



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
FACULTAD METALURGIA-ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

Verificación de los transportadores de banda de la planta procesadora de grava y arena “El Jobo” del municipio de Sagua de Tánamo.

Autor: Dainier Leyva Nuñez

Tutor (es): Ing. Raymundo Betancourt Laurencio
Dr. C. Roberto Johan Sierra Pérez

Moa, junio de 2017
“Año 59 de la Revolución”

Declaración de autoridad

Yo, Dainier Leyva Nuñez, autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", el cual podrá hacer uso del mismo cuando estime conveniente.

Dainier Leyva Nuñez
Autor

Ing. Raymundo Betancourt Laurencio
Tutor

Dr. C. Roberto Johan Sierra Pérez
Tutor

Pensamientos

"Los intelectuales resuelven los problemas. Los genios los evitan."

Albert

Einstein

Haríamos mucho más si pensáramos que son menos las cosas imposibles.

Anónimo

Agradecimientos

A Dios por darme la fuerza para realizar este trabajo.

A mi madre Yamilet y mi hermana Nataliet por su apoyo y comprensión.

A mis tutores Ing. Raymundo Betancourt Laurencio y al Dr.C Roberto Johan Sierra Pérez por su ayuda y dedicación durante la realización de este trabajo.

A los profesores de mi facultad y a mis compañeros de estudios.

A mis amigos, con los cuales he podido contar en todo momento.

A todos:

Eterno Agradecimiento.

Dedicatoria

A mi madre y mi hermana.

A nuestra revolución.

Resumen

En el presente trabajo de diploma se realizó una amplia búsqueda de fuentes bibliográficas asociadas a la temática en cuestión, valorando el estado actual de los equipos de transporte continuo. Se definió como metodología de cálculo a emplear la propuesta por Sierra, 2010 y Oriol y Aguilar, 1995. Se realizó el cálculo de los parámetros de los transportadores de banda empleados para el transporte de áridos en la planta procesadora de grava y arena “El Jobo” del municipio de Sagua de Tánamo. Además se realizó un estudio a partir de las características técnicas de los transportadores de banda instalados, del perfil de su traza y las propiedades físico-mecánicas del material transportado. El análisis de los resultados obtenidos evidencia el sobredimensionamiento de los transportadores analizados. La valoración económica realizada demuestra que es posible el ahorro de portadores energéticos y de inversión en la compra de las bandas. Por último se analizaron los principales impactos ambientales asociados a los transportadores de banda objetos de estudio.

Abstract

In the present work of thesis was realized an extensive search of bibliographical sources associated to the subject in question, valuing the current state of the equipment of continuous transport. It was defined as a calculation methodology to use, the proposal by Sierra, 2010 and Oriol and Aguilar, 1995. It was realized the calculation of the parameters of the belt conveyors used for the transport of aggregates in the gravel and sand processing plant "El Jobo "Of the municipality of Sagua de Tánamo. In addition, a study was carried out based on the technical characteristics of the installed belt conveyors, the profile of their track and the physical-mechanical properties of the material transported. The analysis of the obtained results evidences the oversizing of the analyzed transporters. The economic valuation made shows that it is possible to save energy carriers and investment in the purchase of the bands. Finally it was analyzed the main environmental impacts associated with the belt conveyors objects of study.

Índice

Introducción.....	1
CAPÍTULO I. Marco teórico.....	4
1.1. Introducción.....	4
1.2. Estado del arte	4
1.3. Peculiaridades de los transportadores de banda.....	8
1.4. Propiedades físico - mecánicas de los áridos procesados	18
1.5. Descripción del flujo tecnológico	20
1.6. Conclusiones del capítulo.....	21
2.1. Introducción.....	22
2.2. Metodología de cálculo para transportadores de banda utilizada	23
2.3. Determinación de los diferentes parámetros según el orden establecido por la metodología de cálculo	24
2.4. Establecimiento del sistema de mantenimiento.....	37
2.5. Conclusiones del capítulo.....	41
CAPÍTULO III. Análisis de los resultados.....	42
3.1. Introducción.....	42
3.2. Parámetros tecnológicos de los transportadores estudiados	42
3.3. Actividades a ejecutar en el mantenimiento	45
3.4. Valoración económica	46
3.5. Impacto medio ambiental y riesgos	48
3.6. Conclusiones del capítulo.....	49
Conclusiones generales.....	50
Recomendaciones	51
Referencias bibliográficas	
Anexos	

Introducción

Las problemáticas que refieren a los transportadores de banda se manifiestan hoy a escala mundial como una de las más fuertes competencias en la búsqueda incesante de nuevas tecnologías, diseños, métodos y procedimientos para aplicar en las ramas productivas. Los procesos de extracción y transporte de las menas lateríticas por sus altos requerimientos energéticos, son ejemplos de campos donde se realizan importantes acciones encaminadas a lograr indicadores energéticos cada vez más favorables.

