



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**PROPUESTA DE DISEÑO Y CÁLCULO PARA UNA BANDA
TRANSPORTADORA DE RODILLOS PARA PIEDRÍN**

Francisco Ernesto Alvarado Maldonado

Asesorado por el Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco

Guatemala, febrero de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE DISEÑO Y CÁLCULO PARA UNA BANDA
TRANSPORTADORA DE RODILLOS PARA PIEDRÍN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

FRANCISCO ERNESTO ALVARADO MALDONADO

ASESORADO POR EL ING. MILTON ALEXANDER FUENTES OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García (a.i.)
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Coronado Noj
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA DE DISEÑO Y CÁLCULO PARA UNA BANDA TRANSPORTADORA DE RODILLOS PARA PIEDRÍN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 17 de septiembre de 2014.


Francisco Ernesto Alvarado Maldonado

Guatemala 11 de noviembre de 2015

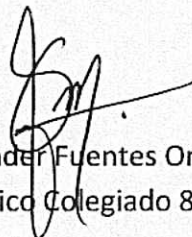
Ingeniero
Roberto Guzmán Ortiz
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director

Por este medio respetuosamente le informo, que he revisado el trabajo de graduación titulado **PROPUESTA DE DISEÑO Y CÁLCULO PARA UNA BANDA TRANSPORTADORA DE RODILLOS PARA PIEDRÍN**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Francisco Ernesto Alvarado Maldonado**, quien fué debidamente asesorado y supervisado y después de haber realizado las correcciones pertinentes considero que cumple con los objetivos

Por lo que habiendo cumplido con los requisitos necesarios extendiendo la aprobación del mismo como Asesor

Agradeciendo su atención me suscribo de usted



Milton Alexander Fuentes Orozco
INGENIERO MECANICO
COLEGIADO No. 8189

Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco
Ingeniero Mecánico Colegiado 8189
Asesor



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.354.2015

El Coordinador del Área de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE DISEÑO Y CÁLCULO PARA UNA BANDA TRANSPORTADORA DE RODILLOS PARA PIEDRÍN** del estudiante **Francisco Ernesto Alvarado Maldonado**, carné No. **9520558** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Álvaro Antonio Ávila Pinzón
Coordinador del Área de Diseño
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, noviembre de 2015



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.055.2016

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y con la aprobación del Coordinador del Área de Diseño del trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE DISEÑO Y CÁLCULO PARA UNA BANDA TRANSPORTADORA DE RODILLOS PARA PIEDRÍN** del estudiante **Francisco Ernesto Alvarado Maldonado**, carné No. **9520558** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, febrero de 2016

/aej



Ref. DTG.053.2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado **PROPUESTA DE DISEÑO Y CÁLCULO PARA UNA BANDA TRANSPORTADORA DE RODILLOS PARA PIEDRIN**, presentado por el estudiante universitario **Francisco Ernesto Alvarado Maldonado**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

907/02
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, febrero de 2016

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Guiarme por este camino y acompañarme en cada momento.
Mis padres	Vicente Alvarado y Zoila Maldonado de Alvarado, gracias por darme la vida y también la libertad.
Mis hermanos	Brenda Karina y Luis Alberto Alvarado Maldonado, gracias por su apoyo.
Mis hijos	Camila Andrea, Ana Berenice y Javier Estuardo, son los ángeles a mi vida.
Mis sobrinas	Luisa Fernanda y Daniela Sofía Jiménez Alvarado.
Mis tíos	José Luis Fuentes, Marta vda. de Fuentes, Enrique Galindo. Afuera hay un mundo por descubrir.
Jóvenes desgredados y desarrapados	Que con su dedo pulgar señalan el horizonte, no pude elegir mejor compañía para conocer el mundo.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
Facultad de Ingeniería	Albergarme en sus aulas.
Mis amigos de la Facultad	Gracias por acompañarme en esta etapa de mi vida, éxitos y para adelante siempre.
Empresas y profesionales	Por permitirme ser parte de su equipo de trabajo.
Soldadores, mecánicos, montadores y electricistas	Por compartirme su experiencia y sus conocimientos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. CONCEPTOS GENERALES.....	1
1.1. Banda transportadora.....	1
1.1.1. Funcionamiento	2
1.1.2. Partes de una banda transportadora	4
1.1.3. Tipos de banda transportadora.....	21
1.2. Transporte a granel	27
2. OBTENCIÓN Y CARÁCTERÍSTICAS DE LA GRAVA	29
2.1. Proceso de extracción	30
2.2. Propiedades físicas de los materiales	33
2.2.1. Ensayo de densidad	34
2.2.2. Ensayo de peso específico	35
2.3. Propiedades mecánicas	35
2.4. Granulometría.....	35
2.5. Aplicaciones	36
3. DIRECCIÓN DE TRABAJO.....	39
3.1. Horizontal	41

3.2.	Ascendente	43
3.3.	Descendente	44
3.4.	Combinadas	45
4.	CRITERIOS DE DISEÑO	47
4.1.	Trayectoria de la banda transportadora	47
4.2.	Ancho de la banda transportadora	50
4.3.	Velocidad de la banda transportadora.....	53
5.	PARÁMETROS Y CÁLCULOS DE LA BANDA TRANSPORTADORA...	55
5.1.	Capacidad máxima de transporte	55
5.2.	Fuerza de la banda	60
5.3.	Cálculo del peso de las partes móviles de la banda	64
5.4.	Potencias de la banda.....	72
5.5.	Tensiones de la banda.....	76
6.	SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA BANDA TRANSPORTADORA	93
6.1.	Selección de la banda transportadora.....	93
6.2.	Selección de los rodillos de carga y retorno.....	98
6.3.	Diseño y selección de tambores	104
6.4.	Diseño del sistema de alimentación de material	106
7.	COSTOS.....	109
7.1.	Costo de fabricación.....	109
	7.1.1. Costo de materiales	110
	7.1.2. Costo de equipo	110
	7.1.3. Costo de mano de obra.....	111
7.2.	Costos indirectos.....	112

8.	DISEÑO Y CÁLCULO	115
8.1.	Condiciones iniciales	115
8.2.	Cálculos.....	115
8.3.	Resumen de resultados.....	120
	CONCLUSIONES	121
	RECOMENDACIONES.....	123
	BIBLIOGRAFÍA.....	125
	APÉNDICES	127
	ANEXOS.....	129

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Vista frontal de la banda transportadora	5
2.	Cabezal motriz conjunto.....	7
3.	Forma en la que la banda entra en contacto con el rodo motriz	8
4.	Chumacera de pie.....	9
5.	Montaje de motor, reductor y relación de poleas	10
6.	Rodo de cola, conjunto.....	11
7.	Sistema de tensión en el rodo de cola	12
8.	Rodo de cola, tipo jaula de ardilla	13
9.	Elevación de rodos de carga a 30° de inclinación.....	15
10.	Rodo de carga con sistema de alineación.....	16
11.	Corte transversal mostrando la posición de un rodo de retorno.....	17
12.	Corte transversal de una banda transportadora	19
13.	Sistema tensor por medio de contrapeso.....	20
14.	Sistema tensor por tornillo o husillo	21
15.	Voladura de una cantera mediante explosivos controlados	31
16.	Trituradoras de piedra.....	31
17.	Proceso de trituración, clasificación y apilado según granulometría, por medio de criba y bandas transportadoras.....	32
18.	Explotación de un banco de grava en el cauce de un río.....	33
19.	Ángulo de reposo del piedrín 30°-40°	38
20.	Tipos de chevrones.....	40
21.	Banda con chevrones.....	41
22.	Esquema de posición de una banda horizontal.....	42

23.	Aplicación de banda en posición horizontal	42
24.	Esquema de posición de una banda ascendente con cabezal motriz en la parte superior	43
25.	Aplicación de banda en posición ascendente	44
26.	Esquema de posición de una banda descendente con cabezal motriz en la parte superior	45
27.	Esquema de una banda descendente combinada	46
28.	Esquema de una banda ascendente combinada	46
29.	Montaje mecánico, mediante grúa	49
30.	Accesos para mantenimiento	50
31.	Distribución del material en una banda de 3 rodillos de carga.....	57
32.	Distribución del material sobre 2 rodos de carga	57
33.	Distribución del material sobre un rodo de carga	58
34.	Coeficiente C de fricción por longitud de banda	63
35.	Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas sobre una banda transportadora inclinada	69
36.	Representación de fuerzas de tensión actuantes en el tambor motriz..	76
37.	Coeficiente de fricción tambor-banda y ángulo de contacto	79
38.	Relación de tensiones en rodo motriz.....	80
39.	Relación de tensiones en rodo tensor.....	81
40.	Representación de las tensiones	82
41.	Diagrama de cuerpo libre de las tensiones	82
42.	Diagrama de las tensiones sobre la banda	88
43.	Flecha o pando permitible de la banda	89
44.	Composición de banda transportadora	94

TABLAS

I.	Clasificación de las aplicaciones del pedrín según granulometría.....	36
II.	Ángulos y velocidades recomendadas	40
III.	Anchos de banda mínimos recomendados	52
IV.	Velocidad de banda máxima recomendada (m/s)	54
V.	Coefficiente de fricción (f) de las partes giratorias.....	62
VI.	Espaciamiento propuesto para distancias entre rodillos, según peso específico del material	65
VII.	Valores promedio del peso de los rodillos superiores e inferiores.....	66
VIII.	Valores promedio del peso de la banda transportadora	67
IX.	Eficiencias mecánicas de equipos reductores de velocidad.....	75
X.	Aplicación de bandas transportadoras	98
XI.	Clasificación de los rodillos según CEMA	99

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
θ	Ángulo de contacto entre el tambor y la banda (°)
φ	Ángulo de inclinación de la banda (°)
α	Ángulo de reposo del material (°)
β	Ángulo de sobrecarga del material (°)
F	Ancho de la cara del tambor (m)
b	Ancho útil de la banda (m)
B	Ancho útil de la carga de la banda (m)
A	Área de la sección transversal del material sobre la Banda (m)
C_d	Capacidad dinámica de carga (N)
Q_t	Capacidad máxima de la banda (ton/h)
Q_v	Capacidad volumétrica de la banda (m ³ /h)
M_{pm}	Carga de material por metro de banda (kg/m)
P_d	Carga dinámica equivalente (N)
C_{ro}	Carga sobre rodillos superiores (kg)
μ	Coefficiente de fricción entre el tambor y la banda (°)
m	Coefficiente de transmisión
d	Diámetro de los rodillos superiores (mm)
D	Diámetro de los tambores (m)
d_s	Diámetro del eje del tambor (mm)
H	Diferencia de alturas alimentación y descarga (m)
X	Distancia del avance de material sin acción de la gravedad (m).

B_c	Distancia entre apoyos
η	Eficiencia del motor
ε	Eficiencia del tipo de transmisión
s₂	Espaciamiento de los rodillos inferiores (m)
s₁	Espaciamiento de los rodillos superiores (m)
t_b	Espesor de la banda (m)
p	Exponente de la fórmula de vida normal
f	Factor de fricción de las partes móviles
C	Factor de fricción por longitud de banda
K	Factor de reducción de área por inclinación de banda
q	Flecha máxima permisible de la banda (m)
F_R	Fuerza aplicada sobre los rodamientos (N)
F_c	Fuerza centrífuga (kg/m)
F₃	Fuerza para elevar o bajar la carga (N)
F₁	Fuerza para mover la banda en vacío (N)
F₂	Fuerza para mover la carga horizontalmente (N)
L_t	Longitud total de la banda (m)
l	Longitud de las guías de carga (m)
L_i	Longitud total de los tramos inclinados (m)
E	Módulo de elasticidad de la banda (N/mm)
M	Momento flector (N mm)
N	Número de capas de carcasa
γ	Peso específico del material (ton/m ³)
W_b	Peso de la banda por unidad de área (kg/m ²)
G_{rb}	Peso de la banda por unidad de longitud (kg/m)
W_R	Peso de la carcasa (kg/m ²)
W_c	Peso de la cubierta (kg/m ²)
G	Peso de las partes móviles (kg/m)
G_{ro}	Peso de los rodillos superiores (Kg)

G_{ru}	Peso de los rodillos inferiores (kg)
$T_{u\%}$	Porcentaje de utilización de la tensión unitaria
P_s	Potencia adicional por guías de carga (kw)
P_m	Potencia del motor (kw)
P	Potencia teórica (kw)
L	Proyección horizontal de la longitud de la banda (m)
L_p	Proyección horizontal de los tramos inclinados (m)
T_{cp}	Tensión del contrapeso (N)
T_{ubanda}	Tensión de trabajo unitaria de la banda seleccionada (N/mm)
T_e	Tensión efectiva (N)
T_1	Tensión en el lado de carga (N)
T_2	Tensión en el lado inferior (N)
T_3	Tensión en el retorno (N)
T_o	Tensión mínima (N)
T_u	Tensión unitaria de trabajo (N/mm)
ω_{ro}	Velocidad angular de los rodillos (rpm)
v	Velocidad de la banda (m/s)

GLOSARIO

Actividad	Es todo tipo de movimiento corporal que realiza el ser humano durante un determinado periodo de tiempo.
Bastidor	Armazón de madera o metal que sirve de soporte a otros elementos .
Empotramiento	Apoyo o unión de un extremo de una pieza de madera o hierro en un hueco de un elemento estructural para fijarla, impidiendo el giro, traslación y deslizamiento de la pieza.
Flexibilidad	Capacidad para realizar movimientos amplios y a diferencia de otras características que tienen los elementos estructurales.
Longitud efectiva	Longitud que puede llegar a medir un parál con una determinada carga crítica.
Mecanismo	Conjunto de elementos rígidos, móviles unos respecto a otros, unidos entre sí mediante diferentes tipos de uniones, llamadas pares cinemáticas (pernos, uniones de contacto, pasadores, entre otros).

Montaje	Ordenación rítmica de los elementos. Consiste en escoger, ordenar y unir una selección de planos registrados, según una idea y una dinámica determinada.
Potencia	La cantidad de trabajo realizado en un determinado tiempo.
Sistema mecánico	Sistema en que la única energía participante es la mecánica.
Vida útil	Tiempo que permite que el equipo pueda estar en funcionamiento en condiciones adecuadas, esta puede disminuir dependiendo del mantenimiento que se le dé al equipo.

RESUMEN

Las necesidades de la industria, el manejo de materiales a granel se constituyen como una parte fundamental dentro del proceso de producción. Los requerimientos de grandes volúmenes de producción, ha hecho que las bandas transportadoras continuas se constituyan en los elementos más adecuados para transportar materiales a granel, principalmente cuando se trata de grandes distancias y tonelajes.

En el presente trabajo de graduación se presenta una herramienta para desarrollar una banda transportadora para pedrín. En los primeros capítulos se describen las generalidades y los equipos que componen una banda transportadora de rodillos, los parámetros de diseño, tales como material a transportar, capacidad requerida, perfil de la trayectoria del transportador, ancho, velocidad de la banda; luego se consideran los parámetros calculados, o resultados, capacidad máxima de transporte, fuerzas, potencias y tensiones en la banda.

Con base en estos cálculos se procede a la selección y diseño de los diferentes elementos constitutivos de la banda transportadora.

OBJETIVOS

General

Proponer el diseño y cálculo de una banda transportadora de rodillos para piedrín.

Específicos

1. Conocer la versatilidad de una banda transportadora.
2. Crear un diseño óptimo para las necesidades de producción.

INTRODUCCIÓN

Los transportadores de banda se han constituido en el medio más indicado para el transporte de materiales a granel. Especialmente cuando se requieren grandes capacidades de transporte, y en mayores longitudes, el campo de aplicación de este equipo es muy amplio en la industria y su incidencia en los costos de producción es considerable, por lo tanto se presenta el método analítico para el diseño, cálculo y selección de la banda como ayuda al ingeniero o diseñador.

Luego de una descripción completa del funcionamiento, componentes, clasificación, aplicación y características técnicas de las bandas transportadoras, se analizan los parámetros técnicos principales requeridos para el diseño del sistema, tanto así como los calculados.

1. CONCEPTOS GENERALES

1.1. Banda transportadora

Los transportadores de banda se enmarcan dentro de la clasificación de los tipos de transporte, conocidos como transportadores continuos, los cuales tienen una estructura constructiva simple y de gran adaptabilidad. La principal característica de estos es el flujo continuo del material a transportar a lo largo de una vía determinada e invariable con la entrega del material durante el movimiento.

Las bandas transportadoras pueden trasladar material sólido desde unos pocos metros hasta kilómetros. Existen bandas transportadoras de hasta 100 km de longitud.

Los tipos de bandas transportadoras están estandarizados según una serie de normas de unificación que, fijando las características esenciales de las partes constructivas, ofrecen al usuario una garantía de calidad y establecen los métodos para controlar dichas características. Esto proporciona, también, un criterio de comprobación en el plano técnicocomercial de los varios tipos de banda.

Las ventajas básicas de los transportadores de banda sobre los otros medios de transporte son numerosas, entre ellas se pueden mencionar las siguientes:

- Capacidad
- Adaptación al perfil del terreno
- Sistema de apoyo de la banda
- Mínima degradación del material
- Consideraciones ambientales
- Mínimo de trabajo
- Peso liviano de la estructura del transportador
- Posibilidad de múltiples puntos de alimentación y descarga
- Movilidad y extensibilidad
- Bajo requerimiento de potencia
- Versatilidad en las fuentes de poder
- Control
- Detección temprana de fallas
- Seguridad
- Sencilla protección de la intemperie

La selección correcta de una banda transportadora, es aquella que resulta en los costos más bajos por tonelada de material transportado.

1.1.1. Funcionamiento

Existen bandas transportadoras para uso ligero y pesado. La banda es arrastrada por fricción por uno de los dos tambores, que a su vez es accionado por un motor. El otro tambor suele girar libre, sin ningún tipo de accionamiento y su función es servir de retorno a la banda. La banda es soportada por rodillos entre los dos tambores.

Debido al movimiento de la banda, el material depositado sobre ella es transportado hacia el tambor de accionamiento donde la banda gira y da la vuelta en sentido contrario. En esta zona el material depositado sobre la banda es vertido fuera de la misma debido a la acción de la gravedad.

Los sistemas de bandas transportadoras se emplean cuando los materiales deben ser desplazados en cantidades relativamente grandes entre posiciones específicas de un rutado fijo. La mayoría de estos sistemas son impulsados mecánicamente; algunos emplean la gravedad para trasladar la carga entre puntos de diferente altura.

Estos sistemas comparten los siguientes atributos:

- Generalmente son mecanizados y a veces automatizados.
- Ocupan posiciones fijas, estableciendo las rutas.
- Pueden estar montados sobre el suelo o suspendidos del techo.
- Casi siempre están limitados a un flujo unidireccional de materiales.
- Generalmente mueven cargas discretas, aunque algunos están preparados para cargas voluminosas o continuas.
- Pueden emplearse solo para transporte o para almacenamiento automático de elementos.

Una característica común de las bandas transportadoras es que el mecanismo de avance está construido sobre el mismo camino de la banda. Los elementos transportadores individuales (si se usan carritos u otros receptáculos), no son impulsados individualmente.

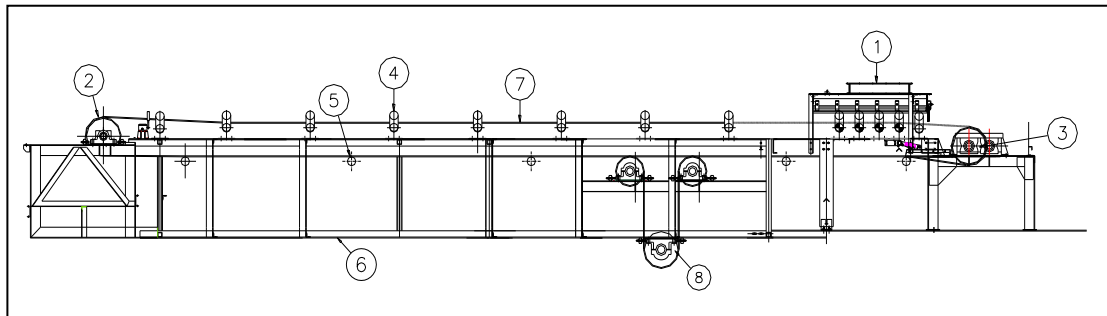
1.1.2. Partes de una banda transportadora

Para el correcto funcionamiento de una banda transportadora es indispensable que todos los componentes del sistema de transporte, tanto los estructurales como los no estructurales sean perfectamente analizados.

Teniendo en cuenta que se comportan como una unidad y que los valores de cada uno de ellos sumados, determinarán el esfuerzo al que la banda será sometida. Será preciso examinar cada uno de estos componentes para ver cómo afectan cada uno de ellos a la correa.

- Los componentes estructurales se muestran en la figura 1.
 - Alimentación (1)
 - Cabezal motriz (2)
 - Cabezal de retorno (3)
 - Rodillos superiores (4)
 - Rodillos inferiores (5)
 - Bastidor de soporte (6)
 - Banda transportadora (7)
 - Sistema tensor (8)
 - Rodo de carga de alineamiento
 - Rodo de retorno de alineamiento

Figura 1. **Vista frontal de la banda transportadora**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2013.

- Alimentación de la banda

Una correcta selección de la forma de depositar la carga sobre la correa, asegura un prolongamiento de la vida de la misma; ya que es en esta zona de carga donde la correa sufre los mayores problemas de desgaste y sobre esfuerzo.

Normalmente la transferencia del material transportado hacia la correa se realiza a través de lo que se conoce como tolva de carga, para el diseño de la misma y de todos los elementos del sistema que intervienen.

