u>	193.7	219
IDLERS DE IMPACTO				156	180	<u>215</u>	250	290
DISCOS DE SOPORTE		120	138	150	180	215	250	290

Fuente: (DUNLOP, 2018).

$$N_R = \frac{60 * V}{\pi * D_R}$$

Donde:

V: velocidad de la banda (m/s)

D_R: diámetro del rodillo seleccionado (m)

Los RPM a los que gira el rodillo, se calcula con la ecuación 7 y será:

$$N_R = \frac{60 * (1,3 \frac{m}{s})}{\pi * (0,159 \text{ m})} = 156,1558 \text{ rpm}$$

Para los rodillos de impacto, se escoge un diámetro de 215 mm y su velocidad será:

$$N_R = \frac{60 * (1,3 \frac{m}{s})}{\pi * (0,215 \text{ m})} = 115,4826 \text{ rpm}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2.5 Requisitos de Potencia

- **Potencia que necesita la banda para moverse sin carga de forma horizontal**

$$P_1 = \frac{C_B * V * Q_m}{C_L * K_f}$$

Donde:

C_B = factor de ancho de banda

V = velocidad de la banda (m/s)

Q_m =cantidad de material toneladas por hora (Ton/h)

C_L = Factor de longitud de banda

K_f = Factor de servicio

Para calcular el factor C_B del ancho de banda, se debe conocer el ancho de banda, tomaremos un ancho de banda de 400 mm, con una densidad 1300 Kg/m^3 para trabajo pesado, ver Tabla 7.

Tabla 7. Factor C_B de ancho de banda

Servicio	Densidad del mater	Ancho de Banda B (mm)											
		300	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Ligero	De baj	31	54	67	81	10	13	19	22	29			
Medio	Entre 1.0	36	59	76	92	12	18	27	32	46	55	69	74
Pesado	Sob	65	86	10	14	24	36	41	64	72	95	103	

Fuente: (DUNLOP, 2018).

Entonces C_B será:

$$C_B = 86$$

Para calcular el factor por longitud C_L , se necesita conocer la longitud de la banda, como sabemos esta longitud es $L=150 \text{ m}$, con este valor vamos a la Tabla 8 y lo calculamos:

Tabla 8. Factor de longitud C_L

L (mm)	3	4	5	6	8	10	12.	16	20
C_L	66 7	62 5	55 5	526	454	417	37 0	32 3	28 6
L (mm)	25	32	40	50	63	80	90	10	15
C_L	25 0	22 2	19 2	167	145	119	10 0	10 3	7 7
L (mm)	20	25	30	350	400	450	50	55	60
C_L	63	53	47	41	37	33	31	28	26
L (mm)	70	80	90	100	150	200			
C_L	23	20	18	17	12 ↓	9			

Fuente: (DUNLOP, 2018).

Entonces C_L será:

$$C_L = 12$$

Para calcular el factor de servicio, se establecen las condiciones a las que trabajara la banda: En el sitio de trabajo estará la banda expuesta al polvo, alta velocidad y sobrecargas, ver Tabla 9.

Tabla 9. Factor de servicio K_f

Condiciones de trabajo	k_f
Favorable, buena alineación, baja velocidad	1.17
Normal (condiciones estándar)	1
Desfavorables, polvoriento, baja temperatura, sobrecargas, alta velocidad →	0.87 – 0.74
Temperatura extremadamente baja	0.57

Fuente: (DUNLOP, 2018).

Sacando un promedio el valor será:

$$K_f = 0,805$$

Entonces la potencia P_1 , se calcula con la ecuación 7 y será:

$$P_1 = \frac{(86) * (1,3 \frac{m}{s}) * (0,6944 \frac{Ton}{h})}{(12) * (0,805)} = 8,036637 \text{ KW}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **Potencia Necesaria para Elevar la Carga**

Donde:

H= altura a elevar (m)

La potencia para elevar la carga, se calcula con la ecuación 8 y será:

$$P_2 = \frac{H * Q_m}{367} = \frac{(3 \text{ m}) * (0,6944 \frac{\text{Ton}}{\text{h}})}{367} = 0,005673 \text{ KW}$$

- **Potencia Perdida por Rozamientos**

Es la potencia que se pierde por rozamiento entre los diferentes elementos móviles que componen la banda transportadora.

$$P_{perdida} = P_a + P_b + P_c$$

Donde:

Pa: potencia debida a los rodillos (KW).

Pb: potencia debida a los dispositivos de Limpieza (KW).

Pc: potencia debida a dispositivos guías de carga y faldones (KW).

Tabla 10. Potencias perdidas

POTENCIAS ADICIONALES		
Trippers, Pa	Ancho de Banda (m)	Potencia (Kw)
	≤500 →	0,8.v
	≤1000	1,5.v
	>1000	2,3.v
Dispositivos de limpieza Pb	Tipo de contacto/Presion	
	Contacto simple →	0,3.B.v
	Contacto de presion	1,5.B.v
Guias de	Longitud Lf(m)	
	Desde punto de carga →	0,16.v.Lf

Fuente: (DUNLOP, 2018).

Para el cálculo de las perdidas debemos saber:

B: ancho de la banda

V: velocidad de la banda

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Entonces:

$$P_a = 0,8 * \left(1,3 \frac{m}{s}\right) = 1,04 \text{ Kw}$$

$$P_b = 0,3 * 0,4 * \left(1,3 \frac{m}{s}\right) = 0,156 \text{ Kw}$$

$$P_a = 0,16 * \left(1,3 \frac{m}{s}\right) * 1,1 = 0,2288 \text{ Kw}$$

Entonces la potencia perdida por fricción será:

$$P_{perdida} = 1,04 \text{ Kw} + 0,156 \text{ Kw} + 0,2288 \text{ Kw} = 1,4248 \text{ Kw}$$

Potencia total solicitada por la banda será:

$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3$$

$$P_{total} = 8,036637 \text{ KW} + 0,005673 \text{ KW} + 1,4248 \text{ Kw} = 9,4671 \text{ Kw}$$

Potencia requerida por el motor:

η = eficiencia de un sistema de transmisión por cadena es de 0,94

$$P_{requerida} = \frac{P_{total}}{\eta} = \frac{9,4671 \text{ Kw}}{0,94} = 10,0714 \text{ Kw}$$

$$10,0714 \text{ Kw} * \frac{1 \text{ hp}}{0,7456 \text{ Kw}} = 13,5077 \text{ hp}$$

Tabla 11. Potencia de Motores Estándar

1.5	2.2	3	4	5.5	7.5	11
<u>15</u>	18.5	22	30	37	45	55
75	90	110	132	160	200	250
315	400	500	630			

Fuente: (DUNLOP, 2018).

Se tomara un motor de 15 hp para el diseño.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4.2.6 Selección del Motor Eléctrico a Utilizar

Entre los motores convencionales Siemens, existen varios motores con potencias que podrían servir pero con velocidades angulares de 3600 y 1800 RPM, para nuestro sistema escogeremos un diseño Nema c, por su momento de torsión de arranque alto (250 % a plena carga), con corriente de arranque baja y bajo deslizamiento (menos del 5%) a plena carga, arranque (bombas cargadas, compresores y bandas transportadoras), ver Tabla 12.

Tabla 12. Motores Eléctricos Siemens

Potencia en HP	Velocidad en RPM	Descripción		Modelo	
		Tensión a 60Hz en volts	Tamaño Armazón NEMA	GP10 Uso General Catalogo Spiridon	SD10 Uso Severo Catalogo Spiridon
0.5	900	208-230/460	143T	A7810000048458	no disponible
0.75	1800	208-230/460	143T	A7810000048472	A7810000048469
	1200	208-230/460	143T	A7810000048459	A7810000048474
1	900	208-230/460	145T	A7810000048490	A7810000048475
	3600	208-230/460	143T	A7810000012670	A7810000047493
	1800	208-230/460	143T	A7810000012675	A7810000047514
1.5	1200	208-230/460	145T	A7810000012678	A7810000047515
	900	208-230/460	182T	A7810000048088	A7810000048042
	3600	208-230/460	143T	A7810000012671	A7810000048041
2	1800	208-230/460	145T	A7810000012676	A7810000047516
	1200	208-230/460	182T	A7810000012683	A7810000048043
	900	208-230/460	184T	A7810000048499	A7810000048044
	3600	208-230/460	145T	A7810000012672	A7810000048045
3	1800	208-230/460	145T	A7810000012677	A7810000047517
	1200	208-230/460	184T	A7810000012684	A7810000048046
	900	208-230/460	213T	A7810000048089	A7810000048047
	3600	208-230/460	182T	A7810000012679	A7810000048048
5	1800	208-230/460	182T	A7810000012681	A7810000047518
	1200	208-230/460	213T	A7810000012689	A7810000048049
	900	208-230/460	215T	A7810000048090	A7810000048050
	3600	208-230/460	184T	A7810000012680	A7810000048051
7.5	1800	208-230/460	184T	A7810000012682	A7810000047519
	1200	208-230/460	215T	A7810000012690	A7810000048052
	900	208-230/460	254T	A7810000048091	A7810000048054
	3600	208-230/460	213T	A7810000012685	A7810000048055
10	1800	208-230/460	213T	A7810000012687	A7810000047520
	1200	208-230/460	254T	A7810000012697	A7810000048066
	900	208-230/460	256T	A7810000048092	A7810000048067
	3600	208-230/460	215T	A7810000012686	A7810000048068
15	1800	208-230/460	215T	A7810000012688	A7810000048030
	1200	208-230/460	256T	A7810000012699	A7810000048069
	3600	208-230/460	254T	A7810000012692	A7810000048071
20	1800	208-230/460	254T	A7810000012695	A7810000048031
	3600	208-230/460	256T	A7810000012694	A7810000048072
	1800	208-230/460	256T	A7810000012696	A7810000048032

Fuente: (Siemens, 2016).

4.2.7 Diseño del Sistema de Transmisión de Potencia

Para el diseño de la banda transportadora utilizaremos un sistema de transmisión por cadena

$$P_{\text{diseño}} = P_{\text{entregada por la fuente}} * FS$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para seleccionar el tipo de factor de servicio, se debe conocer el tipo de fuente motriz y la maquina a impulsar, como se va a utilizar un motor eléctrico como impulsor y va a mover una banda transportadora, nos da un factor de servicio de 1.3, ver tabla 1.

