



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

“Diseño de Bandas Transportadoras Tubulares”

TESIS DE GRADO

Previo a la Obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Byron David Basurto Barreto

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2013

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios, a mi madre por regalarme la oportunidad de ser un profesional y a todos aquellos que contribuyeron con la realización de este trabajo, especialmente al Ing. Federico Camacho, Director de Tesis, por ayudarme a cristalizar este gran sueño en realidad.

DEDICATORIA

A MI MADRE MARICARMEN BARRETO G.

A MI ABUELO JACINTO BARRETO Z.

A MI TIA MARIANA B. DE ZAMBRANO

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Dr. Kleber Barcia V., Ph.D.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Federico Camacho B.
DIRECTOR

Ing. Marcelo Espinosa L.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Byron David Basurto Barreto

RESUMEN

Uno de los sistemas que ha revolucionado completamente el sector industrial en el transporte de materiales al granel, por ofrecer una solución económica y eficiente, son las bandas transportadoras. Sin embargo, a pesar de todas las bondades que pueden ofrecer estos sistemas, una gran desventaja que poseen es la generación de polvo y el derrame de producto durante su transporte. Este hecho se ha convertido en un punto de discusión, especialmente cuando se requiere transportar productos que son contaminantes o agresivos con el medio ambiente, dando lugar al desarrollo de nuevos sistemas en los cuales la banda encierra completamente el producto transportado, siendo uno de los más destacados las bandas transportadoras tubulares.

Debido a que estos sistemas son relativamente nuevos y aún no existe un estándar para su diseño, la presente tesis de graduación tiene como objetivo brindar consideraciones de diseño preliminares que le permitirán al diseñador dimensionar los componentes y las partes principales de estos sistemas.

En los primeros capítulos se dan a conocer las partes principales y el principio de funcionamiento del sistema. Además, se describen las características técnicas, exponiendo en todo momento las ventajas que

poseen las bandas transportadoras tubulares sobre sus antecesoras. Siendo la más importante la protección del medio ambiente, por ofrecer un transporte de material completamente cerrado y libre de derrames evitando cualquier riesgo de contaminación ambiental.

En el tercer capítulo se muestra el cálculo de los parámetros principales de diseño tales como: capacidad de transporte, ancho, y velocidad de la banda, tensión y potencia requerida. Una vez definidos estos parámetros, se procede a diseñar la estructura y los componentes principales del transportador.

En el cuarto capítulo se presenta un caso de estudio, en el que se analizó uno de los transportadores tubulares más largos que existe en el mundo, instalado Birla Copper, India. Se procedió a calcular los requerimientos de tensión y potencia del sistema usando las especificaciones de diseño del caso de estudio con la finalidad de contrastar los resultados obtenidos mediante el método planteado en la presente tesis.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones para el posterior uso de esta nueva opción de transporte por banda para el manejo de materiales al granel.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS	XI
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO 1

1. BANDAS TRANSPORTADORAS TUBULARES	3
1.1. Banda Transportadora	6
1.2. Sección de Carga.....	11
1.3. Secciones de Transición	12
1.4. Secciones Intermedias.....	15
1.5. Sección de Descarga	16
1.6. Tambor Motriz.....	17
1.7. Sistema Tensor	18

CAPÍTULO 2

2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	20
2.1. Protección del Medio Ambiente.....	20
2.2. Producto Transportado	21
2.3. Oblicuidad e Inclinación del Transportador	23
2.4. Doble Transporte de Producto	26
2.5. Requerimientos de Espacio	28
2.6. Limpieza del Sistema	29
2.7. Componentes Estándares.....	30
2.8. Vida de la Banda Transportadora Prolongada	30
2.9. Consumo de Energía y Gastos de Mantenimiento.....	31

CAPÍTULO 3

3. CONSIDERACIONES DE DISEÑO.....	33
3.1. Parámetros Principales	33
3.1.1. Capacidad del Transportador	34
3.1.2. Tamaño de Grumos en el Material	36
3.1.3. Velocidad de la Banda.....	38
3.1.4. Ancho de la Banda	40
3.2. Cálculo de la Tensión y Potencia.....	40
3.2.1. Factor de Fricción de los Rodillos (K_x)	42
3.2.2. Factor de Flexión de la Banda (K_y).....	48
3.2.3. Factor de Corrección de Temperatura (K_t)	50
3.2.4. Fricción en las Secciones Curvas.....	50
3.2.5. Pérdidas por la Transformación de la Banda (C_f)	54
3.2.6. Tensión Efectiva	55

3.2.7. Potencia Requerida	60
3.3. Diseño de la Estructura del Transportador.....	61
3.3.1. Diseño de las Secciones Intermedias.....	61
3.3.2. Diseño de las Secciones de Transición	69
3.3.3. Diseño de las Secciones Curvas	70
3.3.4. Diseño de los Tambores.....	71

CAPÍTULO 4

4. CASO DE ESTUDIO	73
4.1. Especificaciones de Diseño	73
4.2. Diseño de Forma.....	74
4.3. Procedimiento de Diseño	78
4.4. Tabla de Resultados	90

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
--	----

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

°	Grados
°F	Grados Fahrenheit
h	Hora
hp	Horsepower
kg	Kilogramo
kW	Kilovatios
lb	Libra
lb/pie ³	Libras por pie cúbico
lb/pulg	Libras por pulgada
m	Metro lineal
m/s	Metro por segundo
mm	Milímetro
N	Newton
N/m	Newton por metro
pie ³	Pie cúbico
pulg	Pulgadas
s	Segundo
ton	Tonelada métrica [1000 kg o 2200 lb]
ton/h	Toneladas por hora
CAE	Computer Aided Engineering
CEMA	Conveyor Equipment Manufacturers Association
D	Banda tipo Aramida
DP	Banda tipo Aramida-Nylon
EP	Banda tipo Polyester-Nylon
EPP	Equipo de Protección Personal
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
JPC	Japan Pipe Conveyor
MSDS	Material Safety Data Sheet
P	Banda tipo Nylon-Nylon
ST	Banda tipo Cable de Acero (Steel Cord)
SCBA	Self-Contained Breathing Apparatus

SIMBOLOGÍA

A	Área de la sección transversal del transportador [mm]
A_i	Tensión requerida para rotar los rodillos
B	Ancho de la banda [mm]
C	Factor de arrollamiento de la polea motriz
C_f	Factor de transformación de la banda [lb]
C_{fx}	Tensión por transformación de la banda en el punto X [lb]
C_t	Tensión en secciones curvas [lb]
C_{tx}	Tensión en las secciones curvas en el punto X [lb]
D	Diámetro del transportador [mm]
F	Carga adicional sobre los rodillos en curvas [lb]
H	Distancia vertical para elevar o bajar el material transportado [pie]
K_t	Factor de corrección de temperatura
K_x	Factor de fricción de los rodillos [lb/pie]
K_y	Factor de flexión de la banda
L	Longitud de la sección del transportador [pie]
L_{TR}	Longitud de la sección de transición [pie]
P	Potencia en la polea motriz [hp]
P_m	Potencia de la unidad motriz [hp]
Q	Capacidad de transporte [ton/h]
R	Radio de curvatura de las secciones curvas [pie]
S_i	Separación de las estaciones de rodillos [m]
S_f	Factor de seguridad de la banda
T	Tensión de la banda [lb]
T_e	Tensión efectiva [lb]
T_{fx}	Tensión debido a la fricción en el punto X [lb]
T_1	Tensión de entrada en la polea motriz [lb]
T_2	Tensión de salida de la polea motriz [lb]
T_m	Tensión resultante de la fuerza necesaria para elevar o bajar el producto [lb]
T_t	Tensión de cola del transportador [lb]
T_{wx}	Tensión debido al peso del producto y de la banda en el punto X [lb]
T_x	Tensión resultante de la resistencia de fricción de los rodillos de transporte [lb]
T_y	Tensión resultante de la resistencia de la banda a la flexión cuando se mueve sobre los rodillos [lb]

T_{ym}	Tensión resultante por la resistencia del producto a la flexión cuando la banda viaja sobre los rodillos [lb]
V	Velocidad de la banda [m/s]
W_b	Peso de la banda [lb/pie]
W_m	Peso del producto transportado [lb/pie]
γ	Peso específico del producto transportado [lb/pie ³]
ϕ	Coeficiente de llenado del producto
μ	Coeficiente de fricción entre la banda y la polea
α	Ángulo de contacto de la banda y la polea [°]
η	Eficiencia mecánica del sistema de transmisión

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Concepto Del JPC [2]	3
Figura 1.2 Tipos de Bandas Transportadoras Tubulares [3]	5
Figura 1.3 Traslape de los Bordes de la Banda [4]	7
Figura 1.4 Sección Transversal Banda Tubular [2]	8
Figura 1.5 Sección Transversal Banda Reforzada con Cables de Acero [4]	9
Figura 1.6 Sección de Transición Zona de Carga [5]	13
Figura 1.7 Sección de Transición Zona de Descarga [5]	14
Figura 1.8 Sección de Transición en el Retorno [5]	15
Figura 1.9 Paneles de Rodillos Hexagonales [5]	16
Figura 1.10 Sección de Descarga [7]	17
Figura 2.1 Instalación Kronospan Inc. Suiza [5]	21
Figura 2.2 Instalación Malayan Cement Malasia [5]	23
Figura 2.3 Central de Carbón Lippendorf Alemania [5]	24
Figura 2.4 Instalación Deutsche Steinkohle Alemania [5]	25
Figura 2.5 Banda Tubular con Doble Sistema de Alimentación [11]	26
Figura 2.6 Ubicación Zona de Traslape [12]	28
Figura 2.7 Instalación Túnel Gotthard Sedrum Suiza	29
Figura 3.1 Configuración de Paneles de Rodillos [15]	46
Figura 3.2 Factor de Corrección de Temperatura [14]	50
Figura 3.3 Fuerza Adicional Sobre los Rodillos en Curvas [16]	52
Figura 3.4 Tensión en la Polea Motriz [16]	58
Figura 3.5 Rodillos en un Solo Lado del Panel [10]	62
Figura 3.6 Rodillos en Ambos Lados del Panel [10]	63
Figura 3.7 Límite De Alineamiento de la Banda [18]	67
Figura 3.8 Procedimiento de Alineación de la Banda [18]	68
Figura 3.9 Longitud de La Sección de Transición [4]	69
Figura 3.10 Descripción Radios de Curvatura [4]	71
Figura 4.1 Vista Sección de Carga [19]	75
Figura 4.2 Vista Sección de Transición [19]	76
Figura 4.3 Vista Secciones Intermedias [19]	76
Figura 4.4 Vista Sección Curva a 90° [19]	77
Figura 4.5 Diagrama del Transportador	80
Figura 4.6 Distribución de Potencia del Transportador	86

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Capacidad de Transporte en Bandas Tubulares [4].....	36
Tabla 2 Tamaño de Grumos del Producto [4].....	38
Tabla 3 Peso de La Banda W_b , lb/pie [15]	44
Tabla 4 Factor A_i en Bandas Tubulares [16].....	47
Tabla 5 Tensión en Secciones Curvas [16]	53
Tabla 6 Factor de Transformación de La Banda [16].....	54
Tabla 7 Factor de Fricción y Ángulo de Contacto [18]	59
Tabla 8 Eficiencia Mecánica del Sistema de Transmisión [4]	61
Tabla 9 Diseño de las Secciones Intermedias [11]	64
Tabla 10 Separación de Paneles Estándar [4].....	65
Tabla 11 Separación de Paneles en Curvas [16].....	66
Tabla 12 Longitud de las Secciones de Transición [4].....	70
Tabla 13 Especificaciones del Transportador [20]	74
Tabla 14 Cálculo de Parametros Principales	79
Tabla 15 Secciones del Transportador	80
Tabla 16 Cálculo de Constantes y Factores	83
Tabla 17 Cálculo de las Tensiones	88
Tabla 18 Cálculo de la Potencia en la Polea Motriz.....	89
Tabla 19 Resumen de Resultados Obtenidos	90

INTRODUCCIÓN

Hace más de 30 años, las bandas transportadoras tubulares incursionaron en el sector industrial brindando una solución libre de derrames, especialmente cuando se requiere transportar productos que son contaminantes con el medio ambiente. Desde entonces, las instalaciones de este tipo han funcionado sin complicaciones, y en algunos casos teniendo una confiabilidad mayor que los sistemas convencionales.

A pesar de ser una innovación tecnológica que reduce el impacto medioambiental, las bandas transportadoras tubulares no son la primera opción escogida por las industrias en cuanto a sistemas de transportación de materiales al granel se refiere. La razón principal es el desconocimiento del sistema y sus beneficios.

La presente literatura proporciona al ingeniero una perspectiva clara de la aplicación de estos sistemas, estableciendo consideraciones de diseño necesarias para dimensionar y seleccionar sus componentes principales.

Las bandas transportadoras tubulares no poseen un estándar definido para su diseño. CEMA sugiere la aplicación de los mismos métodos de diseño utilizados en bandas transportadoras convencionales, considerando los

factores apropiados de corrección proporcionados por los fabricantes de bandas transportadoras tubulares.

Se utilizará como método de comprobación el caso de estudio de la banda transportadora tubular de materiales al granel instalada en la planta Birla Cooper situada en India, para corroborar lo mencionado anteriormente.

CAPÍTULO 1

1. BANDAS TRANSPORTADORAS TUBULARES

El origen de las bandas transportadoras tubulares se remonta en el año 1959, donde el señor Hashimoto, Presidente de la compañía JPC, comenzó a desarrollar el concepto de formar una banda tubular a partir de una banda plana, ver FIGURA 1.1 [1].

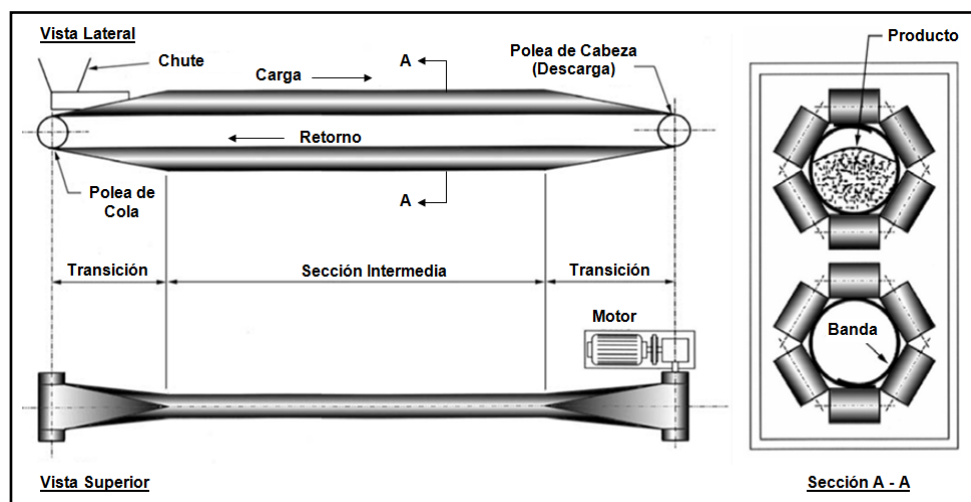


FIGURA 1.1 CONCEPTO DEL JPC [2]

Las primeras pruebas en escala real se realizaron en 1970, pero fracasaron porque no se comprendían completamente los criterios de diseño necesarios para mantener la forma tubular de la banda. A pesar de ello, el Sr. Hashimoto perseveró con su idea, y en 1975 la compañía Bridgestone accedió a participar en la creación de una banda apropiada para el sistema, a cambio de los derechos de fabricación en Japón [1].

En 1975, se llevó a cabo la segunda prueba del concepto, cuyos resultados comprobaron la validez del mismo, y en 1976 se realizó un tercer ensayo con un transportador tubular recto. A partir de entonces, su desarrollo comenzó a perfeccionarse [1].

En 1977, se realizó un ensayo con un transportador curvo, y posteriormente en el mismo año, se logró otra prueba con un transportador inclinado [1].

La primera instalación comercial del JPC se realizó en Kitakyushu Sand Co-op /Japón en 1979. Se instalaron dos transportadores de 300 mm de diámetro, con 20 m y 28 m de longitud respectivamente, los cuales han funcionado sin problemas hasta la fecha [1].

A partir del concepto original, se derivaron otros tipos de sistemas con ciertas modificaciones, como por ejemplo el “New Pipe Conveyor” de Mitsubishi, el “Mitsui Pipe Conveyor”, entre otros, ver FIGURA 1.2 [3].





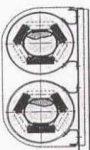
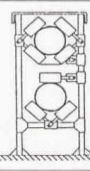

System	Principle Arrangement	Developed by
Pipe Conveyor		JPC
New Pipe Conveyor		Mitsubishi
Mitsui Pipe Conveyor		Mitsui
Tubular Conveyor		Beumer / Clouth
Rollgurt Conveyor		PWH / Continental
Super Conveyor (Rondex)		Yoshino Rubber
Tokai Conveyor		Tokai Rubber

FIGURA 1.2 TIPOS DE BANDAS TRANSPORTADORAS TUBULARES [3]

1.1. Banda Transportadora

La parte más importante de un transportador tubular es la banda. A simple vista, posee una apariencia similar a una banda convencional. Sin embargo, tras ella existe un diseño exhaustivo que le permite resistir los elevados esfuerzos de tensión que se presentan en el funcionamiento del sistema.

La banda está sujeta a varias transformaciones durante su recorrido. Al inicio debe permanecer abierta para recibir el producto en la sección de carga. Luego, una serie de rodillos comienzan a cerrarla poco a poco incrementando sus ángulos laterales a lo largo de la sección de transición. Una vez cerrada, ingresa en los paneles de rodillos hexagonales instalados en la sección intermedia, los cuales se encargan de mantenerla en forma tubular. Después se abre gradualmente en la sección de transición hasta quedar completamente plana para descargar el producto en la polea de cabeza. El proceso se repite para el lado de retorno, ver FIGURA 1.1.

Para lograr dicho propósito, la banda debe tener ciertas propiedades, las cuales se describen a continuación [4]:

- Flexibilidad longitudinal, permite curvas más cerradas sin sobrecargar la banda.
- Rigidez transversal, impide que la banda se desenrolle por sí sola en las secciones de transición. Además, permite conservar una forma tubular cuando viaja a través de las secciones intermedias. Sin embargo, si ésta propiedad es muy elevada, la energía consumida del sistema se incrementará drásticamente.

La banda debe tener en su interior una capa transversal rígida para asegurar que la misma siempre se mantenga en contacto con los rodillos. Si una banda convencional es usada en estos sistemas, en poco tiempo perderá firmeza en la zona de traslape de los bordes y el contacto con los rodillos, ver FIGURA 1.3.