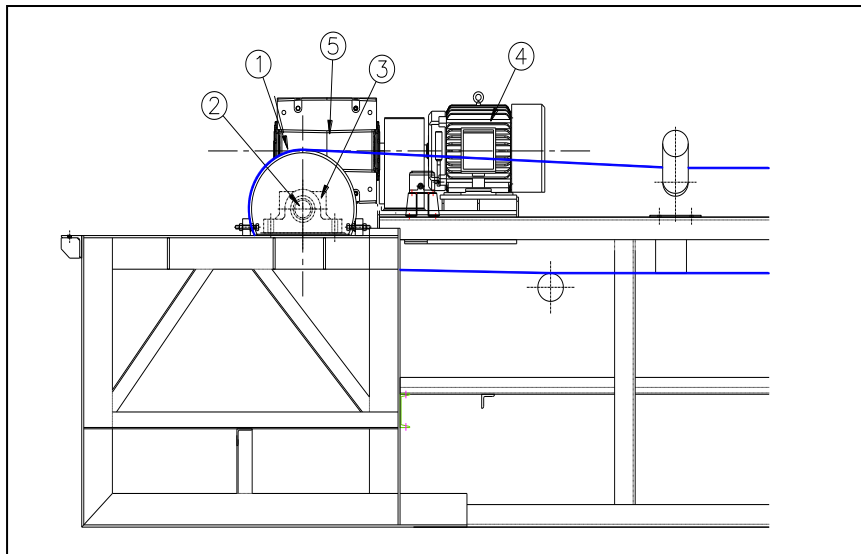
- Que el material transportado entre en contacto con la correa en la misma dirección de marcha y a la misma velocidad que aquella, evitando desgastes prematuros. Reducir al mínimo la altura de caída del material sobre la correa, para evitar daños prematuros en la cobertura de la misma.

- Que el material transportado se deposite en forma centrada sobre la correa, para que la misma no se vea sometida a esfuerzos laterales que ocasionan desgaste y no tienda a desviarse lateralmente, ya que ocasiona problemas serios de alineamiento.
 - Es recomendable el uso de faldones laterales tomados de la estructura metálica de la tolva y en contacto con la correa para aquellos casos de materiales de granulometría fina (hasta 25 mm). Estos faldones deben ser de caucho, sin inserciones de tela con espesores que oscilan entre los 5 a 10 mm. Los mismos deben ser regulables en cuanto a su acercamiento o alejamiento de la correa para ir compensando desgastes. El largo de estos faldones o guías laterales va a depender de la velocidad de alimentación y del plano de operación del transportador, como regla general, para transportadores horizontales se toma un largo equivalente a la distancia que recorre la correa en 1.4 a 1.6 segundos.
 - Para transportes inclinados el largo de la guía debe ser mayor como así también para aquellos casos donde la velocidad de caída del material sea menor a la velocidad de la correa. También como regla general puede decirse que las guías deben llegar hasta el punto donde la velocidad de la carga y la de la correa se igualen.
- Cabezal motriz

Es el conjunto de componentes mecánicos en donde se acopla el equipo propulsor del movimiento y transmisión mecánica, hacia la banda transportadora, este conjunto lo conforman:

- Tambor motriz (1)
- Eje de tambor (2)
- Rodamientos (3)
- Motor (4)
- Sistema de transmisión de potencia (moto reductor) (5)

Figura 2. **Cabezal motriz conjunto**



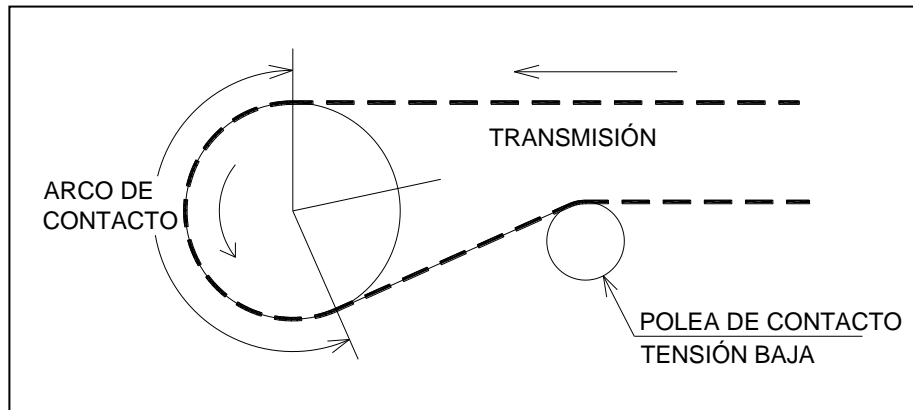
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2013.

El tambor motriz es el que estará en contacto directo con la banda, el movimiento será transmitido mediante la fricción entre la correa y el tambor, este girará sobre un eje que estará atrapado entre dos chumaceras de pie, que se encontraran ancladas en la estructura metálica o bastidor del cabezal, en uno de los extremos.

El eje estará acoplado con la caja reductora o motoreductor, en algunas ocasiones este equipo estará acoplado directamente al motor eléctrico.

Para que la transmisión del tambor a la banda transportadora sea eficiente, se tratará que ambas estén en contacto en la mayor cantidad del área de la superficie del tambor. Asimismo, la superficie del tambor tendrá un recubrimiento o forro de caucho u otros elementos de gran adherencia y evitar el deslizamiento.

Figura 3. **Forma en la que la banda entra en contacto con el rodamiento**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2013.

- Eje de tambor

Sobre este eje girará el tambor motriz, será fabricado en un acero con un alto grado de tenacidad, estará sometido a un esfuerzo de torsión, debido a que es el que transmite el giro del reductor hacia el tambor.

- Rodamientos

Los rodamientos estarán montados sobre cajuelas acondicionadas para sujetarlos (chumaceras), estas se colocan a cada lado del eje, apoyados sobre la estructura metálica o bastidor del cabezal motriz, tendrán que ser de fácil acceso para el personal de mantenimiento y lubricación. Regularmente se utilizan chumaceras de pie o de pedestal. La chumacera tendrá en su interior rodamientos de bolas, ya que está trabajando con una carga axial.

Figura 4. **Chumacera de pie**



Fuente: cantera, Planta San Miguel, Cementos Progreso. 5 de junio de 2015.

- Motor

Este será el encargado de generar el movimiento del cabezal motriz, puede ser un motor de combustión interna o un motor eléctrico, este tiene que poseer un torque bastante alto para mover la banda transportadora con su mayor capacidad de carga.

- Sistema de transmisión de potencia (motoreductor)

Es el equipo encargado de controlar la velocidad de giro del tambor motriz, de la banda transportadora, el equipo está compuesto por una caja de engranajes, en los cuales también se incrementa el torque que se imprime en la banda. Tiene un lado de entrada (donde se conecta el motor) y una salida (donde se conecta el eje del tambor).

En algunos casos, si las velocidades no coinciden con los cálculos, se hace una relación de diámetros de poleas en el lado de entrada, entre el motor y el motoreductor.

Figura 5. **Montaje de motor, reductor y relación de poleas**



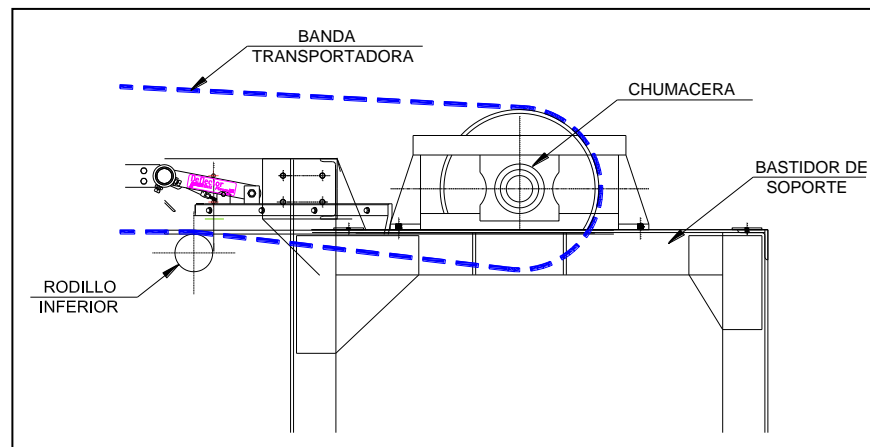
Fuente: cantera, Planta San Miguel, Cementos Progreso. 5 de junio de 2015.

- Cabezal de retorno

Este cabezal tiene por función definir el punto de retorno de la banda transportadora, la banda inicia su trayectoria en sentido contrario y pasa nuevamente por el cabezal motriz.

Dependiendo de la longitud de la banda transportadora, en este punto se puede usar de tensor. Al colocarle chumaceras con corredera o de husillo, este es un mecanismo sin tracción, lo cual significa que no tiene ningún mecanismo que indique o restrinja el sentido de giro.

Figura 6. **Rodo de cola, conjunto**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2013.

- Tambor de retorno

Es el que estará en contacto con la banda transportadora con el fin de hacerle un cambio en la dirección de giro, regularmente es un equipo que no tiene un contacto permanente con la banda, hay varias formas de construcción, la más común es la denominada jaula de ardilla.

Para algunos casos, en este punto se aplica el sistema de tensión, el cual se aplica con el montaje de las chumaceras unidas a una barra roscada, la cual al girarse hace que las chumaceras se desplacen sobre el bastidor o estructura de soporte. Cuando la banda tiene un equipo de tensión por contrapeso, este rodo es fijo.

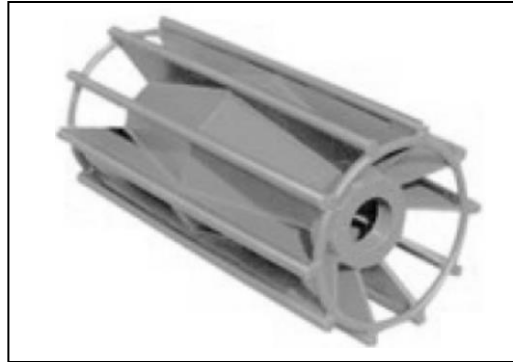
Este tambor no tiene sentido de giro, es loco, la banda es la que indica hacia donde gira y la velocidad a la que lo hará.

Figura 7. **Sistema de tensión en el rodo de cola**



Fuente: cantera, Planta San Miguel, Cementos Progreso. 5 de junio de 2015.

Figura 8. **Rodo de cola, tipo jaula de ardilla**



Fuente: CONTITECH, *Manual de ingeniería de bandas transportadoras*. p. 18.
25 de junio de 2015.

- **Chumaceras**

Son las cajuelas donde se encuentran los rodamientos, estas están ubicadas a cada extremo del eje del rodo de cola, existen diferentes tipos de chumaceras, dependerá del diseño de la banda transportadora en su conjunto, si se aplica un sistema de tensión o si son fijas sobre el bastidor.

Este punto tiene que tener un acceso al personal, para poder lubricarse y realizar inspecciones periódicas del mantenimiento.

- **Bastidor de soporte**

Es la estructura metálica sobre la cual será montado el equipo mecánico.

- Rodillos superiores

Este componente tendrá contacto directo con la banda transportadora son los que brindarán soporte y rigidez a la banda, colocados perpendicularmente al desplazamiento de la banda, soportan directamente el peso del material. Sus dimensiones dependerán del ancho de la banda transportadora y del material que será transportado.

En el punto de alimentación se colocan rodillos de impacto, los cuales son de un material más flexible para soportar la carga directa del material en un volumen mayor, tomando en cuenta la velocidad a la que el material será colocado en la banda.

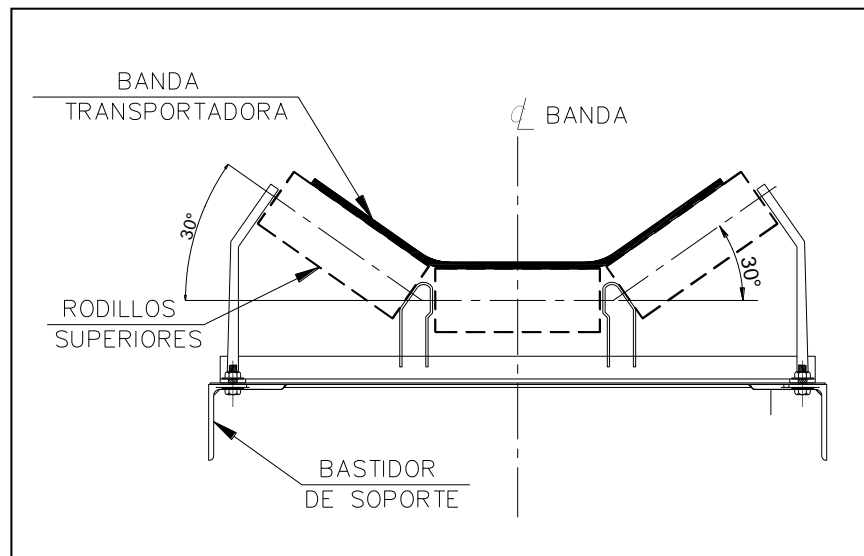
El diámetro de los mismos, como también su separación, obedecerán a las características del material transportado. Para el transporte de materiales a granel se utilizan los rodillos de sustentación formando artesa, la cual se define como un grupo de rodillos (2 o 3) con sus respectivos ejes en el mismo plano vertical. Se define como ángulo de artesa o abarquillamiento al que existe entre cada uno de los rodillos inclinados y la horizontal.

En el caso de los grupos de 2 rodillos, ambos se encuentran inclinados brindando una configuración en "V". Con los grupos de 3 rodillos, el central permanece horizontal y los laterales inclinados, brindando una configuración tipo canaleta que, entre otras ventajas, ofrece la de prácticamente doblar la capacidad de transporte.

Existen ciertos criterios para su elección: resistencia, capacidad de carga, estanqueidad, fricción, entre otros.

En los transportadores abarquillados la correa debe poseer la suficiente rigidez transversal como para soportar la carga sin que la misma fuerce a la correa sobre la unión de los rodillos, de no ser así se produce una flexión de la correa sobre un pequeño radio, creándose una línea a lo largo de la misma que es permanentemente flexionada y provoca un rápido deterioro, llegando incluso a producir un corte longitudinal en la correa. Mientras mayor es el ángulo de abarquillamiento, mayor será el esfuerzo de flexión que debe soportar la correa.

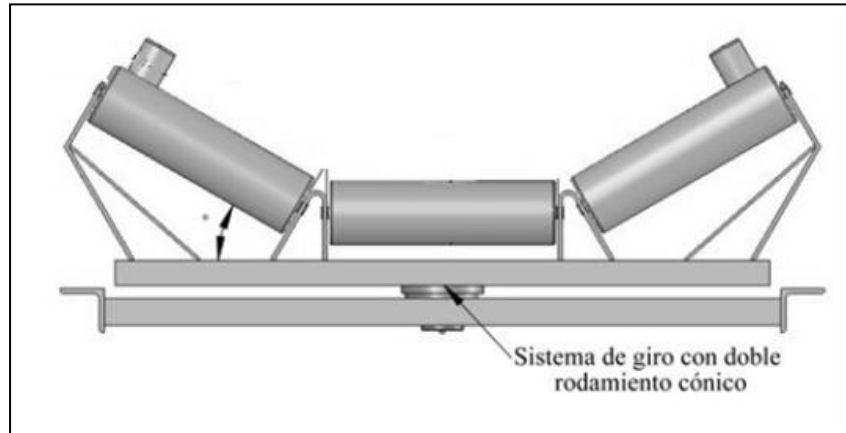
Figura 9. **Elevación de rodos de carga a 30° de inclinación**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2013.

Durante el trayecto de la banda transportadora, está expuesta a la desalineación, sin embargo, existen equipos que cuentan con accesorios cuyo objetivo es alinearla, estos equipos cumplen los 2 fines, el de ser rodo superior y alinear la banda.

Figura 10. **Rodo de carga con sistema de alineación**



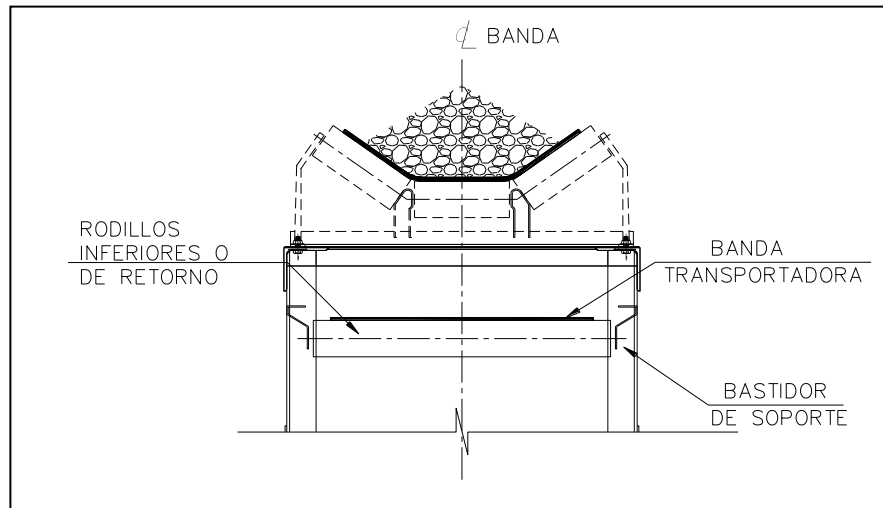
Fuente: CONTITECH *Manual de ingeniería para bandas transportadoras*. p 35.
25 de junio de 2015.

- **Rodillos inferiores**

Son los encargados de llevar la banda transportadora, sin material de regreso al punto inicial para su carga, estos son planos, con una longitud mayor al ancho de la banda transportadora, están anclados al bastidor o estructura metálica.

Durante la trayectoria de regreso, puede llevarse a cabo el proceso de auto alineado, el cual consistirá en colocar un rodo, colgado de su parte central, hará un movimiento giratorio en el cual alinea la banda.

Figura 11. **Corte transversal mostrando la posición de un rodo de retorno**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2013.

- Bastidor de soporte

Este consistirá en una estructura metálica capaz de resistir todos los esfuerzos y deformaciones a las que estará expuesta; la estructura metálica debe ser diseñada, calculada y cuantificada por un especialista en el tema, no existe un estándar, ya que esto dependerá de muchas variables tales como: material, longitud, aplicación, entre otros.

Se hace referencia en este tema, ya que es el alma o soporte de la banda y el equipo, en este mismo se soporta los pasillos y pasarelas, tomando en cuenta que se tiene que tener acceso a los diferentes puntos para lubricar y dar el mantenimiento adecuado.

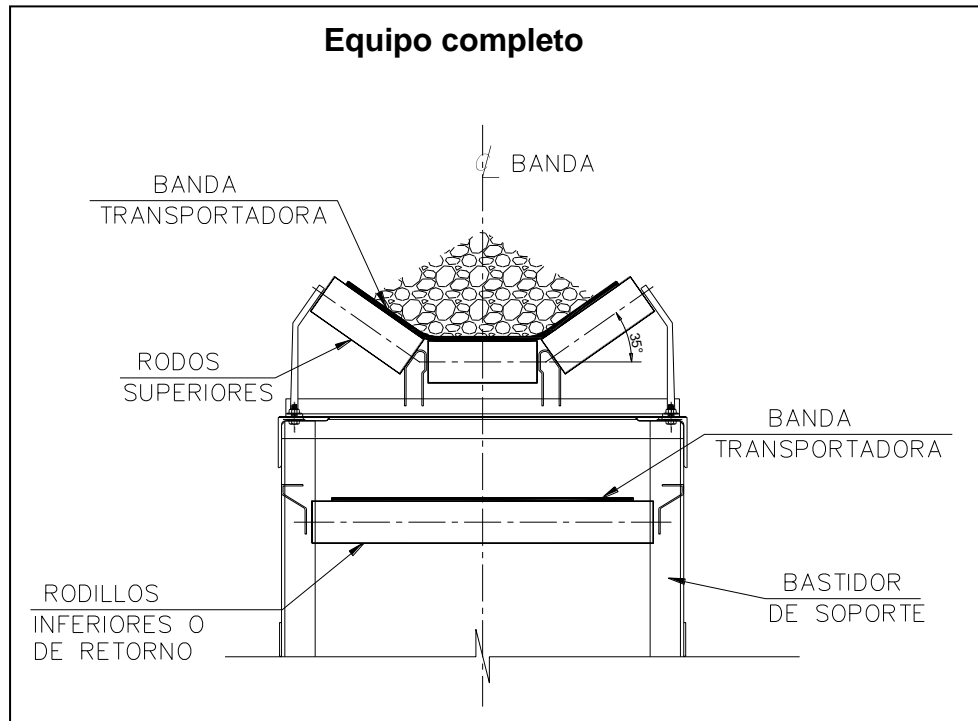
- Banda transportadora

Es el vehículo que entra en contacto directo entre el material y los elementos mecánicos que harán funcionar el equipo. y que cumple con el objetivo de desplazar el material de un punto a otro. La banda transportadora es esencialmente un tejido textil y caucho.

Mecánicamente es donde se absorben las fuerzas de tracción que se generan.

Ser flexible para adaptarse a la forma del transporte, lo suficientemente ancha como para transportar la cantidad de material deseado, poseer una resistencia adecuada para sostener la carga y la tensión que se le aplica a la misma. Pueden ser de goma o de tela (estas últimas suelen ser impregnadas con un material a prueba de agua).

Figura 12. **Corte transversal de una banda transportadora**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2013.