Tabla 13. Factores de servicio para transmisiones por cadenas.

Tipo de carga	Tipo de impulsor		
	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con transmisión mecánica
Uniforme (agitadores, ventiladores, transportadores con carga ligera y uniforme)	1.0	1.0	1.2
Choque moderado (máquinas herramienta, grúas, transportadores pesados, mezcladoras de alimento y molinos)	1.2	1.3	1.4
Choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillos, transportadores alternos, accionamiento de molinos de rodillos)	1.4	1.5	1.7

Fuente: (MOTT, 2006).

La potencia de diseño será:

$$P_{\text{diseño}} = 15 \text{ hp} * 1,3 = 19,5 \text{ hp}$$

Con la potencia de diseño y la velocidad angular de entrada, se calcula el número de la cadena, la potencia de diseño es de 19,5 hp y una velocidad angular de 1800 rpm, utilizamos el libro de Mott de Diseño de elementos de máquinas, tenemos:

Con estos valores y la información de la Tabla 14 (MOTT, 2006), se busca el tipo de cadena que nos puede servir:

Tabla 14. Cadena de rodillo numero 60

TABLA DE CAPACIDAD
CADENA ESTANDAR SENCILLA DE RODILLOS NO. 60 PASO 3/4"

No. de dientes piñón conductor	R.P.M. DEL PIÑÓN CONDUCTOR																								
	10	25	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1400	1600	1800	2000	2500	3000	3500	4000	4500
9	0.15	0.33	0.62	0.16	1.67	2.16	3.12	4.04	4.94	5.82	6.68	7.54	8.38	9.21	9.99	8.77	6.96	5.70	4.77	4.08	2.92	2.22	1.76	1.44	1.21
10	0.16	0.37	0.70	1.30	1.87	2.43	3.49	4.53	5.53	6.52	7.49	8.44	9.39	10.3	11.2	10.3	8.15	6.67	5.59	4.77	3.42	2.60	2.06	1.69	1.41
11	0.18	0.41	0.77	1.44	2.07	2.60	3.67	5.02	6.13	7.23	8.30	9.36	10.4	11.4	12.5	11.9	9.41	7.70	6.45	5.51	3.94	3.00	2.38	1.95	1.63
12	0.20	0.45	0.85	1.58	2.28	2.95	4.25	5.51	6.74	7.94	9.12	10.3	11.4	12.6	13.7	13.5	10.7	8.77	7.35	6.28	4.49	3.42	2.71	2.22	1.86
13	0.22	0.50	0.92	1.73	2.49	3.22	4.64	6.01	7.34	8.65	9.94	11.2	12.5	13.7	14.9	15.2	12.1	9.89	8.29	7.08	5.08	3.85	3.06	2.50	0
14	0.24	0.54	1.00	1.87	2.69	3.49	5.02	6.51	7.96	9.37	10.8	12.1	13.5	14.8	16.2	17.0	13.5	11.1	9.26	7.91	5.66	4.31	3.42	2.80	0
15	0.25	0.58	1.08	2.01	2.90	3.76	5.41	7.01	8.57	10.1	11.6	13.1	14.5	16.0	17.4	18.9	15.0	12.3	10.3	8.77	6.28	4.77	3.79	3.10	0
16	0.27	0.62	1.16	2.16	3.11	4.03	5.80	7.52	9.19	10.8	12.4	14.0	15.6	17.1	18.7	20.2	16.5	13.5	11.3	9.66	6.91	5.26	4.17	3.42	0
17	0.29	0.66	1.24	2.31	3.32	4.30	6.20	8.03	9.81	11.6	13.3	15.0	16.7	18.3	19.9	21.6	18.1	14.8	12.4	10.6	7.57	5.76	4.57	3.74	0
18	0.31	0.70	1.31	2.45	3.53	4.58	6.59	8.54	10.4	12.3	14.1	15.9	17.7	19.5	21.2	22.9	19.7	16.1	13.5	11.5	8.25	6.28	4.98	4.08	0
19	0.33	0.75	1.39	2.60	3.74	4.85	6.99	9.05	11.1	13.0	15.0	16.9	18.8	20.6	22.5	24.3	21.4	17.5	14.6	12.5	9.35	6.81	5.40	4.42	0
20	0.35	0.79	1.47	2.75	3.96	5.13	7.38	9.57	11.7	13.8	15.8	17.8	19.8	21.8	23.8	25.7	23.1	18.9	15.8	13.5	9.66	7.35	5.83	0	0
21	0.36	0.86	1.55	2.90	4.17	5.40	7.78	10.1	12.3	14.5	16.7	18.8	20.9	23.0	25.1	27.1	24.8	20.3	17.0	14.5	10.6	7.91	6.28	0	0
22	0.38	0.87	1.63	3.05	4.39	5.67	8.19	10.6	13.0	15.3	17.5	19.8	22.0	24.2	26.4	28.5	26.5	21.8	18.2	15.6	11.1	8.48	6.73	0	0
23	0.40	0.92	1.7	3.19	4.60	5.96	8.59	11.1	13.6	16.0	18.4	20.8	23.1	25.4	27.7	29.9	28.4	23.3	19.5	16.7	11.9	9.07	7.19	0	0
24	0.42	0.96	1.79	3.35	4.82	6.24	8.99	11.6	14.2	16.8	19.3	21.7	24.2	26.6	29.0	31.2	30.3	24.8	20.8	17.8	12.7	9.66	7.67	0	0
25	0.44	1.00	1.87	3.50	5.04	6.52	9.40	12.2	14.9	17.5	20.1	22.7	25.3	27.8	30.3	32.7	32.2	26.4	22.1	18.9	13.5	10.3	8.15	0	0
26	0.46	1.05	1.95	3.65	5.25	6.81	9.80	12.7	15.5	18.3	21.0	23.7	26.4	29.0	31.6	34.1	34.2	28.0	23.4	20.0	14.3	10.9	8.65	0	0
28	0.50	1.13	2.12	3.95	5.69	7.37	10.6	13.8	16.8	19.8	22.8	25.7	28.5	31.4	34.2	37.0	38.2	31.3	26.2	22.4	16.0	12.2	0	0	0
30	0.54	1.22	2.28	4.26	6.13	7.94	11.4	14.8	18.1	21.4	24.5	27.7	30.8	33.8	36.8	39.8	42.4	34.7	29.1	24.8	17.8	13.5	0	0	0
32	0.57	1.31	2.45	4.56	6.57	8.52	12.3	15.9	19.4	22.9	26.3	29.7	33.0	36.3	39.5	42.7	46.7	38.2	32.0	27.3	19.6	14.9	0	0	0
35	0.63	1.44	2.69	5.03	7.24	9.38	13.5	17.5	21.4	25.2	29.0	32.7	36.3	39.9	43.5	47.1	53.4	43.7	36.6	31.3	22.4	17.0	0	0	0
40	0.73	1.67	3.11	5.81	8.37	10.8	15.6	20.2	24.7	29.1	33.5	37.7	42.0	46.1	50.3	54.4	62.5	53.4	44.7	38.2	27.3	0	0	0	0
45	0.83	1.89	3.53	6.80	9.50	12.3	17.7	23.0	28.1	33.1	38.0	42.0	47.7	52.4	57.1	61.7	70.9	63.7	53.4	45.6	32.6	0	0	0	0

Lubricación Tipo A Lubricación Tipo B Lubricación Tipo C

Lubricación Tipo A - A mano, con aceites o broche
Lubricación Tipo B - En baño de aceite o por nebulizaje
Lubricación Tipo C - Al chorro bajo presión.

La información contenida en estas tablas esta basada en los estándares de la ASOCIACIÓN AMERICANA DE FABRICANTES DE CADENAS (American Chain Association)

Cuando se trata de cadenas de hilera múltiple de este paso, multiplique por la capacidad por:			
No. DE HILERAS	FACTOR	No. DE HILERAS	FACTOR
2	1.7	5	3.9
3	2.5	6	4.6
4	3.3		

*Para velocidades comprendidas dentro de la zona entre rayas punteadas, considérese el uso de la cadenas silenciosa o Morse Hy. Vo.

Fuente: (Intermec, 2014).

$$P_{entregada} = 19,5 \text{ hp}$$

Para esta potencia, la catarina conductora debe tener 23 dientes y la lubricacion seria tipo C que es con inyeccion a presion.

Con los datos de la Tabla 14, se define el tipo de cadena. Con la relación de transmisión y el número de dientes de la Catarina conductora se calcula el número de dientes de la conducida.

$$N_2 = N_1 * \frac{W_1}{W_2} = (23) * \frac{1800}{300} \cong 138 \text{ dientes}$$

- **Diámetros de Paso de las Catarinas.**

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$D_{p1} = \frac{\text{Paso de la cadena}}{\text{sen}\left(\frac{180}{N_1}\right)} = \frac{0,75 \text{ in}}{\text{sen}\left(\frac{180}{23}\right)} = 5,5079 \text{ in}$$

$$D_{p2} = \frac{\text{Paso de la cadena}}{\text{sen}\left(\frac{180}{N_2}\right)} = \frac{0,75 \text{ in}}{\text{sen}\left(\frac{180}{138}\right)} = 32,94 \text{ in}$$

- **Longitud de Cadena.**

Lo recomendado en los libro $30 \leq C \leq 50 \text{pasos}$ (Mott, 2006). Tomo 40 pasos para iniciar los cálculos.

$$L = 2 * C + \frac{N_2 + N_1}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4 * \pi^2 * C}$$

$$L = 2 * 40 + \frac{138 + 23}{2} + \frac{(138 - 23)^2}{4 * \pi^2 * 40} = 168,87 \text{ pasos}$$

$$L = 168,87 \text{ pasos} \cong 168 \text{ pasos}$$

Recalculo la distancia entre centros:

$$C = \frac{1}{4} * \left[\left(L - \frac{N_2 + N_1}{2} \right) + \sqrt{\left[L - \frac{N_2 + N_1}{2} \right]^2 - 8 * \frac{(N_2 - N_1)^2}{4 * \pi^2}} \right]$$

$$C = \frac{1}{4} * \left[\left(168 - \frac{168 + 23}{2} \right) + \sqrt{\left[168 - \frac{168 + 23}{2} \right]^2 - 8 * \frac{(168 - 23)^2}{4 * \pi^2}} \right] = 39,6 \text{ pasos} \cong 29,7 \text{ in}$$

- **Ángulo de contacto.**

El ángulo de contacto entre la Catarina conductora y la cadena tiene que ser mayor a 120°

$$\theta_1 = 180 - 2 * \text{sen}^{-1}\left(\frac{D_{p2} - D_{p1}}{2 * C}\right)$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\theta_1 = 180 - 2 * \text{sen}^{-1} \left(\frac{32,94 \text{ in} - 5,5079 \text{ in}}{2 * 29,7} \right) = 124,99^\circ$$

La temperatura de trabajo del sistema de transmisión es de 25 °C, utilizando la tabla 7.9 del libro de Mott, el lubricante a utilizar sería un SAE 30. Otras características de la cadena a utilizar se pueden apreciar en la Tabla 15.