En la industria cubana de Materiales de la Construcción, cuyo desarrollo va en constante ascenso requiere especial importancia el transporte de áridos por medio de los transportadores de bandas. En los últimos años se han presentado problemas relacionados con los niveles de utilización de la capacidad de carga y los consumos energéticos, lo cual propicia la realización de continuos estudios encaminados a buscar nuevos métodos que permitan dar solución a dicha problemática, así como influir también en otros aspectos de máxima importancia como es la necesidad de aumentar la productividad y eficiencia con el menor costo de inversión.

Según (Sierra, 1987) las pérdidas de energía en los equipos que componen las procesadoras de grava y arena, están en el orden de 30 y 37 %, principalmente por subutilización de las capacidades de carga instaladas y la instalación de equipos con productividades y potencia de su accionamiento inadecuadamente. Nótese que hasta la fecha según el Centro de Investigación y Desarrollo de Materiales de Construcción (CIDMC) el número de instalaciones se ha incrementado en todo el territorio nacional, y esto hace que sea de mucha importancia el análisis de los consumos energéticos y de capacidad productiva de las instalaciones. En Cuba se han adquirido equipos importados por miles de dólares, cuya producción nacional según (CIDMC) de Cuba constituye alrededor del 15 al 35 % de los costos de adquisición.

Situación problemática

Durante el diseño y explotación de los equipos que conforman los esquemas tecnológicos de la industria de materiales de construcción del municipio Sagua de Tánamo tales como transportadores de banda y otros, empleados en la preparación mecánica y beneficio de los áridos, existen cuantiosas pérdidas económicas por

concepto de inversión y de energía; dadas por la adquisición de equipos en el mercado exterior, que en la mayoría de los casos excede las capacidades requeridas, ya que no se cuenta con una metodología adecuada de diseño y selección de estos equipos, lo que ha traído como consecuencia el aumento de los gastos de insumos, partes y piezas para las actividades de mantenimiento y reparación. Esto además ha provocado que existan averías en dichos equipos debido al nivel de subutilización de los mismos y que el tiempo de reparación se extienda debido a los costos de las piezas de repuesto, lo cual afecta considerablemente a los obreros de estas instalaciones debido a que van interrumpidos para sus casas, a la empresa ya que deja de ingresar dinero, así como a la sociedad en general ya que no se producen materiales de construcción.

Problema

Utilización de una metodología ineficiente la cual no considera con precisión la relación entre las propiedades físico-mecánicas de los áridos y los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda.

Objeto de estudio

Los transportadores de banda empleados para el acarreo de áridos.

Objetivo general

Determinación de los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda en función de las propiedades físico-mecánicas de los áridos procesados en la planta procesadora de grava y arena "El Jobo" del municipio Sagua de Tánamo.

Campo de acción

Transportadores de banda de la planta procesadora de grava y arena "El Jobo" del municipio Sagua de Tánamo.

Hipótesis

Si se aplica una metodología precisa y en correspondencia con las propiedades físico-mecánicas de los áridos transportados y los requisitos del proceso tecnológico, entonces, se podrán establecer de manera más racional los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda empleados en el acarreo de áridos desde el punto de vista de inversión y energía.

Objetivos específicos

1. Definir la metodología de cálculo que se aplica específicamente a los transportadores de banda objeto de estudio.
2. Modelar los transportadores de banda del proceso tecnológico de la empresa en función del perfil.
3. Establecer los parámetros tecnológicos racionales de los transportadores de banda con la consiguiente estandarización bajo criterios económicos.

Tareas del trabajo

1. Establecimiento del estado del arte y la sistematización de los conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.
2. Determinación de las diferentes propiedades físico-mecánicas que influyen en la solución de los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda.
3. Construcción del perfil de cálculo en correspondencia con los requerimientos tecnológicos.
4. Cálculo de los diferentes parámetros tecnológicos del transportador de banda.
5. Valoración técnica y económica de los procedimientos empleados, así como, las afectaciones medioambientales asociadas a los mismos.

CAPÍTULO I. Marco teórico

1.1. Introducción

Los transportadores de banda son máquinas de transporte continuo de materiales a granel ampliamente conocidos en el mundo. En el presente capítulo se hace un estudio sobre las peculiaridades de explotación de los transportadores de banda utilizados para el transporte de áridos y otros. Se establecen las peculiaridades de los transportadores de banda a partir de varias fuentes bibliográficas nacionales e internacionales. Este análisis es de suma importancia por la diversidad de procedimientos que existen para el cálculo del ancho de la banda, selección de la velocidad de movimiento de la banda, las resistencias al movimiento, las tensiones a que están sometidas durante su funcionamiento, así como otros parámetros tecnológicos importantes.