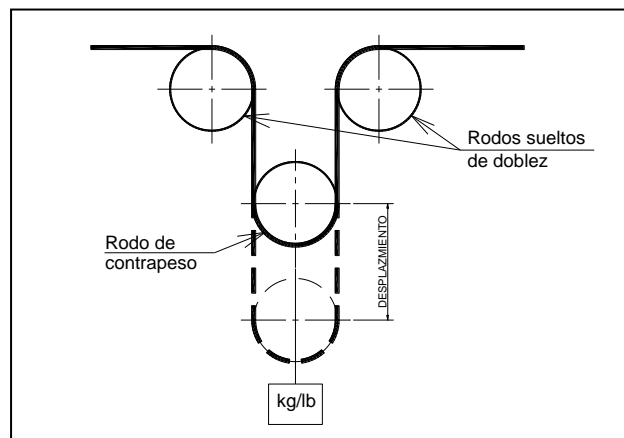
- Tambor de estiramiento (tensor)

En el caso de los sistemas de transporte pesado y grandes distancias entre centros es requerido un punto de tensión mediante un contrapeso. Toda correa posee un coeficiente de estiramiento inelástico, inherente a la misma y que debe venir indicado por el fabricante. Este estiramiento debe ser absorbido por el estirador para poder compensarlo, mientras más larga es la correa, mayor será el recorrido del estirador para compensarlo, si no se compensa la correa pierde tensado y se corre serio riesgo de deslizamiento. Por lógica, poseen mucho mayor recorrido los estiradores automáticos o por gravedad.

No obstante, siempre debe dimensionarse tanto el recorrido necesario como también calcularse el peso del contrapeso del sistema estirador para lograr su cometido.

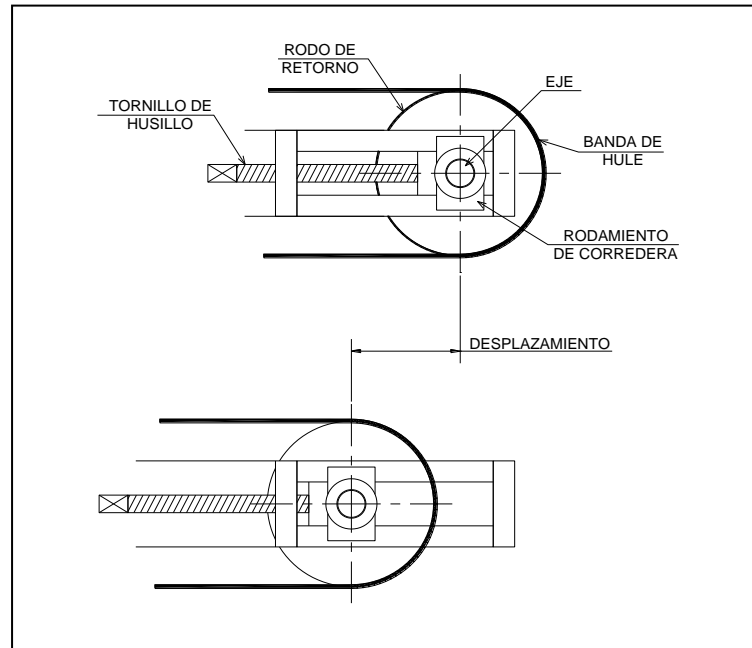
Es el tambor de estiramiento el que soporta el contrapeso sobre su eje, el sistema consta además de otros dos tambores fijos, denominados de desvío, que son los que encausan a la correa para la entrada y la salida del sistema. El lugar de ubicación de este tipo de estiradores automáticos dentro de un sistema de transporte de correas, es en un punto normalmente más cercano al tambor de accionamiento y sobre el tramo de retorno.

Figura 13. **Sistema tensor por medio de contrapeso**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2013.

Figura 14. **Sistema tensor por tornillo o husillo**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2013.

Para las bandas transportadoras de servicio liviano, cuyo material sea de baja densidad o que la distancia entre centros sea pequeña, el cabezal de retorno es el que utiliza el procedimiento de tensor de tornillo.

Este consiste en que el eje del tambor de retorno es sujetado por chumaceras de desplazamiento de tornillo, en ambos extremos.

1.1.3. Tipos de banda transportadora

Se pueden establecer diferentes clasificaciones, dependiendo de muchos puntos de referencia, sin embargo, el punto más estable es su punto de apoyo o cimentación.

Por su sistema de apoyo pueden ser:

- Bandas fijas
- Bandas semifijas
- Bandas móviles sobre rodajes

Bandas fijas:

Son las que permanecen durante mucho tiempo en posición invariable, con apoyos fijos, normalmente de concreto, que están enterrados en el suelo y no cambian de posición.

Bandas semifijas:

Son trasladadas con cierta frecuencia suelen tener dados prefabricados de hormigón, que permiten su apoyo directamente sobre el terreno y pueden transportarse conjuntamente con la máquina para su rápido montaje posterior. Deben cumplir determinados requisitos específicos:

- Bandas fácilmente montables y desmontables, con articulaciones en el bastidor para su plegado.
- Unión de los pies con bulonado.
- Luces entre apoyos no muy reducidas, para disminuir coste de cimentaciones.
- Moduladas para permitir ampliaciones o reducciones de longitud.

Bandas móviles sobre rodajes:

Presentan la particularidad de tener un tren de rodaje delantero que permite su arrastre tirando de la cola trasera.

Existen bandas muy ligeras, construidas en perfiles tubulares y bandas pesadas con perfiles de acero laminado en caliente. El campo de aplicación de estas bandas está entre los 8 y 32 metros.

Normalmente estas bandas pueden modificar su inclinación mediante cilindros hidráulicos que levantan el bastidor de la banda, apoyándose en la estructura metálica que soporta el tren de neumáticos.

Las bandas pueden ser:

- Giratorias (*stakers*)
- Ripables
- Con ripper
- Elevadoras flexowell
- De sección tubular
- Para tuneladoras
- Con curvatura cóncava o convexa
- Reversibles
- Desplazables
- Atirantadas
- Con inclinación variable
- Con curvas horizontales

Bandas giratorias:

Constituyen una variante de las bandas móviles sobre neumáticos, donde el tren de rodaje se coloca perpendicularmente al eje de la cinta para describir un círculo respecto al punto trasero, en donde se encuentra anclada la cola de la cinta.

Sirven para efectuar acopios en forma circular con un elevado volumen de almacenaje.

Bandas ripables:

El término ripable proviene del verbo inglés *to ripple* que significa “rizar, ondear la superficie”. Son, por lo tanto, bandas que tratan de adaptarse a un terreno suave siguiendo el trazado de su perfil longitudinal. Constan de los siguientes elementos:

- Elemento de cabeza con su accionamiento motorizado.
- Elemento de cola con el sistema de tensión, elementos intermedios que van directamente sobre el terreno sobre patines, pueden ser independientes, de 2 o 3 m de longitud con una separación de 1 m, o estar todos unidos mediante largueros atornillados.

Bandas con tripper:

Son bandas horizontales colocadas a una altura elevada y que llevan un carro desplazable motorizado que puede recorrer la cinta en toda su longitud, realizando el vertido del material de la cinta en el punto donde se sitúa el carro.

Este sistema de descarga se usa para la formación de parques de materiales (arena, carbón, fertilizantes, entre otros).

El tripper tiene un tambor motriz, unos tambores de reenvío y una canaleta para descargar el material en el punto deseado. La canaleta suele tener un *by-pass* para realizar el vertido a la izquierda o a la derecha de la cinta. En sustitución de la canaleta se puede colocar una cinta transversal reversible, con lo cual el acopio es mayor.

Bandas elevadores flexowell:

Son bandas basadas en el empleo de una banda especial llamada *flexowell*. Se trata de una banda con laterales de hasta 600/700 mm compartimentada con grúa transversal formando cajones continuos cerrados, equivalen a un elevador de cangilones, pero con banda continua.

Tiene un tramo corto horizontal que recibe el material, un tramo vertical largo y otro horizontal corto en la parte superior de la máquina en donde se realiza el vertido. Están especialmente indicadas para:

- Producciones altas
- Granulometrías gruesas
- Inclinaciones hasta de 90°

Bandas de sección tubular:

Son similares a las convencionales con la misma cabeza motriz y de tensado, carga y descarga, pero que logran que la banda tome la forma circular utilizando unos rodillos colocados en hexágono. La transición de banda plana a tubo se consigue con una transición del orden de 25 veces el diámetro del tubo.

Son especialmente útiles porque:

- Admiten inclinaciones de 30° con bandas lisas.
- El material se transporta cerrado sin contaminación ambiental.
- Permiten radios en el plano horizontal de hasta 50 m y en el plano vertical hasta 30 veces el diámetro del tubo.
- Se adaptan bien a recorridos largos.

Bandas para tuneladoras:

A raíz del desarrollo de las tuneladoras para obras subterráneas del metro, carreteras y ferrocarriles, se han desarrollado aplicaciones específicas de bandas, que se colocan detrás de la cabeza de perforación para transportar el material del frente de explotación hasta el punto deseado.

En general, detrás de la tuneladora se colocan unas vagonetas (*back-up*) con una cinta transportadora fija que puede alimentar a una o varias bandas transportadoras sobre ruedas para circular sobre raíles. Si el túnel es muy largo la cinta sobre *back-up* alimentará a una locomotora con sus correspondientes vagones de carga y descarga.

Pueden tener producciones de 800 a 1 000 T/h, deben ir a velocidades altas, 2,2/2,5 m/seg., e incorporar en cabeza una cinta transversal para realizar el vertido del producto de la excavación a un foso longitudinal colocado a la salida del túnel.

Otras bandas:

Puesto que las bandas son elementos que se diseñan para cada necesidad concreta, existen multitud de modificaciones sobre las bandas estándar que permiten cumplir los objetivos de cada transporte. A continuación se enumeran algunas de ellas:

- Con curvatura cóncava o convexa en el perfil longitudinal, para salvar un determinado obstáculo.
- Reversibles: que permiten que la banda circule en una dirección o en la contraria.
- Desplazables: que se mueven sobre raíles con un sistema motorizado.
- Con voladizos atirantados: para eliminar los pies de apoyo bajo la cabeza de la cinta, dejando libre el espacio correspondiente.
- Con inclinación variable: estas bandas pueden ser hidráulicas, atirantadas con una rótula de giro en el punto trasero, entre otros; tiene por objetivo hacer acopios a distintas alturas para evitar la rotura del material por caída, la segregación del material.
- De gran longitud con curvas horizontales: cuyas estaciones superiores e inferiores basculan en torno a un pivote de giro superior.

1.2. Transporte a granel

Es el movimiento de productos o materiales, previo al proceso de empaque o embalaje.

La logística de este proceso consiste en el desplazamiento mediante equipos adecuados que pueden reemplazar al empaque o presentación final, convirtiéndose así en la presentación final, este proceso se da cuando el producto se convierte en materia prima para un proceso o para otro producto.

La función del empaque es, además de una presentación hacia el consumidor final, proteger el producto de las circunstancias que le pueden alterar o perjudicar. Esta alternativa se evalúa dependiendo de la cantidad de producto a ser despachado o llevada hacia el punto requerido.

Los medios para el transporte de productos a granel dependen de factores como: distancia, los elementos a los que estará expuesto, la velocidad, a la que se requiere que esté en el punto, entre otras en una industria de cantera o extractiva, los movimientos a granel solo son una alimentación continua hacia los equipos, e incorporarse al proceso.

Las bandas transportadoras ofrecen un medio adecuado para el abastecimiento de material, convirtiéndose en un transporte eficiente y económico.

2. OBTENCIÓN Y CARÁCTERÍSTICAS DE LA GRAVA

La grava es un agregado grueso de uso común y generalizado, es uno de los principales componentes del concreto. Por este motivo la calidad de la grava triturada es de vital importancia, para asegurar que la estructura del concreto cumpla con su propósito. Es un material que se extrae de rocas de cantera triturados o a partir de procesos mecánicos. El proceso de extracción de la grava es tal que debe asegurar que las partículas constitutivas tengan un rango de tamaño de $\frac{3}{4}$ de pulgada aproximadamente. También es llamado pedrín.

Principalmente es de caliza, esta es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO_3), generalmente calcita, aunque frecuentemente presenta trazas de magnesita (MgCO_3) y otros carbonatos. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, entre otros, que modifican (a veces sensiblemente) el color y el grado de coherencia de la roca. El carácter prácticamente mono mineral de las calizas permite reconocerlas fácilmente gracias a dos características físicas y químicas fundamentales de la calcita: es menos dura que el cobre (su dureza en la escala de mohs es de 3) y reacciona con efervescencia en presencia de ácidos, tales como el ácido clorhídrico.

Por sus propiedades es necesario que la grava provenga de materiales de amplia vida útil, resistentes y sólidos mecánicamente, completamente libre de partículas contaminantes e impurezas. Es un material abrasivo, lo cual es un factor importante en el diseño del equipo que estará en contacto directo con el material.

2.1. Proceso de extracción

La grava o piedra para construcción es un elemento natural que se puede encontrar hundido o soterrado.

Cantera

Con este nombre se denomina a la explotación de rocas para uso industrial u ornamental. Es la forma más común de extracción y abastecimiento de materias primas, cuyo objetivo es la aplicación de carácter industrial, específicamente en la construcción, puede facilitar la logística del traslado al ubicarse en áreas próximas al proceso, al estar en áreas cercanas a los puntos de consumo, el costo de materia prima se puede reducir.

La cantera surge a partir de un banco de material; para hacer esta transformación, regularmente se hace uso de explosivos o voladuras, mediante diseños y matrices previamente definidas y analizadas, con esto se consigue una granulometría acorde al proceso y reducción de la fragmentación.

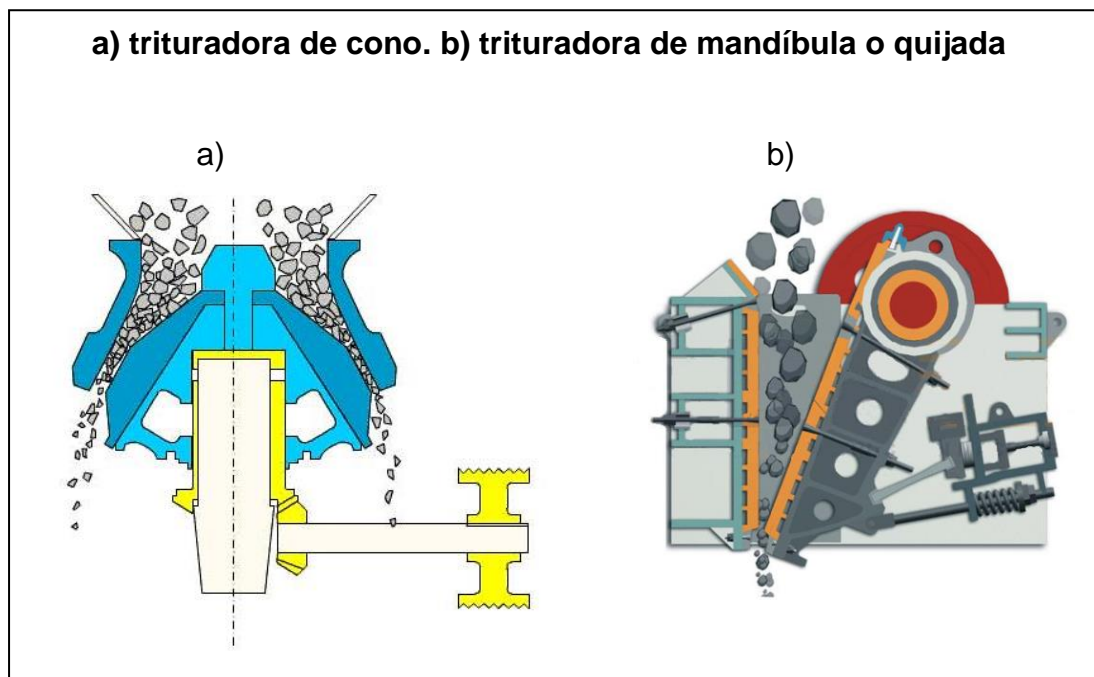
Al haber terminado el proceso de voladura, se tiene una cantera. Para la explotación de la cantera existen los métodos de banqueo y perforación. El de banqueo consiste en la creación de terrazas, de uno o varios niveles a media ladera, este es el más usado. El otro es el de huecos o perforación, el cual se barrena la ladera haciendo cavernas. La elección de la forma del proceso, dependerá, con base en algunos elementos técnicos: profundidad, forma y pendiente del depósito, características geomecánicas de las rocas encajantes y del material mismo, así como del costo de explotación.

Figura 15. **Voladura de una cantera mediante explosivos controlados**



Fuente: mina de Aznalcóllar. <http://elcorreoweb.es>. Consulta: 11 de noviembre de 2015.

Figura 16. **Trituradoras de piedra**



Fuente: *trituradoras*. <http://trituradoras-de-roca.com>. Consulta 11 de noviembre de 2015

Figura 17. **Proceso de trituración, clasificación y apilado según granulometría, por medio de criba y bandas transportadoras**



Fuente: *Explotadora de áridos "la Cantero"*. <http://www.gdc.gob.ve/>,
Consulta: 11 de noviembre de 2015.

Cauce de río

Corresponde a la extracción desde el lecho de un río, donde se encuentra material arrastrado por el escurrimiento de las aguas, regularmente este caso es trabajado de forma artesanal, aunque dependiendo de la riqueza del banco se puede usar equipos como excavadoras o con retroexcavadoras.

Ecológicamente esto tiene un mayor impacto debido a que estos yacimientos son el albergue de algunas especies acuáticas.

Figura 18. **Explotación de un banco de grava en el cauce de un río**



Fuente: *Explotan graveras ríos sin permisos*. <http://tabascohoy.com/>.

Consulta: 11 de noviembre de 2015

Pozos secos: zonas de antiguos rellenos aluviales en valles cercanos a ríos

En estos últimos 2 casos, los pozos secos y los cauces de ríos, los bancos de material no son muy grandes y en algunos casos, la piedra que se extrae es piedra sin características apropiadas para la construcción, ya que es conocida como piedra bola, la cual es más empleada con fines decorativos

2.2. Propiedades físicas de los materiales

Son aquellas que describen al material, y lo definen como apropiado o no para un trabajo. Dentro de estas propiedades se tienen las siguientes:

- Absorción
- Densidad
- Porosidad

- Permeabilidad al agua

Para el diseño del equipo mecánico se tomaran en cuenta únicamente las relacionadas con su densidad y su peso específico, ya que únicamente realizará la función de transportar el material de un punto a otro.

2.2.1. Ensayo de densidad

La densidad es la característica física que relaciona el volumen y la masa de una sustancia. Ayudará a realizar los cálculos de cuánto material será transportado.

Para determinar la densidad de los materiales se trabajó con las Normas:

- ASTM D 75 – 97. Práctica para muestreo de agregados.
- ASTM C 127 – 01. Método de ensayo estándar para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso.
- ASTM C 670 – 03. Práctica para preparar la declaración de precisión y tendencia para métodos de ensayo en materiales de construcción.
- ASTM C 702 – 01. Práctica para la reducción de muestras de agregado a tamaños de ensayo.

Las conclusiones de este ensayo ubican a la grava entre 1 400 y 1 600 kg/m³.

2.2.2. Ensayo de peso específico

Puede ser expresado en toneladas por metro cúbico, en el Sistema Internacional o en libras por pie cúbico, en el sistema inglés. En muchos materiales, el peso específico es sujeto de variaciones debido a la granulometría del material, en el caso de minerales cuenta también su formación natural, para su transporte, por medio de una banda, se toma en cuenta el valor máximo de su masa y un factor de seguridad.

2.3. Propiedades mecánicas

Compresión simple, tensión indirecta, módulo de elasticidad, contracción y fluencia, las cuales son tomadas en cuenta en su uso particular; para efectos de traslado no son de importancia.

2.4. Granulometría

La granulometría de la grava puede ser desde 3/8 de pulgada, hasta tamaño mayor, es decir 3 a 6 pulgadas, para determinarla se aplica el uso de tamices de la muestra, determinando así el porcentaje que pasa por cada uno de ellos, existen 2 métodos para determinar la granulometría del material.

- Ensayo de laboratorio: consiste en tomar muestras del banco de material y llevarlos al laboratorio donde mediante la aplicación de las normas se determina la granulometría y el uso de tamices se establece el tamaño o dimensiones del material.

En este ensayo se aplican las normas siguientes:

- ASTM D 75 – 97. Práctica para muestreo de agregados.

- Equipos de zaranda o camas vibratorias: es un equipo mecánico utilizado en campo o en la cantera donde mediante vibración forzada y con la ayuda de los tamices se separan dependiendo de su tamaño, hacia diferentes apilados.

2.5. Aplicaciones

El piedrín tiene diversas aplicaciones, las granulometrías de los tamices 8, 57, 56 y 4 son de uso común en la industria de la construcción, es empleada principalmente, como materia prima en los concretos, prefabricados y drenajes,

Las granulometrías $\frac{1}{2}$ ", $\frac{1}{4}$ " y $\frac{3}{16}$ " son de uso para la decoración de interiores y exteriores

Tabla I. **Clasificación de las aplicaciones del piedrín según granulometría**

Tamaño máximo	Uso general
51 mm (2")	Estructuras de concreto en masa: muros, losas y pilares con más de 1 m de espesor
38 mm (1 1/2")	Muros, losas, vigas, pilares, que van de 0,30 a 1 m
19 mm (3/4")	Muros delgados, losas, alcantarillas, de menos de 0,30 m de espesor

Fuente: CAMUÑAS Y PAREDES, Antonio. *Materiales de construcción*, Tomo I, p. 231.