Tabla 15. Propiedades de la cadena

Número	Paso	Diámetro Rodillo	Ancho Rodillo	Espesor Placa Lateral
60	3/4	0.468 in	0.25 in	0.050 in

Fuente: (Mott, 2006) tabla 7.4 Mott

La velocidad entregada a la banda será:

$$V = w_2 * r$$

La velocidad de la banda es de 1,3 m/s y la velocidad angular que entregaría el sistema es de 300 rpm.

$$300 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 31,4151 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Entonces el radio del cilindro impulsor será:

$$r = \frac{V}{w} = \frac{1,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{31,4151 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 0,04138 \text{ m o } 4,1381 \text{ cm}$$

Este valor sería muy pequeño para el rodillo impulsor, por eso evaluaremos otra opción, la de utilizar un motoreductor de la Tabla 16.

Donde:

M₂: torque entregado N.m

P₁: Potencia en KW

η: eficiencia del motoreductor

Tabla 16. Características de Motores Reductores

TAMAÑO	185		215		255		280	
RELACIÓN REDUCCIÓN			M ₂	P ₁				
			η					
*70	1853	7.03	2570	9.54	3980	14.57	5370	19.52
	69		70.5		71.5		72	
60	2079	8.95	2860	12.1	4410	18.5	5950	24.7
	73		74		75		75.5	
50	2218	10.7	2940	14	4450	20.91	6000	28
	76		77		78		78.5	
*45	2270	12.3	2980	16	4480	23.75	6050	31.87
	77		78		79		79.5	
40	2323	14	3020	18.13	4520	26.6	6100	35.71
	78		78.5		80		80.5	
35	2340	15.51	3030	19.83	4530	29.1	6110	38.8
	79		80		81.5		82.5	
30	2349	18.4	3040	23.43	4540	34.4	6130	46.12
	80		81.5		83		83.5	
*25	1920	16.8	2650	23	4080	35.18	5510	47.18
	84		84.5		85		85.6	
→ 20	1944	21.5	2670	29.43	4120	45.1	5560	60.5
	85		85.5		86		86.6	
*17.5	1948	23.72	2670	32.13	4120	49	5560	65.71
	86		87		88		88.6	
15	1952	28.2	2680	38.27	4130	58.3	5570	78.1
	87		88		89		89.6	
*12.5	1830	30.49	2510	41.34	3870	63	5220	84.46
	88		89		90		90.6	
10	1720	36.4	2390	50	3700	76.6	4990	102.7
	89		90		91		91.6	
*6.75	1440	44.4	2000	60.99	3090	93.2	4170	125
	90		91		92		92.6	

Fuente: (Ramfe, 2014).

Uno de los Motores Reductores que podríamos utilizar sería el subrayado en la Tabla 16:

- Relación 1:20
- Potencia entregada 21,5 KW
- Torque entregado 1944 N.m
- Eficiencia 85 %

Entonces la velocidad entregada por este sería:

$$20 = \frac{1800 \text{ rpm}}{W_2}$$

$$W_2 = \frac{1800 \text{ rpm}}{20} = 90 \text{ rpm}$$

Si dijéramos que lo conectamos directamente a la banda, el rodillo impulsor tendría un diámetro:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La velocidad entregada a la banda será:

$$V = w_2 * r$$

La velocidad de la banda es de 1,3 m/s y la velocidad angular que entregaría el sistema es de 300 rpm.

$$90 \frac{rev}{min} * \frac{2\pi rad}{1 rev} * \frac{1 min}{60 s} = 9,4245 \frac{rad}{s}$$

Entonces el radio del cilindro impulsor será:

$$r = \frac{V}{w} = \frac{1,3 \frac{m}{s}}{9,4245 \frac{rad}{s}} = 0,1379 m \text{ o } 13,7937 cm$$

Ósea que el diámetro del rodillo impulsor será:

$$D = 2 * r = 2 * 13,7937 cm = 27,5875 cm$$

4.3 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Para soportar la banda y el carbón, se diseñara una estructura metálica, hecha acero 1045 CD, Para este análisis se utilizó el programa MDSolids 3.5 de resistencias de materiales, ver figura 20.

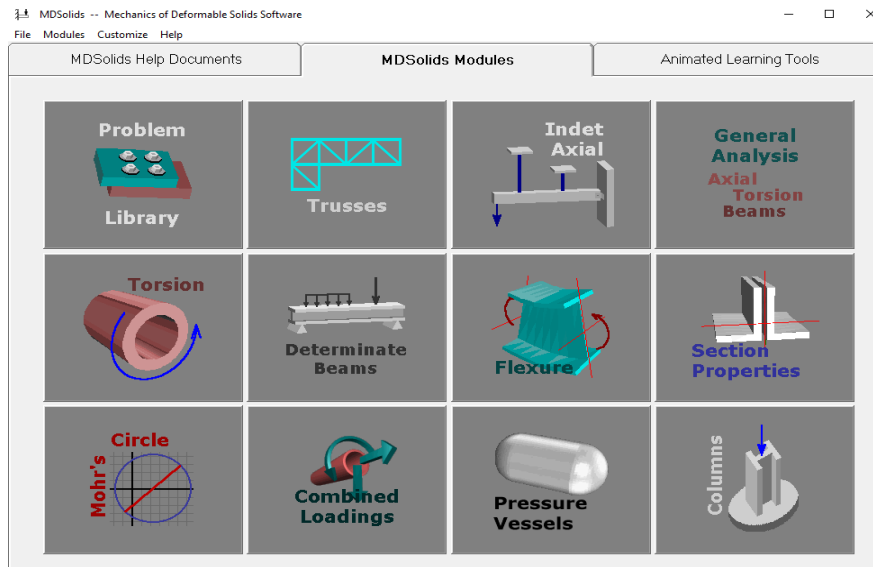


Figura 20. Programa MDSolids 3.5.

Fuente: (MDSolids3.5, 2018).

Con este programa, se podrá calcular las fuerzas internas a las cuales estarán sometidas cada una de las barras de la estructura, como también sus esfuerzos internos.

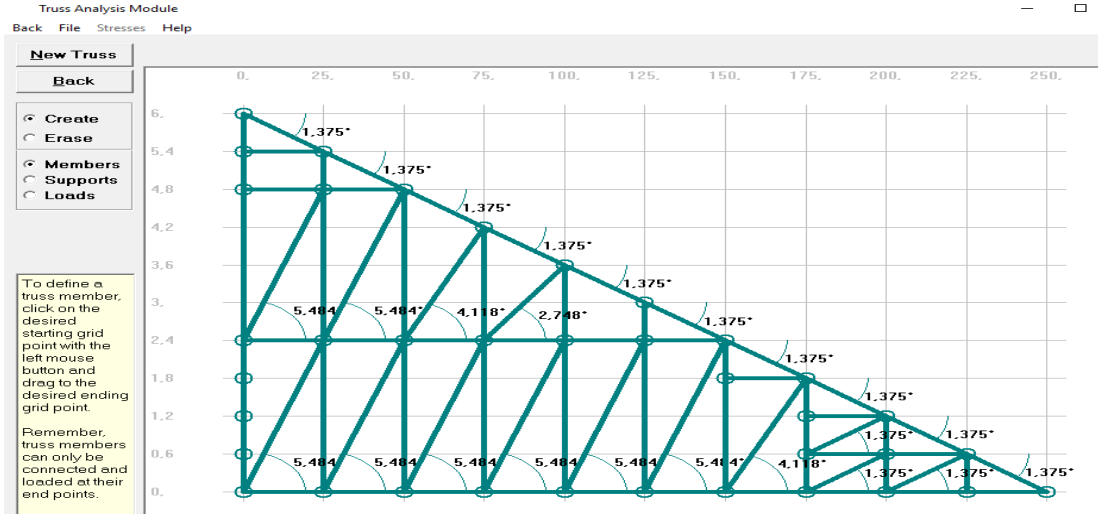


Figura 21. Estructura metálica de soporte en acero 1045

Fuente: Propia.

El peso que debe soportar la estructura será:

$$W_{total} = w_{banda} + w_{estructura\ de\ la\ banda} + w_{carbon}$$

Para el W_{carbon} se calculará con la siguiente formula:

$$\rho = \frac{m}{\tilde{V}}$$

Donde:

m: masa Kg

\tilde{V} : volumen m^3

ρ : densidad (Kg/m^3)

$$m = \rho * \tilde{V}$$

Pero el volumen será:

$$\tilde{V} = A_{total} * L = 0,01441 m^2 * 150 m = 2,1615 m^3$$

$$m = \left(1300 \frac{kg}{m^3}\right) * (2,1615 m^3) = 2809,95 Kg$$

$$W_{carbon} = (2809,95 Kg) * \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) = 27565,6095 N$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El peso de la banda será:

$$W_{\text{banda}} = m * L * g$$

Donde:

m: masa de la banda por unidad de longitud (kg/m)

L: longitud de la banda (m)

g: gravedad (m/s²)

$$W_{\text{banda}} = \left(1,2 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}\right) * (150 \text{ m}) * \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) = 1765,8 \text{ N}$$

La estructura de la banda tendrá un peso aproximado:

$$W_{\text{estructura de la banda}} = W_{\text{rodillos}} + W_{\text{rodamientos}} + W_{\text{estructura metalica}}$$

$$W_{\text{estructura de la banda}} = 200 \text{ kg} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1962 \text{ N}$$

Entonces el peso total que debe soportar la estructura será:

$$W_{\text{total}} = 27565,6095 \text{ N} + 1765,8 \text{ N} + 1962 \text{ N} = 31293,4095 \text{ N}$$