Se identifican las principales propiedades físico-mecánicas de los áridos acarreados y procesados en el proceso tecnológico de la instalación analizada.

Objetivo del capítulo

Exponer los fundamentos teóricos de los procedimientos establecidos para la obtención de los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda empleados en la planta procesadora de grava y arena “El Jobo” del municipio de Sagua de Tánamo.

1.2. Estado del arte

El transporte de producto o materias primas mediante bandas transportadoras, surge aproximadamente desde el año 1795. Las primeras instalaciones se realizaron sobre terrenos relativamente planos y a cortas distancias.

La primera banda transportadora era muy primitiva y no fue calificada como exitosa, pero provocó incentivar a los ingenieros para considerar los transportadores como rápidos, económicos y seguros para mover grandes volúmenes de materias primas entre dos o más puntos, alejados entre sí, ubicados generalmente, dentro de una misma planta o perímetro.

Durante los años 20, la instalación de la compañía H. C. Frick, demuestra que los transportadores de banda pueden trabajar sin ningún problema en largas distancias. Esta instalación se realizó bajo tierra desde una mina, recorriendo casi 8 kilómetros. La cinta transportadora contaba con múltiples pliegues de algodón de

pato con cubierta de goma natural, que eran los únicos materiales utilizados en esos tiempos para su fabricación. Durante las diferentes décadas se fueron perfeccionando todas estas máquinas, así como sus metodologías de cálculo. En nuestro país existen diferentes instalaciones de gran complejidad en el acarreo de los áridos. En la actualidad existen programas digitales controlados por computadoras y autómatas programables que son capaces de determinar algunos parámetros tecnológicos y posibles averías de estas máquinas.

(Calderón, 1984) realiza una comprobación al transportador de banda CB-3 de la planta de secaderos y molinos de la Empresa Comandante “Ernesto Che Guevara”, siendo este un eslabón continuo que analizaremos en nuestro trabajo.

Determinación de la resistencia al movimiento en los tramos curvos dados por (Tarasov, 1980; Pereda, 1999) en las cuales los autores consideran esta, estableciendo una relación entre las tensiones de entrada y salida a ese tramo, la llamada ecuación de Euler.

$$S_s = S_e \cdot e^{\mu \cdot \alpha} \quad (1.1)$$

(Zelienkii y Petrov, 1986) aplican las ecuaciones generales para determinar la resistencia en los tramos curvos:

Para tramos convexos

$$w = [S_i + (q_c + q_b + 2q'r) \cdot R_1] \cdot \beta_k \omega \pm (q_c + q_b) \cdot h \quad (1.2)$$

dónde:

Si: tensión a la entrada del tramo.

Para tramos cóncavos,

$$w = (q_c + q_b + q_r') \cdot L_T \omega \pm (q_c + q_b) \cdot h \quad (1.3)$$

(Loyola, 2002), utiliza las ecuaciones de cálculo tradicionales para obtener parámetros estándar en un grupo de transportadores de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, el cálculo y las mediciones demuestran que están subutilizados.

(Mena, 2006), realiza un estudio de la metodología de cálculo de los transportadores de banda, para ello se aplica un método de interpolación llamado

“función spline”, mediante el cual se obtienen las dimensiones de los tramos curvos, utilizando las fórmulas clásicas. En este caso se determina la resistencia al movimiento en los tramos curvos y se plantea un algoritmo de trabajo para realizar dicho cálculo; se hace una valoración experimental de los resultados teóricos obtenidos en un transportador industrial y se evalúa el comportamiento de los valores teóricos obtenidos.

(Hinojosa H y Camacho F, 2003), difunden el uso de una herramienta virtual para el diseño de Transportadores de Banda para todo tipo de material, la cual proporciona un software de fácil y amigable entorno que permite calcular, diseñar y seleccionar todos los principales elementos constitutivos de una banda transportadora en función de los requerimientos del proceso.

La resistencia en los tramos rectos, ya sean horizontales e inclinados, establecida en los trabajos de (Faddiev, 1972; Tarasov, 1980; Potapov, 1980; Spivacoski, 1983; Diakov, 1996), se determinan por la siguiente expresión:

$$W_c = [(q_c + q_b) \cdot \cos \beta + q_r] \cdot w \cdot l \pm (q_c + q_b) \cdot \text{sen} \beta \cdot l \quad (1.4)$$

$$W_v = [(q_b) \cdot \cos \beta + q_r'] \cdot w \cdot l \pm (q_b) \cdot \text{sen} \beta \cdot l \quad (1.5)$$

donde: q_b : es el peso lineal del elemento portador de la carga (la banda); N/m.

q_c : es el peso lineal de la carga; N/m

q_r : es el peso lineal de los rodillos de apoyo en la rama cargada; N/m

q_r' : es el peso lineal de los rodillos de apoyo en la rama vacía; N/m

l : es la longitud del tramo que se analiza; m

β : es el ángulo de inclinación del tramo que se analiza; grados

El signo (+) es cuando el movimiento es hacia arriba y (-) cuando el movimiento es hacia abajo.