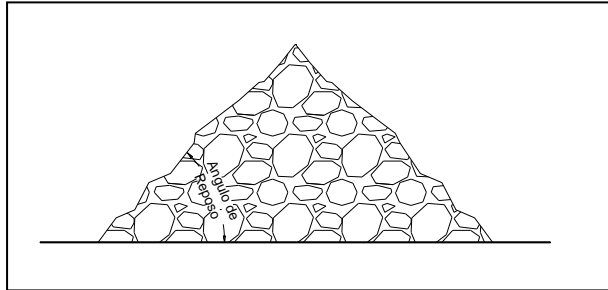
Es una roca importante como reservorio de petróleo, dada su gran porosidad. Tiene una gran resistencia a la meteorización; esto ha permitido que muchas esculturas y edificios de la antigüedad tallados en caliza hayan llegado hasta la actualidad. Sin embargo, la acción del agua de lluvia y de los ríos (especialmente cuando se encuentra acidulada por el ácido carbónico) provoca su disolución, creando un tipo de meteorización característica denominada kárstica. No obstante, es utilizada en la construcción de enrocamientos para obras marítimas y portuarias como rompeolas, espigones, escolleras, entre otras estructuras de estabilización y protección.

La roca caliza es un componente importante del cemento gris usado en las construcciones modernas y también puede ser usada como componente principal, junto con áridos, para fabricar el antiguo mortero de cal, pasta grasa para creación de estucos o lechadas para enjalbegar (pintar) superficies, así como otros muchos usos, por ejemplo, en industria farmacéutica o peletera. Se encuentra dentro de la clasificación de recursos naturales entre los no renovables (minerales) y dentro de esta clasificación, en los no metálicos, como el salitre, el aljez y el azufre.

Ángulo de reposo

Al acumular granel sólido sobre un plano, este queda apilado en forma de cono. El ángulo formado entre la generatriz del cono y su base se denomina ángulo de reposo. El mismo concepto se aplica en movimiento de suelos y otros trabajos o infraestructuras que estén relacionadas a la mecánica de suelos, dado que el ángulo de reposo determina el talud natural del terreno.

Figura 19. **Ángulo de reposo del piedrin 30°-40°**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2013.

3. DIRECCIÓN DE TRABAJO

El objetivo de una banda transportadora es transportar una carga desde un punto hacia otro.

Para definir la dirección del trabajo hay que tomar en cuenta varios factores.

- El punto de alimentación y el de descarga
- Angulo máximo de inclinación

El ángulo máximo de inclinación es el ángulo bajo el cual el material podrá ser transportado sobre la banda sin necesidad de bandas especiales, como la utilización de chevrones o nervios, los cuales evitan el deslizamiento del material sobre la banda, este ángulo es determinado por el coeficiente de fricción entre la banda y el material.

Los ángulos de inclinación o la pendiente están determinados por la topografía del terreno para el cual se diseñará la cinta transportadora, pero también depende altamente de las características específicas del material, tales como su tamaño, uniformidad, volumen, humedad, ángulo de reposo y facilidad de flujo.

Tabla II. **Ángulos y velocidades recomendadas**

Angulo de la banda (°)		Velocidad recomendada (m/s)	Granulometría (mm)	Tipo de banda transportadora (caucho)
0	20	5	500	Lisa
20	35	3	100	Banda corrugada
35	45	2	100	Banda con chevrones
45	60	2	200	Banda con impulsores
60	87	1	150	Banda material prensado
87	90	1	300	Bandas elevadores de cajones

Fuente: TRANS TECH PUBLICATIONS, *bulk solids handling-The international journal of Storing and Handling Bulk Materials*, Vol 6, Num. 2, p. 65.

Figura 20. **Tipos de chevrones**



Fuente: *Cintas para bandas transportadoras*. <http://mla-s2-p.mlstatic.com/>,
 Consulta: 9 de noviembre de 2015.

Figura 21. **Banda con chevrones**

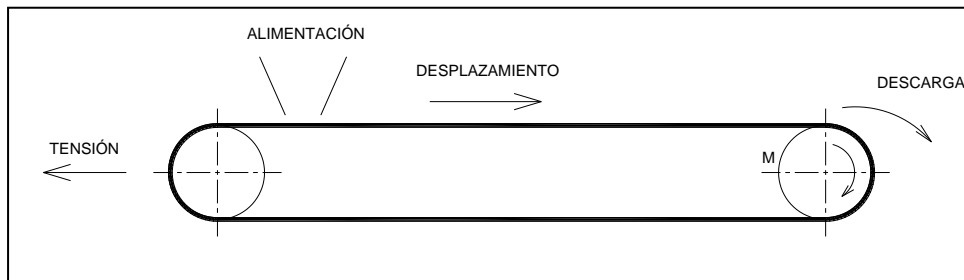


Fuente: *Soluciones industriales G.M.*, <http://www.sgpro.com.py> , consulta: 9 de noviembre de 2015.

3.1. Horizontal

El desplazamiento estará al mismo nivel, la alimentación y la descarga, estarán sobre un mismo nivel. En este caso existen cantidades físicas para su análisis y poder presentar un diseño apropiado y eficiente. En algunos casos para mantener este nivel se construyen tolvas, para encauzar y direccionar el material. Estos conllevan un análisis y estudio independiente a la construcción de la banda en sí.

Figura 22. **Esquema de posición de una banda horizontal**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2013.

Figura 23. **Aplicación de banda en posición horizontal**



Fuente: *Bandas transportadoras convencionales para minerales.*
<http://www.inagromecanica.com/>. Consulta: 10 de noviembre de 2015.

3.2. Ascendente

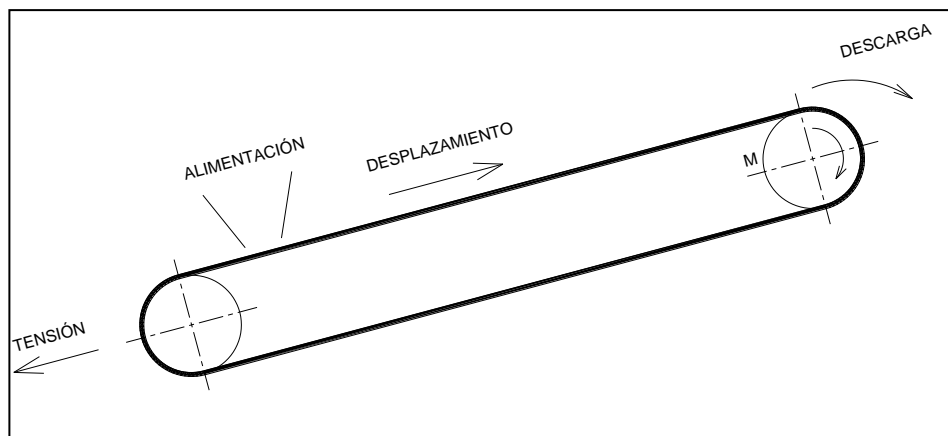
El punto de descarga está por encima del nivel del punto de alimentación.

El ángulo de inclinación máxima del material define la diferencia de nivel máxima entre los puntos de alimentación y descarga de la banda transportadora.

Se requiere en algunos casos, que la banda transportadora (banda de caucho) cuente con algún amoldamiento antideslizante o bandejas, que permita al material ser transportado, superando el ángulo de asentamiento en la sección longitudinal.

Para este caso, el equipo que imprima la tracción, será colocado en la parte superior.

Figura 24. **Esquema de posición de una banda ascendente con cabezal motriz en la parte superior**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2013.

Figura 25. **Aplicación de banda en posición ascendente**



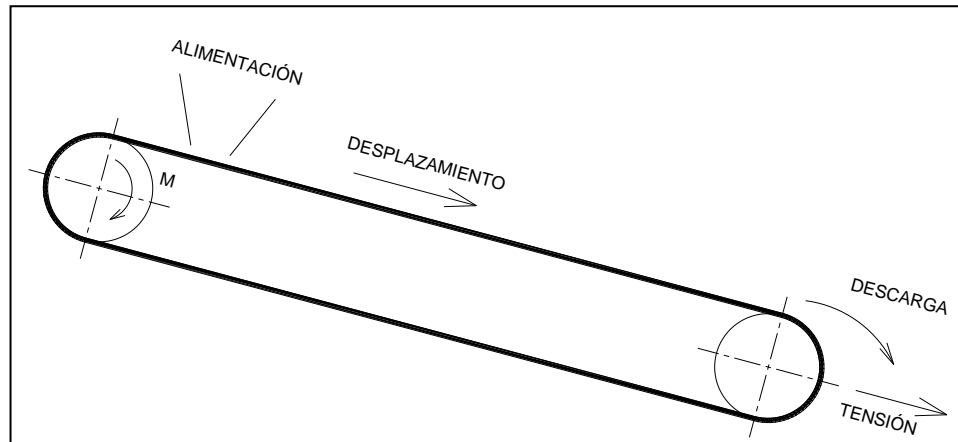
Fuente: *Cintas transportadoras especiales*. <http://www.metso.com/es/>.

Consulta: 10 de noviembre de 2015.

3.3. Descendente

Este caso se presenta cuando el punto de alimentación se encuentra por encima del punto de descarga, en este caso, el motor o el equipo impulsor se encuentra en la parte de arriba, quedando el rodo de tensión en la parte baja. El diseño de estas bandas tiene que ser muy específico, tomando el ángulo máximo de inclinación o deslizamiento del material a transportar, al tener un equipo trabajando bajo este diseño, se tiene que tomar en cuenta que el sistema de tensión, ya sea por tensor o por contrapeso, ubicarlo en el lugar adecuado.

Figura 26. **Esquema de posición de una banda descendente con cabezal motriz en la parte superior**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2013.

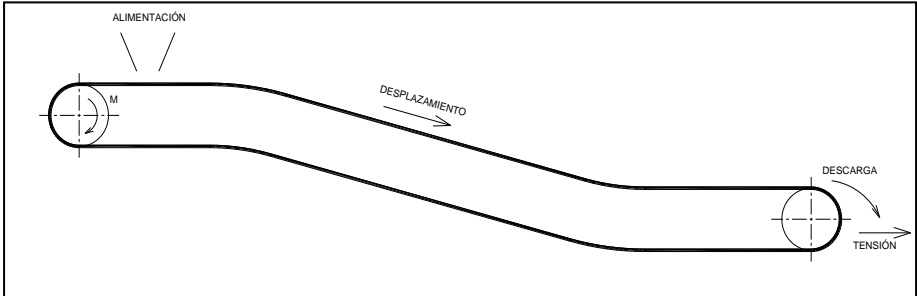
3.4. Combinadas

En algunas oportunidades se puede combinar el trazo de la banda transportadora, bajo el criterio del diseñador que trabaje con mayores ángulos verticales, ofreciendo flexibilidad en el diseño.

Su aplicación principal es cuando la distancia entre centros es muy grande y la topografía así lo permite. Las combinaciones que se pueden presentar son:

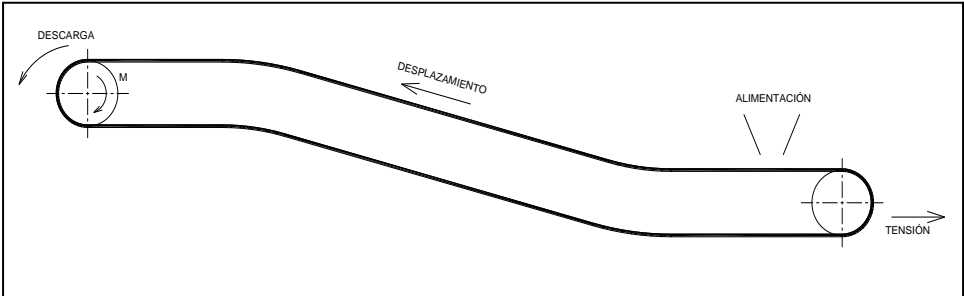
- Horizontal-ascendente
- Horizontal-descendente

Figura 27. **Esquema de una banda descendente combinada**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2013.

Figura 28. **Esquema de una banda ascendente combinada**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2013.

4. CRITERIOS DE DISEÑO

Son los factores de partida para diseñar el equipo. Hay que tener en cuenta para el inicio del proyecto, algunos puntos definidos, tales como:

- Trayectoria
- Ancho de la banda transportadora
- Material a transportar

4.1. Trayectoria de la banda transportadora

Para el diseño de una banda transportadora, es necesario definir la trayectoria de este. En el momento de diseñar el proyecto se define el punto de alimentación y el punto de descarga, evaluando los siguientes aspectos:

- Topografía: es la forma del terreno donde estará la banda transportadora instalada, es de vital importancia, ya que se tiene que diseñar estructura metálica que la soporte y la cimentación.

El definir el punto de alimentación y descarga es el inicio del diseño, sin embargo, no se puede decidir únicamente bajo estos parámetros, el estudio de factibilidad de la topografía del terreno se desprende la decisión de qué tan viable es la construcción del proyecto, ya que estructuras metálicas muy grandes, elevan los costos significativamente.

- Accesibilidad al montaje: debido a que son estructuras metálicas de gran peso, necesitan ser montadas con grúa, razón por la cual hay que ubicar un punto para este equipo.

Para poder llevar a cabo un trabajo con seguridad, es necesario que se tenga el mayor espacio libre y que la grúa pueda hacer las maniobras necesarias para dicha tarea. Existen diferentes tipos de grúa, las cuales deben ser consideradas para que sean eficientes en estos trabajos, asimismo, hay que contemplar la capacidad de ellas, los ángulos y alturas a los cuales se trabajará. Las grúas de llantas ofrecen un desplazamiento más rápido para acomodarse en el punto de trabajo, las de cadenas y bandas (orugas) ofrecen mayor estabilidad, sin embargo, su desplazamiento hacia el punto puede ser lento, ambos equipos son trasladados mediante remolques tipo *low-boy*.

Figura 29. **Montaje mecánico, mediante grúa**



Fuente: Silos y tolvas para cemento y alimentos, bloqueras adoquineras.
<http://ec.clasificados.com/silos-y-tolvas-para-cemento-y-alimentos-bloqueras-adoquineras-2258>. Consulta: 10 de noviembre de 2015.

- **Accesibilidad para mantenimiento:** como todo equipo mecánico, es requerido mantenimiento periódicamente, razón por la cual el trabajador debe tener acceso al equipo de protección personal, esto permitirá que se cuente con la más completa libertad para poder realizar las tareas de mantenimiento.

Idealmente, construir caminamientos en uno de los lados, esto permitirá un fácil acceso para todos los puntos que requieran tareas de mantenimiento, en el cabezal motriz se requiere de un mayor espacio, ya que por lo menos será una

persona la que se encuentre en el lugar y agregar que se requerirá de algún equipo o repuesto para mantenimiento.

Figura 30. **Accesos para mantenimiento**



Fuente: *Mantenimiento de fabricante de cintas transportadoras*,
<http://www.maqconveyors.com.mx>. Consulta: 10 de noviembre de 2015.

4.2. Ancho de la banda transportadora

Al conocer la cantidad de material por hora a transportar y las características, se procede a determinar el ancho de la banda. Asimismo, la granulometría, ya que al ser un material con granulometría fina, requerirá un ancho menor.

Como regla general se puede decir, que el ancho de la banda tiene que ser por lo menos 3 veces más grande que la granulometría mayor.

Cuando el material posee una granulometría grande, el equipo es afectado de dos formas:

- La sección transversal de carga se reduce debido a la distancia entre la carga y el borde de la banda.
- Las tolvas de alimentación y descarga deben diseñarse con base en la granulometría grande.

Ambos puntos restringen o condicionan el ancho mínimo de la banda transportadora.

Existen casos donde la banda es calculada en función de la granulometría y no sobre la capacidad horaria de transporte, lo cual es evitable mediante la trituración y generando una granulometría más pareja, este proceso tiene que ser previo a la alimentación del equipo.

Tabla III. Anchos de banda mínimos recomendados

Ancho de banda		tamaño de terrón máximo			
		tamaños uniformes		mezclado con 90% finos	
mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg
350	14	50	2	100	4
400	16	50	2	125	5
450	18	75	3	150	6
500	20	100	4	150	6
600	24	125	5	175	7
650	26	125	5	200	8
750	30	150	6	250	10
800	32	175	7	300	12
900	36	175	7	300	12
1000	40	200	8	350	14
1050	42	250	10	400	16
1200	48	275	11	400	16
1350	54	350	14	450	18
1400	56	400	16	500	20
1500	60	400	16	500	20
1600	64	450	18	650	26
1650	66	450	18	650	26
1800	72	550	22	700	28
1950	78	600	24	700	28
2000	80	600	24	750	30
2200	88	600	24	750	30
2250	90	600	24	750	30
2400	96	600	24	750	30
2550	102	600	24	750	30
2700	108	600	24	750	30
2850	114	600	24	750	30
3000	120	600	24	750	30

Fuente: GOODYEAR, *handbook of conveyor belt 1975*, p. 5-7.

4.3. Velocidad de la banda transportadora

Al tener elegido el ancho y la trayectoria de la banda transportadora, se procede al cálculo y diseño de la velocidad de la banda, esta se calcula en función de las propiedades físicas del material y de las limitantes que este presente.

Los materiales muy livianos o pulverizados no pueden ser transportados a gran velocidad, debido a la cantidad de polvo que puede generar durante su traslado.

La capacidad volumétrica indica la velocidad deseable para que la carga sea optimizada, si la descarga es muy rápida y la banda es lenta, existirán derrames en la tolva de alimentación. El caso viceversa es que si la alimentación es muy lenta con respecto a la velocidad de la banda, esta no utiliza su capacidad al 100 %.

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

Ancho de banda		Material		
mm	pulg	ligero(<0.8ton/m ³) grano fino	mediano(0.8-1.6 ton/m ³) abrasivo	pesado(>1.6ton/m ³) 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
2000	80	4.5	3.55	2.5
2200	88	4.5	3.55	2.5

Fuente: GOODYEAR, *handbook of conveyor belt* 1975. p. 5-8.

5. PARÁMETROS Y CÁLCULOS DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Estos parámetros son los datos resultantes de los cálculos realizados, con base en la información inicial con la que se cuenta, se obtendrá la parametrización de los elementos de la banda transportadora.

Con base en esta información se diseña y seleccionan los equipos a montar.

5.1. Capacidad máxima de transporte

El volumen a transportar en una banda de este tipo es determinada por la sección transversal de la carga, el ángulo de apilamiento sobre la banda, sin derrame del material, tanto en el punto de alimentación como en el trayecto del transportador.

El ángulo de reposo del material se ve afectado por la granulometría del material, humedad y la forma de las partículas.

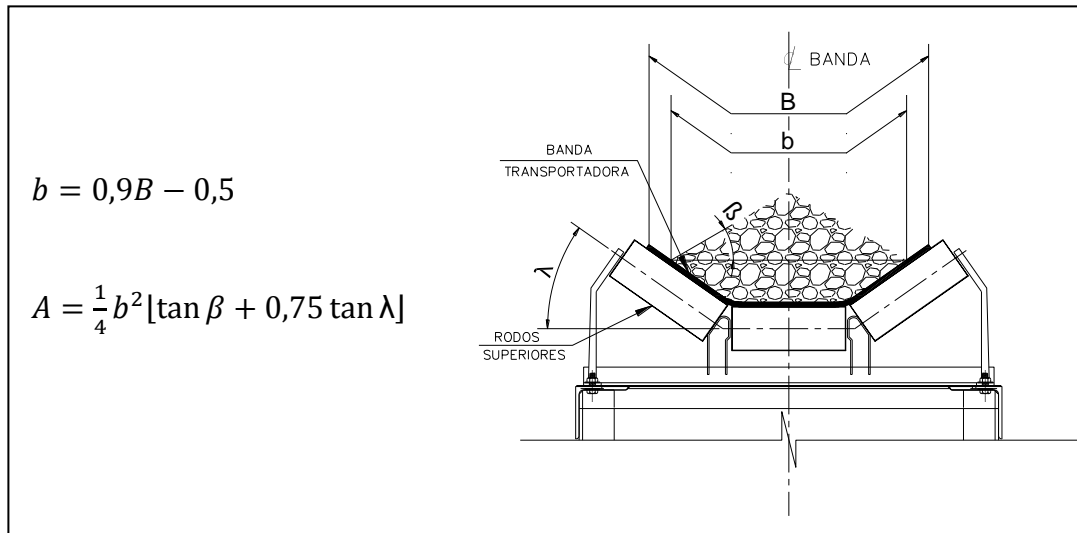
La evaluación individual de los factores específicos, resulta bastante impráctico, al deducir su impacto en el área de la sección transversal de la carga.

En la capacidad real de transporte de la banda hay que tomar en cuenta factores tales como:

- El ancho de la banda: debe ser proporcional a la granulometría.
- La velocidad del equipo: da una proporción de carga, sin embargo, esta es calculada con base en las propiedades y cualidades del material a transportar.
- El punto de alimentación debe disgregar el material sobre el ancho útil de la banda, buscando la mayor carga posible.
- La tolva de alimentación: centrada con el eje longitudinal de la banda transportadora y en una pendiente máxima de 14%.
- La distancia entre los rodos de carga diseñarla con el objetivo de evitar la formación de que la banda transportadora forme catenaria o un pandeo, con el fin de impedir derrame de material.
- Al existir material de granulometría variable, se sugiere el montaje de equipo para encausar la granulometría gruesa hacia el centro de la banda.
- La resultante de este método será confrontado con la capacidad máxima requerida.