Esta carga la divido en 11 puntos que tiene la estructura:

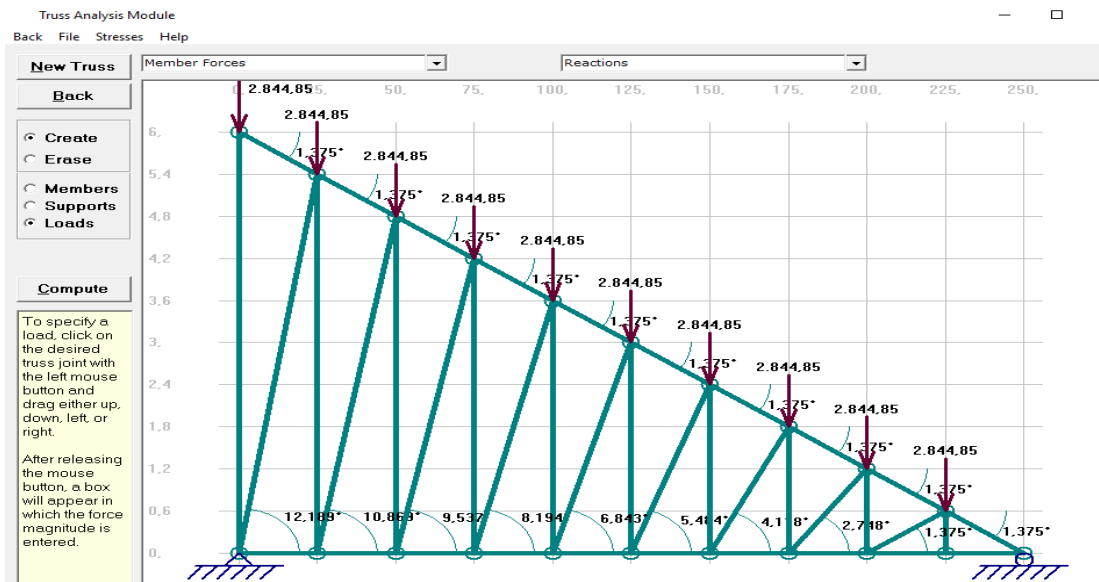


Figura 22. Fuerzas Puntuales Aplicadas.

Fuente: (MDSolids3.5, 2018).

Entonces las cargas puntuales serán:

$$W = \frac{31293,4095 \text{ N}}{11} = 2844,854 \text{ N}$$

Las fuerzas internas a las cuales estarán sometidas cada una de las barras serán:

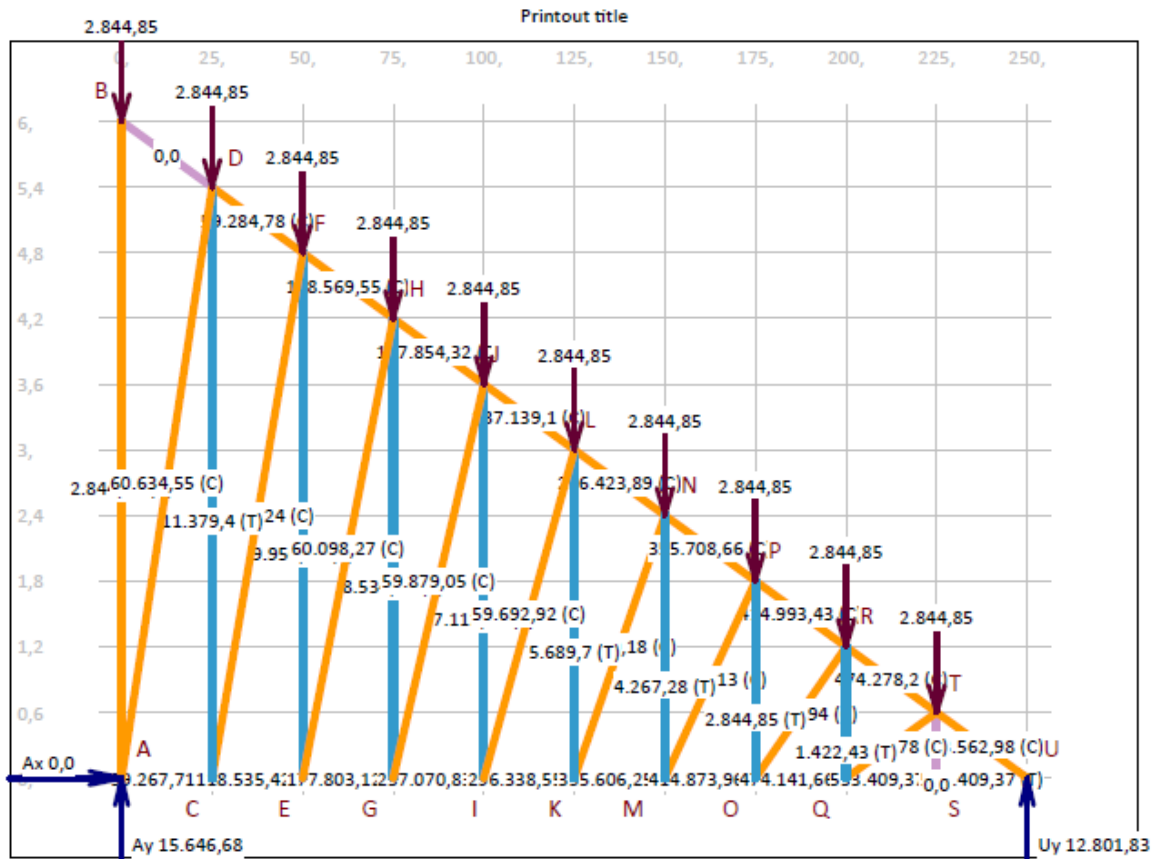


Figura 23. Fuerzas Internas en las Barras.
 Fuente: (MDSolids3.5, 2018).

Las reacciones en los apoyos:

$$A_y = 15646,68 \text{ N}$$

$$U_y = 12801,36 \text{ N}$$

En el libro de diseño de elementos de máquinas de Robert Mott, aparecen tablas de las diferentes dimensiones de tubos cuadrados y rectangulares comercialmente disponibles, el momento de inercia será:

Para el cálculo, tomo como partida una tubería de 2 x 2 in y 0,25 in de espesor; Hecha en acero 1045, el cual tiene las siguientes propiedades:

Se utilizara tubería cuadrada de dimensiones estándar, 2 x 2 x ¼ de pulgada, ver tabla 4.

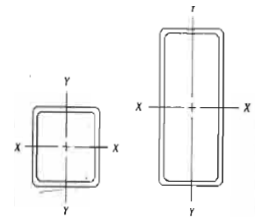


Tabla 17. Dimensiones de tubos cuadrados en acero 1010.

Tamaño	Área (pulg ²)	Peso por pie (lb)	Eje X-X			Eje Y-Y		
			<i>I</i> (pulg ⁴)	<i>S</i> (pulg ³)	<i>r</i> (pulg)	<i>I</i> (pulg ⁴)	<i>S</i> (pulg ³)	<i>r</i> (pulg)
8 × 8 × 1/2	14.4	48.9	131	32.9	3.03	131	32.9	3.03
8 × 8 × 1/4	7.59	25.8	75.1	18.8	3.15	75.1	18.8	3.15
8 × 4 × 1/2	10.4	35.2	75.1	18.8	2.69	24.6	12.3	1.54
8 × 4 × 1/4	5.59	19.0	45.1	11.3	2.84	15.3	7.63	1.65
8 × 2 × 1/4	4.59	15.6	30.1	7.52	2.56	3.08	3.08	0.819
6 × 6 × 1/2	10.4	35.2	50.5	16.8	2.21	50.5	16.8	2.21
6 × 6 × 1/4	5.59	19.0	30.3	10.1	2.33	30.3	10.1	2.33
6 × 4 × 1/4	4.59	15.6	22.1	7.36	2.19	11.7	5.87	1.60
6 × 2 × 1/4	3.59	12.2	13.8	4.60	1.96	2.31	2.31	0.802
4 × 4 × 1/2	6.36	21.6	12.3	6.13	1.39	12.3	6.13	1.39
4 × 4 × 1/4	3.59	12.2	8.22	4.11	1.51	8.22	4.11	1.51
4 × 2 × 1/4	2.59	8.81	4.69	2.35	1.35	1.54	1.54	0.770
3 × 3 × 1/4	2.59	8.81	3.16	2.10	1.10	3.16	2.10	1.10
3 × 2 × 1/4	2.09	7.11	2.21	1.47	1.03	1.15	1.15	0.742
<u>2 × 2 × 1/4</u>	<u>1.59</u>	<u>5.41</u>	<u>0.766</u>	<u>0.766</u>	<u>0.694</u>	<u>0.766</u>	<u>0.766</u>	<u>0.694</u>

Fuente: (Mott, 2006).

Esta área en milímetros será:

$$1,59 \text{ in}^2 = \frac{645,16 \text{ mm}^2}{1 \text{ in}^2} = 1025,8 \text{ mm}^2$$

Con estas dimensiones se calculan los esfuerzos internos generados:

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 18. Esfuerzos generados en cada una de las barras.

Member	Force (N)	Area (mm ²)	Stress (MPa)
AC	59.267,7	1.025,80	57,777
CE	118.535,4	1.025,80	115,554
EG	177.803,1	1.025,80	173,331
GI	237.070,8	1.025,80	231,108
IK	296.338,6	1.025,80	288,885
KM	355.606,3	1.025,80	346,662
MO	414.874,0	1.025,80	404,440
OQ	474.141,7	1.025,80	462,217
QS	533.409,4	1.025,80	519,994
SU	533.409,4	1.025,80	519,994
ST	0,0	1.025,80	0,000
FH	-118.569,6	1.025,80	-115,587
HJ	-177.854,3	1.025,80	-173,381
JL	-237.139,1	1.025,80	-231,175
LN	-296.423,9	1.025,80	-288,969
KN	-59.540,2	1.025,80	-58,043
NP	-355.708,7	1.025,80	-346,762
PR	-414.993,4	1.025,80	-404,556
RT	-474.278,2	1.025,80	-462,350
TU	-533.563,0	1.025,80	-520,143
QT	-59.284,8	1.025,80	-57,794
MP	-59.421,1	1.025,80	-57,927
OR	-59.335,9	1.025,80	-57,844
QR	1.422,4	1.025,80	1,387
OP	2.844,9	1.025,80	2,773
MN	4.267,3	1.025,80	4,160
EF	9.957,0	1.025,80	9,707
GH	8.534,6	1.025,80	8,320
U	7.112,1	1.025,80	6,933
KL	5.689,7	1.025,80	5,547
CF	-60.350,2	1.025,80	-58,832
EH	-60.098,3	1.025,80	-58,587
GJ	-59.879,0	1.025,80	-58,373
IL	-59.692,9	1.025,80	-58,192
DF	-59.284,8	1.025,80	-57,794
BD	0,0	1.025,80	0,000
AB	-2.844,9	1.025,80	-2,773
CD	11.379,4	1.025,80	11,093
AD	-60.634,5	1.025,80	-59,110

Fuente: (MDSolids3.5, 2018).