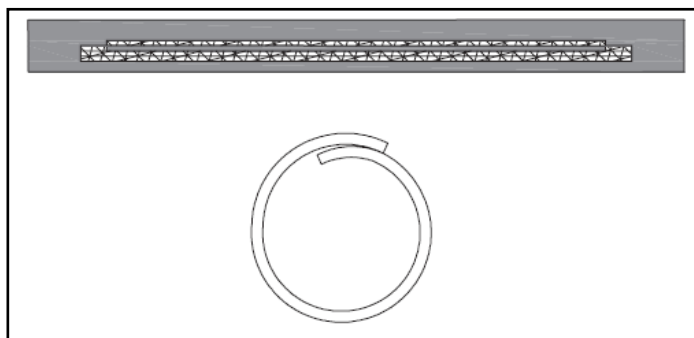


FIGURA 1.3 TRASLAPE DE LOS BORDES DE LA BANDA [4]

A pesar que la banda requiere tener rigidez transversal suficiente, los bordes de la misma deben ser flexibles para formar un buen traslape durante su cierre. En transportadores tubulares de diámetros pequeños, esto se logra aumentando el espesor de la capa de caucho, entre las capas centrales, dejando los bordes bajo una construcción normal para obtener la flexibilidad deseada como se puede observar en la FIGURA 1.4. En cambio, en transportadores tubulares de diámetros mayores, se dificulta obtener la rigidez transversal necesaria de esta forma [4].

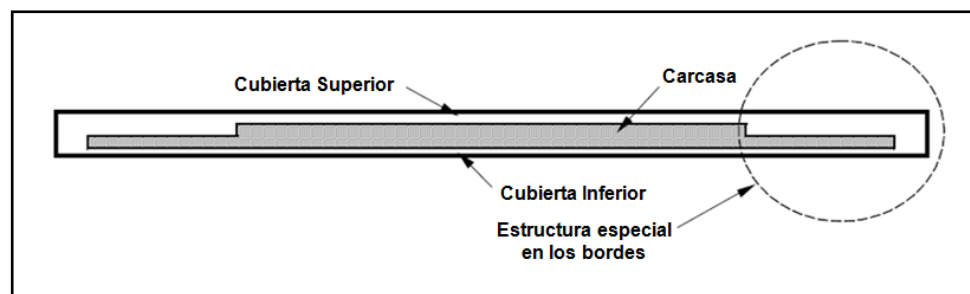


FIGURA 1.4 SECCIÓN TRANSVERSAL BANDA TUBULAR [2]

Los fabricantes de bandas deben recurrir a otros métodos como: aumentar el número de capas, incrementar el espesor de las cubiertas y/o capas de caucho, y/o seleccionar un refuerzo transversal de tela con un mayor módulo de elasticidad en la

dirección transversal, como poliéster o telas con tejidos más separados, con fibras más gruesas, etc. [4].

Al igual que en los transportadores convencionales, si la banda transportadora tubular debe recorrer una trayectoria muy extensa, es necesario instalar una banda reforzada con cables de acero, ver FIGURA 1.5 [4].

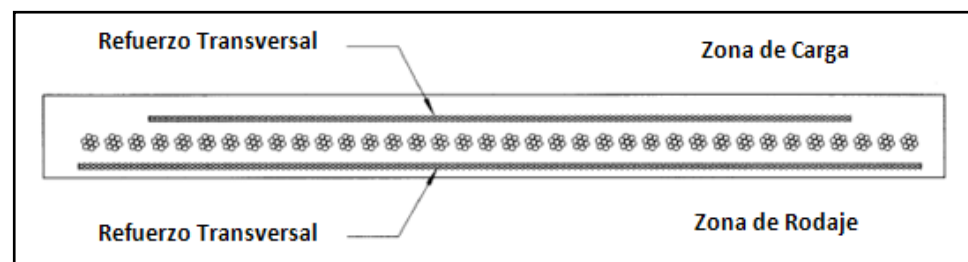


FIGURA 1.5 SECCIÓN TRANSVERSAL BANDA REFORZADA CON CABLES DE ACERO [4]

Para obtener la rigidez transversal requerida en este tipo de bandas, se debe instalar refuerzos transversales encima y por debajo del núcleo de cables de acero. Generalmente, el refuerzo transversal superior se fabrica con tejido 100% sintético y se extiende por todo el ancho de la banda para aumentar la flexibilidad en la zona de traslape. En cambio, el refuerzo transversal inferior es

fabricado con fibras de acero y tela sintética, las mismas que se colocan paralelas, para así formar el tejido [4].

Las bandas tubulares se pueden obtener de los siguientes tipos [4]:

- Nylon-nylon (P).
- Poliéster-nylon (EP).
- Aramida (D).
- Aramida-nylon (DP).
- Cable de acero (ST).

Además, están disponibles en los siguientes tipos de cubiertas [4] :

- Resistencia al corte.
- Resistencia a la abrasión.
- Resistencia al aceite.
- Trementina resistente.
- Auto extingible.
- Anti estático.
- Retardante de Inflamabilidad.

- Resistente al calor.
- Ahorro de energía.
- Combinaciones de las anteriores.

A diferencia de los transportadores convencionales, las bandas tubulares no permiten transportar productos con altas temperaturas, debido a que el mismo se encontrará completamente encerrado por la propia banda. Esto impide que el aire ambiente circule para extraer el calor retenido en los componentes del sistema [4].

1.2. Sección de Carga

La sección de carga o de alimentación de una banda tubular es similar a la de un transportador convencional, a través de un chute de carga cerca de la polea de cola del sistema.

Una correcta alimentación del transportador es uno de los requerimientos operacionales más importantes en estos sistemas, la cual debe ser uniforme ubicada en el centro del transportador [3].

En una banda convencional una sobrecarga que exceda la capacidad del transportador, da como resultado un derrame del producto. En cambio, si esto ocurre en bandas tubulares, la misma se atascaría debido a que cualquier excedente del producto quedará encerrado por la propia banda. Por otro lado, es necesario controlar el tamaño de grumos del producto, porque cualquier objeto de gran tamaño puede obstruir la banda produciendo daños severos en el sistema [3].

Por las razones ya expuestas, es de suma importancia tener una alimentación regular o contar con una solución adecuada para anticipar una alimentación desproporcionada, como por ejemplo: instalar un sistema de detección en forma de interruptor que se active en el momento que exista una sobrecarga en los rodillos de las secciones intermedias [3].

1.3. Secciones de Transición

Las áreas donde la banda se transforma de plana a tubular o viceversa son denominadas secciones de transición. Inmediatamente después de la sección de carga, la banda dispone de un mecanismo para el cierre. La longitud necesaria para

completar dicho cierre depende de la velocidad de la banda y características del producto transportado [3].

En ésta sección, una serie de rodillos comienzan a cerrar la banda al aumentar gradualmente sus ángulos laterales. Luego, rodillos guías son usados para formar el traslape de los bordes y reducir la abrasión en esta zona, permitiendo así un cierre adecuado. La instalación de estos elementos tiene lugar antes de la primera sección intermedia, ver FIGURA 1.6 [3].



FIGURA 1.6 SECCIÓN DE TRANSICIÓN ZONA DE CARGA [5]

La segunda sección de transición se encuentra ubicada antes de llegar a la sección de descarga, ver FIGURA 1.7. La banda se abre nuevamente al viajar a través de estaciones de rodillos que disminuyen sus ángulos laterales, hasta dejarla completamente plana al pasar por la polea de cabeza del transportador.



FIGURA 1.7 SECCIÓN DE TRANSICIÓN ZONA DE DESCARGA [5]

Durante el retorno, el mismo proceso se repite, para la transición de la banda de plana a tubular y viceversa. La FIGURA 1.8 muestra como la banda se vuelve a cerrar después de la sección de descarga.



FIGURA 1.8 SECCIÓN DE TRANSICIÓN EN EL RETORNO [5]

1.4. Secciones Intermedias

La sección intermedia del transportador es la parte donde la banda adopta su forma tubular, al viajar a través de los paneles de rodillos hexagonales, ver FIGURA 1.9. Estas secciones se instalan tanto en el lado de carga como en el retorno de la banda.

La construcción de los paneles es muy simple y puede fabricarse con perfiles laminados de acero, o chapas metálicas prensadas. Los agujeros de montaje son perforados en el panel para asegurar una instalación exacta de los rodillos [6].

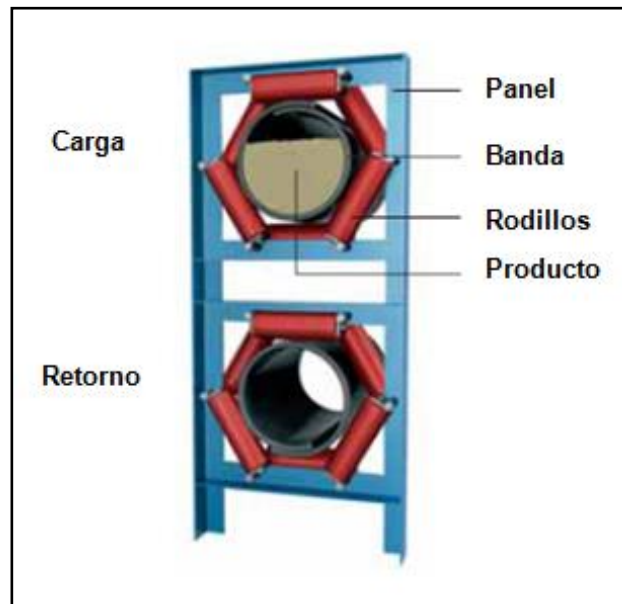


FIGURA 1.9 PANELES DE RODILLOS HEXAGONALES [5]

Por lo general, la separación de los paneles es de 1 a 3,5 m dependiendo del diámetro del transportador, carga, el número de curvas, etc. La capacidad que tiene la banda enrollada de auto sustentarse permite una mayor distancia entre paneles.

1.5. Sección de Descarga

La sección de descarga de una banda tubular es similar a los sistemas convencionales, ubicada en la cabeza del transportador, ver FIGURA 1.10. La banda se abre poco a poco al viajar a través de rodillos que disminuyen gradualmente sus ángulos de

inclinación, con la finalidad de descargar el producto en la polea de cabeza [6].



FIGURA 1.10 SECCIÓN DE DESCARGA [7]

1.6. Tambor Motriz

La unidad de transporte debe ser ubicada, siempre que sea posible, en la sección de descarga. Debido a las características especiales que poseen las bandas transportadoras tubulares, el diámetro de las poleas es normalmente un poco mayor que el de las bandas transportadoras convencionales.

Unidades modernas incluyen motores de alta eficiencia, cajas reductoras helicoidales de eje biselado, montadas en las poleas respectivas usando discos de contracción. Los motores de

impulsión son generalmente tipo jaula de ardilla, equipados con variadores de frecuencia AC, garantizando un arranque suave, permitiendo una variación de velocidad de la banda, ayudando así a crear la carga deseada en la sección transversal del transportador [6].

1.7. Sistema Tensor

La posición disponible para la instalación del sistema tensor por gravedad se encuentra justo después de la polea de cabeza o antes de la polea impulsada, es decir, donde la banda se encuentra en forma plana. La posición a un lado de la polea de cabeza es ideal, porque existe una fuerza de tensión menor y se dispone de un mayor espacio [3].

Si debajo de la banda no hay suficiente altura, una buena alternativa es la aplicación de un tensor horizontal dinámico con cables conectados a un contrapeso. Otra alternativa es instalar la polea impulsada sobre un carro tensor [3].

Todas las soluciones antes mencionadas son similares a las que se aplican en los transportadores convencionales. Sin embargo, es

importante tener en cuenta que para tensionar una banda tubular primero se debe arrancar el sistema en vacío varias veces, porque durante las primeras horas de operación se producirá una pequeña elongación en la misma, la cual deberá ser compensada por el sistema tensor [3].

CAPÍTULO 2

2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

2.1. Protección del Medio Ambiente

Una de las ventajas más importantes de las bandas transportadoras tubulares, es la eliminación de la generación de polvo y derrames, al encerrar el producto completamente durante su transporte. Característica muy útil cuando se manejan materiales que son contaminantes con el medio ambiente.

En la FIGURA 2.1 se observa la instalación de Kronospan Inc. ubicada en Suiza. La banda tubular fue la mejor opción para el transporte de virutas de madera sobre una carretera y vías de ferrocarril, por no presentar riesgos de derrames del producto [5].



FIGURA 2.1 INSTALACIÓN KRONOSPAN INC. SUIZA [5]

2.2. Producto Transportado

Debido a la protección que estos sistemas proporcionan, son ideales para transportar materiales secos en polvo o con alto contenido de humedad, abrasivos, calientes, inflamables, que contienen aceites, grasas y productos comestibles. Esta característica ofrece grandes posibilidades a organizaciones que actualmente buscan la optimización de procesos en el manejo de materiales al granel. A continuación sus posibles aplicaciones [3]:

- Cemento, clinker, mortero seco, polvo de filtración, ceniza, aserrín, virutas de madera.

- Lodos de aguas residuales, lodos de dragado, pasta de papel, torta de filtración.
- Concentrados de mena, minerales, bauxita, alimentos para ganadería, fertilizantes, potasio.
- Ceniza volante mojada, yeso, coques de petróleo.
- Azúcar refinada, cacao.
- Transportadores largos para minas a cielo abierto o subterráneas.

Para citar un ejemplo, la banda transportadora tubular instalada en la planta Malayan Cement ubicada en Malasia, transporta cemento fresco desde la planta hacia la estación de carga portuaria ubicada en el mar para su exportación. Durante todo el trayecto, el producto es protegido de la excesiva humedad y la salinidad presente en la zona. Desde 1995 este sistema ha demostrado tener una alta confiabilidad y disponibilidad para operar bajo condiciones extremas, ver FIGURA 2.2 [5].



FIGURA 2.2 INSTALACIÓN MALAYAN CEMENT MALASIA [5]

2.3. Oblicuidad e Inclinación del Transportador

Una banda transportadora tubular puede describir múltiples curvas en su trayectoria, de modo que una sola banda tubular puede reemplazar varias bandas convencionales, puntos de transferencias asociados y equipos auxiliares. Diseños recientes han logrado realizar curvas a 90°.

Los rodillos en las secciones intermedias forman un círculo restringiendo la banda en todos sus lados permitiendo realizar curvas cerradas que pueden ser: horizontales, verticales o una combinación de ambas.

Este es el caso de la planta Lippendorf ubicada en Alemania. La banda transportadora tubular pudo sobreponerse a las exigencias de espacios que tiene la central de carbón, gracias a su habilidad de manejar curvas tanto verticales como horizontales en su trayectoria, ver FIGURA 2.3 [5].

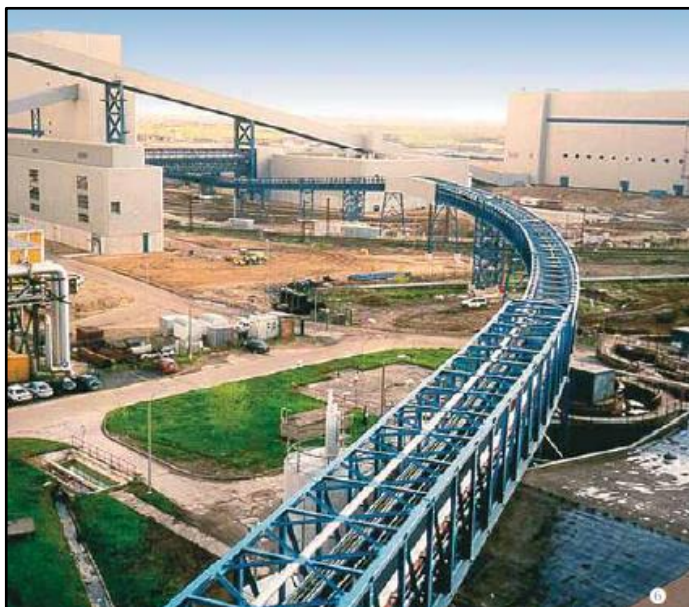
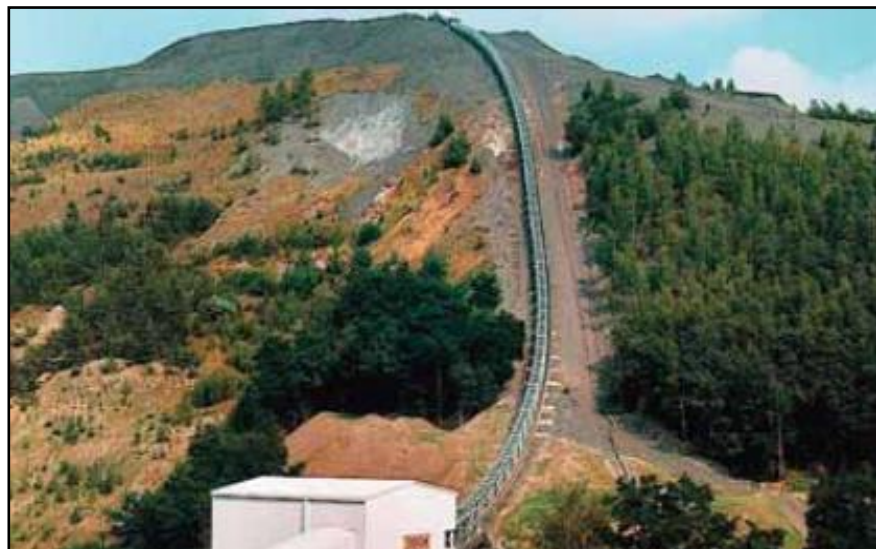


FIGURA 2.3 CENTRAL DE CARBÓN LIPPENDORF ALEMANIA [5]

Es necesario que la banda se encuentre en forma tubular cuando requiere realizar curvas en su trayectoria. El sitio ideal para iniciar una curva, es antes de la sección de transición cercana a la zona de descarga [8].

La banda transportadora tubular permite ángulos de inclinación mucho más pronunciados que una banda convencional. Debido a la sección transversal circular que posee, existe una mayor área de contacto entre el producto y la banda, permitiendo así un aumento en el ángulo de inclinación de aproximadamente un 50%; es decir, de 27° a 30° en comparación con 17° a 20° en una banda transportadora convencional [9].



**FIGURA 2.4 INSTALACIÓN DEUTSCHE STEINKOHLE
ALEMANIA [5]**

Para dar muestra de ello, la planta Deutsche Steinkohle AG ubicada en Alemania, transporta carbón bituminoso en un terreno

prácticamente inaccesible para una banda transportadora convencional, por incluir una pendiente de 28° en su trayectoria, ver FIGURA 2.4 [5].

2.4. Doble Transporte de Producto

Dependiendo de la aplicación y de la distancia, las bandas tubulares pueden transportar producto tanto en el lado de carga como en el retorno. Esto se logra mediante una alimentación intermedia y el uso de mecanismos de inflexión. Cabe recalcar que en el lado de retorno puede ser transportado otro tipo de producto, ver FIGURA 2.5 [10].

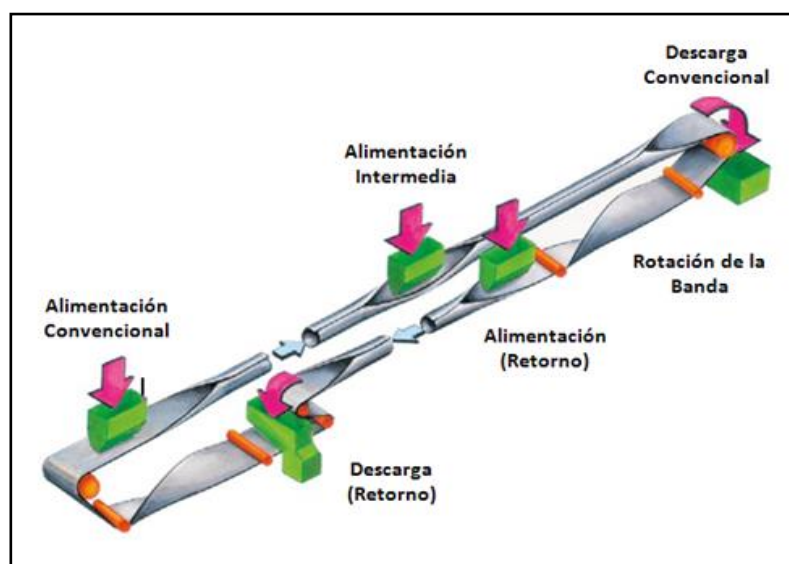


FIGURA 2.5 BANDA TUBULAR CON DOBLE SISTEMA DE ALIMENTACIÓN [11]

Dichos mecanismos de inflexión sirven para torcer la banda de tal manera, que al adoptar su forma tubular durante el retorno, el lado “sucio” de la banda siempre se encontrará en el interior del ducto; permitiendo formar el traslape de los bordes en la parte superior de la sección transversal del transportador, evitando así derrames.