Los cambios de dirección de la banda aparte de los que necesariamente tienen que existir, están en los extremos de la traza y se logran con el empleo de tamboras, pueden ser con convexidad hacia abajo o hacia arriba. (Tíjonov, 1987; Oriol y Aguilar, 1995)

Los cambios convexos ocurren en los siguientes casos:

De un tramo ascendente a un tramo horizontal.

- De un tramo ascendente a otro tramo ascendente de menor pendiente.
- De un tramo horizontal a un tramo descendente.
- De un tramo descendente a otro descendente de mayor pendiente.

Dichos cambios se realizan mediante uno de los siguientes métodos:

- a) Con el empleo de tamboras deflectoras
- b) Con el empleo de baterías de rodillos

Las tamboras deflectoras se usan preferiblemente en la rama descargada, la rama cargada está condicionada por el empleo de rodillos planos.

Las baterías de rodillos se usan en la rama cargada principalmente y pueden estar formados por rodillos planos o acanalados. Los rodillos se colocan a una distancia $l_r = (0,4 \text{ a } 0,5) \text{ m}$ y la cantidad de rodillos se determina por: (Oriol y Aguilar, 1995)

$$Z = 1 + \frac{R \cdot \beta_k}{l_r} \quad (1.6)$$

donde R: es el radio de curvatura del tramo curvo

β_k : ángulo que abarca el arco donde se colocan los rodillos; radianes.

La resistencia en los tramos cóncavos no se tienen en cuenta en el cálculo de tracción, en este caso la fuerza de tensión no la comprime hacia los elementos de apoyo, sino, por el contrario, disminuye su apriete en los elementos de apoyo y por eso no provoca resistencia complementaria. (Shubin, 1986)

Según (Vaciliev K A et al, 2006), plantea que el coeficiente constructivo o de forma K se relaciona estrechamente con el ancho de banda y el mismo se determina mediante tablas: anexo 1.4 tabla 1.13.

Solo se dan valores del coeficiente K para ángulos del talud del material de 15 y 20 grados y para ángulos de inclinación de los rodillos laterales de 20 ° y 30 °. El ángulo del talud de los áridos es mayor que estos valores, por lo que no se corresponden y es necesario determinar el valor de K más racional.

(Sierra, 1987), realizó el análisis de la explotación de un esquema tecnológico de una instalación de trituración en funcionamiento, donde se investigaron los flujos de

cada fracción de material procesado, el balance energético y nivel de utilización de los equipos. En el mismo se demostró que todos los equipos estaban sobredimensionados y por lo tanto esto conllevaba a un sobreconsumo energético, durante la explotación de áridos en el municipio Sagua de Tánamo.

Según (Oriol y Aguilar, 1995) el ancho de la banda se calcula por la expresión siguiente:

$$B = \sqrt{\frac{Q}{160 \cdot v \cdot \rho \cdot [3,6 \cdot C_1 \cdot \tan(0,35 \cdot \varphi) + 1]}}; [m] \quad (1.7)$$

En el presente trabajo se despejará la capacidad del transportador, ya que se conoce el ancho de la banda instalada y la velocidad de transporte del mismo.

1.3. Peculiaridades de los transportadores de banda

Un transportador de banda consta en general como mínimo de dos tambores, uno de ellos es motriz y el otro de cola, unidos entre sí por una banda que forma un contorno cerrado e infinito, que se mantiene tensada por un sistema de tornillos para evitar que se produzca una flecha grande en la banda, esta se apoya sobre rodillos en la rama cargada y en la rama vacía respectivamente, los cuales están sujetos a la estructura del transportador y pueden girar libremente.

El movimiento a la banda se transmite por medio de un tambor motriz accionado desde un motor por medio de una transmisión (reductor de engranaje).

La transportación del mineral se efectúa casi siempre por la rama superior que es alimentada mediante una tolva que suministra el material continuamente. La descarga se realiza por el extremo opuesto o por partes intermedias del perfil mediante dispositivos especiales de descarga.

En el plano vertical el cambio de dirección de la banda se logra mediante la instalación de baterías de rodillos o la colocación de tambores deflectores, (ver figura 1.1).