En primer análisis realizado a los elementos de la estructura sería:

$$N = \frac{S_y}{\sigma_{normal\ barra}}$$

Donde:

S_u : resistencia ultima 630 Mpa para el acero 1045 CD

S_y : resistencia de fluencia 530 Mpa para el acero 1045 CD

Para esto se tomaron las barras sometidas a mayores esfuerzos y se calculó su factor de seguridad:

$$N = \frac{530\ Mpa}{519,44\ Mpa} = 1,02$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$N = \frac{530 \text{ Mpa}}{462,217 \text{ Mpa}} = 1,14$$

El segundo análisis hecho a la estructura como vigas:

- **Análisis de los tubos cuadrados horizontales de L*L**

Para realizar el análisis de estos elementos, se tomaran como vigas horizontales con soportes en los extremos sometidos a la siguiente carga distribuida, ver figura 3.

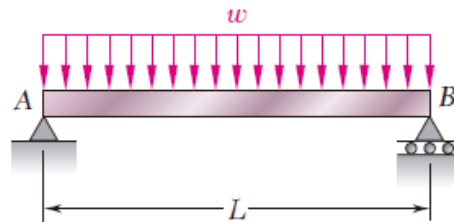


Figura 24. Viga con carga distribuida.
Fuente: (Beer F. , 2009).

Entonces la carga distribuida será:

$$C_{distribuida} = \frac{W}{A}$$

Donde:

- $C_{distribuida}$ = carga distribuida sobre la estructura
- W= peso a soportar
- A= área que soporta el peso
- L=2 in, será el ancho porque el largo está definido.

El peso de la viga será:

$$5,41 \frac{lb}{ft} * 15 \text{ m} * \frac{3,2808 \text{ ft}}{1 \text{ m}} = 266,236 \text{ lb}$$

Los tubos que soportaran la carga tendrán dimensiones de 2 x 2 x ¼ por 1,5 m de longitud, entonces

la carga distribuida será.

$$C_{distribuida} = \frac{266,236 \text{ lb}}{2 * L} * \frac{4,4482 \text{ N}}{1 \text{ lbf}} = \frac{592,140 \text{ N}}{L}$$

Entonces cada tubo tendrá que soportar una carga de 592,140 N/m.

- Para el análisis de la viga utilizamos el programa MDSOLID 3.5 el cual nos entrega los diagramas de fuerzas cortante y momento flector.

Según la figura, la viga que soporta más carga, estará sometida en sus extremos a cargas de 60634,65 N y 11379,4 N; soporta una carga distribuida de 592,140 N/m, ver figura 25 y 26.

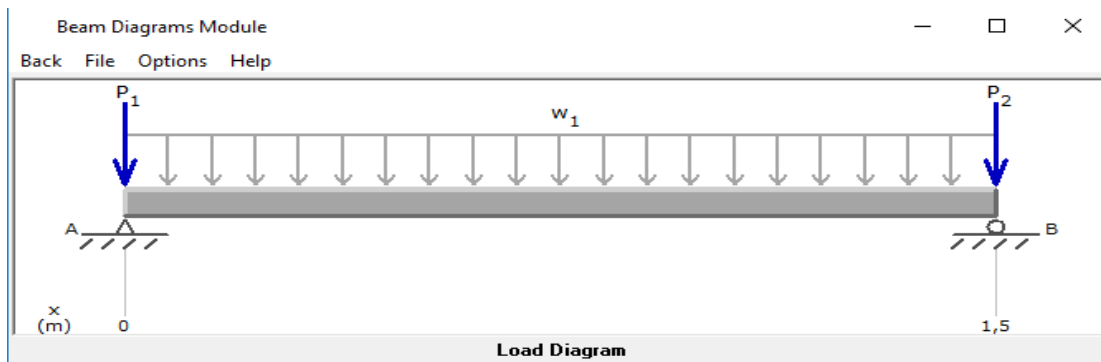


Figura 25. Viga con carga distribuida.

Fuente: (MDSolids3.5, 2018).

Las reacciones en Y tendrá un valor de $A_y = 650750,70$ N y $B_y = 15820,45$ N.

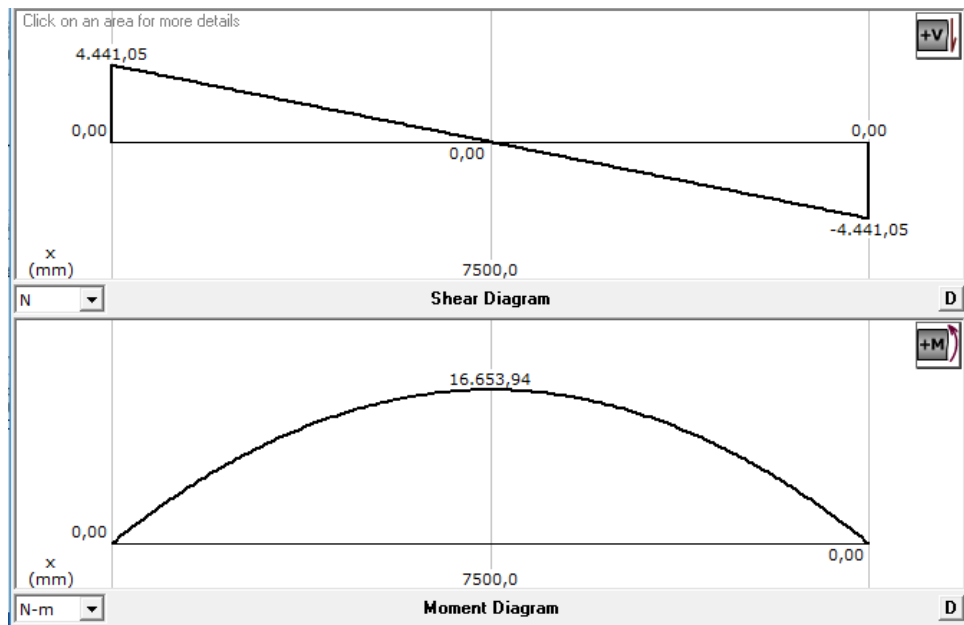


Figura 26. Diagramas de fuerza cortante y momento flector.

Fuente: (MDSolids3.5, 2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La fuerza cortante $V=0$ N y el momento flector máximo es 16653,94 N.m y ocurre en toda la mitad de la viga, ver figura 27.

- Los esfuerzos a los que estará sometida la viga serán los siguientes:

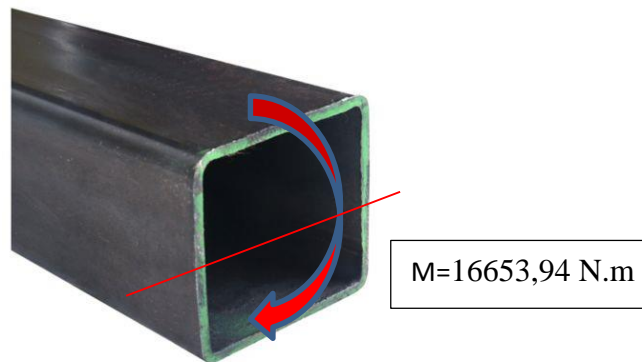


Figura 27. Momento flector en la viga.

Fuente: Propia.

El esfuerzo de fluencia del acero 1045 es: $S_y = 530$ Mpa

$$I = 0,766 \text{ in}^4 * \frac{(0,0254 \text{ m})^4}{1 \text{ in}^4} = 3,18833272 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Entonces el esfuerzo normal por flexión será:

$$\sigma_{\text{norma de flexion}} = \frac{M * C}{I}$$

Donde:

M= momento flector

C= distancia desde el eje neutro hasta el punto de análisis

I= momento de inercia del elemento

$$\sigma_{\text{norma de flexion}} = \frac{(16653,94 \text{ N.m}) * (2 \text{ in}) * \left(\frac{0,0254 \text{ m}}{1 \text{ in}}\right)}{3,18833272 \times 10^{-7} \text{ m}^4} = 265,3487 \text{ Mpa}$$

La teoría de diseño a carga estática utilizada será de cortante máximo por ser más conservadora:

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\tau_{max} \leq \frac{0,5S_y}{N}$$

N=factor de seguridad

S_y= resistencia de fluencia del material

El cortante máximo según la fórmula del círculo de Mohr es:

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

σ_x= esfuerzo normal en la dirección axial

σ_y= esfuerzo normal en la dirección Y

τ_{xy}= cortante máximo

Pero:

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_x}{2} = \frac{265,3487 \text{ Mpa}}{2} = 132,6743 \text{ Mpa}$$

Entonces N será:

$$N = \frac{0,5S_y}{\tau_{max}} = \frac{(0,5) * (530 \text{ Mpa})}{132,6743 \text{ Mpa}} = 1,99$$

Como se puede ver, se puede confiar plenamente en esta estructura, porque el factor de seguridad será de 2, se puede tomar dimensiones menores pero esta es la mínima existente en la Tabla 17.

4.4 PRESUPUESTO

Para el presupuesto de la banda transportadora, se tomaron precios de diferentes sitios en internet dedicados a la comercialización y fabricación de los componentes que conforman la banda transportadora, ver Tabla 19.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tabla 19. Presupuesto de los Componentes de la banda transportadora.