Cuando se transporta producto solamente en el lado de carga, la zona de traslape de los bordes de la banda debe encontrarse en la parte superior de la sección transversal del transportador en el lado de carga y en la parte inferior en el retorno, ver FIGURA 2.6 a. En cambio, cuando se transporta producto en ambos extremos, es necesario que el traslape se forme en la parte superior tanto para el lado de carga como en el retorno, ver FIGURA 2.6 b.

Esta dualidad de transporte sólo puede lograrse en bandas tubulares de gran longitud, usadas generalmente en plantas que se encuentran cerca de puertos navieros, donde es necesario enviar materia prima desde la bahía hasta la planta para su procesamiento y luego retornar producto terminado en el sentido contrario para su exportación.

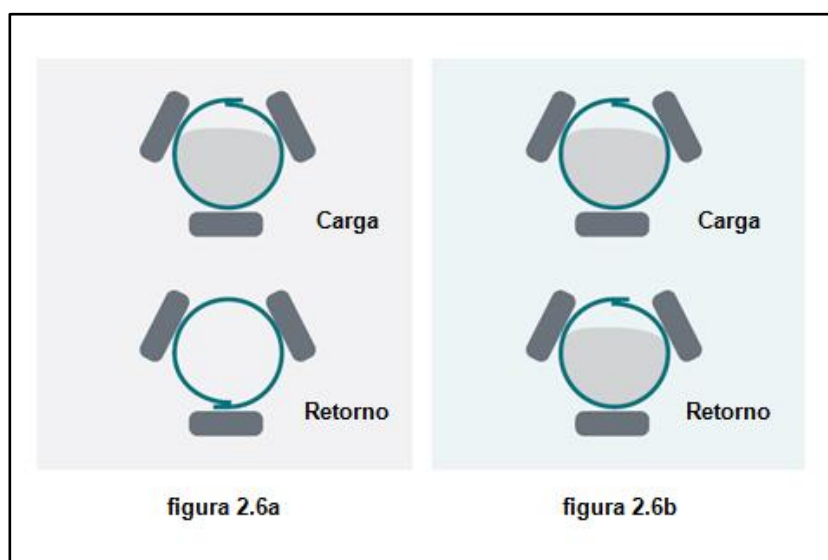


FIGURA 2.6 UBICACIÓN ZONA DE TRASLAPE [12]

2.5. Requerimientos de Espacio

La banda transportadora tubular tiene aproximadamente la mitad del ancho de un transportador convencional. Por esta razón, las instalaciones de este tipo utilizan mejor los espacios en el terreno.

A modo de ejemplo, una banda tubular de 12 pulg de diámetro tiene la misma capacidad de transporte que una banda convencional de 30 pulg de ancho usando rodillos de 20°. Como resultado, se tiene una estructura de soporte de 25 pulg de ancho para el transportador tubular, mientras que el convencional va a requerir como mínimo un ancho de 41 pulg [8].

Esta característica es particularmente útil cuando se presentan restricciones de espacios en el trayecto, como instalaciones bajo techo, túneles o lugares confinados, ver FIGURA 2.7.



**FIGURA 2.7 INSTALACIÓN TÚNEL GOTTHARD SEDRUM
SUIZA [13]**

2.6. Limpieza del Sistema

Al no existir derrames del producto durante el funcionamiento del sistema se tiene como resultado instalaciones más limpias, sin tener la necesidad de contratar costosos trabajos de limpieza.

Además, gracias al mecanismo de inflexión de la banda, solamente el lado limpio de la misma estará en contacto directo con los rodillos, eliminando la acumulación de suciedad en estos componentes.

2.7. Componentes Estándares

Es posible utilizar componentes estándar de bandas transportadoras convencionales en bandas tubulares. La banda es fabricada por Bridgestone en Japón, o bajo licencia por Goodyear en EE.UU. La disponibilidad de estos componentes en el mercado local, hacen de estos sistemas una buena alternativa, con equipos altamente confiables y de gran aceptación por los usuarios [8].

2.8. Vida de la Banda Transportadora Prolongada

El tiempo de vida útil de una banda tubular es similar a una convencional, aproximadamente entre 10 y 15 años promedio, si no se presentan daños mecánicos en el sistema. A diferencia de los transportadores convencionales, es muy poco probable que la banda tubular entre en contacto directo con la estructura de soporte del sistema [3].

2.9. Consumo de Energía y Gastos de Mantenimiento

Dentro de una instalación convencional, factores importantes en el consumo de energía son:

- Elevación del producto en puntos de transferencia repetidos.
- Arranque de múltiples bandas transportadoras.

En cambio, en bandas transportadoras tubulares factores relevantes son:

- Mayor número de rodillos en el sistema.
- Carga elevada sobre los rodillos.
- Potencia consumida por las transformaciones de la banda.
- Número de curvas.

Debido a que un mayor número de rodillos son necesarios en una banda transportadora tubular, existe un incremento en la inercia del sistema, produciendo una mayor cantidad de potencia absorbida por tonelada de producto transportado. Además, existe un mayor consumo de energía cuando la banda requiere realizar curvas en su trayectoria [14].

De esta forma, si se compara una banda transportadora tubular con una convencional que tiene múltiples puntos de transferencia, donde existe un requisito adicional de potencia para elevar el producto y así transferirlo de una banda a otra, los requerimientos de potencia son comparables, y en ciertas circunstancias podrían ser incluso menores para bandas tubulares [14].

Así, cuantas más bandas transportadoras convencionales se necesitan para cubrir el trayecto, más atractivo se vuelve en el aspecto económico la instalación de una banda transportadora tubular, en términos de consumo de energía, inversión inicial y sobre todo en los gastos de mantenimiento [3].

CAPÍTULO 3

3. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Las industrias han reconocido el manual “Belt Conveyors for Bulk Materials” de CEMA como un estándar para el diseño de bandas transportadoras. Dado que las bandas transportadoras tubulares son relativamente nuevas, no existe un estándar para su diseño. Los fabricantes sugieren entonces modificaciones a las normas de CEMA para el cálculo de las tensiones y potencia, las cuales podrán ser usadas para establecer los requisitos mínimos que deben cumplir estos sistemas.

3.1. Parámetros Principales

Los parámetros de una banda transportadora tubular son: capacidad de transporte, velocidad y ancho de la banda, tensión y

potencia requerida para poner el sistema en marcha. A continuación se muestra como se calcula cada uno de ellos.

3.1.1. Capacidad del Transportador

Usualmente, la capacidad del transportador es proporcionada como requisito de funcionamiento del sistema. Se la puede expresar mediante la siguiente expresión [10]:

$$Q = 3600VA\gamma\phi \quad 3.1$$

Donde

Q = capacidad de transporte [ton/h]

V = velocidad de la banda [pie/min]

A = área de la sección transversal del transportador [pie²]

γ = peso específico del producto transportado [lb/pie³]

ϕ = coeficiente de llenado del producto

La capacidad permitida de una banda transportadora tubular se basa en aproximadamente un 75% del área de la sección

transversal del diámetro real transportador. Este valor puede incrementarse del 80% al 85%, cuando no existen grumos en el producto y se tiene un buen control en la alimentación del sistema. Sin embargo, si el producto es muy grumoso y el control de alimentación es deficiente, entonces este valor no podrá exceder el 60%. Además, las curvas cerradas reducen el área de la sección transversal que debe utilizarse [4].

Al comparar una banda transportadora convencional con una banda tubular con un coeficiente de llenado del 80% y 75% respectivamente, muestra que un transportador convencional tiene aproximadamente 150% a 300% más capacidad que una banda tubular con el mismo ancho de banda. Esto se debe básicamente por las tres posiciones de ángulos de transporte disponibles (20° , 30° y 45°) y a la variación del ángulo de reposo del producto (0° - 30°), las cuales afectan directamente el área de la sección transversal permitida. Lo anterior no tiene efecto alguno sobre la capacidad en bandas transportadoras tubulares [4].

La TABLA 1 muestra algunos valores de capacidades para bandas transportadoras tubulares, correspondientes a una

velocidad de banda de 1 m/s con un coeficiente de llenado del 75% [4].

TABLA 1
CAPACIDAD DE TRANSPORTE EN BANDAS TUBULARES [4]

Nominal Pipe Diameter		Actual Pipe O.D.		Belt Width		Cross-sectional Area (75% Fill)		Nominal Capacity			
								Volumetric		Weight	
								100 fpm	1 m/s	@ 100 fpm @ 100 lbf/ft ³	@ 1 m/s & @ 1.6 t/m ³
(in)	(mm)	(in)	(mm)	(in)	(mm)	(ft ²)	(m ²)	(ft ³ /hr)	(m ³ /h)	(tph)	(mtph)
6	150	6.5	166	23.6	600	0.135	0.013	811	45	41	72
8	200	8.4	213	29.5	750	0.226	0.021	1,354	75	68	121
10	250	10.1	257	35.4	900	0.345	0.032	2,069	115	103	185
12	300	12.4	314	43.3	1,100	0.503	0.047	3,020	168	151	269
14	350	14.6	370	51.2	1,300	0.707	0.066	4,241	236	212	378
16	400	16.5	418	57.1	1,450	0.906	0.084	5,437	303	272	485
18	450	18.3	466	65.0	1,650	1.150	0.107	6,897	384	345	615
20	500	20.6	523	72.8	1,850	1.416	0.132	8,495	474	425	758
22	550	22.5	570	78.7	2,000	1.716	0.159	10,299	574	515	919
24	600	24.6	626	86.6	2,200	2.104	0.195	12,622	704	631	1,126
26	650	26.5	674	92.5	2,350	2.467	0.229	14,801	825	740	1,320
28	700	28.4	722	98.4	2,500	2.859	0.266	17,154	956	858	1,530
30	750	30.3	769	104	2,650	3.280	0.305	19,680	1,097	984	1,755
32	800	32.2	817	110	2,800	3.730	0.347	22,380	1,247	1,119	1,996
34	850	34.4	873	118	3,000	4.291	0.399	25,749	1,435	1,287	2,296

3.1.2. Tamaño de Grumos en el Material

Es de suma importancia controlar el tamaño de grumos del producto transportado, porque cualquier partícula de gran tamaño puede atascar el sistema, produciendo daños severos en la banda, rodillos y estructura del transportador [4].

El coeficiente de llenado del transportador ϕ depende del tamaño de grumos presentes en el producto, a continuación algunos casos [10]:

- tamaño de grumos $< 1/3 D$; $\phi = 0,80$.
- tamaño de grumos $= 1/3 D$; $\phi = 0,75$.
- tamaño de grumos $= 1/2 D$; $\phi = 0,58$.
- tamaño de grumos $= 2/3 D$, $\phi = 0,44$.

Donde

D = diámetro del transportador [pie]

La TABLA 2 muestra el tamaño de grumos del producto para varios diámetros del transportador. Si el producto posee un gran porcentaje de ellos, entonces se deberá usar el menor valor de la tabla. En cambio, si solo se tiene en pocas cantidades, entonces el máximo valor deberá usarse. Grumos aún mayores pueden ser manejados, siempre y cuando el coeficiente de llenado se reduzca apropiadamente [4].

TABLA 2
TAMAÑO DE GRUMOS DEL PRODUCTO [4]

Nominal Pipe Diameter		Mostly Lumps		Occasional Lumps	
(in)	(mm)	(in)	(mm)	(in)	(mm)
6	150	1-1/2	38	2	50
8	200	2	50	2-1/2	60
10	250	2-1/2	60	3-1/4	80
12	300	3	75	4	100
14	350	3-1/2	90	4-1/2	115
16	400	4	100	5-1/4	133
18	450	4-1/2	110	6	150
20	500	5	125	6-1/2	165
22	550	5-1/2	140	7	180
24	600	6	150	8	200
26	650	6-3/8	160	8-1/2	215
28	700	7	180	9	230
30	750	7-3/8	190	9-3/4	250
32	800	8	200	10-3/8	265
34	850	8-1/2	215	11	280

Es recomendable que el tamaño de grumos se encuentre alrededor del 25% al 33% del diámetro del transportador si se tiene un coeficiente de llenado del 75%. El tamaño máximo del terrón del producto depende en gran medida del porcentaje de grumos [4].

3.1.3. Velocidad de la Banda

La velocidad de la banda se determina a partir de las características del producto transportado, capacidad de transporte, ancho de la banda y del método de instalación del transportador.

Las bandas transportadoras tubulares están diseñadas para operar a velocidades mayores que las bandas transportadoras convencionales. El rango de velocidades empleadas se encuentra entre 2 y 5 m/s [10].

En estos sistemas la velocidad tiene muy poco efecto sobre el producto transportado, porque el mismo se encuentra completamente encerrado por la banda, excepto en las secciones de carga y descarga donde la banda debe abrirse en un tramo corto del trayecto. Por esta razón, hay que tener en consideración estas secciones a la hora de seleccionar la velocidad y por ende el diseño general del sistema [4].

Generalmente, una banda más rápida es beneficiosa porque con ella, se reduce el ancho del transportador y las tensiones en la misma cuando la alimentación es constante. De esta manera, se logran grandes ahorros de inversión y consumo de energía del sistema [10].

3.1.4. Ancho de la Banda

El ancho total de la banda cuando se encuentra en su forma tubular puede ser expresado de la siguiente manera [10]:

$$B = [\pi + (1/2 \sim 1/3)]D \quad 3.2$$

Donde

B = ancho de la banda [pie]

D = diámetro del transportador [pie]

3.2. Cálculo de la Tensión y Potencia

Para poder dimensionar y establecer los requerimientos básicos de operación de los componentes de una banda transportadora, es necesario calcular todas las fuerzas que intervienen en el funcionamiento del sistema.

Como aún no existe un estándar para el cálculo de la tensión y potencia en bandas transportadoras tubulares, los fabricantes sugieren modificar de acuerdo a su experiencia, las ecuaciones usadas en los métodos de diseño de bandas transportadoras

convencionales, y así aplicarlas a estos nuevos sistemas. Lo anterior sólo es posible, simplemente aplicando los factores apropiados de corrección [4].

Dependiendo de la complejidad del transportador, existen 3 métodos de diseño propuestos por CEMA, los cuales son [4]:

- Método Básico.
- Método Estándar.
- Método Universal.

Por su simplicidad y facilidad de aplicación, el método más usado es el Estándar o también llamado “Método histórico de CEMA”, el mismo que puede ser empleado si se cumplen las siguientes condiciones [4]:

- Tramos en el transportador que no superen los 3000 pie de longitud.
- Una o varias secciones de carga.
- Secciones inclinadas, declinadas u horizontales con o sin curvas verticales.
- Transporte unidireccional o reversible a cualquier velocidad.

- Una o varias unidades motrices.
- Tensor por gravedad o automático.
- Tensión máxima de banda igual a 16,000 lb.

3.2.1. Factor de Fricción de los Rodillos (K_x)

La fuerza de fricción de los rodillos a la rotación y la resistencia al deslizamiento entre la banda y los rodillos pueden calcularse usando el factor de fricción de los rodillos, el cual es definido por CEMA mediante la siguiente expresión [15]:

$$K_x = 0,00068(W_b + W_m) + \frac{A_i}{S_i} \quad 3.3$$

Donde

K_x = factor de fricción de los rodillos [lb/pie]

W_b = peso de la banda [lb/pie]

W_m = peso del producto transportado [lb/pie]

S_i = separación de las estaciones de rodillos [pie]

A_i = tensión necesaria para rotar los rodillos [lb]

0,00068 = coeficiente de fricción rotacional del rodamiento de los rodillos

El peso del producto transportado se calcula mediante la siguiente expresión [15]:

$$W_m = \frac{Q \cdot 2000}{60 \cdot V} = \frac{33,3 \cdot Q}{V} \quad 3.4$$

Donde

W_m = peso del producto transportado [lb/pie]

Q = capacidad de transporte [ton/h]

V = velocidad de la banda [pie/min]

Cuando el peso exacto de la banda W_b es desconocido se debe utilizar la TABLA 3, para determinar los valores estimados promedios en libras por pie de longitud de la banda, a partir del ancho de la banda y el peso específico del producto transportado. Si se utiliza una banda con refuerzos de cable de acero, el valor obtenido de la tabla deberá ser incrementado en un 50% [15].

TABLA 3
PESO DE LA BANDA W_b , lb/pie [15]

Belt Width inches (<i>b</i>)	Material Carried, lbs/ft ³		
	30-74	75-129	130-200
18	3.5	4.0	4.5
24	4.5	5.5	6.0
30	6.0	7.0	8.0
36	9.0	10.0	12.0
42	11.0	12.0	14.0
48	14.0	15.0	17.0
54	16.0	17.0	19.0
60	18.0	20.0	22.0
72	21.0	24.0	26.0
84	25.0	30.0	33.0
96	30.0	35.0	38.0

Una práctica muy común en el diseño de bandas transportadoras convencionales, es despreciar las fuerzas de fricción causadas por los rodillos durante el retorno. Sin embargo, lo anterior no es posible en bandas transportadoras tubulares, porque al tener un mayor número de rodillos el factor K_x se vuelve más significativo [4].

Debido a la rigidez que posee la banda tubular, el hundimiento de la misma entre paneles de rodillos

hexagonales es mínimo durante el retorno. Esto permite disponer de varios tipos de arreglos en las estaciones intermedias, ver FIGURA 3.1. A continuación se detallan cada uno de ellos [16]:

- Caso 1: Estaciones de rodillos completos tanto para el lado de carga como en el retorno. Ideal en secciones curvas o cuando se tienen limitaciones de espacios.
- Caso 2: Estaciones de rodillos completos tanto para el lado de carga y retorno, con una estación intermedia de rodillos sólo en el lado de carga. Las estaciones en el retorno se encontrarán al doble de separación que en el lado de carga.
- Caso 3: Estaciones de rodillos completos seguidos de dos estaciones con rodillos en V en el retorno.
- Caso 4: Estaciones de rodillos completos seguidos de dos estaciones con un solo rodillo en el retorno.