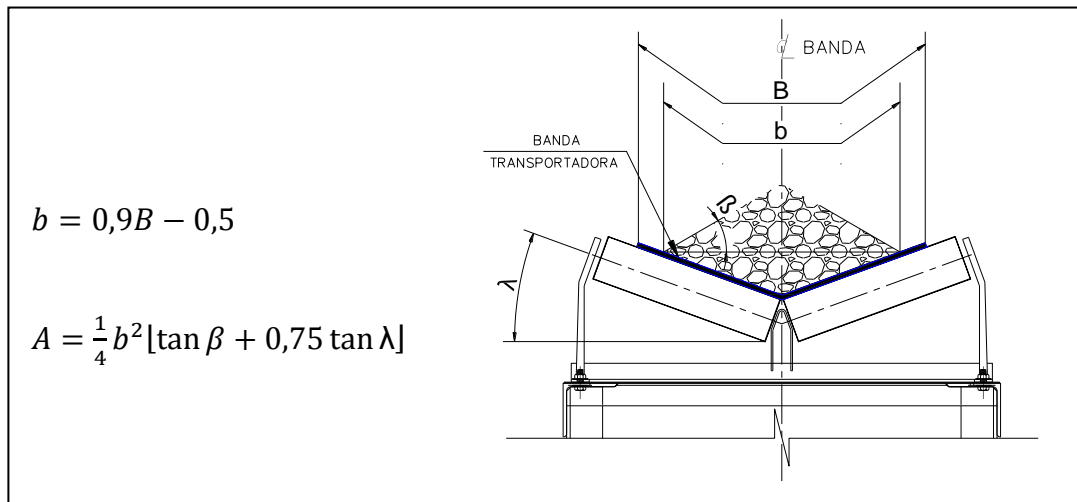
El área de la sección transversal de la carga instantánea, está determinada por una pareja de ecuaciones que se presentan para cada caso (3, 2 y 1 rodo de carga), cada una representa sus variables que intervienen para realizar los cálculos.

Figura 31. **Distribución del material en una banda de 3 rodillos de carga**



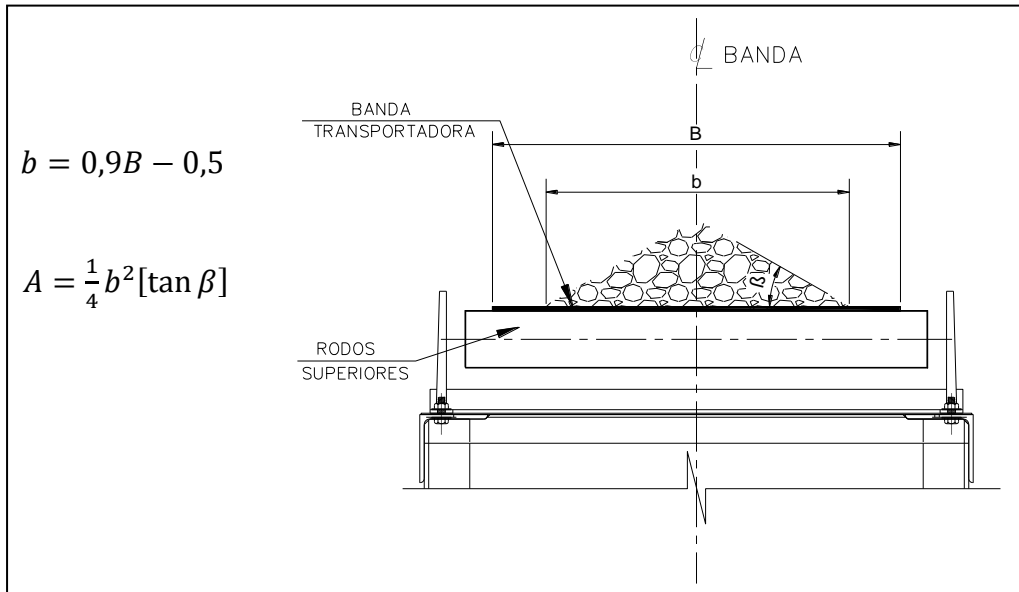
Fuente: HINOJOSA RUIZ, Heber Rodrigo, *Software para diseño de bandas transportadoras*. p. 39.

Figura 32. **Distribución del material sobre 2 rodos de carga**



Fuente: HINOJOSA RUIZ, Heber Rodrigo, *Software para diseño de bandas transportadoras*. p. 40.

Figura 33. **Distribución del material sobre un rodo de carga**



Fuente: HINOJOSA RUIZ, Heber Rodrigo, *Software para diseño de bandas transportadoras*.
p. 40.

Donde:

B= ancho de banda de hule

β = ángulo de reposo del material

λ = inclinación del rodo de carga

b= ancho ocupado por el material, sobre la banda transportadora

Conociendo el área de la sección transversal, y la velocidad de trabajo lineal de la banda se puede conocer la capacidad volumétrica.

$$Q = 3\,600 \times A \times v$$

Donde:

Q= capacidad volumétrica de la banda (metros cúbicos por hora)

A= área de la sección transversal del material

v= velocidad de la banda (metros por hora)

Cuando la banda transportadora posee un ángulo de inclinación, ya sea ascendente o descendente, se reduce el área efectiva de la sección transversal, esta es proporcional a la pendiente del equipo, denominando k, al factor por la inclinación, el factor es calculado con la ecuación:

$$K = 1 - 1,64 \left[\frac{\varphi \times \pi}{180} \right]^2$$

Donde:

K= factor por inclinación de la banda

Φ= ángulo de inclinación de la banda (grados)

La capacidad volumétrica efectiva para bandas inclinadas (ascendentes o descendentes) vienen dada por:

$$Q = 3\,600 \times A \times v \times k$$

La capacidad de transporte en tonelaje/hora es el producto de la capacidad volumétrica y el peso específico del material a transportar.

$$Q_1 = \gamma \times Q_2$$

Donde:

Q_1 = capacidad de la banda (toneladas por hora)

Q_2 = capacidad de la banda (metros cúbicos por hora)

γ = peso específico del material (toneladas por metro cúbico)

5.2. Fuerza de la banda

Para ejecutar el trabajo de llevar una carga desde un punto A hasta un punto B, la banda requiere una potencia, esta es adquirida mediante un motor que acciona un tambor o rodo conductor (en el cabezal motriz). El motor transmite su torque mediante una fuerza tangencial a la superficie del motor. Este torque es el empuje o fuerza requerida para mover el material y el equipo que este implica, durante el funcionamiento de una banda transportadora se generan fuerzas o componentes de estas:

- Fuerza necesaria para mover la banda sin carga
- Fuerza necesaria para vencer las fricción estática
- Fuerza necesaria para desplazar la carga

El torque en conjunto debe ser capaz de vencer estas fuerzas, las cuales se incrementan cuando el transportador posee un ángulo de inclinación, matemáticamente tienen que poseer signo contrario.

Durante el funcionamiento de la banda transportadora se van a generar las pérdidas de energía mecánica, estas son a causa de fricción en el sistema de accionamiento, las cuales son generadas a partir de algunos componentes.

- Los equipos mecánicos: poseen fuerzas propias a vencer, en este caso las fuerzas de fricción que se generam en las partes móviles, el peso de la banda como tal, se constituye en una de las cargas a vencer, todos los equipos incrementan la fricción, los tambores, rascadores y el desalineamiento.

Para el cálculo de estas fuerzas se genera un factor f , el cual es un coeficiente de fricción de las partes móviles (adimensional), que está en función del tipo de rodillos de carga, mantenimiento del sistema y la estructura del transportador. Se tiene como valor ideal para el coeficiente de fricción 0,020, y depende de algunas condiciones:

- Alta fricción interna del material
- Rodillos de carga menores a 4" (108 mm)
- Velocidad de transporte mayor a 5 m/s
- Temperatura de operación menor a 20 °C
- Banda no tensionada
- Banda con cobertura sobredimensionada

Se han creado tablas en las cuales se establecen los valores del coeficiente de fricción de los equipos móviles, en función del tipo de transportador, condiciones de operación, mantenimiento y estanqueidad.

Tabla V. **Coeficiente de fricción (f) de las partes giratorias**

Condición	Coeficiente f
Buenos transportadores con rodillos de marcha suave y pequeña fricción interna en el material.	0,017
Valor estándar para bandas transportadoras con ambiente normal de trabajo.	0,02
Para condiciones de marcha desfavorables operación polvo, sobrecargas periódicas.	0,023-0,030
Transportadores descendentes que requieren frenado por medio de motor.	0,012

Fuente: PIRELLI, *Manual de cálculo de cintas transportadoras*. p. 15

Según la Norma DIN 22101, en la cual se agrupan las resistencias secundarias, se consideran en este grupo fuerzas de los rodamientos en los tambores, fricción de los raspadores, inercia de los tambores; se establece un coeficiente C, este se propone en función de la longitud de la cinta, siendo este inversamente proporcional a la longitud de la banda (una banda corta, coeficiente grande), esto es debido a la proporción de las resistencias secundarias en el total es grande y viceversa para longitudes arriba de los 2 000 m, para este cálculo, el ángulo de inclinación es despreciable, siempre se tomará como una longitud horizontal proyectada

El coeficiente de fricción C y la longitud L se relacionan en la siguiente ecuación:

$$C = 15,9L^{-0.61} + 0,77$$

Donde:

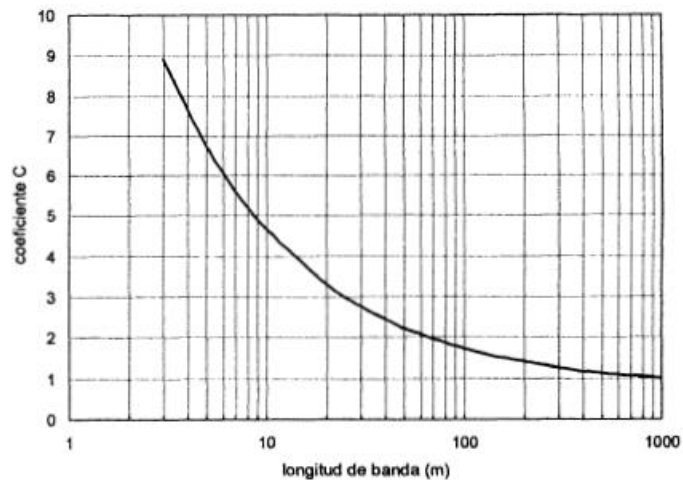
L = proyección horizontal de la longitud total de la banda (metros)

L_h = longitud de todos los tramos horizontales (metros)

L_p = longitud de la proyección horizontal de de todos los tramos inclinados (metros)

Esta ecuación se deduce a partir de la gráfica de la variación del coeficiente C , en función de la longitud L , según la Norma DN22101.

Figura 34. **Coeficiente C de fricción por longitud de banda**



Fuente: HINOJOSA RUIZ, Heber Rodrigo, *Software para diseño de bandas transportadoras*.
p. 47.

5.3. Cálculo del peso de las partes móviles de la banda

Con fines estructurales se estima un peso unitario de todo el equipo mecánico de la banda transportadora, en esta dimensión se incluyen los rodos de carga o superiores, rodos de retorno, banda transportadora, se ignoran los tambores y equipo de tensión. Este cálculo genera una dimensional de kilogramos por metro lineal, entre centros de tambores.

El cálculo de este valor es mediante la expresión

$$G = 2G_b + \frac{G_{ro}}{S_1} + \frac{G_{ru}}{S_2}$$

Donde:

G = peso de las partes móviles (kilogramo por metro)

G_b= peso de la banda transportadora (kilogramo por metro)

G_{ro}=peso de los rodillos superiores (kilogramo)

S₁= espaciamiento entre rodillos superiores (metro)

G_{ru}=peso de los rodillos inferiores (kilogramo)

S₂= espaciamiento entre rodillos inferiores (metro)

Se han elaborado tablas con valores promedios de G, por algunos de los fabricantes en función del ancho de la banda y el peso específico del material. Estos valores se pueden tomar para cálculos preliminares, sin embargo, se consideran muy ambiguos para ser cálculos y decisiones finales.

La tabla VI muestra los valores recomendados por CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association) entre rodillos de carga y retorno, según el ancho de la banda y el peso específico del material.

Tabla VI. **Espaciamiento propuesto para distancias entre rodillos, según peso específico del material**

Ancho de banda (mm)	Espaciamiento rodillos superiores S1 (mm)						Espaciamiento rodillos inferiores S2 (mm)
	peso específico del material (kg/m ³)						
	500	800	1200	1600	2400	3200	
450	1.7	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	3.0
600	1.5	1.4	1.4	1.2	1.2	1.2	3.0
750	1.5	1.4	1.4	1.2	1.2	1.2	3.0
900	1.5	1.4	1.2	1.2	1.0	1.0	3.0
1050	1.4	1.4	1.2	1.0	0.9	0.9	3.0
1200	1.4	1.4	1.2	1.0	0.9	0.9	3.0
1350	1.4	1.2	1.0	1.0	0.9	0.9	3.0
1500	1.2	1.2	1.0	0.9	0.9	0.9	2.4
1650	1.2	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	2.4
1800	1.2	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	2.4
2100	1.0	1.0	0.9	0.8	0.8	0.6	2.4
2400	1.0	1.0	0.9	0.8	0.6	0.6	2.4

Fuente: CEMA, *handbook*. p. 68.

En la tabla VI se muestran los valores promedios de los pesos de los rodillos de carga y de retorno, en función del ancho de banda y del peso específico del material.

Tabla VII. **Valores promedio del peso de los rodillos superiores e inferiores**

Ancho de banda (mm)	Servicio liviano peso específico < 1.5 ton/m ³		Servicio pesado peso específico > 1.5 ton/m ³	
	G _{ro} (kg)	G _{ru} (kg)	G _{ro} (kg)	G _{ru} (kg)
300	2.5	2.5	3.5	3.5
400	3.0	3.0	4.0	4.0
500	3.5	3.5	5.5	5.5
650	5.5	5.5	10.0	10.0
800	11.0	11.0	14.0	14.0
1000	13.0	13.0	18.0	18.0
1200	15.0	15.0	20.0	20.0
1400	22.0	22.0	31.0	31.0
1600	25.0	25.0	35.0	35.0
1800	39.0	39.0	47.0	47.0
2000	43.0	43.0	52.0	52.0
2200	47.0	47.0	56.0	56.0

Fuente: PIRELLI, *Manual de cálculo de cintas transportadoras*. p. 16.

En la tabla VII se muestran los valores promedios del peso de la banda de caucho, en función del ancho de banda y de la capacidad de transporte.

Tabla VIII. **Valores promedio del peso de la banda transportadora**

Ancho de banda (mm)	Servicio liviano peso específico < 0.8 ton/m ³	Servicio mediano peso específico 0.8 a 1.6 ton/m ³	Servicio pesado, peso específico > 1.6 ton/m ³
	Peso de la banda transportadora G _b (kg/m)		
350	1.5	3	4.5
400	3	4.5	6
450	4.5	6	7.5
500	6	7.5	9
600	7.5	9	10.5
750	9	10.5	12
900	10.5	13.5	16.5
1050	13.5	16.5	21
1200	18	22.5	27
1350	21	27	33
1500	25.5	31.5	40.5
1650	30	36	48
1800	33	42	54

Fuente: GOODYEAR, *La instalación y el mantenimiento de bandas transportadoras*. p. 12.

La siguiente fórmula indica la fuerza que se requiere para hacer trabajar la banda sin carga, esto se realiza durante la fase de pruebas y se convierte en un punto de referencia para el consumo de potencia.

$$F_1 = [C \times f \times L \times G] \times g$$

Donde:

F₁ = fuerza para mover la banda en vacío (Newton)

C = factor de fricción por la longitud de banda

f = factor de fricción de las partes móviles

L = longitud total de la banda (proyección horizontal, metros)

G = peso de las partes móviles (kilogramo por metro)

g = aceleración de la gravedad (metro por segundo al cuadrado)

Fuerza para desplazar el material horizontalmente

Se necesita de esta fuerza para vencer la inercia del material y que pueda ser desplazado horizontalmente, desde el punto de alimentación, hasta el de descarga, con la siguiente ecuación se puede calcular la fuerza requerida

$$F_2 = \left[\frac{C \times f \times L \times Q_t}{3,6 \times v} \right] \times g$$

Donde:

F_2 = fuerza necesaria para desplazar el material horizontalmente (Newton)

Q_t = capacidad máxima de transporte (tonelada por hora)

V = velocidad de la banda (metros por segundo)

g = aceleración gravitacional (metro por segundo al cuadrado)

Fuerza para elevar o bajar el material

Es la fuerza necesaria para cambiar de nivel vertical la carga de material aplica para ambos sentidos, (ascendente o descendente) se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$F_3 = \left[\frac{H \times Q_t}{3,6 \times v} \right] \times g$$

Donde:

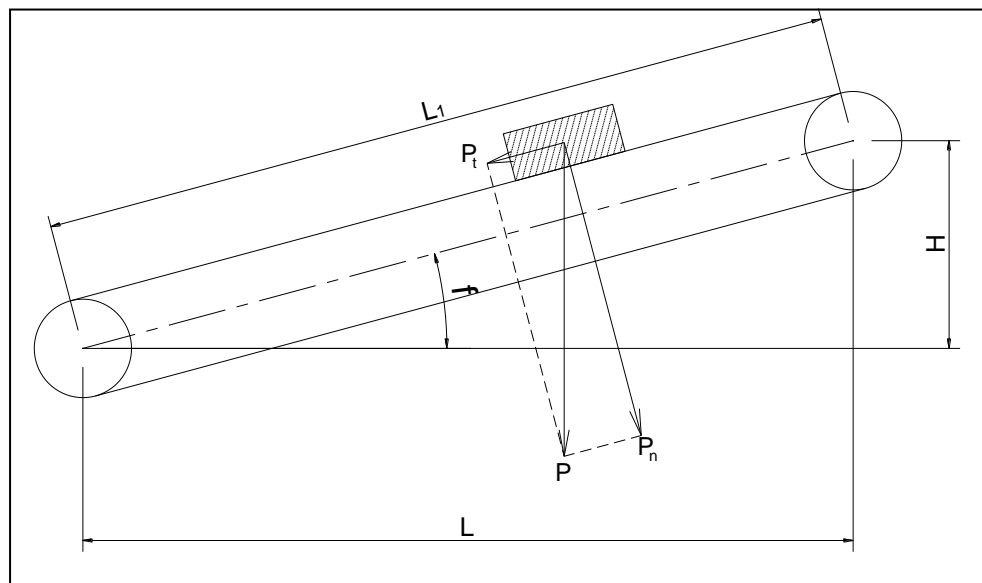
F_3 = fuerza para desplazar verticalmente el material (Newton)

H = elevación neta de la carga (metro)

g = aceleración gravitacional (metro por segundo al cuadrado)

Según la ley de signos para esta ecuación, se considera positivo cuando es ascendente y negativo cuando sea descendente, el signo únicamente indica el sentido de la fuerza.

Figura 35. **Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas sobre una banda transportadora inclinada**



Fuente: PHOENIX, *manual fundamentos de diseño de cintas transportadoras*. p 85

En el diagrama que se muestra en la figura 35 se representan las fuerzas que actúan sobre la carga, en una banda inclinada.

La componente tangencial está dada por:

$$P_t = P \times \sin \varphi$$

La componente normal de la carga:

$$P_n = P \times \cos \varphi$$

La componente tangencial representa la fuerza necesaria para elevar la carga, por lo tanto en este caso p es el peso total del material sobre el plano inclinado L_1 .

$$P_t = (\text{peso del material}) \times \sin \varphi$$

$$P_t = \frac{(\text{peso del material}) \times H}{L_1}$$

El cociente peso del material/ L_1 se puede determinar en función de la capacidad máxima de transporte.

Q_t =capacidad máxima de transporte (tonelada por hora)

$1\ 000 \cdot Q_t$ =capacidad máxima de transporte (kilogramo por hora)

V =velocidad de la banda (metro por segundo)

$3\ 600 \cdot v$ =velocidad de la banda (metro por hora)

Por lo tanto:

$$\frac{1\ 000 \times Q_t}{3\ 600 \times v} = \frac{Q_t}{3,6 \times v}$$

En kilogramos de material por metro de banda, de ahí que:

$$P_t = \frac{H \times Q_t}{3,6 \times v}$$

En esta ecuación se encuentra la fuerza para el cambio de nivel de la carga. La cual se ha identificado como F_3 , expresada en kilogramos:

$$F_3 = \left[\frac{H \times Q_t}{3,6 \times v} \right]$$

La fuerza p es la sumatoria del peso del material y el peso de las partes móviles (peso y banda), la componente p_n , es la fuerza necesaria para vencer la fricción de la banda en vacío, del material en su desplazamiento horizontal y todos los componentes giratorios:

$$p = \left[\frac{Q_t}{3,6 \times v} \right] \times L_1 + (G \times L_1)$$

De la figura se observa que:

$$\cos \varphi = \frac{L}{L_1}$$

Por lo tanto, la componente normal p_n está dada por:

$$P_n = \left[\frac{Q_t}{3,6 \times v} \right] \times L + (G \times L) = L \left[\frac{Q_t}{3,6v} + G \right]$$

Al aplicar la fórmula para hallar la fuerza para vencer la fricción:

$$fuerza = \mu \times P_n$$

Esta fuerza es la suma de las fuerzas de fricción para el desplazamiento de la carga horizontal y para mover la banda en vacío con sus componentes giratorios:

$$F_1 + F_2 = \mu \times P_n$$

$$F_1 + F_2 = \mu \times L \left[\frac{Q_t}{3,6 \times v} + G \right]$$

El coeficiente de fricción μ se ha definido como f debido que los fabricantes, manuales y bibliografía la identifica así, por tanto:

$$F_1 + F_2 = f \times L \left[\frac{Q_t}{3,6 \times v} + G \right]$$

5.4. Potencias de la banda

La potencia que se requiere para accionar una banda transportadora tiene varios componentes, el desplazamiento del material, fricción de guías de carga (faldones). El objetivo de las ecuaciones que se describen, es determinar los valores de las potencias, son ecuaciones han sido deducidas por los fabricantes y se han obtenido en base a pruebas y ensayos experimentales.