CANTIDAD	DESCRIPCION DEL COMPONENTE	PRECIO UNITARIO (\$)	TOTAL (\$)
1	Fuente motriz, motoreductor de 20 hp y 1800 rpm FZ28-LA71ZMP4	3'800000	3'800.000
50	Rodillos de cargas por 3 CEMA C45	630000	31'500.000
15	Rodillos de retorno CEMA C	270.000	4'050.000
15	Banda de Nylon de 3 lonas de 400 mm de ancho Tipo K Mor	108.500	1'627.500
49	Lamina Interna Calibre 14 de 171 x 160	73.400	3'596.600
49	Lamina Mitad Calibre 14 de 294 x 160	85.600	4'194.400
49	Lamina Externa Calibre 14 de 408 x 160	92.700	4'542.300
49	Base del tripode Calibre 14 de 740 x 160	95.600	4'684.400
1	Rodillos de Principal CEMA B	230.000	230.000
2	COLUMNA 11 (Perfil cuadrado de 2")	102.200	204.400
2	COLUMNA 10 (Perfil cuadrado de 2")	102.200	204.400
2	COLUMNA 9 (Perfil cuadrado de 2")	102.200	204.400
2	COLUMNA 8 (Perfil cuadrado de 2")	102.200	204.400
2	COLUMNA 7 (Perfil cuadrado de 2")	102.200	204.400
2	COLUMNA 6 (Perfil cuadrado de 2")	102.200	204.400
2	COLUMNA 5 (Perfil cuadrado de 2")	102.200	204.400
2	COLUMNA 4 (Perfil cuadrado de 2")	102.200	204.400
2	COLUMNA 3 (Perfil cuadrado de 2")	102.200	204.400
9	HORIZONTALES (Perfil cuadrado de 2")	102.200	919.800
			60'984.600

Fuente: Propia.

Para los costos de la estructura metálica, encargada de soportar todos los componentes de la banda se buscó información a nivel nacional, (Generadordeprecios.Colombia, 2018). Para esto toco calcular el área del triángulo formado por la estructura.

$$A_{\text{triangulo}} = \frac{b * h}{2} = \frac{150 \text{ m} * 3 \text{ m}}{2} = 225 \text{ m}^2$$

Tabla 20. Presupuesto de estructura metálica acero.

CANTIDAD	DESCRIPCION DEL COMPONENTE	PRECIO UNITARIO (\$)/m2	TOTAL (\$)
225	Precio mano de obra por metro cuadrado	56.764	12'771.900
	Montaje y mano de obra de la estructura de la banda		4'800.000
93 tubos	Tuberia cuadrada de 2x 2 in	71.500	6'649.500
80	soldadura por kilos para acero	10.000	800.000
			25'021.400

Fuente: Propia.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En total la fabricación de la banda transportadora costara aproximadamente \$ 86'006.000, el cual sería un costo bajo en comparación con los sueldos de un año de mínimo 15 trabajadores.

$$\text{Costo} = 15 \text{ trabajadores} * 12 \text{ meses} * \$1'000.000 = \$ 180'000.000$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Con el diseño de la banda transportadora, se efectuó el primer paso del proyecto de mejora ahora falta esperar el presupuesto para su fabricación e implementación.
- Se estima que con la implementación de la banda en la mina se disminuya el tiempo de llenado de la tolva como también el tiempo de entrega al comprador final.
- Este proyecto dará solución definitiva a los problemas de salud presentados por los trabajadores en el proceso de cargado o llenado de los carros de carbón.
- Se mejoraron los ingresos de la mina La Maga, por requerir menos trabajadores en la producción y las demandas o indemnizaciones por enfermedades.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

6. REFERENCIAS

- Bandas transportadoras.* (24 de febrero de 2015). Recuperado el 20 de abril de 2018, de <http://dim.usal.es/areaim/guia%20P.%20I/bandas%20transportadoras.htm>
- Beer, F. (2009). *Mecanica de Materiales*. Mexico: Mc Graw-Hill.
- Beer, F. P. (2010). *Mecanica de Materiales*. Mexico: M Graw Hill.
- DUNLOP. (2018). Obtenido de http://www.dunlopconveyorbelting.com/uploads/media/Dunlop_Technical_Manual_V2.6.pdf
- Intermec. (2014). Obtenido de http://lab.transmitec.com/wp-content/uploads/2014/06/manual_pinones_intermec.pdf
- Madrid. (18 de octubre de 2017). *Departamento de Ingenieria Mecanica Universidad Carlos III Madrid*. Obtenido de http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/ingenieria-de-transportes/material-de-clase-1/bandas_transportadoras.pdf
- MDSOLID3.5. (2017).
- MDSolids3.5. (2018). Obtenido de <https://mdsolids.programas-gratis.net/>
- Mercury. (12 de septiembre de 2015). *Transportadores Aereos*. Recuperado el 14 de abril de 2018, de <https://www.mercurydos.es/productos/35-transportadores-aereos/p-52-transportadores-aereos-mercury#.WuHU6ojwblU>
- MOTT. (2006). *Diseño de Elementos de Maquinas*. Mexico: Pearson.
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas* (4 ed.). Madrid, España: Pearson .
- nme. (2018). Obtenido de <http://www.nuevamineria.com/revista/por-un-nuevo-modelo-en-reciclaje-de-materiales/>
- OMT. (14 de enero de 2010). *OMT BIELLA S.R.L.* Recuperado el 23 de marzo de 2018, de http://abatech.it/index_es.html
- Pacheco, E. O. (2015). Obtenido de <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/1493>
- Ramirez, R. (mayo de 2016). Recuperado el 10 de 10 de 2018, de <https://rafaelramirezr.files.wordpress.com/2016/05/manual-ingenieria-bandas-transportadoras.pdf>

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ramirez, R. (5 de octubre de 2017). *CONTITECH*. Obtenido de <https://rafaelramirezr.files.wordpress.com/2015/03/manual-ingenieria-bandas-transportadoras.pdf>

ROTRANS. (24 de abril de 2014). Recuperado el 25 de abril de 2018, de https://es.wikipedia.org/wiki/Cinta_transportadora#/media/File:Cinta_transportadora.png

SICSA. (3 de abril de 2018). *Transportadores Industriales*. Obtenido de <http://www.bandas-transportadoras.com.mx/node/10>

Siemens. (2016). Obtenido de <http://spain-s3-mhe-prod.s3-website-eu-west-1.amazonaws.com/bcv/guide/capitulo/8448173104.pdf>

Valle, A. (15 de septiembre de 2017). *Fierro Industrial*. Recuperado el 12 de abril de 2018, de <https://fierrosindustrial.com/noticias/seleccione-transportador-materiales-adequado/>

En este plano se puede ver con mejor detalle la ubicación de cada sistema de rodillos en la banda transportadora.

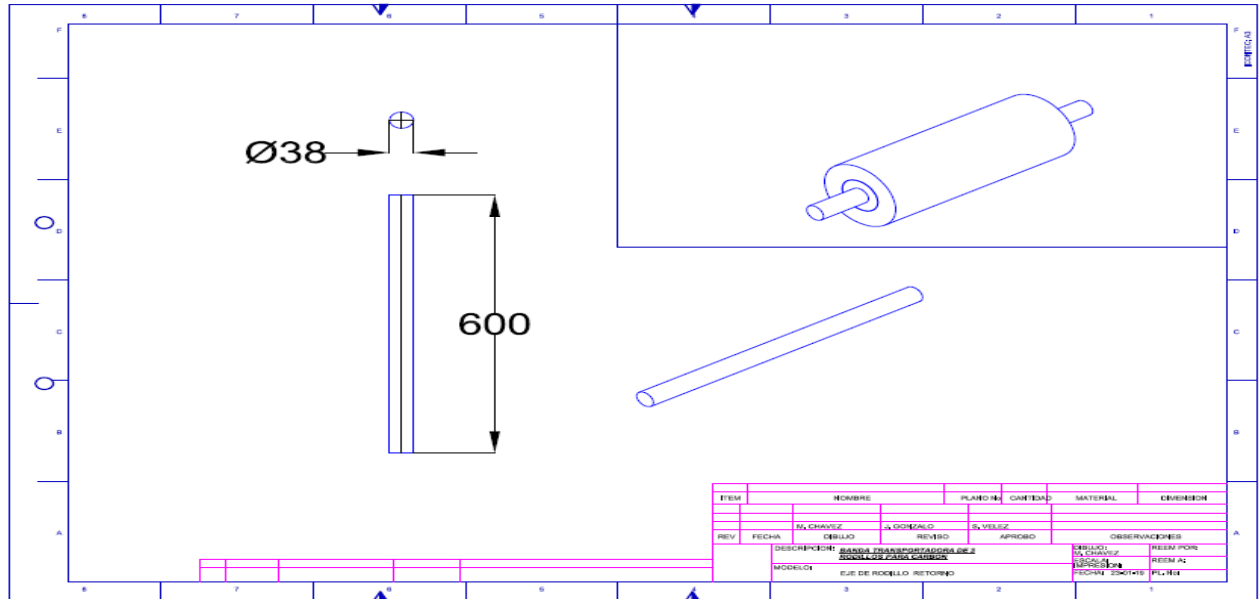


Figura 30. Dimensiones del eje de soporte de los rodillos

Fuente: Propia.