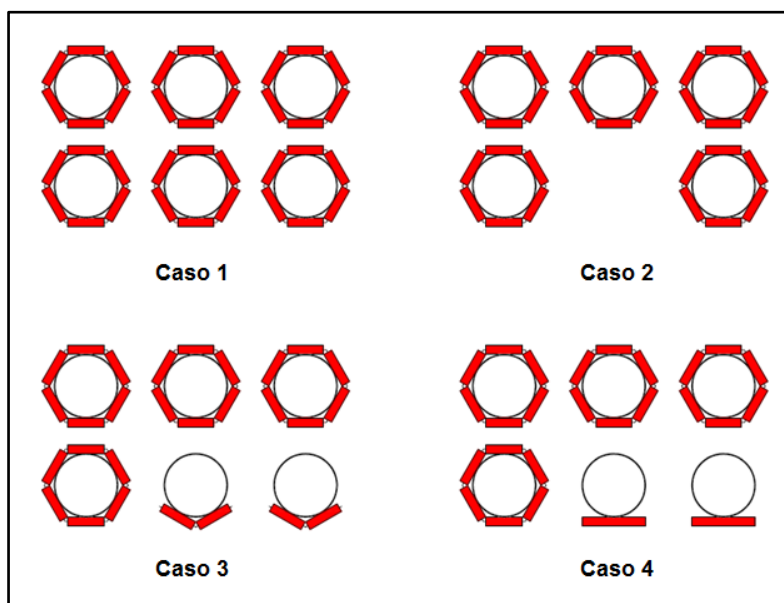


FIGURA 3.1 CONFIGURACIÓN DE PANELES DE RODILLOS [16]

La TABLA 4 muestra los valores del factor A_i según el tipo de arreglo de paneles de rodillos y el diámetro del transportador. Los valores de A_i para el retorno del caso 1, deberán ser usados en las secciones curvas, mientras que en las secciones rectas los 4 casos pueden ser empleados [16].

Cabe recalcar, que los rodillos usados en bandas transportadoras tubulares no forman parte del estándar CEMA, por esta razón la TABLA 4 es solamente una aproximación. CEMA basa sus cálculos usando rodamientos

de rodillos, mientras que la mayoría de estos sistemas utilizan rodamientos de bolas [16].

TABLA 4
FACTOR A_i EN BANDAS TUBULARES [16]

Diámetro del Transportador (in)	Lado de Carga (Taip)	Lado de Retorno (Raip)			
		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
6	6,2	6,2	4,1	3,4	2,8
8	6,2	6,2	4,1	3,4	2,8
10	4,5	4,5	3,0	2,5	2,0
12	4,5	4,5	3,0	2,5	2,0
14	4,5	4,5	3,0	2,5	2,0
16	3,5	3,5	2,3	1,9	1,6
20	3,5	3,5	2,3	1,9	1,6
24	3,8	3,8	2,5	2,1	1,7
28	3,2	3,2	2,1	1,8	1,4
34	3,5	3,5	2,3	1,9	1,6

Otro punto a tener en consideración es el valor de la separación de los paneles S_i . Normalmente, los paneles de rodillos se instalan más juntos en las secciones curvas para lograr un radio más cerrado. Por esta razón, es recomendable analizar por separado las secciones curvas y rectas para considerar los cambios de separación y los valores de A_i para los distintos arreglos de paneles de rodillos a usar [16].

3.2.2. Factor de Flexión de la Banda (K_y)

El factor de flexión de la banda K_y permite determinar las pérdidas causadas por la resistencia de flexión de la banda cuando es oprimida por la carga transportada, cuyos valores son una función de la separación de las estaciones, peso del producto, peso de la banda, y la tensión del sistema [16].

En bandas transportadoras tubulares este factor debe ser modificado porque no solo depende del peso del producto y de la banda, sino también de la flexibilidad lateral de la misma. Las fuerzas que mantienen su forma tubular actúan sobre los 6 rodillos, incrementando así la resistencia total de flexión en cada estación [4].

Por otro lado, la banda no es completamente tubular cuando viaja a través de las secciones intermedias. Existe una ligera deformación en la misma debido al hundimiento producido por el peso del producto y la banda. Como consecuencia, la banda es forzada a adoptar una forma tubular bien definida al ingresar en cada panel de rodillos, generando esfuerzos de flexión adicionales, incrementando así el factor K_y [4].

La selección del tipo de construcción de la banda tiene un mayor efecto en la resistencia a la flexión K_y que en los transportadores convencionales [4].

CEMA define un rango de valores de K_y para bandas transportadoras convencionales, el cual se encuentra entre 0,016 y 0,035, usando un valor de 0,015 para el lado de retorno. Estos valores están basados en una separación máxima de las estaciones de rodillos igual a 5 pie. Sin embargo, este límite es completamente excedido para bandas transportadoras tubulares con diámetros mayores a 8 pulg [16].

A pesar de ello, gracias a la elevada rigidez transversal que posee la banda, la deflexión de la misma entre estaciones de rodillos es menor que en una banda convencional. Como el factor K_y es una función de la deflexión de la banda, es recomendable usar los valores tabulados de K_y para una separación de 3 pie, pero limitando este valor a un mínimo de 0,016 [16].

3.2.3. Factor de Corrección de Temperatura (K_t)

Cuando el transportador opera en climas fríos, la resistencia de rotación de los rodillos y la resistencia de flexión de la banda aumentan, incrementando así la tensión resultante del sistema. El factor de corrección de temperatura K_t ayuda a prever estos cambios y se lo obtiene mediante el uso de la curva de la FIGURA 3.2 [15].

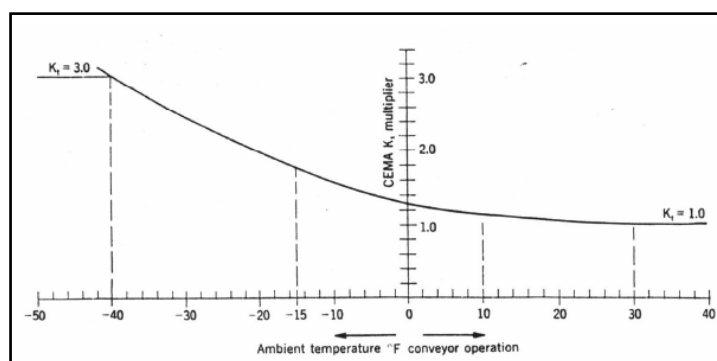


FIGURA 3.2 FACTOR DE CORRECCIÓN DE TEMPERATURA [15]

3.2.4. Fricción en las Secciones Curvas

Las fuerzas radiales generadas en curvas horizontales y/o verticales cerradas deben ser tomadas en consideración, porque aumentan la resistencia de flexión de la banda.

Normalmente, estas fuerzas son ignoradas en los transportadores convencionales dado que poseen radios mayores en su trayectoria [4]. Cada vez que el transportador requiere cambiar de dirección se generan esfuerzos adicionales en los rodillos, los cuales deben soportar la banda para mantener el radio de curvatura deseado [16].

Al realizar un diagrama de cuerpo libre de un elemento muy pequeño de la banda, ver FIGURA 3.3, la sumatoria de las fuerzas involucradas da como resultado [17]:

$$F = 2T \text{Sen} \left(\frac{\Delta\alpha}{2} \right) \quad 3.5$$

Dónde:

F = Carga adicional sobre los rodillos en curvas [lb]

T = Tensión de la banda [lb]

α = Ángulo de contacto entre la banda y la polea [°]

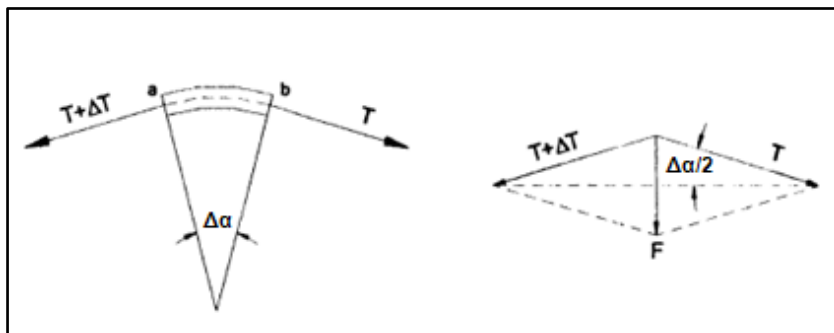


FIGURA 3.3 FUERZA ADICIONAL SOBRE LOS RODILLOS EN CURVAS [17]

La ecuación 3.5 muestra que la carga adicional sobre los rodillos es solamente una función de la tensión y el ángulo de contacto entre la banda y la polea. El radio y la longitud de la curva no tienen efecto alguno sobre dicha fuerza.

La TABLA 5 muestra algunos valores de la fuerza generada en las secciones curvas, los mismos que deben ser corregidos por el factor K_t para temperaturas inferiores a 32°F [16].

TABLA 5
TENSIÓN EN SECCIONES CURVAS [16]

Tensión en secciones curvas Ct (32°F)									
Ángulo de contacto α	Tensión de la banda (lb)								
	1000	2000	5000	8000	10000	15000	20000	25000	30000
5°					14	22	29	36	44
10°			15	23	29	44	58	73	87
15°			22	35	44	65	87	109	131
20°		12	29	46	58	87	116	145	174
25°		14	36	58	72	108	144	181	217
30°	9	17	43	69	86	130	173	216	259
35°	10	20	50	80	100	150	201	251	301
40°	11	23	57	91	114	171	228	285	342
45°	13	26	64	102	128	191	255	319	383
50°	14	28	70	113	141	211	282	352	423
60°	17	34	83	133	167	250	334	417	500
70°	19	38	96	153	191	287	383	478	574
80°	21	43	107	172	214	322	429	536	643
90°	24	47	118	189	236	354	472	590	708

Un punto muy importante a tener en consideración es la ubicación de las curvas. Curvas cercanas en la cabeza del transportador (lado de carga), producen tensiones mayores en la banda incrementando la carga sobre los rodillos [16].

Además, hay que tener en consideración que el tipo de curva y la geometría del transportador influyen directamente en la carga sobre los rodillos. Los peores casos son las curvas convexas, porque la componente de la fuerza de impulso sobre la banda se encuentra en la misma dirección que la fuerza gravitacional. En cambio, en curvas horizontales estas

fuerzas forman un ángulo de 90° entre sí, mientras que en curvas cóncavas se encuentran a 180° [16].

3.2.5. Pérdidas por la Transformación de la Banda (C_f)

En el diseño del sistema se debe considerar las pérdidas de energía asociadas con la transformación de la banda, las cuales se determinan a partir del factor C_f . La TABLA 6 muestra algunos valores de C_f en función del diámetro del transportador [16].

TABLA 6
FACTOR DE TRANSFORMACIÓN DE LA BANDA [16]

Diámetro del Transportador (in)	C_f (lbs)
6	50
8	60
10	70
12	80
14	90
16	100
20	120
24	130
28	150
34	180

3.2.6. Tensión Efectiva

La tensión efectiva es la sumatoria de las tensiones individuales que se producen en el sistema debido a las fuerzas resistivas impuestas sobre la banda. A continuación, se muestra cada una de ellas [15]:

(1) T_x : Pérdidas por fricción de los rodillos de transporte.

$$T_x = L K_x K_t \quad 3.6$$

(2) T_y : Pérdidas por flexión de la banda.

$$T_y = L K_y W_b K_t \quad 3.7$$

(3) T_{ym} : Pérdidas por flexión del material.

$$T_{ym} = L K_y W_m \quad 3.8$$

(4) T_m : Pérdidas por elevar o bajar el producto.

$$T_m = \pm H W_m \quad 3.9$$

(5) C_f : Pérdidas por transformación de la banda.

(6) C_t : Pérdidas en secciones curvas.

Al sumar todas las componentes se obtiene como resultado:

$$T_e = T_x + T_y + T_{ym} + T_m + C_f + C_t$$

$$T_e = LK_x K_t + LK_y W_b K_t + LK_y W_m \pm HW_m + C_f + C_t$$

$$T_e = LK_t (K_x + K_y W_b) + W_m (LK_y \pm H) + C_f + C_t \quad 3.10$$

Donde

T_e = Tensión efectiva [lb]

L = Longitud de la sección del transportador [pie]

H = Distancia vertical para elevar o bajar el producto transportado [pie]

K_t = Factor de corrección de temperatura

K_x = Factor de fricción de los rodillos [lb/pie]

K_y = Factor de flexión de la banda

W_b = Peso de la banda [lb/pie]

W_m = Peso del producto transportado [lb /pie]

La tensión en cualquier punto X del transportador se calcula mediante la siguiente expresión [15]:

$$T_x = T_t + T_{fx} + T_{wx} + C_{fx} + C_{tx} \quad 3.11$$

Donde

T_t : Tensión de cola del transportador [lb].

$$T_t = 4,2 S_i (W_b + W_m)$$

T_{fx} : Tensión debido a la fricción en el punto X [lb]

$$T_{fx} = L_x [K_t (K_x + K_y W_b)] + L_x K_y W_b$$

T_{wx} : Tensión debido al peso del producto y de la banda en el punto X [lb].

$$T_{wx} = H_x (W_b + W_m)$$

C_{tx} : Tensión en las secciones curvas en el punto X [lb].

C_{fx} : Tensión por transformación de la banda en el punto X [lb].

Para producir el movimiento de la banda es necesario que exista una diferencia de tensión en la polea motriz, ver FIGURA 3.4 [17]:

$$T_e = T_1 - T_2$$

3.12

Donde

T_e = Tensión efectiva [lb]

T_1 = Tensión de entrada de la polea motriz [lb]

T_2 = Tensión de salida de la polea motriz [lb]

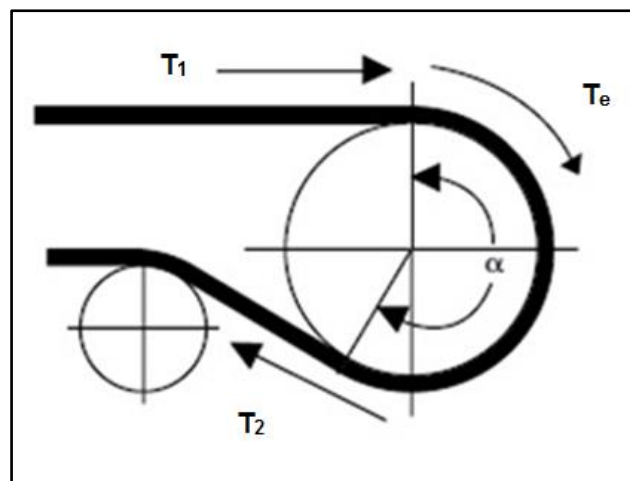


FIGURA 3.4 TENSIÓN EN LA POLEA MOTRIZ [17]

Para evitar el deslizamiento de la banda sobre la polea motriz, se debe cumplir la siguiente condición [17]:

$$T_1 \leq T_2 e^{\mu\alpha} \quad 3.13$$

Donde

μ = Coeficiente de fricción entre la banda y la polea

α = Ángulo de contacto entre la banda y la polea [°]

Los valores de μ y α se obtienen mediante el uso de la TABLA 7.

TABLA 7
FACTOR DE FRICCIÓN Y ÁNGULO DE CONTACTO [18]

Operating Condition	Pulley Surface			
	Plain Steel (smooth)	Polyurethane lagging (grooved)	Rubber lagging (grooved)	Ceramic lagging (porous)
Dry	0.35 to 0.4	0.35 to 0.4	0.4 to 0.45	0.4 to 0.45
Wet (Clean)	0.1	0.35	0.35	0.35 to 0.4
Wet (dirty mud, clay)	0.05 to 0.1	0.2	0.25 - 0.3	0.35

$\alpha_1 + \alpha_2 \leq \text{ca. } 450^\circ$

3.2.7. Potencia Requerida

La potencia requerida en la polea motriz de una banda transportadora, se deriva de la tensión necesaria para impulsar o frenar el transportador con carga a la velocidad de diseño de la banda [15].

$$P = \frac{T_e V}{33,000} \quad 3.14$$

Donde

P = Potencia en la polea motriz [hp]

T_e = Tensión efectiva [lb]

V = Velocidad de la banda [pie/min]

La potencia de la unidad motriz se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$P_m = \frac{P}{\eta} \quad 3.15$$

Donde

P_m = Potencia de la unidad motriz [hp]

η = Eficiencia mecánica del sistema de transmisión, ver TABLA 8.

TABLA 8
EFICIENCIA MECÁNICA DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN [4]

Type of Speed Reduction Mechanism	Approximate Mechanical Efficiency
V-belts and Sheaves	.94
Roller chain and cut sprockets, open guarded	.93
Roller chain and cut sprockets, oil-tight enclosed	.95
Single reduction helical or herringbone gear speed reducer or gear motor	.98
Double reduction helical or herringbone gear speed reducer or gear motor	.97
Triple reduction helical or herringbone gear speed reducer or gear motor	.95
Double reduction helical gear, shaft mounted speed reducers	.97
Spiral bevel-helical speed reducer single, double or triple reduction	See note
Low-ratio (up to 20:1 range) helical-worm speed reducers	.90
Medium-ratio (20:1 to 60:1 range) helical-worm speed reducers	.85
High-ratio (60:1 to 100:1 range) helical-worm speed reducers	.78
Low-ratio (up to 20:1 range) worm-gear speed reducers	.90
Medium-ratio (20:1 to 60:1 range) worm-gear speed reducers	.70
High-ratio (60:1 to 100:1 range) worm-gear speed reducers	.50
Cut gear spurs	.90
Cast gear spurs	.85

Note: Efficiencies for bevel-helical speed reducers are slightly less than the efficiencies shown for helical-gear speed reducers

3.3. Diseño de la Estructura del Transportador

3.3.1. Diseño de las Secciones Intermedias

Los paneles de rodillos hexagonales son usados en las secciones intermedias para mantener la forma tubular de la banda. Los rodillos pueden ser instalados en un solo lado o en ambos lados del panel.

Cuando los rodillos se instalan en un solo lado del panel, se tiene una distribución uniforme de la fuerza sobre la banda. Además, la separación de los rodillos adyacentes no debe exceder el espesor de la banda, la cual usualmente se encuentra entre 4 y 8 mm. Caso contrario, la banda se atascaría al quedar atrapada entre ellos, ver FIGURA 3.5 [10].

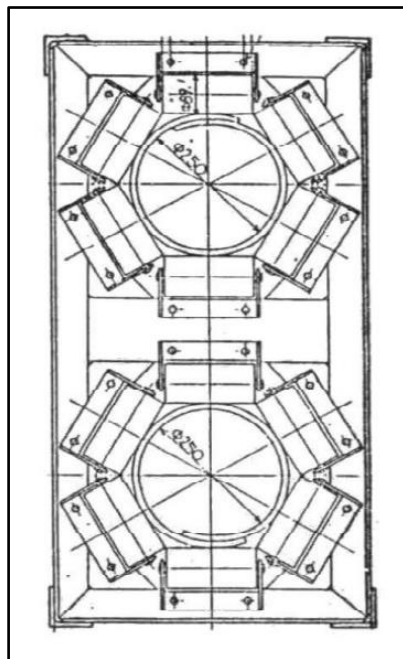


FIGURA 3.5 RODILLOS EN UN SOLO LADO DEL PANEL [10]

Por otro lado, cuando los rodillos se encuentran ubicados en ambos lados del panel, pueden instalarse rodillos de mayor longitud porque no existe el riesgo de obstrucción de la banda mencionado en el caso anterior. Con este diseño se logra una distribución uniforme de la fuerza sobre la estructura de soporte de los rodillos, ver FIGURA 3.6 [10].