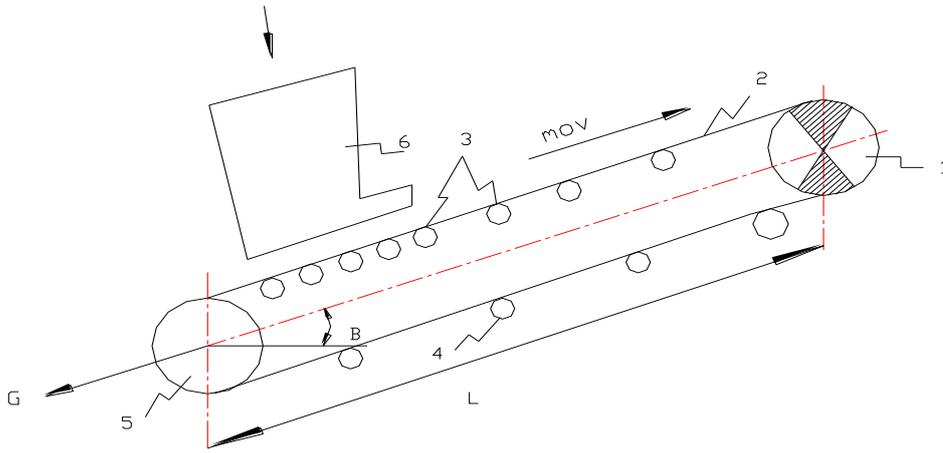


Figura 1.1 Esquema de un transportador de banda.

La banda [2]; en este caso actúa como órgano de tracción y portador de la carga, es movida por el tambor motriz [1], el cual es accionado por un motor eléctrico a través de una transmisión. El tambor motriz le comunica el movimiento a la banda [2] por medio de la fricción entre ambos. La banda se desplaza por encima de los rodillos de apoyo [3] de la rama cargada y [4] de la rama vacía respectivamente, contorneando a su vez el tambor de cola [5] (en este caso sirve de tambor tensor). La banda [2] forma en si un contorno cerrado y es cargada por medio de la tolva [6] o dispositivo de alimentación. La descarga del material se efectúa en el otro extremo del transportador o por los laterales del mismo en diferentes puntos a través de todo el largo de su perfil mediante dispositivos especiales de descarga; que son las llamadas cuchillas (en la práctica se conocen con el nombre de machetes).

Dispositivos de limpieza

La limpieza total de la banda tiene gran significado para incrementar el plazo de servicio de la banda y para garantizar una explotación normal del transportador.

A los medios de limpieza se les plantea las siguientes exigencias:

1. Limpieza total de la banda.
2. Protección del revestimiento de la banda.
3. Elevados plazos de trabajo, sin desgaste considerable y sin ensuciarse.
4. Limpieza y confiabilidad de la construcción.

Dispositivo de carga

La alimentación de los transportadores de banda analizados se produce desde la tolva u otros equipos que se encuentran dentro del esquema tecnológico de la instalación objeto de estudio.

Cuando se produce la carga de materiales a granel se exige que:

- La carga se dispone en la banda de una forma centrada y uniforme a todo lo largo de la misma.
- La banda y los rodillos de apoyos que se instalan debajo de ella en el lugar de carga no experimentan en lo posible el efecto nocivo de la carga al caer esta en la banda.
- En el lugar de la carga no se produzcan derramamientos ni estancamientos de la carga
- La banda se deja libre por ambos lados y flojas longitudinalmente.

El mayor desgaste de la banda tiene lugar en la zona de carga del material debido al deslizamiento de la carga por la banda y también a los golpes producidos por la caída de pedazos grandes de material. Para disminuir la influencia dinámica de los golpes en los lugares de carga se instalan deflectores de cadenas y apoyos de rodillos elásticos o soportes de amortiguamiento; es decir, varios apoyos de rodillos que se encuentran unidos entre sí y que están montados sobre un bastidor elástico. También se disminuye la altura de caída de los materiales con ayuda de canales y alimentadores.

Dispositivos de tensado

El dispositivo de tensado empleado en nuestro caso es mediante dos tornillos tensores en la tambora de cola debido a su pequeña longitud. Este dispositivo sirve para crear el tensado inicial del órgano de tracción para limitar la altura de las flechas entre los dispositivos de apoyo y para compensar su alargamiento en el proceso de explotación. En los equipos modernos, el papel del dispositivo de tensado aumenta notablemente y se convierte en un regulador automático del tensado del elemento de tracción en determinados límites, y en un dispositivo automático de protección que desconecta la transmisión cuando se sobrepasa el límite teórico de carga y de alargamiento excesivo del elemento de tracción.