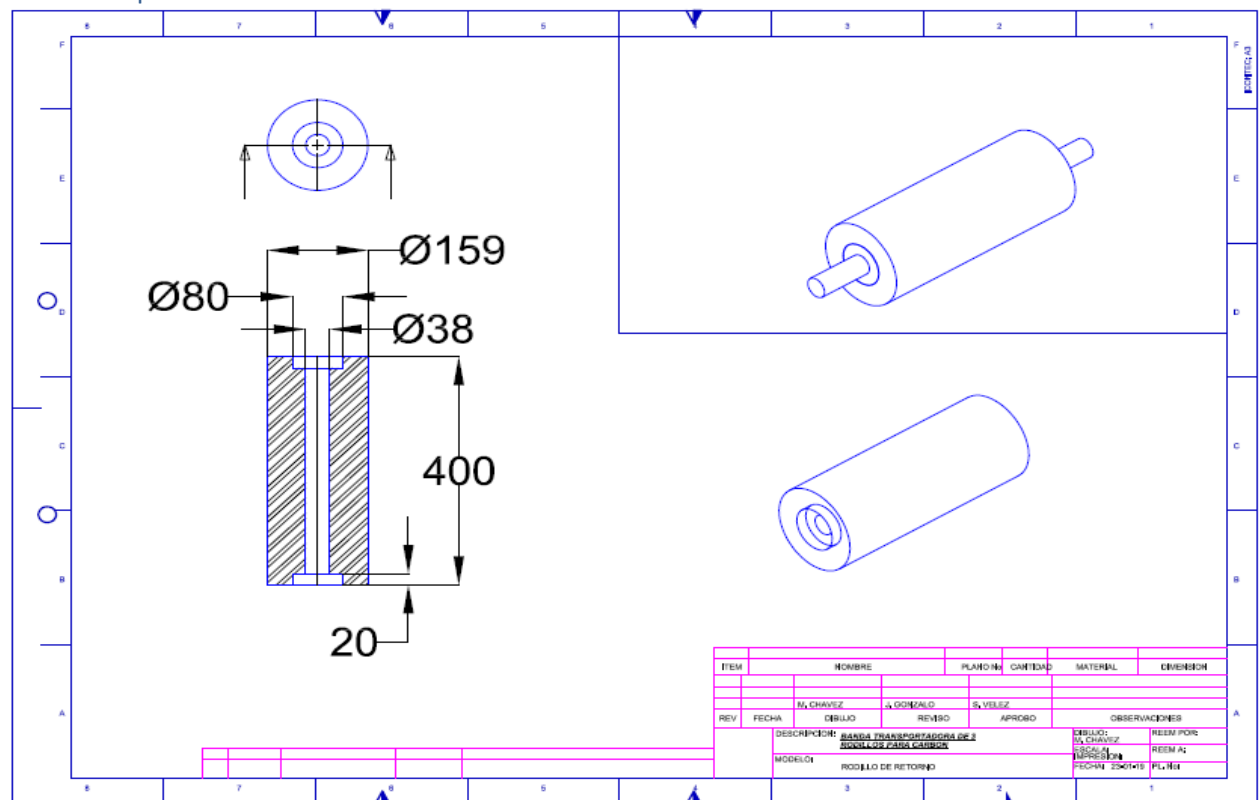


Figura 31. Plano detallado del Eje del rodillo de retorno.

Fuente: Propia.

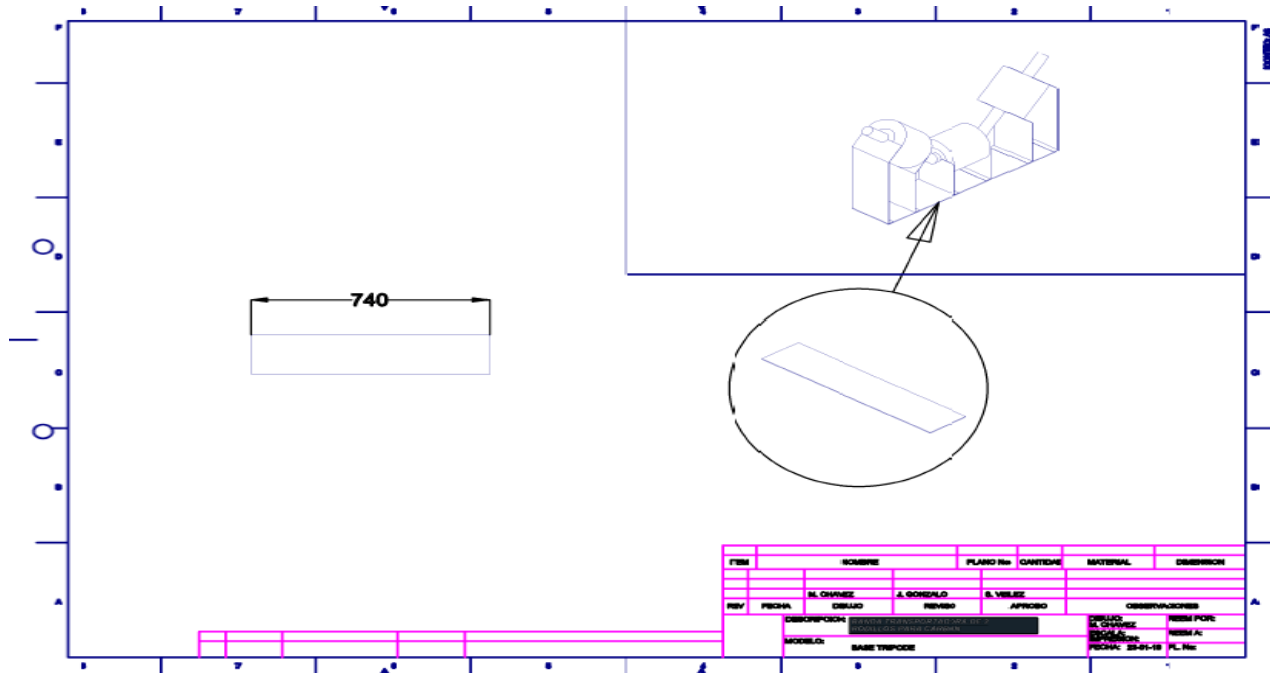


Figura 32. Plano detallado de la placa de soporte del sistema de rodillo.
Fuente: Propia.

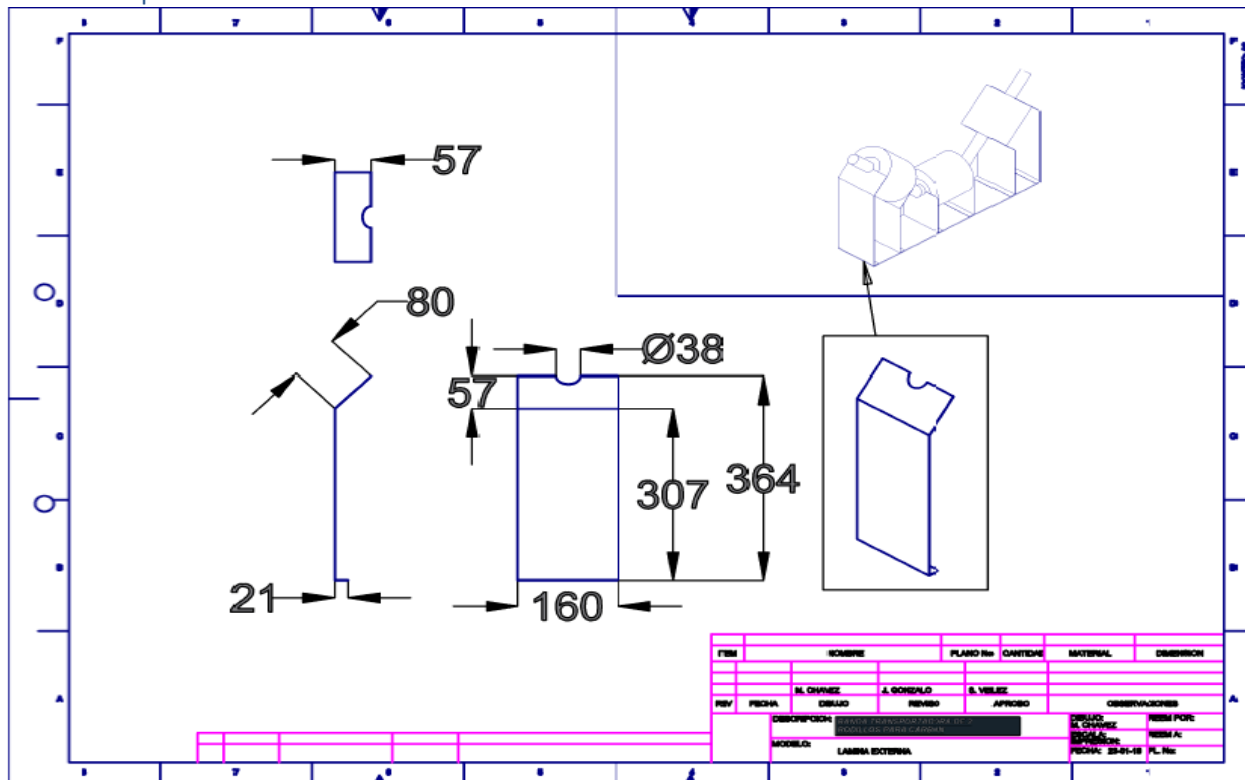


Figura 33. Plano detallado de las láminas verticales externas de soporte de los rodillos.
Fuente: Propia.

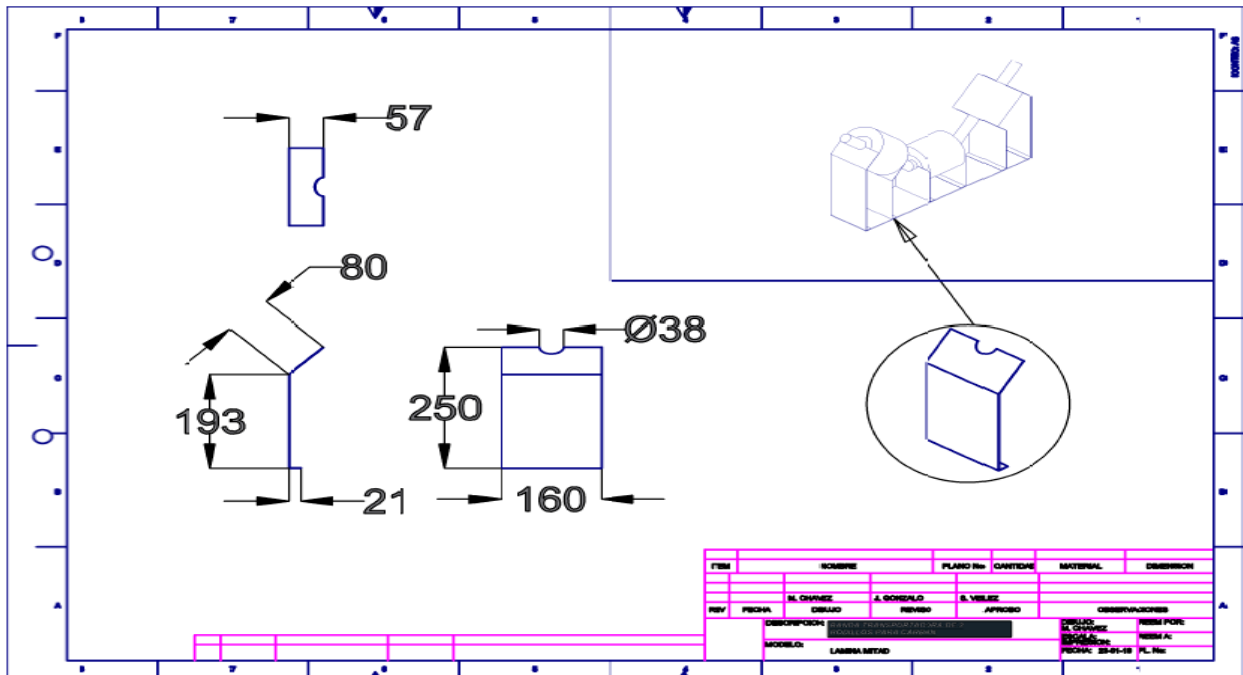


Figura 34. Plano detallado de las láminas verticales internas de soporte de los rodillos.
Fuente: Propia.