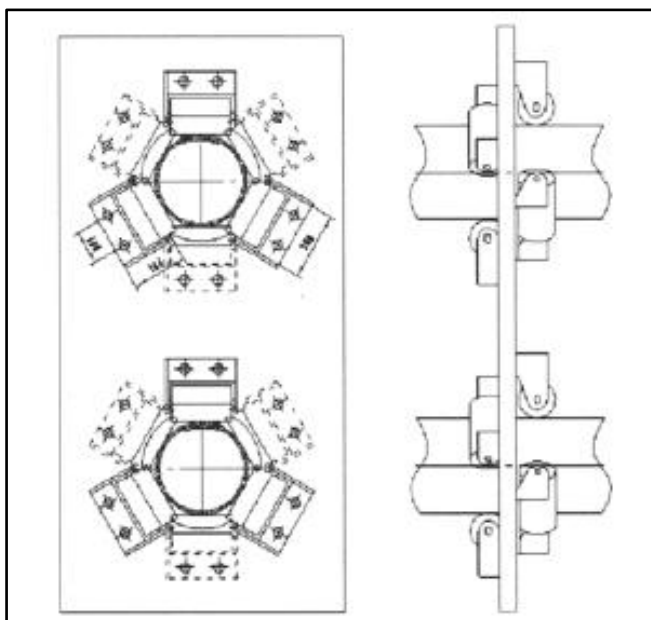


FIGURA 3.6 RODILLOS EN AMBOS LADOS DEL PANEL [10]

La TABLA 9 muestra los valores de diámetros y longitudes de rodillos recomendados para ambos diseños de paneles [11].

TABLA 9
DISEÑO DE LAS SECCIONES INTERMEDIAS [11]

Diámetro nominal del transportador [mm]	Distancia entre rodillos [mm]	Diámetro del rodillo [mm]	Longitud del rodillo en línea [mm]	Longitud del rodillo offset [mm]
120	140	63,5	80	130
150	165	63,5	96	150
200	217	63,5	126	175
250	285	89	165	230
300	311	89	180	250
350	364	89	210	280
400	457	108	265	340
500	527	108	305	390
530	562	108	325	400

Otro punto a tener en consideración en el diseño de las secciones intermedias es la separación entre paneles, la cual depende de [4]:

- Diámetro del transportador.
- Tipo de construcción de la banda.
- Tensiones locales en la banda.
- Grado de hundimiento de la banda.
- Peso del producto.
- Peso de la banda.
- Radio de curvatura.

La separación entre paneles es directamente proporcional al diámetro del transportador. Conforme el diámetro del transportador aumenta, la rigidez longitudinal de la banda se incrementa, permitiendo así tener una mayor separación entre paneles. En cambio, si el peso del producto transportado aumenta, la separación entre paneles debe disminuir, porque el peso del producto flexionará la banda causando que la misma se abra [4].

La TABLA 10 muestra los valores de separación de paneles dependiendo del diámetro del transportador y el peso específico del producto transportado [4].

TABLA 10
SEPARACIÓN DE PANELES ESTÁNDAR [4]

Nominal Pipe Diameter		@25 lbf/ft ³		@50 lbf/ft ³		@75 lbf/ft ³		@100 lbf/ft ³		@125 lbf/ft ³	
(in)	(mm)	(ft)	(m)	(ft)	(m)	(ft)	(m)	(ft)	(m)	(ft)	(m)
6	150	4.75	1.45	4.50	1.37	4.25	1.30	4.00	1.22	3.75	1.14
8	200	5.25	1.60	5.00	1.52	4.75	1.45	4.50	1.37	4.25	1.30
10	250	5.50	1.68	5.50	1.68	5.25	1.60	5.0	1.52	4.50	1.37
12	300	6.00	1.83	5.75	1.75	5.50	1.68	5.25	1.60	5.00	1.52
14	350	6.25	1.91	6.00	1.83	5.75	1.75	5.50	1.68	5.25	1.60
16	400	6.75	2.06	6.50	1.98	6.25	1.91	6.00	1.83	5.75	1.75
18	450	7.00	2.13	6.75	2.06	6.50	1.98	6.25	1.91	6.00	1.83
20	500	7.25	2.21	7.00	2.13	6.75	2.06	6.50	1.98	6.25	1.91
22	550	7.50	2.29	7.25	2.21	7.00	2.13	6.75	2.06	6.50	1.98
24	600	7.75	2.36	7.50	2.29	7.25	2.21	7.00	2.13	6.75	2.06
26	650	8.00	2.44	7.75	2.36	7.50	2.29	7.25	2.21	7.00	2.13
28	700	8.25	2.51	8.00	2.44	7.75	2.36	7.50	2.29	7.25	2.21
30	750	8.50	2.59	8.00	2.44	7.75	2.36	7.50	2.29	7.25	2.21
32	800	8.50	2.59	8.25	2.51	8.00	2.44	7.75	2.36	7.50	2.29
34	850	8.75	2.67	8.50	2.59	8.25	2.51	8.00	2.44	7.75	2.36

Cabe recalcar, que los valores obtenidos de la TABLA 9 deben ser usados solamente en las secciones intermedias rectas, en las secciones curvas un valor diferente debe emplearse. A medida que el radio de curvatura es más cerrado, la separación entre paneles debe disminuir para evitar que la banda se deforme [4].

La TABLA 11 proporciona los porcentajes requeridos de la separación de paneles de rodillos estándar, usados en las secciones curvas de acuerdo al tipo de construcción de la banda y el radio de curvatura, donde D es el diámetro del transportador en pie [16].

TABLA 11
SEPARACIÓN DE PANELES EN CURVAS [16]

% of Standard Idler Spacing	CURVE RADIUS	
	Fabric	Steel Cord
100	600 x D	1000 x D
90	500 x D	900 x D
80	400 x D	800 x D
70	300 x D	700 x D
65	250 x D	650 x D
60	200 x D	600 x D

Es necesario que la banda se encuentre debidamente alineada para garantizar un cierre adecuado de la misma. Lo anterior se cumple siempre y cuando, la zona de traslape de los bordes de la banda se encuentre dentro del límite de $\pm 20^\circ$ durante el arranque del sistema, ver FIGURA 3.7 [19].

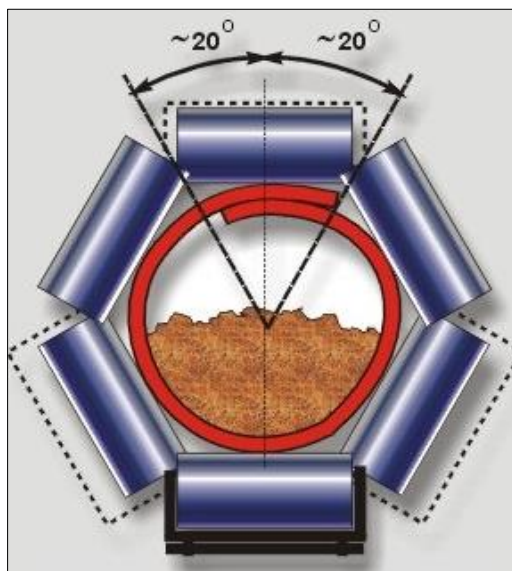


FIGURA 3.7 LÍMITE DE ALINEAMIENTO DE LA BANDA [19]

En caso de que la banda requiera ser alineada, cada panel de rodillos hexagonales dispone de un rodillo inferior regulable, el mismo que debe ser ajustado siguiendo estos pasos [19]:

1. Establecer el sentido de giro deseado de la zona de traslape de la banda (hacia la derecha o izquierda).
2. Encontrar el origen del desalineamiento, identificando los rodillos que requieren ser regulados.
3. Ajustar los soportes de los rodillos inferiores en la dirección adecuada. Si el rodillo gira en sentido horario, la zona de traslape es forzada a girar en sentido contrario, ver FIGURA 3.8.

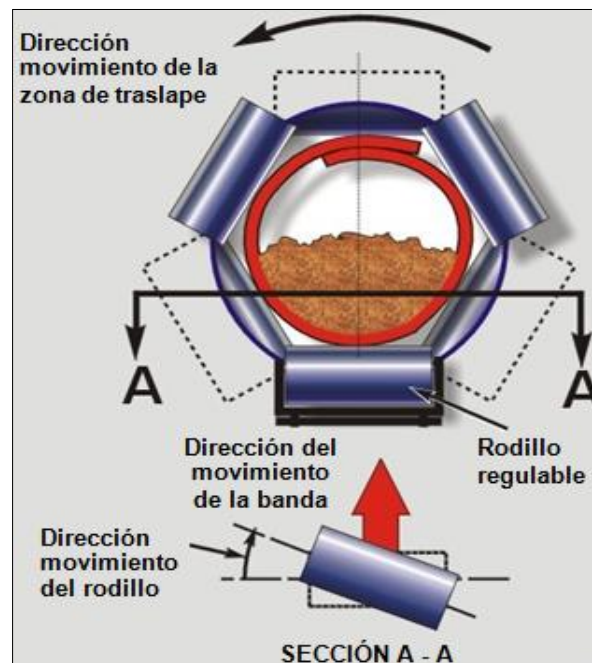


FIGURA 3.8 PROCEDIMIENTO DE ALINEACIÓN DE LA BANDA [19]

3.3.2. Diseño de las Secciones de Transición

Por necesidad de diseño, las bandas transportadoras tubulares requieren tener secciones de transición extensas para evitar generar esfuerzos y deformaciones adicionales sobre la banda. La longitud de la sección de transición L_{TR} depende de: la fuerza de tensión, ancho de banda, módulo de elasticidad y construcción de la banda, ver FIGURA 3.9 [4].

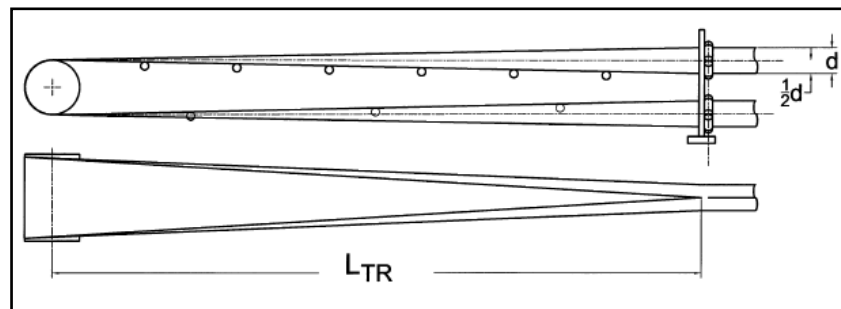


FIGURA 3.9 LONGITUD DE LA SECCIÓN DE TRANSICIÓN [4]

A pesar que sólo un cálculo detallado garantiza obtener una longitud de transición exacta, es posible establecer una longitud aproximada para varios tipos de construcción de bandas mediante el uso de la TABLA 12 [4].

TABLA 12
LONGITUD DE LAS SECCIONES DE TRANSICIÓN [4]

Belt Construction	Nominal Pipe Diameter "d"		Approximate Curve Radii "R"				Transition Length L_t
	(in)	(mm)	< 25°	25° to 50°	50° to 75°	75° to 100°	
Nylon	6-12	150 -300	300 d	400 d	500 d	600 d	25 d
	14-20	350 -500	400 d	500 d	600 d	700 d	
Polyester Nylon	6-12	150 -300	400 d	500 d	600 d	700 d	30 d
	14-20	350 -500	500 d	600 d	700 d	800 d	
Aramid	6-12	150 -300	500 d	600 d	700 d	800 d	40 d
	14-20	350 -500	600 d	700 d	800 d	900 d	
Steelcord	6-12	150 -300	700 d	800 d	900 d	1000 d	45 d
	14-20	350 -500	800 d	900 d	1000 d	1100 d	

3.3.3. Diseño de las Secciones Curvas

Las bandas transportadoras tubulares son reconocidas por su habilidad de manejar curvas verticales, horizontales o una combinación de ambas. Debido a que estos sistemas poseen una sección transversal simétrica, los radios permitidos en curvas verticales son similares en las curvas horizontales, teniendo un ángulo máximo de 90°, ver FIGURA 3.10 [4].

Se puede referir a la TABLA 12 para algunos radios de curvatura según el tipo de construcción de la banda. Cuando se tiene un cuidado especial, estos radios de curvatura pueden ser reducidos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que radios de curvatura muy pequeños son una de las

causas más comunes de fallas prematuras en la banda, debido a la fatiga del material [4].

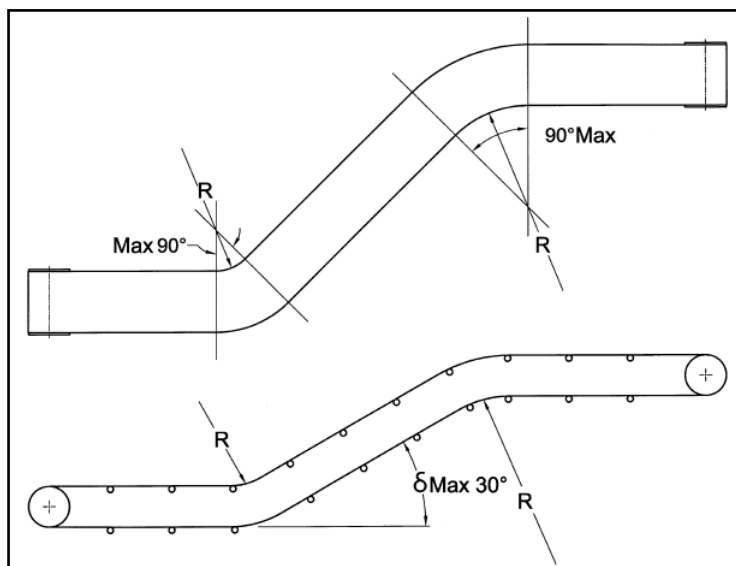


FIGURA 3.10 DESCRIPCIÓN RADIOS DE CURVATURA [4]

3.3.4. Diseño de los Tambores

En su mayor parte las bandas transportadoras tubulares pueden usar poleas estándar CEMA. Hay que poner mucho énfasis en esta etapa del diseño, porque una práctica común es combinar anchos de bandas métricas estándar con anchos de poleas métricas. Sin embargo, los anchos de poleas métricas están basados en anchos de banda con un

incremento de 4 pulg (100mm), mientras que los anchos de banda estándar CEMA poseen un incremento de 2 a 3 pulg, dando lugar a un resultado inadecuado [4].

Si la zona de traslape de los bordes de la banda no se encuentra exactamente en la posición de las 12 y 6 horas, para el lado de carga y retorno respectivamente, entonces la banda se desalinea hacia un lado de la polea.

Para evitar que se presente este inconveniente, es recomendable incrementar el ancho de la superficie de la polea, de al menos 4 pulg más que el ancho de la banda. El ancho verdadero de la banda, probablemente un tamaño métrico estándar, necesita además ser tomado en consideración cuando se selecciona el ancho actual de la superficie de la polea a usar [4].

CAPÍTULO 4

4. CASO DE ESTUDIO

En el presente capítulo, se tomará como caso de estudio, uno de los transportadores tubulares más largos del mundo instalado en la planta Birla Copper situada en India. Con una extensión de 3,2 Km de recorrido incluyendo una curva a 90°, la banda transportadora tubular envía producto desde el embarcadero de la planta hasta su procesamiento sin emplear puntos de transferencia. Su diseño permite encerrar completamente el producto transportado, evitando derrames y protegiéndolo de condiciones climáticas tales como: lluvia, vientos, etc.

4.1. Especificaciones de Diseño

Las especificaciones de diseño del transportador se muestran a continuación en la TABLA 13, ver Apéndice A [20]:

TABLA 13
ESPECIFICACIONES DEL TRANSPORTADOR [20]

Longitud del Transportador	3200 m
Elevación	22 m
Velocidad de la Banda	4,5 m/s
Capacidad del Transportador	1760 Ton/h
Producto Transportado	Concentrado de Cobre
Diámetro del Transportador	450 mm
Ancho de Banda x Espesor	1650 mm x 17,8 mm
Especificación de Banda y Cubiertas	ST 1000, 8 X 6 mm cubiertas
Radio Horizontal	300 m
Inclinación Vertical (max)	5,74°
Deflección Horizontal	90°
Ubicación del Tensor	Extremo de Cabeza
Tipo de Tensor	Carro tensor horizontal, peso
Distancia del Tensor	14,0 m; 19,0 m disponible
Masa del Tensor	19,4 Tons
Hundimiento de la Banda	1% - 3%
Potencia Instalada	Cabeza 2x500 kW; Cola 1x500 kW
Diámetro del Rodillo	152 mm
Longitud del Rodillo	325 mm
Número de rodillos por panel	12 offset
Separación paneles secciones horizontales	2000 mm
Separación paneles seccion curva	1000 mm

4.2. Diseño de Forma

La sección de carga se encuentra en el extremo de cola del transportador y tiene aproximadamente 37 m de longitud. Está conformada por una polea motriz accionada por un motor 500 kW con variador de frecuencia incorporado. Estaciones de rodillos con

20° de inclinación lateral conducen la banda desde la polea de cola hacia la zona de alimentación. Aquí un juego de rodillos de impacto soportan el peso del producto proveniente del chute de carga, ver FIGURA 4.1 [20].



FIGURA 4.1 VISTA SECCIÓN DE CARGA [20]

Luego, la banda sigue su curso hacia la primera sección de transición, en donde estaciones de rodillos comienzan a cerrarla poco a poco, incrementando sus ángulos laterales de 20°, 45° hasta 90° en una longitud de aproximadamente 25 m, ver FIGURA 4.2 [20].



FIGURA 4.2 VISTA SECCIÓN DE TRANSICIÓN [20]

La sección intermedia horizontal inicial se encuentra a nivel del suelo y posee una longitud de 2250 m, ver FIGURA 4.3. Seguida de ésta, se encuentra ubicada una pendiente de $5,7^\circ$ a una altura de 26,5 m [20].



FIGURA 4.3 VISTA SECCIONES INTERMEDIAS [20]

A partir de esta sección una curva horizontal a 90° de 300 m de radio tiene lugar, ver FIGURA 4.4. Finalmente, la banda se abre hacia la sección de descarga ubicada en la cabeza del transportador, mediante el uso de rodillos con ángulos laterales que van desde 90° a 15° separados cada 4,5 m [20].



FIGURA 4.4 VISTA SECCIÓN CURVA A 90° [20]

La cabeza del transportador está compuesta por dos poleas motrices, cada una de ellas accionada por un motor de 500 kW. Una vez que la banda pasa a través de estas unidades, adopta nuevamente la forma tubular en el retorno [20].

4.3. Procedimiento de Diseño

El producto transportado es el parámetro más importante en el diseño y la selección de los componentes de una banda transportadora, por esta razón es necesario consultar primero la MSDS del material para conocer sus propiedades y los posibles riesgos que demanda su manipulación, ver Apéndice B.

Para este caso, se requiere transportar concentrado de cobre a una razón de 1760 ton/h. A breves rasgos, el concentrado de cobre es un material fino proveniente del suelo, que no es inflamable o combustible bajo condiciones normales de transporte y almacenamiento. Sin embargo, cuando se calienta demasiado en el aire se quema, liberando gases de dióxido de azufre tóxicos e irritantes, así como también posibles vapores de óxido de cobre y de hierro [21].

La inhalación o ingestión de polvo de concentrado de cobre u óxidos de cobre, puede producir irritaciones en las vías respiratorias. Existe un posible riesgo de cáncer debido al contenido de sílice. Los EPP necesarios para el personal de respuesta de emergencia conra incendios son: máscaras faciales completas,

equipos de respiración autónoma SCBA y trajes de protección contra la liberación de elevadas concentraciones de dióxidos de azufre provenientes de la quema del producto [21].