Funcionamiento de los transportadores de banda

Para poner en funcionamiento los transportadores es necesaria la realización de las siguientes operaciones:

1. Revisión general de las instalaciones.
2. Que los pasillos estén libres de objetos.
3. Que no se encuentre ningún objeto sobre la banda.
4. Que las bandas estén tensadas.
5. Revisión de los rodillos.
6. Poner en posición de arranque el transportador y en la pantalla del monitor luego de hacer un chequeo al sistema general donde aparecerá la orden de arranque.
7. Revisar el dispositivo de frenado mediante trinquete.

Sistemas de limpieza de bandas

Los sistemas de limpieza juegan un papel fundamental en la vida útil de la banda. Con estos sistemas se reducen los mantenimientos proporcionando mayor productividad, los sistemas de limpieza de bandas se dividen en dos grupos:

Estáticos y dinámicos

Los sistemas estáticos son los de uso más difundido (rascadores de goma). Estos pueden situarse al iniciar el retorno de la banda debajo de la tambora para que el mineral evacuado caiga al tolván de la siguiente banda transportadora.

Teoría de la transmisión del esfuerzo a la banda

La teoría de la transmisión del esfuerzo a un órgano de tracción flexible mediante los esfuerzos de fricción, fue elaborada por primera vez por el académico Leonardo Euler. Esta teoría sirvió de base para formular la teoría de la transmisión del esfuerzo a la banda del transportador.

En la teoría de Euler no se considera el peso del órgano de tracción ya que estos son de poco peso y pequeñas dimensiones transversales por lo que tampoco se consideraron las tensiones complementarias surgidas en los órganos flexibles, lo cual no se puede dejar de tener en cuenta en los transportadores de banda, donde el peso de la banda es bastante grande y sus dimensiones transversales no son

pequeñas, además este ofrece cierta resistencia a la flexión. Por todo lo anteriormente expresado, no es posible aplicar directamente la teoría de Euler a los transportadores de banda. Así a finales del siglo XIX fue precisada esta teoría para los transportadores de banda por los científicos (Petrov y Zhukoski).

En esta nueva teoría la condición fundamental de la transferencia del esfuerzo mediante la fricción es la ausencia de patinaje de la banda sobre el tambor.

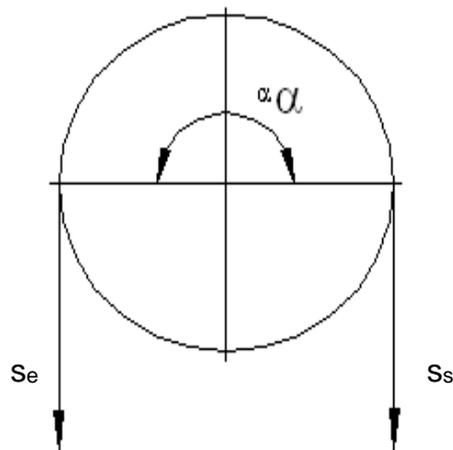


Figura 1.2 Esquema de representación del factor de tracción.

Donde:

S_e : tensión de entrada

S_s : tensión de salida

μ : coeficiente de agarre del hilo con el cilindro

α : ángulo abrazado por el hilo con el cilindro

e : base de los logaritmos neperianos, entonces el hilo se mantiene en estado de reposo respecto al cilindro.

Según (Oriol, 1993) si se toma un hilo, se coloca sobre un cilindro (según la figura 1.2) y si se cumple que: $S_e < S_s \cdot e^{\mu\alpha}$

En el tambor motriz (transmisor del esfuerzo) de un transportador de banda la distribución de las tensiones se representa según la figura 1.3.

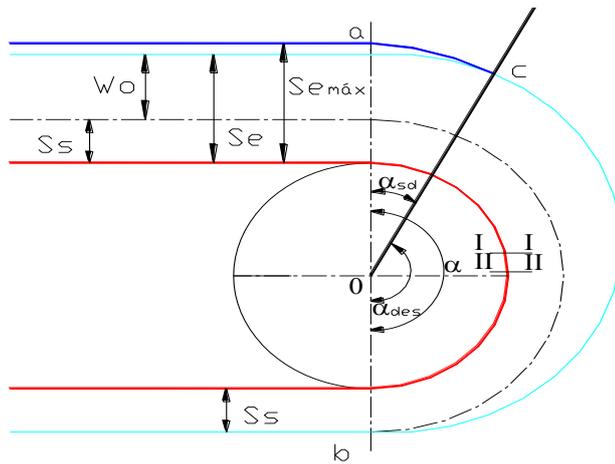


Figura 1.3 Distribución de las tensiones en el tambor motriz.