Los faldones son accesorios que se montan en la banda con el objetivo de encauzar el material, y evitar el derrame por los laterales de la banda, estos regularmente son fabricados con caucho de bandas provocando una resistencia a la libre circulación de la banda, esta resistencia puede determinarse mediante la siguiente ecuación, según Roulunds.

$$P_s = 0,08 \times v \times l$$

Donde:

P_s = potencia adicional por guías de carga (kilowatt)

v = velocidad de la banda (metro por segundo)

l = longitud total de las guías de carga (metro)

Potencia teórica

La potencia teórica es la sumatoria de las potencias para desplazamiento del material y la de las guías de carga:

$$P = \frac{[F_1 + F_2 + F_3] \times v}{1\,000} + P_s$$

Donde:

P = potencia teórica (kilowatt)

F_1 = fuerza para mover la banda en vacío (Newton)

F_2 = fuerza para mover la carga horizontalmente (Newton)

F_3 = fuerza para elevar o bajar la carga (Newton)

v = velocidad de la banda (metro por segundo)

P_s = potencia adicional por guías de carga (kilowatt)

Esta es la potencia que se requiere en el cabezal motriz para generar la fuerza tangencial, también llamada tensión efectiva, esta tiene que ser capaz de mover la banda con material a su máxima capacidad.

Potencia del motor:

El motor es el encargado de generar la potencia para la banda transportadora, para transmitir esa potencia es necesario el montaje de elementos intermedios, sin embargo, en el sistema de transmisión existen pérdidas mecánicas, que tienen que ser tomadas en cuenta para determinar la potencia real del motor.

La velocidad del motor puede ser reducida mediante la combinación de poleas, ruedas dentadas, engranajes, cajas reductoras o la combinación de dos o más de estos equipos.

La eficiencia del motor debe estar dentro del 85 al 95 %, las eficiencias mecánicas debido a los equipos de transmisión aparecen en la tabla de los equipos reductores de velocidad según CEMA.

Tabla IX. **Eficiencias mecánicas 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, Handbook, p. 98.

La potencia del motor se determina mediante:

$$P_m = \frac{P}{\varepsilon \times \eta}$$

Donde:

P_m = potencia del motor (kilowatt)

P = potencia teórica (kilowatt)

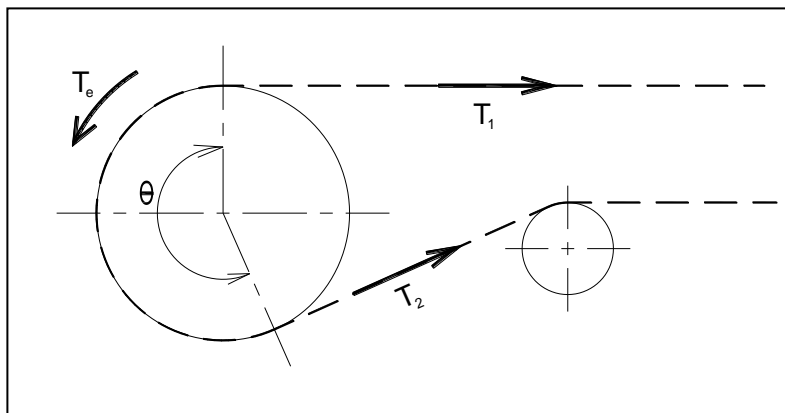
η = eficiencia del motor

ε = eficiencia mecánica de la transmisión

5.5. Tensiones de la banda

- Tensión efectiva: el accionamiento de la banda es debido a la fricción que existe entre el tambor motriz y la banda transportadora, esta fricción se logra al existir una tensión adecuada de la banda de caucho.

Figura 36. **Representación de fuerzas de tensión actuantes en el tambor motriz**



Fuente: PIRELLI, Manual de cálculo de cintas transportadoras. p. 122.

Se denomina tensión efectiva a la diferencia de tensiones entre la parte superior que es donde carga el material y la parte inferior de retorno; el retorno es la parte con menor tensión, la tensión de retorno es la de ajuste para evitar el deslizamiento y poder transmitir el movimiento.

Es la tensión efectiva la que realiza el trabajo, siendo la tensión una fuerza, esta es la suma algebraica de las fuerzas que interactúan en el funcionamiento de la banda.

Al conocer la potencia requerida en el tambor motriz, la tensión efectiva viene dada por:

$$T_e = \frac{1\,000 \times P}{v}$$

Donde:

T_e = tensión efectiva (Newton)

P = potencia teórica (Kilowatt)

v = velocidad de la banda (metro por segundo)

- Tensión en el lado superior: la tensión necesaria en el lado superior o de carga, es el producto de la tensión efectiva por el coeficiente de accionamiento.

$$T_1 = T_e \times m$$

Donde:

T_1 = tensión en el lado superior (Newton)

T_e = tensión efectiva (Newton)

m = coeficiente de accionamiento

El coeficiente de accionamiento depende del arco de contacto entre la banda y el tambor motriz, el tipo del contrapeso, revestimiento del tambor, este coeficiente es adimensional y se puede hallar mediante la siguiente ecuación:

$$m = 1 + \left[\frac{1}{e^{\mu \times \theta \frac{\pi}{180}} - 1} \right]$$

Donde:

m = coeficiente de accionamiento

e = logaritmo de base e

μ = coeficiente de fricción entre el tambor y la banda

θ = ángulo de contacto entre banda y tambor ($^{\circ}$)

El coeficiente de fricción entre el tambor y la banda, así como los valores del ángulo de contacto, se encuentran establecidos en tablas elaboradas por fabricantes.

Figura 37. **Coefficiente de fricción tambor-banda y ángulo de contacto**

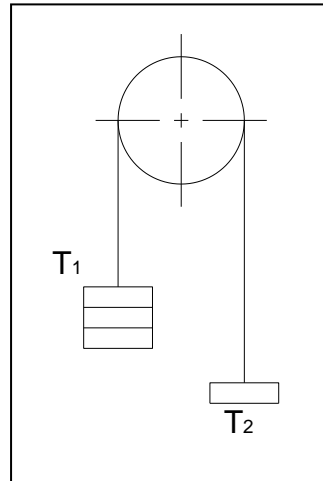
	Tambor motriz			
	Revestido		Desnudo	
	seco	húmedo	seco	húmedo
Coefficiente μ	0.4	0.35	0.35	0.2

Angulo cabezal motriz	Ángulo de contacto
	120 150 180
	210 220 230 240
	360 380 400
	420 440 450

Fuente: ROULONDS. *Catálogo de bandas transportadoras*. p. 13.

Un diagrama de cuerpo libre, donde se muestran las tensiones es más explicativo, la diferencia de tensiones entre T1 y T2, debe ser lo suficientemente grande para vencer la resistencia y, por lo tanto, el tambor gira hasta que la longitud de la banda lo permita.

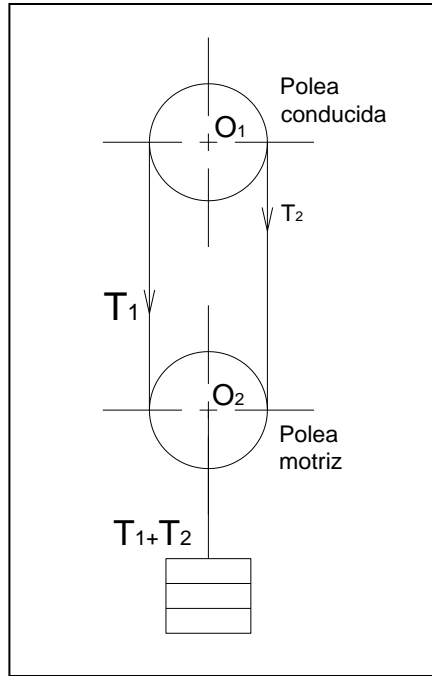
Figura 38. **Relación de tensiones en rodo motriz**



Fuente: Fuente: HINOJOSA RUIZ, Heber Rodrigo, *Software para diseño de bandas transportadoras*. p. 67.

Para este caso se tiene una banda sin fin uniendo dos tambores, un torque se aplica en el eje O_1 , el cual, por medio de la banda transportadora, es transmitido hacia el eje O_2 , generando una diferencia de tensiones neta en la banda.

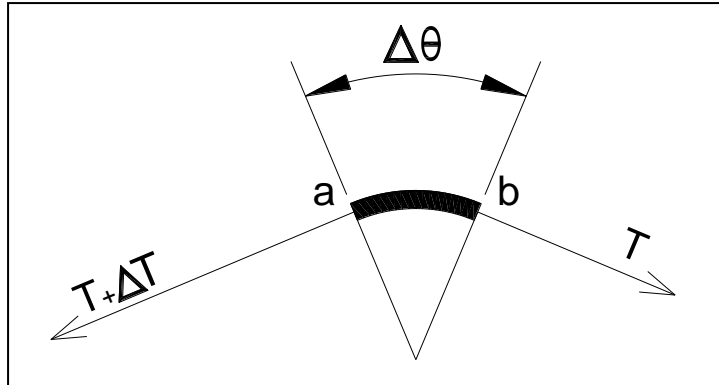
Figura 39. **Relación de tensiones en rodo tensor**



Fuente: HINOJOSA RUIZ, Heber Rodrigo, Software para diseño de bandas transportadoras. p. 67.

Para encontrar la relación entre T_1 , el coeficiente de fricción μ y el arco de contacto θ en radianes, considerando el diagrama de cuerpo libre, se analiza un segmento de las tensiones actuando sobre el la tensión en b es T , y el punto a es $T + \Delta T$, debido a la fricción, el elemento de la banda ab es un ángulo muy pequeño que tiende a cero.

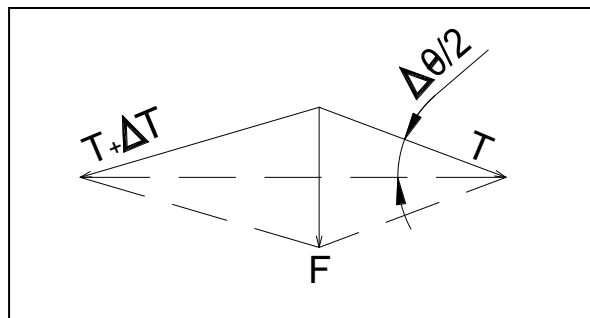
Figura 40. **Representación de las tensiones**



Fuente: HINOJOSA RUIZ, Heber Rodrigo, *Software para diseño de bandas transportadoras*. p. 67.

Figura 41. **Diagrama de cuerpo libre de las tensiones**

Aplicando sumatoria de fuerzas, la fuerza F esta dada por:



Fuente: HINOJOSA RUIZ, Heber Rodrigo, *Software para diseño de bandas transportadoras*. p. 120.

$$F = 2 \times T \times \sin \frac{\Delta\theta}{2}$$

Donde ΔT es despreciable, cuando la banda esté a punto de desplazamiento.

$$\Delta T = \mu \times F$$

Por lo tanto:

$$\frac{\Delta T}{\Delta \theta} = \mu \times T \frac{\sin \frac{\Delta \theta}{2}}{\frac{\Delta \theta}{2}}$$

Resolviendo esta ecuación:

$$\frac{\partial T}{\partial \theta} = \mu \times T$$

Integrando:

$$\mu \int d\theta = \int \frac{dT}{T}$$

$$\mu \times \theta = \log \frac{T_1}{T_2}$$

Por lo tanto:

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\mu \times \theta}$$

Al sustituir la tensión efectiva, la cual es la diferencia entre el lado de carga y el lado de retorno se tiene.

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{e^{\mu \times \theta} - 1}{e^{\mu \times \theta}}$$

De ahí:

$$T_1 = T_e \left[\frac{e^{\mu \times \theta}}{e^{\mu \times \theta} - 1} \right] = T_e \left[1 + \left(\frac{1}{e^{\mu \times \theta} - 1} \right) \right]$$

Demostrando que:

$$T_1 = T_e \times m$$

- Tensión en el lado inferior o de retorno: la tensión en el retorno T_2 de la banda transportadora es generada por un contrapeso de gravedad o por un tensor de husillo, el uso de cada uno de estos dependerá de la longitud de la banda transportadora, en las bandas con una longitud mayor a 50 metros, se aplica el contrapeso, ya que este es automático, y mantiene una tensión constante. Para el caso del husillo, el valor del accionamiento m se busca que la tensión aumente en un 20 %, en comparación con el lado superior.

La aplicación del tensor de gravedad se suministra una reserva de tensión debido a que en el tensor manual es inexacto y no es real, en la fricción entre tambor y banda.

La tensión en este tramo o segmento de la banda se puede calcular por dos métodos.

$$T_2 = T_e \left[\frac{1}{e^{\mu \times \theta} - 1} \right]$$

$$T_2 = T_1 - T_e$$

Donde:

T_2 = tensión en el lado flojo (Newton)

T_e = tensión efectiva (Newton)

En algunos casos, como en las bandas descendentes con accionamiento en la cola, la tensión necesaria puede ser mayor a las calculadas por las ecuaciones previas, para proporcionar una tensión mínima y evitar el pandeo de la banda. La tensión se tiene que incrementar para buscar ese valor mínimo en el punto de más baja tensión del sistema.

- Tensión en el retorno de la banda T_3 , T_4 : estas tensiones se presentan en el lado de retorno, en el punto exacto de tangencia entre el tambor de retorno, teóricamente no son iguales, aunque la diferencia entre ellas es despreciable, tiende a cero.

$$T_3 = T_4$$

Y se calculan mediante:

$$T_3 = C \times f \times L \left(G_b + \frac{G_{ru}}{S_2} \right) \times g + T_2$$

Donde:

T_3 = tensión en el retorno (Newton)

C = factor de fricción por longitud

f = factor de fricción de las partes móviles

G_b = peso de la banda (kilogramo por metro)

G_{ru} =peso de los rodillos inferiores (kilogramo)

S_2 = espaciamiento de los rodillos inferiores (metro)

g = aceleración gravitacional (metro por segundo al cuadrado)

T_2 = tensión en el lado flojo (Newton)

- Tensión del contrapeso T_{cp} : no existe un punto exacto para ubicar el contrapeso, la única condicionante es que sea en el lado del retorno, es conveniente, pero no es definitivo, que se encuentre próximo al cabezal motriz.

La ubicación del contrapeso es bajo dos criterios. Primero, es la geometría de la banda; en el caso de las bandas ascendentes, el cabezal motriz está en un nivel más alto que el punto alimentación, razón por la cual la geometría permite que el contrapeso sea instalado en un punto próximo al cabezal motriz. Segundo, al realizar el análisis de tensiones, se encuentra un punto con baja tensión; es el lugar adecuado para ubicarlo, este punto puede ser el pie de una pendiente.

Al ubicar el contrapeso, alejado del cabezal motriz, la aceleración del motor, y la cantidad del contrapeso, deben ser tales que el contrapeso acelere la porción de la banda entre el tambor motriz y el *take-up*, en la misma proporción o mayor que la aceleración del motor.

Cuando el tensor está ubicado lejos del tambor motriz y falla, es de evaluar la aceleración del motor, esta puede estar muy alta o la aceleración del contrapeso, el cual puede estar muy lento, y como resultado una acumulación de cinta entre el tambor motriz y el *take-up*.

Si el contrapeso está adyacente al cabezal motriz:

$$T_{cp} = 2T_2$$

Si el contrapeso está próximo al rodo de cola:

$$T_{cp} = 2T_3$$

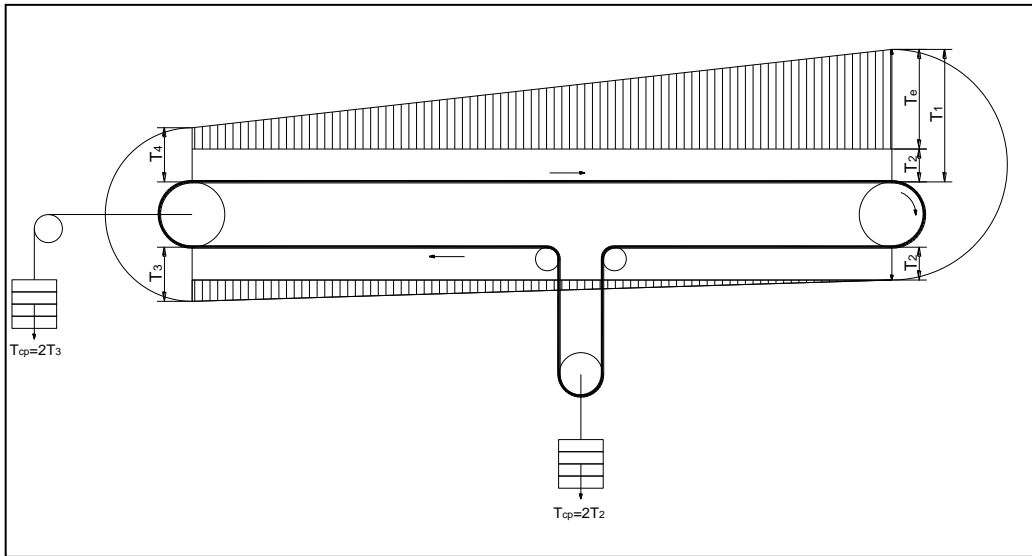
Donde:

T_{cp} = tensión del contrapeso (Newton)

T_3 = tensión del cabezal de retorno (Newton)

T_2 = tensión del lado de retorno (Newton)

Figura 42. Diagrama de las tensiones sobre la banda



Fuente: PIRELLI, *Manual de cálculo de cintas transportadoras*. p. 118.

- Tensión debido al peso de la banda: cuando la banda está inclinada, en cualquiera de los casos, ascendente o descendente, la banda transportadora (caucho), en sí misma genera una tensión en la parte superior de la pendiente. Esta tensión se expresa mediante:

$$F_{banda} = G_b \times H \times g$$

Donde:

F_{banda} = tensión por el peso de la banda en la pendiente (Newton)

G_b = peso de la banda (kilogramo por metro)

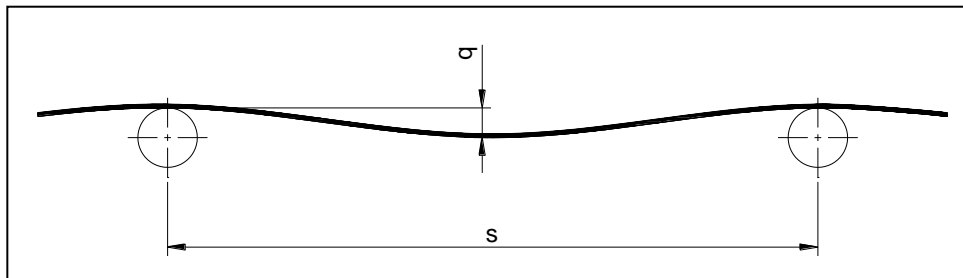
H = diferencia de alturas entre centros de tambores (metro)

g = aceleración gravitacional (metro por segundo al cuadrado)

Esta tensión debe sumarse algebraicamente en el cálculo de las tensiones de la banda, dependiendo si esta tensión favorece o no al desplazamiento del material.

- Tensión mínima T_0 : en algunos casos, la tensión que actúa en el lado superior o de carga es insuficiente para vencer el peso de la banda, afectando esto en la adherencia y fricción que debe existir entre la banda y el tambor motriz, si esta tensión no es suficiente la banda no será capaz de almacenar el material, y este se derramará por los lados de la banda.

Figura 43. **Flecha o pando de permisible de la banda**



Fuente: HINOJOSA RUIZ, Heber Rodrigo, *Software para diseño de bandas transportadoras*. p. 76.

Para evitar este efecto, la tensión de la banda tiene que ser menor a la tensión mínima, esta tensión se calcula mediante:

$$T_0 = \frac{S(G_b + M_{pm})}{8(q/s)} \times g$$

Donde:

T_o = tensión mínima

s = espaciado de los rodillos (metro)

G_b = peso de la banda (kilogramo por metro)

M_{pm} = carga del material por metro de banda (kilogramo por metro)

q/s = flecha permisible (entre 0,005 y 0,02 metro)

g = aceleración gravitacional (metro por segundo al cuadrado)

El valor de la carga del producto por metro lineal de banda se calcula mediante

$$M_{pm} = \frac{Q_t}{3.6 \times v}$$

Donde:

Q_t = capacidad máxima de la banda (tonelada por hora)

v = velocidad de la banda (metro por segundo)

- Tensión unitaria de trabajo T_u : esta es la tensión máxima a la que estará sometida la banda transportadora por mm de ancho de banda, este valor en conjunto con el material, granulometría, temperatura, abrasividad, peso específico, es uno de los que ayuda a seleccionar el tipo de banda a emplear en los catálogos de los fabricantes.