Una vez conocidas las propiedades del producto transportado, se procede a calcular los parámetros principales del transportador a partir de la información obtenida de las especificaciones de diseño, ver TABLA 14.

TABLA 14
CÁLCULO DE PARAMETROS PRINCIPALES

Descripción	Abreviatura	Valor
Producto transportado	Concentrado de Cobre	
Peso específico del producto	γ [lb/pie ³]	125
Capacidad del transportador	Q [ton/h]	1760
Velocidad de la banda	V [pie/min]	886
Coefficiente de llenado	ϕ	0,30
Diámetro del transportador	D [pie]	1,5
Ancho de banda	B [pie]	5,2

Luego, se debe analizar la trayectoria del transportador. Para este caso el transportador posee una extensión de 3200 m, el cual supera el límite de longitud máxima de 3000 pie (914,4 m) del método histórico CEMA para el cálculo de la tensión-potencia del sistema, por esta razón es necesario dividir la trayectoria en varias secciones que cumplan con dicha condición, ver FIGURA 4.5.

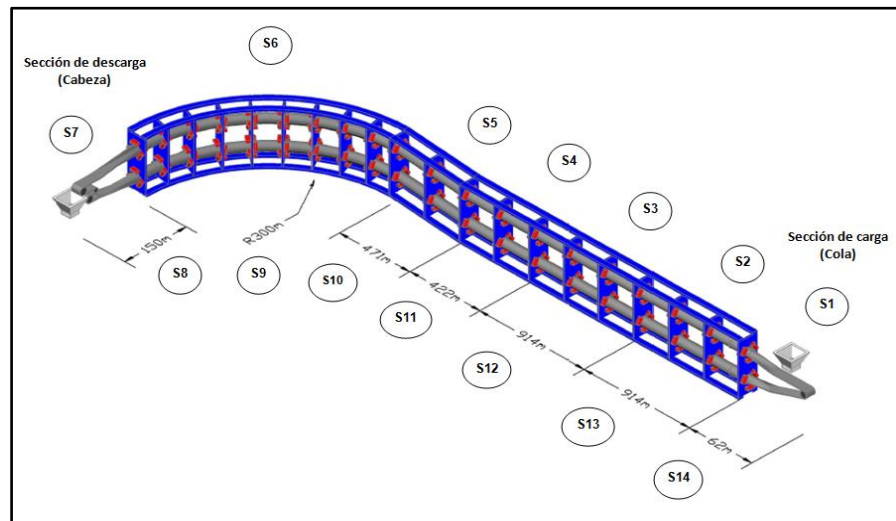


FIGURA 4.5 DIAGRAMA DEL TRANSPORTADOR

Las secciones son enumeradas desde X= 1, 2, 3...n, el detalle de cada una de ellas se muestran en la TABLA 15.

TABLA 15

SECCIONES DEL TRANSPORTADOR

	Descripción	Sección X	Longitud Lx	
			[m]	[pie]
Carga	Carga + Transición 1	1	62	203
	Horizontal 1	2	914	2998
	Horizontal 2	3	914	2998
	Horizontal 3	4	422	1384
	Elevación	5	267	875
	Curva 1	6	471	1546
	Transición 2 + Descarga	7	150	492
Retorno	Descarga + Transición 3	8	150	492
	Curva 2	9	471	1546
	Descenso	10	267	875
	Horizontal 4	11	422	1384
	Horizontal 5	12	914	2998
	Horizontal 6	13	914	2998
	Transición 4 + Carga	14	62	203

El tercer paso es determinar las constantes y los factores necesarios para el posterior cálculo de las tensiones.

El peso del producto transportado se obtiene mediante la ecuación 3.4:

$$W_m = \frac{33,3 Q}{V} = \frac{33,3 \times 1760 \text{ ton/h}}{885,8 \text{ pie/min}} = 66,16 \text{ lb/pie}$$

El peso de la banda W_b se obtiene mediante el uso de la TABLA 3, a partir del ancho de banda y el peso específico del producto transportado $\gamma = 125 \text{ lb/pie}^3$. Sin embargo, como el ancho de banda calculado no es un ancho de banda estándar, se usará una banda con $B = 5,27 \text{ pie}$ (63 pulg).

Para este caso el ancho de banda calculado no se encuentra tabulado, es necesario realizar una interpolación lineal. El resultado de dicha operación es $W_b = 21 \text{ lb/pie}$, pero como el transportador es muy extenso es recomendable utilizar una banda con refuerzos de cable de acero, por esta razón el peso de la banda debe incrementarse en un 50%, teniendo finalmente $W_b = 31,5 \text{ lb/pie}$.

La distancia de separación de los paneles de rodillos S_i en las secciones rectas se obtiene mediante el uso de la TABLA 10. Para un transportador de 450 mm de diámetro y un peso específico del producto transportado $\gamma = 125 \text{ lb/pie}^3$, $S_i = 6 \text{ pie (1,83 m)}$.

De acuerdo a las especificaciones de diseño, el transportador posee una curva de 90° de 300m de radio (984 pie) en su trayectoria. Al referirse a la TABLA 11, usando una banda con refuerzos de cable de acero, el radio de curvatura mencionado corresponde al rango de $R = 700 \times D = 1050 \text{ pie}$. Por lo tanto, el porcentaje de separación de los paneles en la sección curva debe ser el 70% de la separación estándar en las secciones rectas $S_{i \text{ curva}} = (0,70) (6 \text{ pie}) = 4,2 \text{ pie}$.

La fuerza necesaria para girar los rodillos A_i en las secciones intermedias se obtiene mediante el uso de la TABLA 4. Para un transportador de 457 mm (18 pulg) y una configuración de paneles de rodillos correspondiente al caso 1 (ver FIGURA 3.1), $A_i = 3,5$ tanto para el lado de carga como en el retorno. En cambio, en las secciones abiertas se utilizará el valor estándar de CEMA

$A_i = 1,5$ correspondiente a estaciones de rodillos de 6 pulg de diámetro.

Debido a la elevada rigidez que posee la banda tubular, una buena aproximación es usar el rango de valores para el factor de flexión de la banda K_y dado por CEMA (0,016 – 0,035). Para este caso $K_y = 0,035$ en todas las secciones del transportador.

El factor de corrección de temperatura K_t se obtiene mediante la FIGURA 3.2. La TABLA 16 muestra el resumen de los cálculos de las constantes y factores para cada sección.

TABLA 16
CÁLCULO DE CONSTANTES Y FACTORES

Sección X	Lx [pie]	Hx [pie]	Wm [lb/pie]	Wb [lb/pie]	Si [pie]	Ai	Kx [lb/pie]	Ky	Kt	
Carga	1	203	0	66,16	31,5	6	1,5	0,32	0,035	1
	2	2998	0	66,16	31,5	6	3,5	0,65	0,035	1
	4	1384	0	66,16	31,5	6	3,5	0,65	0,035	1
	5	875	87	66,16	31,5	6	3,5	0,65	0,035	1
	6	1546	0	66,16	31,5	4,2	3,5	0,90	0,035	1
	7	492	0	66,16	31,5	6	1,5	0,32	0,035	1
	8	492	0	0	31,5	6	1,5	0,27	0,035	1
Retorno	9	1546	0	0	31,5	4,2	3,5	0,85	0,035	1
	10	875	-87	0	31,5	6	3,5	0,60	0,035	1
	11	1384	0	0	31,5	6	3,5	0,60	0,035	1
	12	2998	0	0	31,5	6	3,5	0,60	0,035	1
	14	203	0	0	31,5	6	1,5	0,27	0,035	1

Una vez obtenidos las constantes y factores se procede a calcular las tensiones en cada sección. Para ello, primero es necesario determinar la tensión en la polea de cola del transportador, la misma que debe ser igual a la tensión inicial T_0 para garantizar un 3% de hundimiento máximo en la banda [15]:

$$T_t = 4,2 S_i(W_b + W_m)$$

Luego, se calculan las componentes de la tensión en cada sección [15]:

(1) Tensión debido a la fricción en el punto X:

$$T_{fx} = L_x [K_t(K_x + K_y W_b)] + L_x K_y W_b$$

(2) Tensión debido al peso del producto y de la banda en el punto X:

$$T_{wx} = H_x(W_b + W_m)$$

(3) Tensión en las secciones curvas C_{tx} en el punto X, ver TABLA 5 [16].

(4) Tensión por transformación de la banda en las secciones de transición C_{fx} , ver TABLA 6 [16].

La tensión generada en cada sección se obtiene mediante la siguiente expresión [15]:

$$T_x = T_t + T_{fx} + T_{wx} + C_{fx} + C_{tx}$$

La tensión de cola T_t de cada sección será igual a la tensión T_x de la sección anterior. El mismo proceso se repite hasta determinar la tensión de entrada en la polea de cabeza.

Previo al cálculo de la tensión en la polea motriz, es necesario establecer la distribución adecuada de la potencia del sistema, la cual dependerá de la trayectoria y la tensión presente en la banda.

La banda transportadora tubular del caso de estudio en mención, posee una trayectoria muy extensa y una tensión considerable en el lado de retorno. CEMA recomienda en estos casos, incorporar una unidad motriz adicional en la cola del transportador aparte de las unidades en la cabeza, la misma que ayudará a vencer las resistencias presentes en el retorno de la banda. De esta forma, se reducirá la tensión máxima en la polea de cabeza y se tendrá un mejor control en la flexibilidad de la banda [4].

La FIGURA 4.6 muestra la distribución de potencia para un transportador con doble polea motriz en la cabeza y una polea motriz en la cola. Las tensiones respectivas de cada polea se obtienen a partir de las ecuaciones 3.12 y 3.13, las cuales se detallan a continuación:

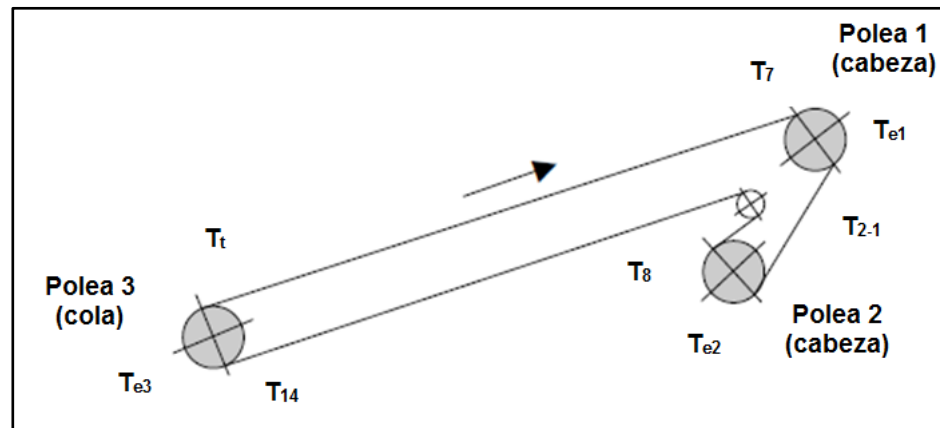


FIGURA 4.6 DISTRIBUCIÓN DE POTENCIA DEL TRANSPORTADOR

Polea 1

$$T_7 = T_{2-1} e^{\mu\alpha}$$

$$T_{e1} = T_7 - T_{2-1} = T_{2-1} e^{\mu\alpha} - T_{2-1} = T_{2-1} (e^{\mu\alpha} - 1)$$

$$T_{2-1} = \frac{1}{e^{\mu\alpha} - 1} T_{e1} = C_1 T_{e1} \quad (2)$$

$$T_7 = T_{e1} + T_{2-1} = T_{e1} + C_1 T_{e1} = T_{e1}(1 + C_1)$$

$$T_{e1} = \frac{T_7}{1 + C_1} \quad 3.16$$

Polea 2

$$T_{2-1} = T_{e2}(1 + C_2)$$

Al sustituir 2 en 3:

$$C_1 T_{e1} = T_{e2}(1 + C_2)$$

$$T_{e2} = \frac{C_1}{1 + C_2} T_{e1} \quad 3.17$$

$$T_8 = T_{e2} C_2 \quad 3.18$$

Polea 3

$$T_{14} = T_{e3}(1 + C_3) \quad 3.19$$

$$T_t = T_{14} - T_{e3} \quad 3.20$$

Una vez que se obtienen las tensiones en la cabeza del transportador, se procede a calcular las tensiones en el lado de

retorno siguiendo el mismo procedimiento utilizado en el lado de carga. Al final, se obtiene la tensión de cola calculada 6000 lb, la misma que difiere de la tensión de cola asumida 2461 lb al inicio del procedimiento de diseño. Por esta razón, es necesario recalculer las tensiones usando la tensión de cola calculada. El proceso se repite hasta que la tensión de cola calculada final sea igual a la tensión de cola inicial, ver TABLA 17.

TABLA 17
CÁLCULO DE LAS TENSIONES

Sección x	Cf [lb]	Ct [lb]	Calculo con Tt asumido				Iteración 1		Iteración 2		Iteración 3		
			Tt [lb]	Tfx [lb]	Twx [lb]	Tx [lb]	Tt [lb]	Tx [lb]	Tt [lb]	Tx [lb]	Tt [lb]	Tx [lb]	
Carga	1	113	0	2461	759	0	3333	6000	6872	6096	6968	6099	6971
	2	0	0	3333	12195	0	15529	6872	19067	6968	19163	6971	19166
	3	0	0	15529	12195	0	27724	19067	31263	19163	31359	19166	31362
	4	0	0	27724	5631	0	33355	31263	36894	31359	36990	31362	36993
	5	0	0	33355	3560	8491	45406	36894	48945	36990	49041	36993	49044
	6	0	708	45406	6674	0	52788	48945	56327	49041	56423	49044	56426
	7	113	0	52788	1837	0	54738	56327	58277	56423	58373	56426	58376
Retorno	8	113	0	5372	676	0	6161	5720	6508	5729	6518	5729	6518
	9	0	708	6161	3025	0	9894	6508	10241	6518	10251	6518	10251
	10	0	0	9894	1494	-2739	8649	10241	8997	10251	9006	10251	9007
	11	0	0	8649	2363	0	11013	8997	11360	9006	11369	9007	11370
	12	0	0	11013	5118	0	16131	11360	16478	11369	16488	11370	16488
	13	0	0	16131	5118	0	21249	16478	21596	16488	21606	16488	21606
	14	113	0	21249	279	0	21641	21596	21988	21606	21998	21606	21998
			Tt calculado	6000				6096			6099		

La banda se selecciona a partir de la tensión máxima de trabajo permisible, la cual se encuentra en este caso en la entrada de la polea de cabeza 1:

$$\text{Tensión máxima de trabajo} = \frac{T_1}{B} = \frac{58904 \text{ lb}}{63 \text{ pulg}} = 935 \text{ lb/pulg (164 N/mm)}$$

La resistencia a la rotura de la banda se calcula a partir de la tensión máxima de trabajo permisible y el factor de seguridad de la banda:

$$\text{Resistencia a la rotura} = \text{Tensión máxima de trabajo} \times S_f$$

$$\text{Resistencia a la rotura} = 164 \text{ N/mm} \times 6 = 984 \text{ N/mm}$$

Por lo tanto, se requiere una banda con refuerzos de cable de acero de 1600 mm de ancho, con una resistencia a la rotura de 1000 N/mm correspondiente a una ST1000, ver Apéndice C.

Finalmente, se calcula la potencia en cada polea motriz mediante el uso de las ecuaciones 3,14 y 3,15. La TABLA 18 muestra el resumen de los resultados obtenidos:

TABLA 18
CÁLCULO DE LA POTENCIA EN LA POLEA MOTRIZ

Polea motriz	Tensión efectiva T_e [lb]	Factor de fricción μ	Ángulo contacto α [°]	Factor de arrollamiento C	Eficiencia Motriz η	Potencia en la polea motriz P [kW]	Potencia del motor Pm [kW]
1	36407	0,35	160	0,60	0,98	729	744
2	16236	0,35	220	0,35	0,98	325	332
3	15899	0,35	210	0,38	0,98	318	325
TOTAL						1400	1400

4.4. Tabla de Resultados

Los resultados obtenidos del procedimiento de diseño de esta tesis son comparados con los parámetros reales instalados del caso de estudio en la TABLA 19.

TABLA 19
RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS

Descripción	Abreviatura	Caso de Estudio	Tesis
Diámetro del transportador	D [mm]	450	458
Ancho de banda	B [mm]	1650	1600
Separación de las estaciones secciones rectas	Si [mm]	2000	1829
Separación de las estaciones secciones curvas	Si [mm]	1000	1280
Resistencia a la rotura de la banda	[N/mm]	ST1000	ST1000
Potencia en la polea 1 cabeza	P1 [kW]	500	744
Potencia en la polea 2 cabeza	P2 [kW]	500	332
Potencia en la polea 3 cola	P3 [kW]	500	325
Potencia Total del sistema	P [kW]	1500	1400

A pesar que los valores no son exactamente iguales, existe una gran aproximación entre ellos. Esto se debe básicamente a los diversos factores de corrección asumidos durante el proceso de diseño.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. El método de diseño planteado en esta tesis proporciona al ingeniero consideraciones de diseño necesarias para dimensionar y seleccionar los componentes de una banda transportadora tubular como: diámetro de la sección tubular, ancho de la banda, y potencia del sistema.
2. Los cálculos de la tensión y potencia de bandas transportadoras convencionales, dados por CEMA Handbook Belt Conveyors for Bulk Materials, pueden ser utilizados en el diseño de bandas transportadoras tubulares, considerando los factores apropiados de corrección. Dichos factores han sido tomados a partir de las

recomendaciones sugeridas por los fabricantes de bandas transportadoras tubulares.

3. Las bandas transportadoras tubulares manejan pendientes máximas de 30° y curvas de hasta 90° en la trayectoria del transportador, cualidad que no poseen las bandas transportadoras convencionales.
4. Las bandas transportadoras tubulares eliminan la generación de polvo y los derrames del producto, característica especialmente útil cuando se transportan materiales contaminantes con el medio ambiente.
5. Los resultados obtenidos en el procedimiento de diseño planteado en esta tesis para el caso de estudio, comprueban la veracidad de los cálculos del diámetro de la sección tubular del transportador, ancho de la banda y la potencia total requerida.
6. Los costos de inversión inicial de una banda transportadora tubular son mayores que una banda transportadora convencional; esta diferencia se compensa con la eliminación de derrames del producto que origina pérdidas económicas e impactos ambientales.

RECOMENDACIONES

- 1 No es recomendable utilizar una cinta convencional en una banda transportadora tubular, porque no posee las propiedades necesarias que le permitirán resistir los elevados esfuerzos de tensión.
- 2 Se recomienda el uso de esta tesis para el desarrollo de un software tipo CAE, para diseñar y seleccionar los componentes de una banda transportadora tubular.

APÉNDICES

APÉNDICE A

CASO DE ESTUDIO: BANDA TRANSPORTADORA TUBULAR BIRLA COOPER, INDIA [20]

3.2 km Long Pipe Conveyor with 90° Horizontal Curve at Birla Copper, India by Naveen Projects Ltd.