En la sección I-I actúa la fuerza S_I y en la otra sección actúa la fuerza S_{II} . Debido a que la banda es un cuerpo elástico que se ha deformado en el tramo dado por el ángulo α_{sd} entonces tratará de volver a su posición inicial y por tanto para lograr volver a su posición inicial se deslizará sobre el tambor en la dirección del movimiento, produciéndose micro deslizamientos y por tanto la aparición de una fuerza de resistencia a este movimiento de deslizamiento que tendrá sentido opuesto al movimiento de la banda, lo que produce una disminución de la fuerza S' , es decir, que en la sección II-II habrá una disminución de la tensión con respecto a la tensión en la sección I-I.

Control de velocidad en los transportadores de banda

En años recientes, se han efectuado reiteradas recomendaciones en varias publicaciones en bases de datos internacionales de controlar la velocidad de las correas en los sistemas transportadores (Lauhoff, 2005; Alspaugh, 2004 y 2005). Según estos autores un nivel de llenado del 100 % de la artesa de la banda debe servir de base para el procedimiento de control. Esto significa que siempre debería apuntarse a una alta utilización de la capacidad de transporte promedio, con una velocidad adaptada, de la banda. Este tipo de operación reduce el consumo de energía y el costo de operación. Según (Lauhoff, 2005; Limberg, 1988) la cantidad característica "requerimiento de energía específica" se demuestra que el control de velocidad con fines de ahorro de energía es inadecuado a niveles tradicionales de llenado de entre 60 % y 100 %.

El control de la velocidad a través de variadores de frecuencia ha tenido amplia aceptación en los complejos de transporte continuo de materiales a granel,

especialmente sobre bandas transportadoras, para equilibrar el nivel de llenado, la velocidad de la banda debe controlarse de acuerdo con la carga. Con la utilización de estos equipos que controlan los accionamientos es posible alcanzar reducciones de energía hasta un 30 %.

Ángulo de reposo estático

Se denomina φ y caracteriza el grado de movilidad de las partículas que conforman al material (Shubin y Pedre, 1986; Oriol y Aguilar, 1995) o sea, el grado de fluidez del material. Es el ángulo que la superficie lateral de la carga forma con el plano horizontal cuando dicho material es depositado sobre una superficie plana.

La magnitud del ángulo de reposo estático φ o dinámico φ_d dependerá de las fuerzas de adherencia entre las distintas partículas que conforman al material y de las fuerzas de rozamiento que surgen durante el desplazamiento relativo de las partículas que lo conforman. La relación entre ángulo φ y φ_d se expresa a través de la siguiente relación (Spivakoski y Potapov, 1983; Vasiliev y Nikolaiev, 2003 y Vasiliev et al, 2006): $\varphi_d = (0,7 \text{ a } 0,8)$. En el cálculo de transportadores se utiliza φ_d .

La humedad se midió mediante el método tradicional de diferencia de pesadas por su sencillez y fácil aplicación. No es más que el contenido de agua contenido en la carga transportada expresada en %. Según (Oriol y Aguilar, 1995) se determina la humedad H en % por:

$$HU = \frac{W_H - W_S}{W_H} \quad (1.8)$$

donde W_H y W_S : masa inicial (ante del secado) y final de la muestra (después del secado).

La abrasividad no es más que la propiedad que tienen las cargas transportadas de desgastar la superficie con las que están en contacto y depende de las durezas, el tamaño y forma de las partículas que la forman.

La materia prima utilizada en el proceso tecnológico de la instalación analizada se considera como poco abrasivo.

La adherencia es la propiedad que tienen las partículas de las cargas transportadas de pegarse al medio portador de la carga con los cuales ellos están en contacto.

Coefficiente de deslizamiento

Se denomina ψ y se determina como función del ángulo de deslizamiento $[\beta]$ que coincide con el ángulo de la banda con respecto a la horizontal. El valor de ψ expresa que parte del material no se desliza longitudinalmente en la banda en los tramos inclinados; su valor está entre 0 (todo el material se desliza) y 1 (no se desliza ninguna parte del material).

Para los materiales a transportar el ángulo de deslizamiento o admisible del transportador se establece por: $\beta = \varphi_d - \theta_k$ (Shubin y Pedre, 1986; Spivakoski, 1982 y Oriol y Aguilar, 1995), donde θ_k : Margen de seguridad del ángulo de deslizamiento; y φ_d es el ángulo dinámico de talud. Para materiales que sus partículas tienen poca movilidad y gran adherencia entre ellas y el medio portante, se toma $\theta_k = 5^\circ$ (Spivakoski y Potapov, 1983; Valotkoskii, 1990; Vasiliev y Nikolaiev, 2003 y Vasiliev et al, 2006).