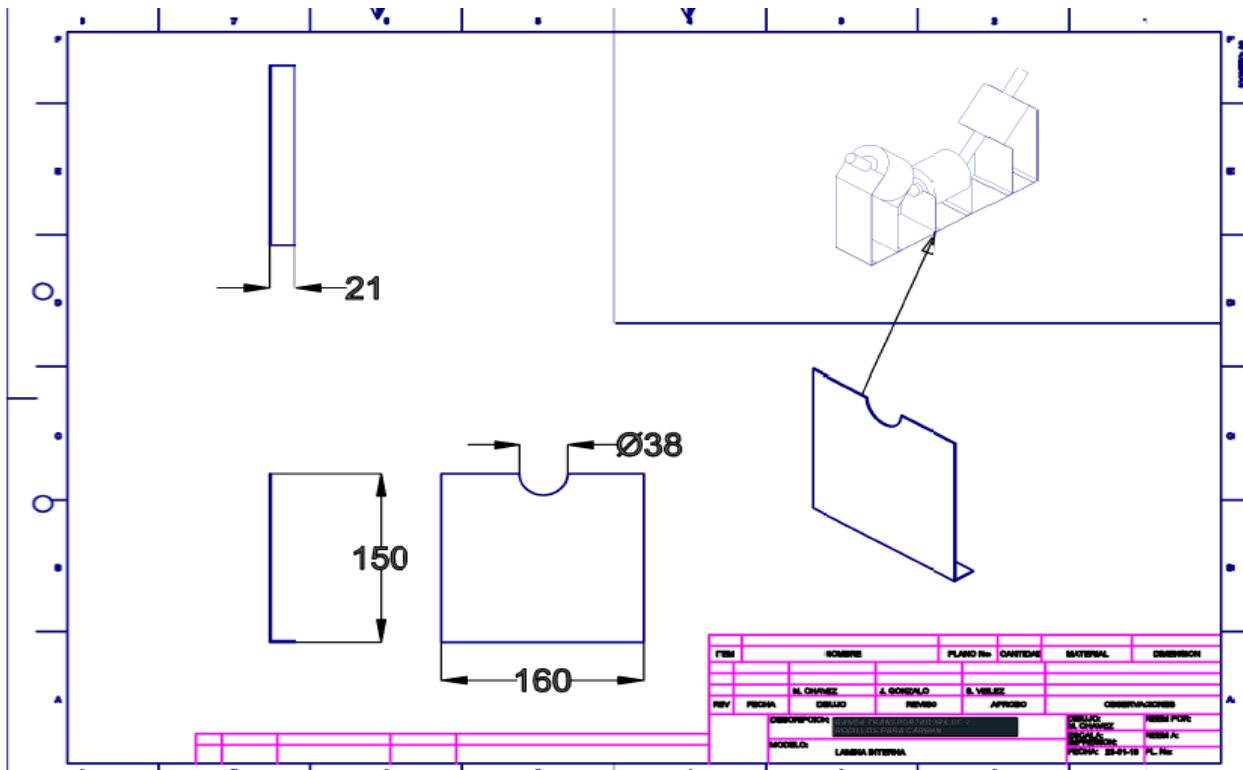


Figura 35. Plano detallado de las láminas verticales de soporte del rodillo principal
Fuente: Propia.

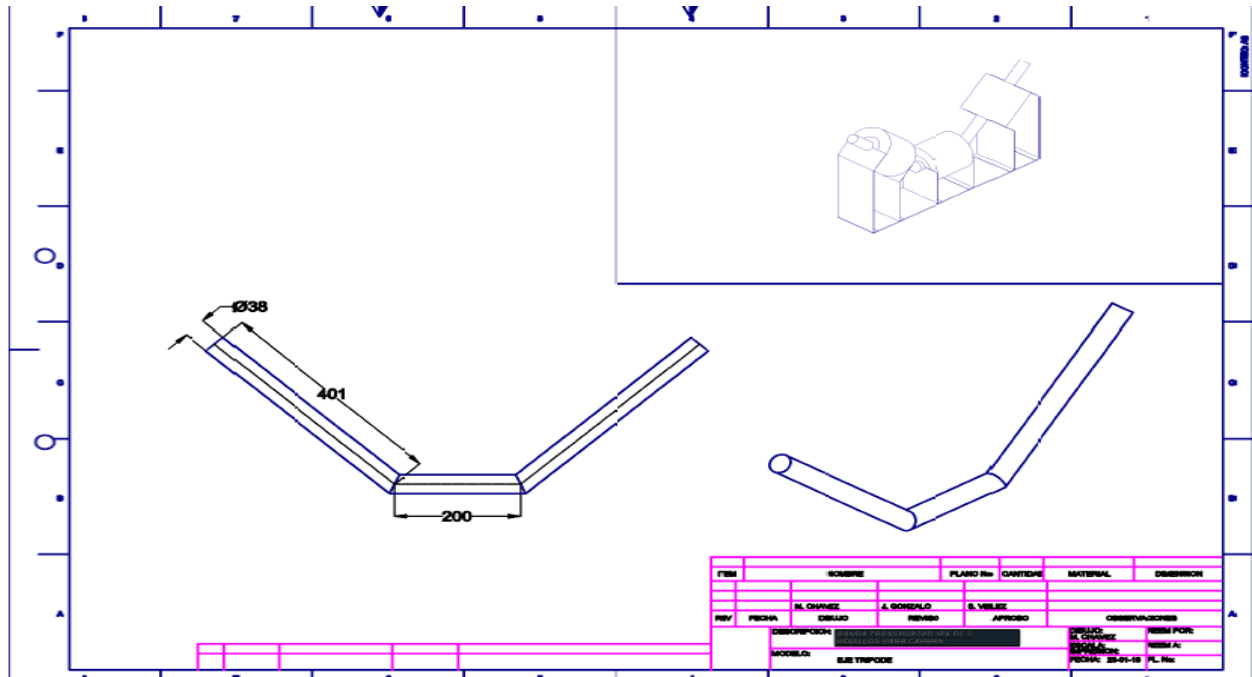


Figura 36. Plano detallado del eje de los rodillos de carga de la banda.
Fuente: Propia.

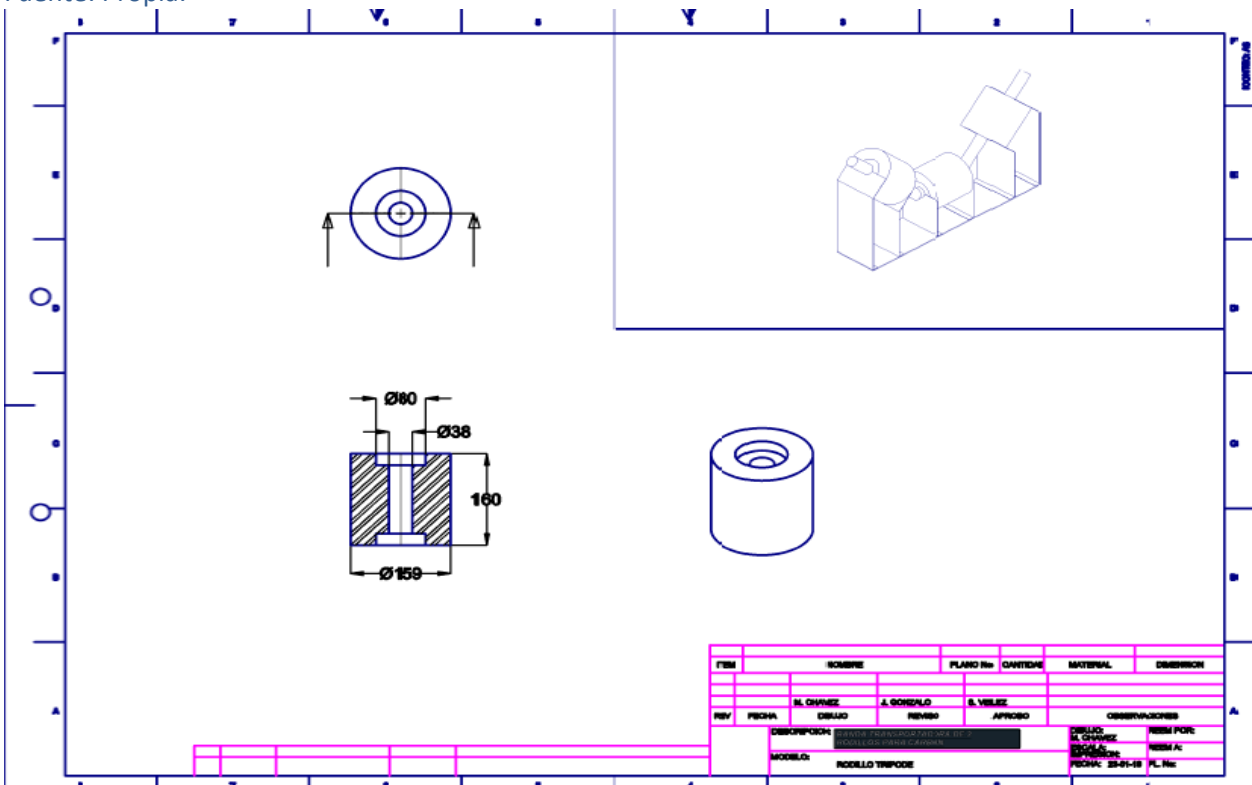


Figura 37. Plano detallado del orificio ocupado por el rodamiento en el sistema de banda.
Fuente: Propia.

FIRMA ESTUDIANTES _____

FIRMA ASESOR _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____