Introduction

This paper describes one of the largest single flight pipe conveyors in the world. Birla Copper selected Naveen Projects Ltd. for turnkey execution of 90° horizontally curved 3.2 km long pipe conveyor for transportation of copper concentrate/ rock phosphate/coal from the jetty to the copper smelter plant.

The pipe conveyor was selected for this installation because it enables the product to be conveyed from the berth to the plant by a single conveyor, without any transfer points. In addition, the pipe conveyor design enables the conveyed product to be enclosed by the conveyor belt, thereby shielding the product and preventing the product from spilling or being blown off the conveyor en route.

Owing to the length and the conveying capacity, it was necessary to provide drive units at both ends of the conveyor, i.e. two drives at the plant-end, and one drive at the tail-end i.e. the berth-end. Drives are provided with variable frequency drives for smooth start and variable speed.



Fig.1: 3.2 km long pipe conveyor at Birla Copper

Conveyor Parameters

The pipe conveyor basic parameters are given in Table 1.

Table 1 : Pipe conveyor basic parameters

Conveyor length	3,200 m
Overall lift	22.0 m
Belt Speed	4.5 m/s, variable 10% to 100%
Conveyor capacity	
- copper concentrate	880 t/h (initial), 1760 t/h (future)
- rock phosphate	770 t/h 1540 t/h
- coal	550 t/h 1100 t/h
Pipe diameter :	450 mm
Belt specification and covers	ST1000, 8x6 mm covers, M-24, 1650 mm width
Horizontal radius and angle:	300.0 m, 90°
Location & type of take-up	Horizontal trolley, gravity mass at head end
Installed power	Head 1 x 500 kW, Tail 1 x 500 kW + 1 x 500 kW future of head end
Idler diameter / length / Brg. size	152 mm / 325 mm / 25 mm
Number of idlers per panel	6 carrying side and 6 return side
Pitch of idlers	2000 mm normal, 1000 mm on curve
Fly wheel	On head end for smooth starting and stopping
Conveyor Starting time	100 sec. following 'S' shape velocity curve
Method of Speed synchronisation	By giving speed reference to each variable frequency drive from PLC

Description of the Pipe Conveyor

The pipe conveyor comprises loading section, intermediate section head/discharge section and conveyor belting. Each of these sections are discussed below :

Loading Section

This section incorporates the tail drive pulley, the loading point and the pipe-forming sections of the conveyor. The section is approximately 37 m in length and is enclosed in a closed gallery to prevent the ingress of rainwater and high winds on the open portion of the conveyor at the coastal area

The tail drive unit consists of 500 kW motor with variable frequency controller, helical gear box, geared coupling, tail drive pulley and snub pulley. A pulse encoder is provided at motor shaft extension to give speed feed back to the variable frequency drive.

On the carrying side of the conveyor (moving in the direction of travel of the belt), the belt is gradually troughed via transition idlers to a 20 degree trough angle, which is required at the loading point. The idlers are pitched at 2.0 m along this section except at the loading point, where the Impact idler pitch is 400 mm.

Moulded rubber skirts are provided to prevent spillage of the loaded product and to centralise the material on the conveyor belt. In addition, a de-dusting system is provided to remove all dust generated during transfer onto the pipe conveyor.

A belt weigher has been provided along this transition section, and the feed rate and quantity of product conveyed is recorded.

After the loading point an over-fill detector is located above the load stream to ensure that the conveyor belt is not excessively loaded. Should excessive loading occur the conveyor is automatically tripped. At the outlet of the skirt place, a baffle plate is provided to guide material to the centre

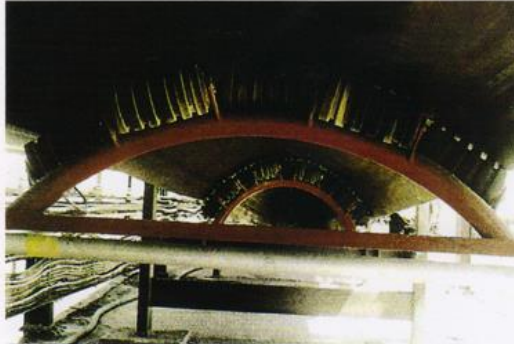


Fig. 2: Return Belt near tail end transition portion

of the belt. This is important for a correct formation of the pipe conveyor and the correct positioning of the overlap section.

From the loading point, the conveyor belt is troughed further i.e. from 20 degree to 45 degrees and to 90 degrees over a length of approximately 25 m. Idlers at a pitch of 2.0 m along this transition section guide the belt into the formation of the pipe shape. The correct training of the belt ensures that the overlap in the belt remains at the top of the pipe formation.

At the end of the transition section, the first pipe conveyor idler support panel guides the two edges of the belt into the final pipe enclosing the product inside the belt.

On the return-side of the conveyor the tubular form of the belt gradually opens from the point where the belt exits the last idler support panel, to the snub pulley adjacent to the tail/drive pulley. The return belt is supported throughout this section by a series of inverted idlers ranging from 90° to 15° at intervals of 4.5 m. First set of inverted idlers is made of PVC to take care of excessive load due to belt opening.

Intermediate Pipe Conveyor Section

The intermediate section of the pipe conveyor is at ground-level, horizontal structure of initial length 2250 m and thereafter the belt line is elevated at an angle of 5.7° to a height of approximately 7.3 m for future road crossing. From this point the belt line gradually rises at 1.3° to a finished height of 26.5 m above the local ground level at the discharge pulley. In this portion, the horizontal curve is located.

A 90° horizontal curve is being included in the pipe conveyor section, with a radius of 300 m. The inclusion of this curve eliminates the need for a transfer point midway along the conveyor.

The overland section is made up of a series of idler support panels at intervals of 2.0 m and are secured in a box girder type structure. For the ground-line section the gantry is supported on end portals. The top of the gantry is approximately 2.6 m above the local ground level of the structure. Expansion joints are provided at 30 m intervals to take care of longitudinal thermal expansion due to temperature variation.

Access is provided on both sides of the conveyor via a 500 mm and 1000 mm walkway respectively at the point where the conveyor elevates.

The gantry is supported on trestles and the pitch of the idler panels ranges between 2.0 m for straight sections, and 1.0 m at the horizontal curve. The closer pitch is to ensure that the load on the idlers is maintained within design limits and to prevent collapse of the pipe.

Throughout the length of the pipe conveyor all panels are perpendicular to the belt gantry. 1mm tolerance is maintained throughout the steel structure of pipe conveyor. Due to accurate erection and close tolerance, the conveyor could be commissioned within a few hours of empty running.

The horizontal curve was maintained by fabricating the gantry at a radius of 300 m.

Longitudinal thermal expansion and contraction of the entire pipe conveyor structure was considered during the design of the gantry.

Each idler panel includes two training idlers (one for the carrying and one for the return belt) to ensure that the conveyor belt maintains its correct alignment i.e. the overlap must remain at the top and bottom of the carrying and return paths respectively.

The training idlers are mounted on an adjustable support bracket with slotted holes, to enable the pipe to be trained by adjusting only one of the size idlers per panel.

The location of the training idler is selected so as to have maximum force.

The idlers are arranged on alternate sides of each panel and the gauge length of the idlers ensures that it is impossible for the belt to come into contact with the roller edges.

Head Discharge Section

At the end of the elevated conveyor, the pipe form is gradually opened from the point of the last panel, to the head pulley. The belt is supported throughout this section by a series of idlers, ranging from a troughing angle of 90° down to 15°. In this way the belt conveyor is opened without over-stressing and the product being conveyed remains in the centre of the opened belt.

Misalignment switches are provided to trip the conveyor in the event that the belt alignment is disturbed to the extent that could result damage to belt.

Roof and side sheeting is provided at the head-end of the conveyor where the belt is opened, to prevent rainwater contaminating the product on the belt.

Fig. 3: Intermediate section of pipe conveyor





Fig. 4: Straight portion of pipe conveyor at jetty

The head pulley is the point of discharge of the pipe conveyor and all the conveyed product is discharged into the receiving chute for onward handling. The discharge chute is fitted with adjustable deflected plates which are set during commissioning to guide the material trajectory to ensure correct loading of the downstream conveyor.

The head discharge section comprises belt scrapers to clean the dirty-side of the belt mechanically. All scrapings are kept inside the discharge chute.

Having passed through the scrapers the belt is washed by means of water sprays before it enters the drive station. Dribblings from the washing station are collected in a trough and piped to a settling tank.

From the head pulley, the return-side belt is supported on flat return idlers and is guided through the head-end drive and take-up stations. In the open or flat form. Once the belt has passed through the head pulley, drive and take-up, the belt is again formed into the tubular cross-section by a series of troughed idlers and fed into the idler panels along the return side.

The 'dirty' side of the belt is on the inside of the pipe form and the overlap is at the bottom of the cross-section.

Drive Stations

Having passed over the head pulley and through the belt cleaning facility, the belt is routed from the gantry to ground level. The head end drive station comprises two drive pulleys.

The drives are 500 kW units each comprising helical reducers, geared couplings and fly wheels, all mounted on the common base plate.

The drives are variable speed units controlled by variable frequency controller thus fluid couplings are not required. The thyristor controllers provide the facility to control the starting and stopping of the conveyor under the various load conditions.

Each of the two drive pulleys are 100 mm in diameter and are lagged.

Provision has been made for maintenance of the equipment by the inclusion of hoisting units overall pulleys and drives.

The entire drive arrangement and take-up assembly are enclosed in removable guards.

Take-Up Section

The horizontal gravity take-up is provided to maintain the required tension in the conveyor belt during all operating conditions. The take-up comprises a horizontal travelling trolley onto which the take-up pulley is mounted and is positioned directly after head end drive station.

Space for vulcanising is provided between head end drive and take-up unit. The trolley and take-up structure are positioned at ground level and the belt path is diverted from the elevated gantry by means of a series of bend pulleys. Take-up tension is provided by the adjacent vertical gravity take-up tower where the take-up mass is connected to the take-up pulley by means of the steel rope and series of sheave wheels. The rope is terminated onto an electric winch which is used to raise and lower the take-up mass for maintenance purposes.

The take-up length of 19 m takes into consideration the dynamic travel of the take-up pulley and the permanent elongation expected in the belting.

Over travel limit switches are provided in take-up tower to stop the conveyor in case of excessive travel of counter weight.

Conveyor Belting

Belt selection was a very tricky issue. Nylon-nylon belting was not selected due to high elongation and control of very long take up travel. This left only steel cord belt. Only three known references were available where steel cord belting was used. However, the performance of steel cord belt was never tested with 90° curves.

It was decided to adopt steel cord belting due to the following reasons:

- i) Expected life of steel cord belting is 10 - 12 years compared to 3-4 years of nylon-nylon/EP belting.
- ii) Starting control is easy due to less take up travel.

Belting was sourced from South Korea through Hyundai Corporation.

In pipe conveyor belting the following considerations are extremely important:

- i) Belt should be rigid enough to form a desired radius during continuous operation and belt should not deform at curve points.
- ii) Rigidity should not be too high otherwise unnecessary force will be on idlers due to the opening tendency of belt.
- iii) Corners of belt should be soft to make smooth pipe formation.

Based on the above requirements, every precaution was taken during belt cross-section selection. It was decided to have two layers of 1 mm thick fabric inside cross-section to have sufficient rigidity and 148 Nos. of steel wire cords of 3.4 mm dia were selected to ensure the desired tension.

Conveyor Starting

For smooth starting of conveyor, 100 sec. acceleration time was selected. Both drives are started in 'S' curve pattern restricting torque limit of motors at 100% and simultaneously synchronising both motors. From PLC both drives can be started at any speed for 10% to 100%. Based on load requirement, drives are suitable to run the conveyor at any speed between 10% to 100%. Proportionate load sharing is observed between both head end and tail end drives.

APÉNDICE B

MSDS CONCENTRADO DE COBRE [21]



HIGHLAND VALLEY COPPER CONCENTRATE MATERIAL SAFETY DATA SHEET

SECTION 1. PRODUCT AND COMPANY IDENTIFICATION

Product Identity: Highland Valley Copper Concentrate

Manufacturer:
Teck Highland Valley Copper
Partnership
P.O. Box 1500
Logan Lake, British Columbia
V0K 1W0
Emergency Telephone: CANUTEC
(613) 996-8666

Supplier:
Teck Highland Valley Copper
Partnership
P.O. Box 1500
Logan Lake, British Columbia
V0K 1W0

MSDS Preparer:
Teck Metals Ltd.
Suite 3303 – 550 Burrard Street
Vancouver, British Columbia
V6C 0B3

Date of Last MSDS Revision: June 3, 2013.

Date of Last Edit: June 3, 2013.

Product Use: Primary production of copper metal.

SECTION 2. COMPOSITION / INFORMATION ON INGREDIENTS

Hazardous Ingredients	Approximate Percent by Weight	CAS Number	Occupational Exposure Limits (OELs)	LD ₅₀ / LC ₅₀ Species and Route
Copper (present as Sulphides/Oxides)	30 – 80%	1317-40-4 / 1314-70-3	OSHA PEL 1 mg Cu/m ³ ACGIH TLV 1 mg Cu/m ³ NIOSH REL 1 mg Cu/m ³	LD ₅₀ , rat, oral No Data (CuS)
Sulphur (present as Mineral Sulphides)	25 – 35%	7704-34-9	OSHA PEL None established* ACGIH TLV None established* NIOSH REL None established*	LD ₅₀ , rat, oral No Data
Iron (present as Sulphides/Oxides)	10 – 30%	1317-37-9 / 1332-37-2	OSHA PEL None established† ACGIH TLV None established† NIOSH REL None established†	LD ₅₀ , rat, oral 984 mg/kg (FeS)
Silica (Amorphous and/or Crystalline)	3 – 7%	60876-86-0 / 14808-60-7	OSHA PEL 3.3 mg/m ³ (Total Concentrate Dust) ‡ ACGIH TLV 0.025 mg/m ³ (Resp) NIOSH REL 0.05 mg/m ³ (Resp)	LD ₅₀ , rat, oral No Data
Alumina (Aluminum Oxide)	0.5 – 1.5%	1344-28-1	OSHA PEL 15 mg/m ³ (Total) 5 mg/m ³ (Resp) ACGIH TLV 1 mg/m ³ (Resp) NIOSH REL 10 mg/m ³ (Total) 5 mg/m ³ (Resp)	LD ₅₀ , rat, oral No Data

NOTE: OELs for individual jurisdictions may differ from OSHA PELs. Check with local authorities for the applicable OELs in your jurisdiction. OSHA - Occupational Safety and Health Administration; ACGIH - American Conference of Governmental Industrial Hygienists; NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health. OEL - Occupational Exposure Limit, PEL - Permissible Exposure Limit, TLV - Threshold Limit Value, REL - Recommended Exposure Limit.

* While there are no established OELs for sulphur as such, there are OELs for sulphur dioxide which will be formed during any combustion processes. The OSHA PEL for SO₂ is a time-weighted average concentration (TWA) of 5 ppm and the NIOSH REL is 2 ppm TWA and 5 ppm STEL. In 2008 the ACGIH significantly reduced their TLV to a short term exposure limit (STEL) of 0.25 ppm over any 15 minute exposure.

† While there is no established Occupational Exposure Limit for iron as such, there are OELs for iron oxides which may be formed during burning, welding or other fuming processes. The OSHA PEL for iron oxide fume is 10 mg/m³. The NIOSH REL for iron oxide dust and fume is 5 mg/m³ (as Fe) and the ACGIH TLV is 5 mg/m³ of iron oxide dust/fume (respirable fraction).

‡ The OSHA PEL for quartz (crystalline silica) applies to the total airborne concentrate dust concentration and has been calculated based on the maximum percent SiO₂ in the sample using the formula: Total Dust PEL = 30 mg/m³ / (%SiO₂ + 2). The NIOSH and ACGIH limits apply to the actual amount of respirable quartz or silica in the workplace air.

Trade Names and Synonyms: None.

SECTION 3. HAZARDS IDENTIFICATION

Emergency Overview: A green to red-brown, finely ground material that is not flammable or combustible under normal conditions of transport and storage. However, when heated strongly in air it will burn, releasing toxic and irritating sulphur dioxide gas as well as possible copper and iron oxide fumes. Contact with strong acids will generate flammable and highly toxic hydrogen sulphide gas. Inhalation or ingestion of copper concentrate dust or copper oxide fume may produce irritation of the upper airways. Possible cancer hazard due to the silica content. Full face piece SCBA and protective clothing are required for fire emergency response personnel due to the release of high concentrations of sulphur dioxide from burning concentrate. The metals content in this product have low direct bioavailability and pose little immediate ecological risk.

Potential Health Effects: Concentrate dust may be irritating to the nose, throat and respiratory tract. Inhalation or ingestion of copper may cause nausea, vomiting, headaches, dizziness, and gastrointestinal irritation. Inhalation of high concentrations of copper oxide fume may cause irritation of the upper respiratory tract and may result in a form of metal fume fever, characterized by flu-like symptoms such as chills, fever, nausea, and vomiting. Crystalline silica is classified as a Group 1 Carcinogen by IARC and as an A2 Carcinogen by the ACGIH (See Toxicological Information, Section 11).

Potential Environmental Effects: Copper concentrate is relatively insoluble in water, and therefore, its constituent metals have low direct bioavailability. However, extended exposure of the concentrate in the aquatic and terrestrial environments can lead to the release of constituent metals in more bioavailable forms; these forms have the potential to cause adverse effects on biota (See Ecological Information, Section 12).

EU GHS CLP Classification: Not classified.

SECTION 4. FIRST AID MEASURES

Eye Contact: Do not allow victim to rub eye(s). Let the eye(s) water naturally for a few minutes. If particle/dust does not dislodge, flush with lukewarm, gently flowing water for 5 minutes or until particle/dust is removed, while holding eyelid(s) open. If irritation persists, immediately obtain medical attention. DO NOT attempt to manually remove anything stuck to the eye.

Skin Contact: Remove contaminated clothing, shoes and leather goods (e.g., watchbands, belts). Quickly and gently blot or brush away excess concentrate. Wash gently and thoroughly with lukewarm gently flowing water and non-abrasive soap for 5 minutes. If irritation persists, repeat flushing and obtain medical advice. Completely decontaminate clothing, shoes and leather goods before reuse or else discard.

Inhalation: Remove source of contamination or move victim from exposure area to fresh air immediately. If breathing has stopped, trained personnel should begin artificial respiration. Medical oxygen may be administered by trained personnel, where breathing is difficult. If the heart has stopped, immediately start cardiopulmonary resuscitation (CPR), or automated external defibrillation (AED). If either of the above adverse circumstances occurs, quickly transport victim to an emergency care facility.

Ingestion: NEVER give anything by mouth if victim is rapidly losing consciousness, or is unconscious or convulsing. Have victim rinse mouth thoroughly with water. DO NOT INDUCE VOMITING. Have victim drink 2 – 8 oz. (60 – 240 ml) of water. If vomiting occurs naturally, have victim rinse mouth with water again. Obtain medical advice and bring a copy of this MSDS.

SECTION 5. FIRE FIGHTING MEASURES

Fire and Explosion Hazards: Copper concentrate is not considered a fire or explosion hazard. However, it may burn if heated strongly enough and for sufficient time in a fire situation. When burning, it releases toxic and highly irritating sulphur dioxide gas (SO₂). Contact with strong acids may also generate flammable and highly toxic hydrogen sulphide gas (H₂S). Long term storage may result in oxidation and under certain conditions, spontaneous combustion may occur.