Esta tensión se calcula mediante la ecuación:

$$T_u = \frac{T_1}{1\,000 \times B}$$

Donde:

T_u = tensión unitaria de trabajo (Newton por milimetro)

T_1 = tensión en el lado de carga (Newton)

B = ancho de banda (metro)

6. SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA BANDA TRANSPORTADORA

6.1. Selección de la banda transportadora

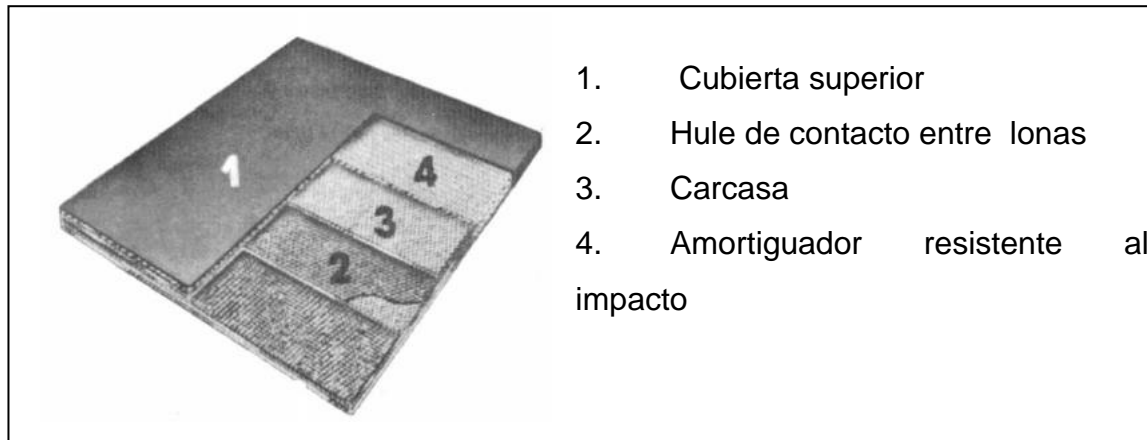
Aunque todos los elementos que conforman la banda transportadora son importantes, la banda como tal no puede existir sin la banda de caucho que transporta el material, representan casi el 60 % del costo total del equipo, esta tiene 2 componentes fundamentales, la carcasa (también llamada alma) y la cobertura (también llamada forro).

- **Carcasa:** es el alma de la banda y donde convergen las tensiones, su construcción es de varias capas, según la capacidad o requerimientos, la carcasa cumple con la función de absorber y transmitir las fuerzas que actúan en la banda, principalmente afectada por el efecto de la tensión, aplicada al tambor motriz. La banda transportadora debe ser capaz de soportar los impactos sufridos durante la alimentación y el paso sobre cada rodillo superior.

Durante el momento de la alimentación, es en la banda donde impacta directamente el material, este impacto se da también en el momento de que pasa la banda cargada sobre cada uno de los rodillos superiores o de carga.

La carcasa la conforman una o varias capas de tejido textil, forradas con cauchos o polímeros, con características de flexibilidad y adhesión.

Figura 44. **Composición de banda transportadora**



Fuente: CONTITECH. *Manual de ingeniería bandas transportadoras*. p. 141.

La carcasa puede estar tejida por uno o varios materiales, el tejido longitudinal recibe el nombre de urdimbre y el sentido transversal es denominado trama, según nomenclatura universal es identificado por letras, tal es el caso de EP, de donde indica poliéster (E) en la urdimbre y poliamida (P) en la trama, algunos de los materiales más comunes en la fabricación de la carcasa son:

- Algodón (B)

Es un tejido de origen natural, comúnmente usado, sin embargo, está siendo desplazado por los tejidos sintéticos.

Existen diferentes calibres para las bandas con carcasa de algodón, la muestra (*duck*) es un trozo de material de 36" de urdimbre x 42" de trama, esto según la Norma D-181-42, ASTM existen pesos de 28, 32, 36, 42 y 48 onzas, de uso regular en las bandas de servicio ligero y baja tensión.

- Polyester (E)

En este tipo existen diversas combinaciones, terylene, trevira, diolen y tetoron, son muy poco vulnerables a la humedad, presentan gran flexibilidad y su longitud no es muy variable, con alta resistencia a materiales ácidos.

- Poliamida (P)

Con una alta resistencia al impacto, su uso es muy frecuente para todo tipo de aplicaciones, son fibras sintéticas a base de *nylon*, que junto con perlón posee una elasticidad controlada, buena resistencia a la humedad.

- Algodón-*nylon*

Este tipo de tejidos, es la combinación de varios metales para su fabricación, la fibras de la urdimbre son hechas de algodón que en ocasiones es reforzado con *nylon* y las fibras de la trama, son hechas de *nylon* o *nylon* y algodón. El *nylon* aumenta la resistencia en comparación con los tejidos únicamente de algodón, se emplea para servicios medianos y pesados en rangos de tensión de MP-35 a MP70.

- Polyester-poliamida (EP)

Fabricados con polyester en la urdimbre y poliamida en la trama, es una de las mejores características, presentando algunas ventajas.

- Alta resistencia en proporción al peso
- Alta resistencia al impacto
- Longitud estable

- Resistente a la humedad y micro-organismos
- Adaptación al acanalamiento
- Cobertura: es la envolvente de la carcasa, la protege de las condiciones que pueden en algún momento deteriorar la banda, el seleccionar una cobertura apropiada lleva la banda hasta el límite de su vida útil.

Entre sus objetivos está proveer adherencia a los tambores, resistir las circunstancias ambientales, proveer un vehículo adecuado al material, resistir el calor, el desgaste, el impacto, aceites, entre otros.

Algunas bandas son fabricadas con un lado más grueso, esto es porque la cara más gruesa es la que está en contacto con los tambores y rodos, haciéndola con mayor vida útil, al haber perdido esta cara muy desgastada se procede a darle vuelta y usarla en su cara más gruesa en contacto con los elementos mecánicos y la cara más delgada en contacto con el material, aunque este proceso no es muy recomendable debido a la irregularidad de la superficie, por su contacto con la polea, y se nota en una pobre distribución lateral de tensiones.

- Construcción de la banda: para que este equipo, el cual estará en contacto directo con el material sea eficiente se tiene que tener una combinación apropiada en su construcción.

Se debe tener en cuenta la potencia necesaria, tipo de material a transportar, granulometría, altura de la caída (alimentación), peso específico. Al elegir la banda adecuada, esta debe proporcionar estabilidad a la banda para que el desplazamiento sea fácil, más allá de elegir una banda con una

cobertura gruesa, debe ser una combinación adecuada entre la carcasa y la cobertura, para prolongar su vida útil.

- Determinación de los espesores de la cubierta: siendo la cubierta de la banda transportadora la encargada de soportar el desgaste producido por su funcionamiento en sí. Existen tablas elaboradas por los fabricantes, y aunque presentan una diversidad de productos, se debe analizar cada caso individual. El espesor apropiado se basa en el cálculo de factor denominado factor de recorrido, el cual no indica la distribución proporcional de una porción de la cinta que se encuentra debajo de la zona de carga.
- Clasificación de los tipos de banda en función del material: el punto de partida para realizar el proyecto es conocer el material a transportar, con sus características físicas, con base en este dato se selecciona el o los tipos de banda que pueden ser empleados, tanto la calidad de la carcasa y la cobertura, así como su resistencia varían de acuerdo al tipo de banda.

Los fabricantes ofrecen una variedad de productos, los cuales se deben evaluar y elegir el más acorde a las necesidades requeridas para el caso particular.

Tabla X. **Aplicación de bandas transportadoras**

Campo de aplicación	Materiales ejemplo	Tipos de banda
Materiales abrasivos	cemento, carbón, coque, tierra, piedra, granos, granito, grava, piedra caliza, madera, escoria, minerales	RO-PLY, banda de 2 capas múltiples capas tipos A, B y BW
Materiales abrasivos calientes	alto horno, clinker, escoria	Múltiples capas tipos K y N múltiples capas tipo TCC
Materiales calientes con aceites	abono, forrajes, basura	RO-PLY, GWF, banda de 2 capas múltiples, tipos GW y GWF
Alimentos	pan, chocolate, carne, pescado	Tipo IWE

Fuente: KAUMAN, *Bases para el cálculo de una banda transportadora*. p. 144.

6.2. Selección de los rodillos de carga y retorno

Han sido objetos de normalización por parte de los fabricantes, en lo relativo a sus dimensiones, con el propósito de hacer estos equipos universales y cuando se defina entre una marca y otra, y que no implique cambios significativos en la estructura, sin embargo, esto no obliga a nada en la disposición interna, cada fabricante posee sus disposiciones constructivas de los rodillos, ofreciendo características de resistencia, capacidades, fricción. Estas características son dadas a conocer por medio de sus catálogos.

En el caso de los rodillos de retorno, la cual lleva hacia el punto de retorno la banda sin carga para ser alimentada nuevamente, cada fabricante ofrece su

disposición interna y constructiva diferente, uso de materiales, mecanismos y rodamientos.

Los rodillos para bandas transportadoras son construidos en diámetros que van de 4 a 7”, son equipos sellados con ejes, carcasa, rodamientos y sellos mecánicos. La selección del diámetro del rodillo está en función de la velocidad, peso específico del material, peso de la banda transportadora, granulometría y esperanza de vida útil.

Basándose en los catálogos de los fabricantes y apoyado en las Normas de Asociación de Fabricantes de Equipos de Transporte (CEMA, por sus siglas en inglés), sin embargo, se pueden establecer generalidades, los rodillos con diámetros de 4 y 5 pulgadas son apropiados para velocidades de bandas entre 1.5-3 m/s (300-600 pie/min). Los rodillos de 6 y 7 pulgadas son para materiales con un alto peso específico y velocidades entre 4-5 m/s (800-1000 pie/min).

Tabla XI. **Clasificación de los rodillos según CEMA**

Clase de servicio	Clase CEMA	Diámetro de rodillo (pulgadas)	Tipo de rodamiento	Ancho de banda (pulgadas)
Carga liviana	A	4-5	bolas	18-36
	B	4-5		18-48
Carga mediana	C	4-5	bolas	18-60
	D	6		36-72
Carga pesada	E	6	rodillos	36-96
		7		

Fuente: Catalogo 1040R REXNOR, *belt conveyor idlers*. p. 45.

Rodillos superiores: se emplean comúnmente los que están conformados por 3 rodillos de igual longitud, comercialmente se encuentran en ángulos de 20, 35 y 45°, en la actualidad el más comercializado es de 35°.

El tener rodos con ángulos agudos, da la oportunidad de tener mayor capacidad de transporte y evitar el derrame de material, especialmente en los materiales con una granulometría gruesa.

El uso de rodos con ángulos de 35 y 45° requiere el tomar en cuenta que la construcción del bastidor se vuelve más pesada y por ende se eleva el costo, debido a que la capacidad de carga es mayor.

Rodillos inferiores o de retorno: estos requieren una construcción más eficiente debido a que el espaciamiento entre estos, razón por la cual existe mayor carga sobre los rodamientos. Los rodillos de retorno, deben ser del mismo diámetro de los de carga, para conservar la velocidad angular.

La longitud de los rodillos debe ser 2 pulgadas por lado mayor que la banda transportadora, ya que con esto se protege a la banda para que los bordes no rocen con la estructura y provocando el deterioro prematuro.

Espaciamiento entre rodillos: partiendo de la tensión existente y del peso específico del material, en función del ancho de la banda, se ubican equidistantes. Si se colocan muy distantes se genera un pandeo entre ellos al existir puntos de baja tensión y pandeos relativamente pequeños en los puntos de alta tensión.

Para bandas transportadoras de distancias muy grandes, pensando en función de costos, se ubican a distancias mayores, al hacer esto se deben tomar las siguientes precauciones:

- Conocer el límite del diseño de los rodillos.
- Conocer el pandeo permisible de la banda, con el fin de no derramar material por los bordes de la banda.

La distancia de separación se puede determinar mediante:

$$S_1 = \frac{8(q/s)T_0}{(G_b + M_{pm}) \times g}$$

Cálculo de la carga en los rodillos superiores.

La carga que actúa sobre los rodillos superiores se puede determinar mediante la ecuación:

$$C_{ro} = [(W_{bl} + k_1 \times M_{pm}) \times s_1] + C_{dr}$$

Donde:

C_{ro} = carga sobre los rodillos superiores (kilogramo)

W_{bl} = peso de la banda por unidad de longitud (kilogramo por metro)

s_1 = espaciamiento de los rodillos superiores (según tabla)

k = factor de ajuste por granulometría (según tabla)

M_{pm} = carga del material por metro de banda (kilogramo por metro)

C_{dr} = carga por desalineamiento de los rodillos (kilogramo)

El valor de la carga de material por metro lineal (kilogramo por metro) se puede determinar:

$$M_{pm} = \frac{Q_t}{3.6 \times v}$$

Donde:

Q_t = capacidad máxima de la banda (tonelada por hora)

v = velocidad de la banda (metro por segundo)

El valor de la carga por desalineamiento de los rodillos (kilogramo) se puede determinar:

$$C_{dr} = \frac{mi \times T_1}{9,8(6 \times s_1)}$$

Donde:

mi = desalineamiento de los rodillos (metro)

T_1 = tensión en el lado superior (Newton)

s_1 = espaciado de los rodillos superiores (metro)

Al tener calculada la carga sobre los rodillos, se selecciona en las tablas de los fabricantes la serie apropiada para el caso particular, el valor calculado deberá ser igual o menor que el de la serie elegida.

Cálculo de la carga en los rodillos de retorno: la carga a la que están sometidos los rodillos inferiores, se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$C_{ru} = w_{bl} \times s_2 + C_{dr}$$

Donde:

C_{ru} = carga sobre los rodillos inferiores (kilogramo)

w_{bl} = peso de la banda por unidad de longitud (kilogramo por metro)

s_2 = espaciamento de los rodillos inferiores (metro) según tabla

C_{dr} = carga por desalineamiento de los rodillos (kilogramo)

El valor de carga por desalineamiento de los rodillos (kilogramo), se puede calcular mediante la ecuación:

$$C_{dr} = \frac{m_i \times T_2}{9.8(6 \times s_2)}$$

Donde:

m_i = desalineamiento de los rodillos (metro)

T_2 = tensión en el lado de retorno (Newton)

s_2 = espaciamento de los rodillos inferiores (metro)

Al tener calculado el valor C_{ru} , se busca la serie apropiada en los catálogos de fabricantes.

6.3. Diseño y selección de tambores

El diseño de los tambores, se deben determinar el diámetro del tambor, ancho de cara y el diámetro mínimo del eje, al tener estos datos hay que buscar con lo que existe en el mercado.

Determinación del ancho de la cara del tambor: será el ancho de la banda más una holgura, que permitirá algún desalineamiento y está dado por las siguientes ecuaciones:

$$F = B + 0,05 \quad B < 1$$

$$F = B + 0,075 \quad B > 1$$

Donde:

F= ancho de cara del tambor (metro)

B= ancho de banda (metro)

Al tener esta información se debe revisar el catálogo del fabricante, para ubicar los existentes en el mercado, en caso no coincida, se debe seleccionar el inmediato superior.

Determinación del diámetro del tambor adecuado: la selección, depende principalmente del tipo y espesor de la banda elegida, cuando la cinta entra en contacto con los tambores, esta actúa como una lámina metálica curva, sus fibras más alejadas del centro están sometidas a una mayor tensión.

Las fórmulas clásicas de resistencias de materiales si pueden ser aplicadas, para determinar las tensiones de las fibras exteriores de la banda, en función del número de capas, los diámetros de los tambores y el esfuerzo tangencial aplicado sobre la banda.

Los fabricantes de bandas indican para cada tipo de tejido, el diámetro mínimo recomendado que se debe emplear.

Las tablas de los fabricantes están expresadas en el porcentaje de la utilización de la tensión de trabajo unitaria $T_{U\%}$ y se calcula mediante la ecuación:

$$T_{U\%} = \frac{T_u}{T_{u \text{ banda}}} \times 100$$

El diámetro propuesto por el fabricante en función de la tensión máxima a la que la banda estará sometida, sin embargo, también puede estar propuesto en función a la tensión de trabajo unitaria (T_u) y del arco de contacto entre la cinta y el motor.

En el caso de los tambores que no sean motrices se usará T_2 para calcular la tensión de trabajo unitaria T_u .

6.4. Diseño del sistema de alimentación de material

Las bandas transportadoras son alimentadas a través de chutes o tolvas, por la cual circula el material hasta que encuentra las guías de carga. Se debe predecir la trayectoria del material en el momento de que abandona la banda, esto con el fin de encontrar el diseño idóneo para el diseño y construcción del chute o tolva receptora. La trayectoria de descarga del material está dada por las siguientes relaciones de fuerzas.

- La fuerza centrífuga, la cual actúa en contra de la gravedad y determina el punto donde el material abandona la banda.
- La velocidad con la que el material abandona la banda.
- La fuerza gravitacional que actúa sobre la carga en el instante que esta deja la banda.

Las ecuaciones para calcular las componentes son las siguientes:

$$F_c = \frac{M_{pm} \times v^2}{g \times r}$$

$$y = \frac{1}{2} g \times t^2$$

Donde:

F_c = fuerza centrífuga

M_{pm} = carga del producto por metro cuadrado de banda

v = velocidad de la banda (metro por segundo)

r = radio desde el centro del tambor hasta el centro de gravedad del material (metro)

g = aceleración de la gravedad (metro por segundo al cuadrado)

y = distancia de caída del material (metro)

t = tiempo (segundo)

Por definición, la fuerza centrífuga actúa en la dirección radial, su acción es opuesta a la componente radial del peso de material sobre la banda. Dicha componente se determina con la siguiente ecuación.

$$M_{pm(r)} = M_{pm} \times \cos \varphi$$

Donde:

Φ = ángulo de la fuga del material desde la banda (°)

El componente radial del peso actúa sobre la banda con la misma dirección, pero con sentido opuesto a la fuerza centrífuga, al equilibrarse estas fuerzas se determina el punto donde el material abandona la banda. A cumplirse esto se dice:

$$\frac{M_{pm} \times v^2}{g \times r} = M_{pm} \times \cos \varphi$$

Simplificando:

$$\frac{v^2}{g \times r} = \cos \varphi$$

Cuando el valor v^2/gr excede el coseno del ángulo de inclinación de la banda, el material abandona la banda en el punto donde la banda es tangente al tambor debido a que la fuerza centrífuga supera la componente radial del peso del material.

7. COSTOS

7.1. Costo de fabricación

Debido a que el producto a fabricar es particular, aunque algunos de sus elementos se pueden fabricar en serie, la conformación no se puede decir que será una producción continua, ya que serán tareas específicas a realizar.

La orden de trabajo, de acuerdo con las especificaciones de un cliente, tomando en cuenta que, cada orden es distinta de la otra, el costo de cada una se registra en una hoja de resumen llamada hoja de costos de orden de trabajo. Esta hoja está diseñada para recopilar el costo de los materiales, mano de obra y costos indirectos aplicable a un trabajo específico, determinando la ganancia o pérdida en cada orden. Se caracteriza principalmente porque:

- Se concede mayor énfasis a la distinción entre costos directos e indirectos de la que es necesaria en la contabilidad de costos por órdenes específicas de fabricación.
- Se extienden órdenes y se llevan los costos de cada lote de producto fabricado. Estas órdenes están controladas por la cuenta de órdenes en proceso y se refieren a los costos directo e indirecto o sobrecarga incurrida en las órdenes.
- La cuenta de órdenes en proceso se usa para registrar el costo del producto fabricado y los inventarios de producto no terminado.
- Los costos directos se cargan a la cuenta de producto en proceso y se asientan en las hojas de costos de la orden de trabajo.

- Se usa un método para estimar el importe de los costos indirectos, conocidos también como gastos de fabricación aplicados, que han de cargarse a cada orden, estas cantidades se asientan en las hojas de costos y se cargan a la cuenta de productos en proceso.
- Análisis de rentabilidad en los trabajos.
- Uso de costos como base para controlar la eficiencia en las operaciones.

7.1.1. Costo de materiales

Las materias primas representan los materiales que, una vez sometidos a un proceso de transformación, se convierten en productos terminados. Para fabricar un producto suele hacerse uso de una amplia gama de materias primas. La materia prima se clasifica en materia prima directa e indirecta. La materia prima directa hace referencia a todos los materiales que integran físicamente el producto terminado o que se pueden asociar fácilmente con él.

Por materia prima indirecta se entiende aquellos materiales que integran físicamente el producto perdiendo su identidad, o que por efectos de materialidad se toman como indirectos.

7.1.2. Costo de equipo

Los costos de los equipos, es uno de los puntos donde la inversión será más específica y con celosa precaución, ya que no se puede evaluar únicamente el tema monetario, también se evalúan temas técnicos como el soporte técnico que ofrezca el proveedor, ya que si se tiene la curva de costo de mantenimiento *versus* vida útil, se puede observar que este tipo de equipos requiere una inversión con el paso del tiempo.

Aunque la cotización económica sea atractiva, es de evaluar los tiempos de entrega, debido a que estos equipos no se encuentran a nivel nacional. Influye mucho en la decisión, la fecha de entrega que diga el proveedor, en caso de equipos muy específicos, estos incluso requieren fabricación sobre pedido o sobre diseño.

Como todo elemento técnico se debe negociar la mayor cobertura con la garantía, en un tiempo máximo.

7.1.3. Costo de mano de obra

La mano de obra representa el esfuerzo del trabajo humano que se aplica en la elaboración del producto. La mano de obra, así como la materia prima se clasifica en directa e indirecta. La mano de obra directa constituye el esfuerzo laboral que aplican los trabajadores que están físicamente relacionados con el proceso productivo, sea por acción manual u operando una máquina. El costo del esfuerzo laboral que desarrollan los trabajadores sobre la materia prima para convertirla en producto terminado constituye el costo de la mano de obra directa. El salario y las prestaciones sociales que devenga, por ejemplo, el trabajador que corta la madera o arma la mesa se maneja como costo de mano de obra directa.

La parte del costo de la mano de obra que no se puede, razonablemente asociar con el producto terminado o que no participa estrechamente en la conversión de los materiales en producto terminado, se clasifica como mano de obra indirecta. Los salarios y prestaciones sociales que devengan, por ejemplo, los trabajadores que desarrollan actividades de vigilancia y mantenimiento constituyen costo de mano de obra indirecta.

- Mano obra directa: es la remuneración que se ofrece en dinero o en especie al personal que efectivamente ejerce un esfuerzo físico dentro del proceso de transformar la materia prima en un producto final.
- Mano obra indirecta: es la remuneración del personal que laborando en la planta productora, no interviene directamente dentro de la transformación de la materia prima en un producto final.

7.2. Costos indirectos

También denominados gastos generales de producción, carga fabril están clasificados como el tercer elemento del costo de producción o servicio, lo conforman todas aquellas transacciones que tienen la característica común de no ser atribuibles directamente a unidades específicas de la producción o el servicio que se presta.

Estos gastos junto con los materiales indirectos y la mano de obra indirecta, conforman el grupo de los llamados costos o cargos indirectos.

Los gastos de fabricación o costos indirectos se clasifican de la siguiente forma:

- Por su contenido
 - Materiales indirectos
 - Mano de obra indirecta
 - Otros gastos de fabricación
 - Renta
 - Depreciaciones

- Energía eléctrica
 - Reparaciones
 - Seguros
 - Previsión social

- Por su recurrencia
 - Fijos
 - Variables

- Por la técnica de valuación
 - Reales e históricos
 - Estimados o aplicados (predeterminados)

- Por su agrupación de acuerdo con la división de la fábrica
 - Departamentales
 - Líneas o tipos de artículos

Por la naturaleza de la actividad que realizan las empresas objeto de estudio, son aplicables los costos indirectos de acuerdo a su recurrencia, por tal motivo se hace mayor énfasis en los mismos y se detallan a continuación:

- Costos fijos: aquellos que permanecen constantes por un período relativamente corto, generalmente anual, ejemplo: impuestos, alquiler, primas de seguro, depreciación de activos (método de línea recta), salarios fijos de supervisores, mecánicos.

- Costos variables: aquellos cuyo monto fluctúa en razón directa de la producción o de venta, como por ejemplo: suministros, seguro de accidentes, reparaciones, seguro social, energía eléctrica.

8. DISEÑO Y CÁLCULO

8.1. Condiciones iniciales

Constituye un caso con fines de ejemplo, aunque esta apegado a la realidad, algunos datos son supuestos.

- Caso:
 - Longitud de banda (entre centros)=25m
 - Angulo de elevación=10°
 - Ancho de banda=762mm (30")
 - Velocidad lineal=1,5 m/s
 - Angulo de rodos de carga=35°
 - Faldones=1,5m por lado
 - Motoreductor de engranajes helicoidales (doble reducción) $\eta=94\%$
 - Eficiencia del motor $\eta=85\%$
 - Coeficiente de fricción f de partes móviles=.02 (tabla V)
 - Peso de banda=10,5kg/m (tabla VIII)
 - Ángulo de reposo del material=30°
 - Densidad del material=1600 kg/m³

8.2. Cálculos

- Definición del área transversal del material

$$b = 0,9B - 0,5$$

$$b = 0,9(0,76) - 0,5 = 0,67 \text{ m}^2$$

- Área transversal

$$A = \frac{1}{4} b^2 [\tan \beta + 0.75 \tan \lambda]$$

$$A = \frac{1}{4} (0.67)^2 [\tan(30) + 0.75 \tan(35)] = 0,123 \text{ m}^2$$

- Capacidad volumétrica aparente

$$Q = 3\,600 \times A \times v$$

$$Q = 3\,600 \times 0,123 \times 1,5 = 674.3 \text{ m}^3/h$$

- Factor de inclinación (si es horizontal $k=1$)

$$K = 1 - 1,64 \left[\frac{\varphi \times \pi}{180} \right]^2$$

$$K = 1 - 1.64 \left[\frac{10 \times \pi}{180} \right]^2 = 0,998$$

- Capacidad volumétrica efectiva (al tener inclinación)

$$Q = 3\,600 \times A \times v \times k$$

$$Q = 3\,600 \times 0,123 \times 1,5 \times 0,998 = 561,38 \text{ m}^3/h$$

- Capacidad de transporte

$$Q_1 = \gamma \times Q_2$$

$$Q_1 = 1,6 \times 561,38 = 898 \frac{\text{ton}}{\text{h}}$$

- Según tabla V, para un ancho de banda de 750 mm, y un material cuya densidad de 1 600kg/m³, se define un espaciamento de rodos.
 - Rodos de carga 1,20 m
 - Rodos de retorno 3,00 m
- Coeficiente de fricción por longitud de banda

$$C = 15,9L^{-0,61} + 0,77$$

$$C = 15,9 \times (24,62)^{-0,61} + 0,77 = 3,022$$

- Rodillos de carga especificación CEMA C
 Ø5"
 33 pulgadas libres
 20,9 kg (conjunto)
- Rodillos de retorno especificación CEMA C
 Ø5"
 33 pulgadas libres
 12,3 kg (conjunto)
- Cálculo de peso de las partes móviles por metro lineal

$$G = 2G_b + \frac{G_{ro}}{S_1} + \frac{G_{ru}}{S_2}$$

$$G = 2(10,5) + \frac{20,9}{1,2} + \frac{12,27}{3} = 42,5 \text{ kg/m}$$

- Fuerza para trabajar en vacío

$$F_1 = [C \times f \times L \times G] \times g$$

$$F_1 = [3,022 \times 0,02 \times 24,62 \times 42,50] \times 9,8 = 681,74 \text{ N}$$

- Fuerza para desplazar el material horizontalmente

$$F_2 = \left[\frac{C \times f \times L \times Q_t}{3,6 \times v} \right] \times g$$

$$F_2 = \left[\frac{3,022 \times 0,02 \times 24,62 \times 899}{3,6 \times 1,5} \right] \times 9,8 = 2\,427,75 \text{ N}$$

- Fuerza para desplazar el material verticalmente

$$F_3 = \left[\frac{H \times Q_t}{3,6 \times v} \right] \times g$$

$$F_3 = \left[\frac{4,34 \times 899}{3,6 \times 1,5} \right] \times 9,8 = 7080,8 \text{ N}$$

- Potencia de faldones ($l = 1,5 \text{ m por lado}$)

$$P_s = 0,08 \times v \times l$$

$$P_s = 0,08 \times 1,5 \times 3 = 0,36 \text{ kw}$$

- Potencia teórica

$$P = \frac{[F_1 + F_2 + F_3] \times v}{1\,000} + P_s$$

$$P = \frac{[681,74 + 2\,427,75 + 7\,080,79] \times 1,5}{1\,000} + 0,36 = 15,64 \text{ kw}$$

- Potencia motor

$$P_m = \frac{P}{\varepsilon \times \eta}$$

$$P_m = \frac{15,64}{0,94 \times 0,85} = 19,58 \text{ kw}$$

- Tensión efectiva

$$T_e = \frac{1\,000 \times P}{v}$$

$$T_e = \frac{1\,000 \times 15,645}{1,5} = 10,43 \text{ N}$$

- Tensión lado superior

$$T_1 = T_e \times m$$

$$T_1 = 10,43 \times 1,38 = 11,814 \text{ N}$$

- Tensión lado retorno

$$T_2 = T_1 - T_e$$

$$T_2 = 11,814 - 10,43 = 0,384 \text{ N}$$

- Tensión contrapeso

$$T_{cp} = 2T_2$$

$$T_{cp} = 2 \times 0,384 = 0,768 \text{ N}$$

8.3. Resumen de resultados

Según cálculos, se obtiene:

- Longitud de banda: 25m (entre centros)
- Densidad del material: 1 600 kg/m³
- Ángulo de elevación de la banda: 10°
- Ancho de banda: 30" (762mm) comercialmente en pulgadas
- Ángulo de reposo del material: 30°
- Diseñado con rodos especificación CEMA C 35°
- Capacidad de transporte: 898 ton/h
- Potencia de motor: 30 HP (comercial)
- Reductor con engranajes cónicos, doble reducción

CONCLUSIONES

1. El tener dentro de la línea de producción, una banda transportadora requiere una evaluación de los beneficios que este puede aportar, ya que el costo de este equipo puede exceder el de los beneficios requeridos
2. Tomar en cuenta las recomendaciones de los fabricantes de las bandas y componentes, ya que según su diseño particular pueden hacer más eficiente el equipo en conjunto.
3. Dentro del manejo de materiales, no existe nada normado, de forma que, aunque se cuente con un análisis preciso y números muy exactos, no se puede apartar la experiencia
4. Para el diseño de una banda transportadora se debe tomar muy en cuenta las características de los componentes y los repuestos para estos, ya que de esto depende una alta disponibilidad del equipo.

RECOMENDACIONES

1. Para conservar el equipo adecuadamente en completo funcionamiento se deben aplicar los diferentes tipos de mantenimiento, que ayudarán a que este pueda dar una eficiencia máxima y proporcionalmente un mejor rendimiento.
2. Manejar una holgura significativa, ya que en algún momento se puede requerir un incremento en la producción, lo cual dará un margen para el incremento en la producción o en la capacidad de la banda.
3. Los problemas de manejo de materiales siempre se deben analizar en conjunto con el proceso de producción, ya que estos van íntimamente relacionados y no se pueden considerar como actividades aisladas.
4. Al implementar un sistema de manejo de materiales en alguna parte de un proceso, se debe anticipar qué repercusiones tendrá este cambio en las operaciones anteriores y posteriores, así como los beneficios si se aplica adecuadamente y de cómo es que se puede llegar a optimizar el tiempo que se le esté aplicando a la actividad que abarca el almacenaje.

BIBLIOGRAFÍA

1. BAUMEISTER, Theodore. *Manual del ingeniero mecánico*. 8a. ed. en inglés (2ª ed. en español), (Volumen 1) México: McGraw-Hill. 1988. 877 p.
2. CONTITECH MEXICANA, S.A. de C.V., *Manual de ingeniería bandas transportadoras*, 2001. 42 p.
3. GONZÁLEZ OROZCO, Elmer David. *Diseño y montaje de una cinta transportadora de sal en la planta de la empresa QUIMOALCALI, S.A. ubicada en el parcelamiento Santa Isabel, Puerto San José*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007. 210 p.
4. HINOJOSA RUIZ, Heber Rodrigo, *software para diseño de transportadores de banda*. Ing. Mecánico. Guayaquil, Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, 2002. 165 p.
5. LANDAVERRY VILLAFUERTE, Karen Yohana. *Estudio de factibilidad para implementar una planta de producción de mezcla asfáltica y trituración de pedrín y arena en el municipio de Palencia del departamento de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2005. 224 p.

6. NORTON, Robert L. *Diseño de maquinaria: síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*. 3a. ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 2005. 749 p.
7. PARRA CORADO, Guillermo Rafael, *Guía para el diseño y selección de sistemas de movimiento de materiales por medio de transportadores de banda y de rodillos*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 1990. 87 p.
8. PHOENIX CONVEYOR BELT SYSTEM. *Fundamentos de diseño de las correas transportadoras Phoenix*, Hamburgo 2006, 60 p.
9. INDUSTRIAS PIRELLI S.A.I.C. *Manual de cálculo de cintas transportadoras*, Republica Argentina, División artículos varios, 1998,108 p.
10. SINISTERRA VALENCIA, Gonzalo. *Contabilidad de costos*. 20a ed. Bogotá: Ecoe Ediciones, 2006. 446 p.

APÉNDICES

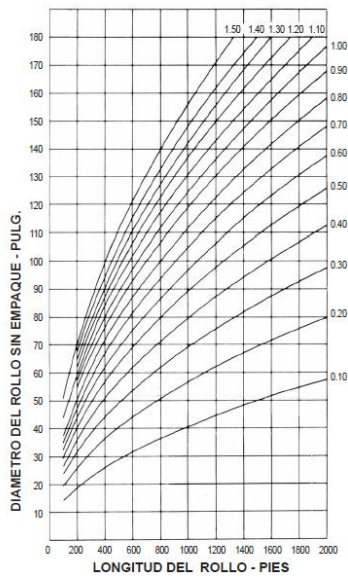
Apéndice 1. **Sistema de empalme de la banda transportadora, mediante vulcanización *in situ***



Fuente: Planta San Miguel, Cementos Progreso, S. A.

ANEXOS

Anexo 1. **Curva Proporcional entre la longitud de la banda y el diámetro del rollo de la banda transportadora.**



Fuente: CONTITECH, *manual de ingeniería bandas transportadoras*. p. 6.

Anexo 2: **Machote empleado por proveedores para recabar información en campo de las bandas de hule**

GOOD YEAR DATOS TÉCNICOS PARA EL DISEÑO BÁSICO DE EQUIPOS TRANSPORTADORES

IDENTIFICACION

Empresa _____ Fono _____
 Equipo _____ Fax _____
 Contacto _____ E-mail _____

PERFIL DEL TRANSPORTADOR

Dibuje el perfil del transportador indicando las cotas en los cambios de inclinación y alturas, largos de guarderas, ubicación del sistema motor y ubicación de las poleas y contrapesos. Indique también la posición de accesorios importantes.

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL

Descripción: _____
 Densidad _____ ton/m³ Humedad _____ %
 Temperatura _____ °C Tamaño máximo _____ mm
 Agresividad química _____ Angulo de reposo _____ °

CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES

Capacidad _____ TMPH Altura total _____ m
 Velocidad(*) _____ m/s Dist. entre centros _____ m
 Ancho de la correa _____ mm Tipo de tensor(*) Gravitacional(G)
 Angulo de inclinación: _____ ° Tornillo(T)

REVISIÓN DE LA SELECCIÓN DE CORREAS EN OPERACION*

Potencia instalada(*) _____ Hp Diámetro de polea motor _____ mm
 Angulo de abrazamiento _____ ° Revestimiento polea motor SI No
 Menor diam. poleas deflectoras _____ mm Tipo de polines: _____
 Angulo de polines _____ ° Máxima tensión de operación _____ kN/m _____ PW

***ESPECIFICACIONES DE LA CORREA INSTALADA**

Ancho _____ mm _____ pulg
 Capacidad de tensión _____ kN/m _____ PW
 Espesores de cubierta _____ x _____ mm x mm _____ x _____ pulg x pulg
 Tipo de cubierta: _____ Tipo de canchales: _____
 Longitud de correa _____ m (Incluido largo para empalmes)

(*) Datos indispensables para evaluar la correa en operación.

Envíenos una copia de estos antecedentes al Fax 65-2-630 13 46 o contáctenos al fono 656-2-630 13 37

Fuente: GOOD-YEAR, correas pylon, pylon EP

Anexo 3: **Tablas de especificación de propiedades de algunos materiales**

MATERIAL	ESTADO	DENS.	ÁNGULO TALUD	INCL. MAX.	GRADO ABRAS.
ÁCIDO FOSFÓRICO	GRANULADO	1,00	25	13	B
ALÚMINA	GRANULADO	0,75	30	12	C
ARCILLA SECA	GRANULADO	1,75	35	21	C
ARCILLA SECA	TROZOS	1,10	35	19	B
ARENA DE FUNDICIÓN	GRANULADO	1,35	45	24	A
ARENA DE FUNDICIÓN	TROZOS	1,50	40	22	A
ARENA HÚMEDA	GRANULADO	1,95	45	21	A
ARENA SECA	GRANULADO	1,60	35	17	A
ARROZ		0,75	20	8	C
ASBESTOS	MINERAL	1,30	20	-	A
ASBESTOS	DESMENUZADO	0,40	45	-	B
ASFALTO	TRITURADO	0,70	45	-	C
AVENA		0,40	20	10	C
AZÚCAR	GRANULADO	0,65	30	17	B
AZUFRE	POLVO	0,90	25	21	C
AZUFRE	TROZOS 12 MM.	0,90	25	20	C
AZUFRE	TROZOS 75 MM.	1,35	25	18	C
BARITA	MOLIDA	2,10	25	-	B
BAUXITA	TIERRA SECA	1,10	35	20	B
BAUXITA	MENA	1,35	30	17	A
BAUXITA	TRITURADA	1,30	30	20	A
BÓRAX	TROZOS	0,95	40	-	B
BÓRAX	GRANULADO	0,80	25	20	B
CAFÉ	GRANO VERDE	0,50	25	12	C
CAL	GRANO FINO	1,00	43	23	C
CAL	TERRONES	0,85	30	17	C
CALIZA	AGRICULTURA	1,10	25	20	B
CALIZA	TRITURADA	1,40	38	18	B
CARBÓN	BITUMINOSO	0,80	38	18	C
CARBÓN	LIGNITO	0,65	38	22	B
CARBÓN	ANTRACITA	0,95	27	16	B
CARBÓN	VEGETAL	0,35	35	20	B
CARBONATO SÓDICO	TROZOS 12 MM.	0,80	22	7	B
CARBONATO SÓDICO	PESADO 3 MM.	0,95	32	19	B
CARBONATO SÓDICO	LIGERO	0,45	37	22	B
CEMENTO	CLINKER	1,35	30	19	A
CEMENTO	PORTLAND	1,50	39	12	B
CENIZAS	SECAS	0,60	40	22	B

Continuación del anexo 3.

CENIZAS	HÚMEDAS	0,75	50	25	B
CINC	CONCENTRADO	1,25	25	-	B
COQUE	SUELTO	0,50	45	18	A
CUARZO	TROZOS	1,45	25	-	A
DOLOMITAS	TROZOS	1,50	20	22	B
ESCORIA	FUNDICIÓN	1,25	25	10	A
ESCORIA	GRANULAR, SECA	1,00	25	14	A
ESQUISTO	POLVO	1,20	35	20	B
ESQUISTO	TRITURADO	1,35	28	15	B
FELDESPATO	↓ 12 MM.	1,25	38	18	B
FELDESPATO	15 - 80 MM.	1,60	34	17	B
FOSFATO TRISÓDICO	GRANULADO	1,00	26	11	C
FOSFATO TRISÓDICO	POLVO	0,80	40	25	C
GRANITO	TROZOS	1,40	25	-	A
GRAVA	SECA	1,50	25	16	A
GRAVA	GUIJARROS	1,50	30	12	A
HARINA DE TRIGO	REFINADA	0,60	45	20	C
HIELO	TRITURADO	0,65	15	-	B
HORMIGÓN	TROZOS 50 MM.	2,10	25	25	B
HORMIGÓN	TROZOS 150 MM.	2,10	25	21	B
JABÓN	POLVO	0,30	30	18	C
MAÍZ	GRANO	0,70	21	10	C
MAÍZ	HARINA	0,60	35	22	C
MICA	MOLIDA	0,20	34	23	B
MINERAL DE CINC	TRITURADO	2,60	38	22	B
MINERAL DE CINC	CALCINADO	1,80	38	-	B
MINERAL DE COBRE	TROZOS	2,25	25	12	B
MINERAL DE CROMO	TROZOS	2,10	25	-	C
MINERAL DE HIERRO	TROZOS	2,40	35	19	B
MINERAL DE HIERRO	TROZOS 12 MM.	2,30	25	22	B
MINERAL DE MANGANESO	TROZOS	2,10	39	20	A
MINERAL DE PLOMO	REFINADO	3,80	30	15	B
MOLIBDENO	MOLIDO	1,70	40	25	C
ÓXIDO DE CINC LIGERO		0,20	35	40	C
ÓXIDO DE CINC PESADO		0,55	35	40	C
ÓXIDO DE HIERRO ROJO	PIGMENTO	0,40	40	25	C
PESCADO	HARINA	0,60	45	-	C
PESCADO	TROCEADO	0,70	45	-	C
PIZARRA	TRITURADA	1,40	39	22	B
ROCA BLANDA	TERRONES	1,70	35	22	B

Continuación del anexo 3.

ROCA TRITURADA	TROZOS	2,15	25	18	B
SAL	REFINADA	1,20	25	11	B
SAL	NO REFINADA	0,75	25	20	B
SAL POTÁSICA	REFINADA	1,30	25	-	C
SEMILLA DE ALGODÓN	SIN PLUMÓN	0,60	29	16	C
SEMILLA DE ALGODÓN	CON PLUMÓN	0,35	35	19	C
SEMILLA DE ALGODÓN	HARINA SECA	0,60	35	22	C
SOJA (GRANOS)	EN PASTA	0,55	35	17	B
SOJA (GRANOS)	ENTEROS	0,75	25	14	B
SUPERFOSFATO TRIPLE	REFINADO	0,85	45	30	C
TALCO	↓ 12 MM.	1,35	25	-	C
TALCO	40 – 80 MM.	1,45	25	-	C
TALCO EN POLVO		0,90	25	-	C
TIERRA CON ARCILLA	HÚMEDA	1,70	45	23	B
TIERRA SECA		1,20	35	20	B
TRIGO		0,75	28	12	C
VIRUTAS DE HIERRO FUNDIDO		2,70	35	-	B
VIRUTAS DE MADERA	IRREGULARES	0,35	45	27	C
YESO EN POLVO		1,10	42	23	B
YESO EN POLVO	↓ 12 MM.	1,20	40	21	B
YESO EN POLVO	40 – 80 MM.	1,30	30	15	B

Fuente: KAUMAN, Bases para el caculo de una banda transportadora