Extinguishing Media: Use any means of extinction appropriate for the surrounding fire conditions such as water spray, carbon dioxide, dry chemical, or foam.

Fire Fighting: Highly irritating and toxic fumes of sulphur dioxide (SO₂) will be released by burning copper concentrate. Fire fighters must be fully trained and wear full protective clothing including an approved, self-contained breathing apparatus which supplies a positive air pressure within a full face piece mask.

Flashpoint and Method: Not Applicable.

Upper and Lower Flammable Limit: Not Applicable.

Autoignition Temperature: Not Applicable.

SECTION 6. ACCIDENTAL RELEASE MEASURES

Procedures for Cleanup: Control source of spillage if possible to do so safely. Restrict access to the area until completion of clean up. Clean up spilled material immediately, observing precautions in Section 8, Personal Protection and using methods which will minimize dust generation (e.g. vacuum solids, dampen material and shovel or wet sweep). Return uncontaminated spilled material to the process if possible. Place contaminated material in suitable labeled containers for later recovery or disposal. Treat or dispose of waste material in accordance with all local, regional, and national requirements.

Personal Precautions: Persons responding to an accidental release should wear coveralls or other protective clothing, gloves and a respirator (see also Section 8). Close-fitting safety goggles may be necessary in some circumstances to prevent eye contact with dust. Workers should wash and change clothing following cleanup of a spill to prevent personal contamination.

Environmental Precautions: The handling, shipment, storage and processing of this material requires appropriate controls and care to prevent spillage or gradual accumulation in aquatic and terrestrial environments. Any spilled material should be promptly cleaned up.

SECTION 7. HANDLING AND STORAGE

Store in a dry, well-ventilated area away from sources of combustion, acids and strong oxidizers. Some sulphide concentrates may slowly oxidize in storage and generate sulphur dioxide as well as deplete the oxygen content of a confined space, such as a ship's hold. The atmosphere within confined spaces containing concentrate must be tested before entry and the area thoroughly ventilated or self-contained breathing apparatus used, if conditions warrant. Some sulphide concentrates may also oxidize and generate heat which accumulates in storage piles. If material is to be stored for an extended period, the temperature of storage piles should be monitored.

Minimize dust generation and accumulation. Avoid breathing dust. Always practice good personal hygiene. Refrain from eating, drinking, or smoking in work areas. Thoroughly wash hands after handling and before eating, drinking, or smoking in appropriate designated areas only. Remove contaminated clothing and wash before reuse.

SECTION 8. EXPOSURE CONTROLS / PERSONAL PROTECTION

Protective Clothing: Coveralls or other work clothing, safety glasses, and gloves are recommended to prevent prolonged or repeated direct skin and eye contact. Close-fitting safety goggles may be required to prevent eye contact if excessive dust is generated. Workers should wash immediately when skin becomes heavily contaminated as well as at the end of each work shift.

Ventilation: Use adequate local or general ventilation to maintain the concentration of copper concentrate dust in the working environment well below recommended occupational exposure limits. Supply sufficient replacement air to make up for air removed by the exhaust system.

Respirators: Where copper concentrate dust and/or sulphur dioxide gas is generated and cannot be controlled to within acceptable levels by engineering means, use appropriate NIOSH-approved respiratory protection equipment (a minimum of a combination N-100 or P-100 particulate filter / acid gas cartridge) in an air purifying respirator (APR) or powered air purifying respirator (PAPR). A full face piece chemical cartridge respirator or even a self-contained breathing apparatus may be required for higher concentrations of sulphur dioxide gas.

SECTION 9. PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

Appearance: Greenish, coppery, reddish or brassy with blue tones in colour	Odour: Odourless	Physical State: Extremely fine powder	pH: Not Applicable
Vapour Pressure: <1 mm Hg @ 25°C	Vapour Density: Not Applicable	Boiling Point/Range: >2200°C	Melting Point/Range: No Data

Specific Gravity:
2.2

Evaporation Rate:
Not Applicable

**Coefficient of Water/Oil
Distribution:** Not
Applicable

Odour Threshold:
Not Applicable

Solubility:
Insoluble in water

**Percent Volatile by
Weight:**
Not Applicable

Other Information

SECTION 10. STABILITY AND REACTIVITY

Stability & Reactivity: This material is stable and not considered reactive under normal temperatures and pressures. Hazardous polymerization or runaway reactions will not occur.

Incompatibilities: Incompatible with strong oxidizing agents such as ammonium nitrate, ammonium peroxodisulfate, chlorates, chlorine trifluoride, chloroformadanium nitrate, sodium acetylide, chlorine, dinitrogen tetroxide, liquid fluorine, nityl fluoride and heat, peroxy formic and potassium dichromate, oxygen difluoride, hot chlorinated rubber, strong acids such as hydrochloric and sulphuric acid. Also incompatible with sodium azide, acetylene, calcium hypochlorite and sodium peroxide. Vigorous reactions with iodine monochloride and hydrogen peroxide. May be ignited by open flames or other high temperature sources.

Hazardous Decomposition Products: Many sulphides react violently and explosively with powerful oxidizers, at the same time releasing large volumes of highly irritating and toxic SO₂. May release highly toxic and flammable hydrogen sulphide (H₂S) gas on contact with strong acids. High temperature operations such as oxy-acetylene cutting, electric arc welding or arc-air gouging may generate toxic copper and iron oxide fumes as well as large volumes of sulphur dioxide gas. Long term storage may result in oxidation and under certain conditions, spontaneous combustion may occur.

SECTION 11. TOXICOLOGICAL INFORMATION

General: NOTE: The toxicological properties of this material have not been fully investigated. The information contained in this MSDS is therefore based on information in the technical and scientific literature about the material's constituent components.

Acute:

Skin/Eye: Contact with the eyes may cause local irritation due to direct abrasive action of the particles but would not cause tissue damage. Direct contact with the skin may also cause local mechanical irritation.

Inhalation: Acute inhalation of dusts will result in irritation of the nose, throat and upper respiratory passages. Symptoms may include discomfort, coughing, tingling sensation, sneezing and/or shortness of breath and wheezing as well as metallic taste. However, the metals are present predominantly as sulphides that are relatively insoluble and poorly absorbed within the body.

An intense, short-term exposure to fumes from cutting or welding, etc. could result in the condition called metal fume fever. The symptoms of metal fume fever generally occur within 3 to 10 hours. They may include immediate dryness and irritation of the throat, tightness of the chest, and coughing that may later be followed by flu-like symptoms of fever, malaise, perspiration, frontal headache, muscle cramps, low back pain, occasionally blurred vision, nausea, and vomiting. Those experiencing a single acute episode of metal fume fever generally recover without apparent residual effects.

Ingestion: Individuals reported to have ingested large quantities of copper salts (primarily copper sulphate in attempting suicide) have reported gastrointestinal effects including vomiting, diarrhea, nausea, abdominal pain and a metallic taste in the mouth. Effects on the kidneys and liver, and even death, have also been reported in severe cases of copper poisoning. However, copper sulphide is poorly absorbed from the gastrointestinal tract, limiting exposure by ingestion and copper is a strong emetic so spontaneous vomiting following ingestion usually limits uptake of copper.

Chronic: Prolonged exposure to copper dust or fume can cause irritation to the upper respiratory tract and, occasionally, ulceration and perforation of the nasal septum. A green discoloration of the skin and hair has been reported in some copper workers similar to that caused by wearing jewellery made of copper. A few instances of allergic skin rashes have also been reported in workers exposed to metallic copper. Copper is an essential element, but can become toxic when inhaled or ingested in large doses. Individuals with a rare disorder called "Wilson's Disease" (estimated prevalence 0.003% of the population) are predisposed to accumulate copper and should not be occupationally exposed. Prolonged inhalation of iron oxide fume causes a benign pneumoconiosis called siderosis. Alumina is considered to be a relatively benign compound with no significant effects on the respiratory system or other body organs. Chronic inhalation of crystalline free silica causes silicosis, a form of disabling, progressive, and sometimes fatal pulmonary fibrosis. Silicosis are also at increased risk of developing tuberculosis and/or lung cancer. IARC has classified crystalline silica of respirable particle size as a Group 1

Carcinogen (Carcinogenic to Humans) while ACGIH classifies it as a Suspected Human Carcinogen (A2). The NTP recently reclassified silica as a Known Human Carcinogen. OSHA and the EU do not list silica as a carcinogen.

SECTION 12. ECOLOGICAL INFORMATION

Copper concentrate is relatively insoluble in water, and therefore, its constituent metals have low direct bioavailability. However, extended exposure of the concentrate in aquatic and terrestrial environments can lead to the release of the constituent metals in more bioavailable forms; these forms have the potential to cause adverse effects on biota. The mobility of the constituent metals in more soluble forms is media-dependent; they can bind with inorganic and organic ligands, reducing their mobility and bioavailability in both soil and water. Bioavailability is also mediated by other factors (e.g., pH, hardness, total organic carbon), in the aquatic environment.

SECTION 13. DISPOSAL CONSIDERATIONS

If material cannot be returned to process or salvage, dispose of in accordance with applicable regulations. Empty and thoroughly clean all residues from containers before reuse or disposal.

SECTION 14. TRANSPORT INFORMATION

Transport Canada ClassificationNot regulated
U.S. DOT Hazard ClassificationNot regulated
Marine PollutantNo
IMO ClassificationMHB (Material Hazardous in Bulk)

Note that this material has been tested under the United Nations Transport of Dangerous Goods, Manual of Tests and Criteria, Fifth Revised Edition (2009) Test results indicate that the concentrate qualifies neither as a flammable solid under Class 4.1 nor a self-heating substance under Class 4.2.

IMO MARPOL V Classification: Not Harmful to the Marine Environment.

SECTION 15. REGULATORY INFORMATION

U.S.
Ingredients Listed on TSCA Inventory Yes
Hazardous Under Hazard Communication Standard Yes
CERCLA Section 103 Hazardous Substances Yes Copper Compounds RQ: 5,000 lbs.
(2270 kg)*
* reporting not required when diameter of the pieces of solid metal released is equal to or exceeds 100 micrometers (0.004 inches).
EPCRA Section 302 Extremely Hazardous Substance None of the ingredients qualify
EPCRA Section 311/312 Hazard Categories Delayed (Chronic) Health Hazard - Carcinogen (due to presence of silica)
EPCRA Section 313 Toxic Release Inventory (Supplier Notification): Copper CAS No. 7440-50-8
Percent by Weight: 30-60%
Aluminum Oxide CAS No. 1344-28-1
Percent by Weight 0.5-1.5%
CANADIAN:
Ingredients Listed on DSL: Yes
WHMIS Classification: D2A, Material Causing Other Toxic Effects – Very Toxic
EUROPEAN UNION:
Ingredients Listed on the European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances (EINECS): Yes
EU CLP GHS Classification: Not classified.

SECTION 16. OTHER INFORMATION

The information in this Material Safety Data Sheet is based on the following references:

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2004, Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, Seventh Edition plus updates.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2013, Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2013, Guide to Occupational Exposure Values.
- Breitenack's Handbook of Reactive Chemical Hazards, 20th Anniversary Edition. (P. G. Urban Ed.) 1995.
- Canadian Centre for Occupational Health and Safety CHEMINFO Record No: 2073, Copper -Last Revised 2005-03.
- Commission de la santé et la sécurité du travail, Service du répertoire toxicologique, Cuivre, 2010-07.
- European Regulation (EC) No 1272/2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing directives 67/548/EEC and 1999/45/EC, and amending Regulation (EC) No 1907/2006 (REACH).
- Industry Canada, SOR/88-86, Controlled Products Regulations, as amended.
- International Agency for Research on Cancer (IARC), Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Man, 1972 – present, (multi-volume work), World Health Organization, Geneva.
- International Labour Office (WHO/ILO) Encyclopaedia of Occupational Health & Safety 4th Ed.
- Merck & Co., Inc., 2001, The Merck Index, An Encyclopedia of Chemicals, Drugs, and Biologicals, Thirteenth Edition.
- National Library of Medicine, National Toxicology Information Program, Hazardous Substance Data Bank.
- Patty's Toxicology, Fifth Edition, 2001: E Bingham, B Cohnsen & C H Powell, Ed.
- Sax, N. Irving & Lewis, Richard J. Sr., 1987, Hawley's Condensed Chemical Dictionary, Eleventh Edition.
- U.S. Dept. of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health, National Toxicology Program (NTP), 12th Report on Carcinogens, June 2011.
- U.S. Dept. of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances (RTECS) CCOHS Web Access subscription.
- U.S. Occupational Safety and Health Administration, 1989, Code of Federal Regulations, Title 29, Part 1910.

Notice to Reader

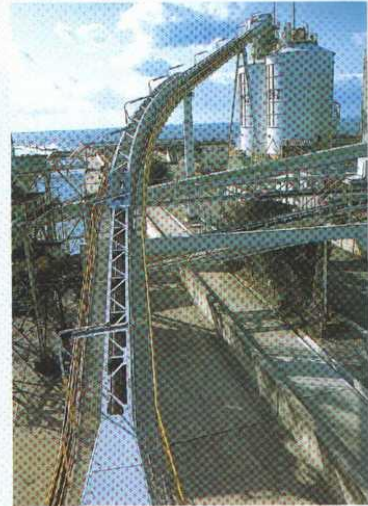
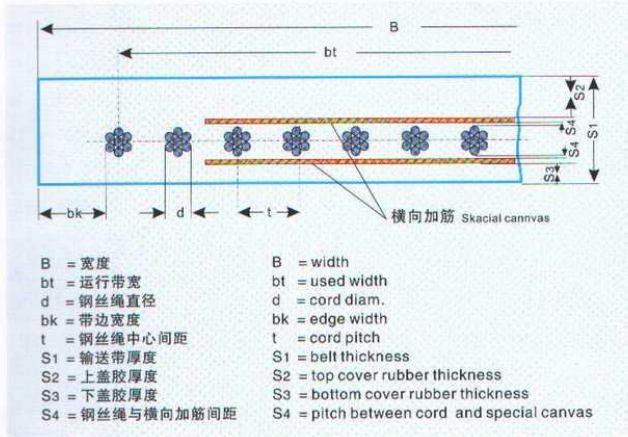
Although reasonable precautions have been taken in the preparation of the data contained herein, it is offered solely for your information, consideration and investigation. Teck Highland Valley Copper Partnership extends no warranty and assumes no responsibility for the accuracy of the content and expressly disclaims all liability for reliance thereon. This material safety data sheet provides guidelines for the safe handling and processing of this product; it does not and cannot advise on all possible situations. Therefore, your specific use of this product should be evaluated to determine if additional precautions are required. Individuals exposed to this product should read and understand this information and be provided pertinent training prior to working with this product.

APÉNDICE C

SELECCIÓN DE BANDA CON REFUERZOS DE CABLE DE ACERO [22]

三、钢丝绳芯管状输送带：Steel cord pipe conveyer belt

■ 在上、下盖胶中具有横向加筋的钢丝绳输送带横断面
The transection of steel cord conveyer belt with special canvas in weft between top cover and bottom cover.



钢丝绳芯管状带主要技术参数
Technical data for steel cord pipe conveyer belt

强度等级 Grade of strength 项目 Item	St													
	630	800	1000	1200	1600	2000	2500	3150	3500	4000	4500	5000	5400	
纵向拉伸强度 N/mm Tensile strength in warp	630	800	1000	1200	1600	2000	2500	3150	3500	4000	4500	5000	5400	
钢丝绳最大公称直径mm Max cord diam.	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.2	8.1	8.6	8.9	9.7	10.9	11.3	
钢丝绳间距 mm Pitch	10±1.5	10±1.5	12±1.5	12±1.5	12±1.5	12±1.5	15±1.5	15±1.5	15±1.5	17±1.5	17±1.5	17±1.5	17±1.5	
上覆盖层厚度 mm Top cover rubber thickness	5	5	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8.5	9	
下覆盖层厚度 mm Bottom cover rubber thickness	5	5	6	6	6	8	8	8	8	8	8	8.5	9	
中间刚度调节层厚度mm Thickness of the rigidity adjustment layer in middle	由管带机使用者提出横向刚度值，我公司根据需要制作相应中间刚度调节层，调节层厚度为2-4mm。 Our company will change the thickness of the rigidity adjustment layer by the customers' demand, the thickness of the rigidity adjustment layer is: 2-4mm.													
宽度规格 mm Width	钢丝绳根数 Number of steel cords													
800	75	75	63	63	63	63	50	50	50					
1000	95	95	79	79	79	79	64	64	64	64	59	55	55	
1200	113	113	94	94	94	94	76	76	77	77	71	66	66	
1400	133	133	111	111	111	111	89	89	90	90	84	78	78	
1600	51	151	126	126	126	126	101	101	104	104	96	90	90	
1800		171	143	143	143	143	114	114	117	117	109	102	102	
2000			159	159	159	159	128	128	130	130	121	113	113	
2200							176	141	141	144	144	134	125	125

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Buchanan, Japan Pipe Belt Conveyor System, Conveyor Engineer - Bateman Materials Handling Limited.
- [2] E. d. Toit, Specialised Conveing System.
- [3] M. B. Johan, La evolución del 'pipe-conveyor'.
- [4] CEMA Conveyor Equipment Manufacturers Association, Belt Conveyors for Bulk Materials, sixth edition, 2007, pp. 268-281.
- [5] <http://mie.net.my/assets/download/Pipe%20Conveyor1.pdf>.
- [6] Pipe Conveyors and their application in the Cement Industry.
- [7] <http://bet.bateman.com/brochures/Japan-Pipe-Conveyors.pdf>.
- [8] G. Vaka y K. Robins, Development and Advantages.
- [9] A. Flercher y E. du Toit, Environmentally Friendly Enclosed Conveyors Systems.
- [10] Z. Zhang, F. Zhou y J. Ji, Parameters Calculation and Structure Design of Pipe Belt Conveyor.
- [11] <http://www.metso.com/>.
- [12] www.schenckprocess.com.
- [13] http://www.roeda.com.pe/CD_TM%5CFAJAS_TRANSPORTADORAS_CONTINENTAL%5CCONTINENTAL_FAJAS_TUBULARES%5CTRAN

SPORTADOR%20TUBULAR.pdf.

- [14] A. Wilkinson, C. Munford y V. Champion, Enclosed belts in the ascendancy, COALTRANS INTERNATIONAL, vol. 25, nº 2, pp. 28-30, Marzo 2010.
- [15] CEMA Conveyor Equipment Manufacturers Association, Belt Conveyors for Bulk Materials, fifth edition, Library of Congress Cataloging in Publication Data, 2002.
- [16] F. J. Loeffler, Pipe/Tube Conveyors a Modern Method of Coal and Ash Transportation.
- [17] H. R. Hinojosa Ruiz, Software para Diseño de Transportadores de Banda, Guayaquil, 2002, pp. 63-78.
- [18] Dunlop, Conveyor Belt Technique Design and Calculation.
- [19] Pipe Conveyor Operating and Maintenance Procedures, C KIT.
- [20] 3.2 km Long Pipe Conveyor with 90° Horizontal Curve at Birla Copper, India by Naveen Projects Ltd., Bulk Solids Handling, vol. 19, nº 4, 1999.
- [21] T. H. V. Copper, Highland Valley Copper Concentrate Material Safety Data Sheet, 2013.
- [22] <http://www.doublearrowbelt.com/?p=291>.