Desplazamiento de partículas en la zona de carga

El mayor desgaste de la banda tiene lugar en la zona de alimentación, debido al deslizamiento del mineral sobre la misma y a los choques producidos durante la caída de las partículas de gran tamaño. El deslizamiento del mineral sobre la banda, es resultado de la diferencia de velocidades entre las partículas alimentadas y la de la banda (Sierra, 2010).

En los resultados se consideran las oscilaciones provocadas por las irregularidades de las partículas y las características elásticas de la banda (Sierra, 2009). El fundamento teórico es que con el aumento de la velocidad de la banda, su cantidad de movimiento sobre las partículas es mayor (Sierra et al, 2009).

Si la energía con que llega la partícula a la banda, que depende de la altura y la masa, supera el valor de la energía potencial elástica de la banda; se produce la ruptura y desprendimiento de partículas del material de la banda. Cuando la partícula de árido tiene forma irregular con aristas cortantes se incrementa la hendidura y desprendimiento de pequeñas partes de la banda y su tiempo de vida útil disminuye aún más.

Selección del tipo de banda

Una vez conocida la tensión máxima que ha de soportar la banda, puede pasarse a seleccionar el tipo y resistencia de la carcasa que habrá de soportarla.

Coeficiente de seguridad

En las bandas transportadoras se consideran coeficientes de seguridad (S) elevados, ya que deben tener en cuenta los esfuerzos adicionales en servicio, tales como la flexión en los tambores, las irregularidades de reparto de las tensiones sobre la carcasa, las irregularidades en la carga, sobre tensiones de arranque, pérdida de resistencia en empalmes, impactos en la carga, envejecimiento de la banda, etc.

La norma DIN 22101 recomienda los siguientes (S), para bandas de carcasa textil:
Anexo 1.4 Tabla 1.10

Lo normal es que el número de capas no sea superior a 5, por lo que en general se toman coeficientes del orden de 11 ó 12. Es preferible además, que el número de capas sea el menor posible, ya que con ello se consigue mayor flexibilidad de la banda y mejor acoplamiento de las capas durante el trabajo.

El coeficiente de seguridad depende también del tiempo en que la banda completa su recorrido, ya que de él dependen el número de flexiones en los tambores y los impactos de carga. En general, si no hay otros factores que puedan influir, puede disminuirse hasta en dos unidades, si el tiempo de recorrido es superior a 5 minutos. Para las bandas de carcasa metálica, el coeficiente de seguridad que se recomienda, debe ser igual o superior a 8. También en este caso, si el tiempo de recorrido es superior a 10 minutos, este coeficiente puede disminuirse en una unidad.

Con ello, el número de capas textiles de refuerzo en una banda (z), vendrá dado por:

$$l = \frac{S \cdot Tm}{100 \cdot B \cdot R1} \quad (1.8)$$

En el caso de banda de carcasa metálica, la resistencia nominal de la banda (Rn) vendrá dada por:

$$Rn = \frac{S \cdot Tm}{100 \cdot B \cdot R1} \quad (1.9)$$

Siendo:

z: número de capas textiles

S: coeficiente de seguridad

Tm: tensión máxima de trabajo de la banda; N.

B: ancho de la banda; m.

R: resistencia nominal de cada capa textil

Rn: resistencia nominal de la banda de carcasa metálica

Diámetro de los tambores

El diámetro de los tambores es un factor importante para el correcto funcionamiento de una instalación. Por una parte, determina el grado de esfuerzo al que va a estar sometida la banda en las flexiones que provoca su paso por ellos y, por otro, la superficie de contacto entre la banda y el tambor motriz ha de ser la suficiente para dar la fuerza de accionamiento necesaria evitando un tensionado excesivo.

Por esta razón, la norma DIN-22101, establece como diámetro mínimo del tambor de accionamiento para bandas textiles, el resultado de la siguiente expresión:

$$D = \frac{360 \cdot F}{P \cdot \pi \cdot \alpha} \quad (1.10)$$

Donde:

D: diámetro de tambor motriz; m.

F: fuerza de accionamiento en tambor motriz; N.

P: Capacidad de transmisión tambor/banda (1.600÷2.000 kg/m², en subterráneas, hasta 3.500)

α : ángulo de abrazado del tambor motriz; grados.

B: ancho de la banda; m.

Los diámetros normalizados Anexo 1.4 tabla 1.11

Bandas textiles

Son las bandas de uso más común. Están constituidas, por varias capas de tejidos engomados, para una buena adherencia, separadas por una capa de goma intermedia que mejora su flexibilidad, recubiertas por capas de goma del grueso y calidad deseados según el trabajo a realizar y el tipo de material a transportar.

Denominación de las bandas textiles.

La denominación completa de una banda textil, incluirá la definición del ancho en mm, tipo de carcasa, espesores de recubrimientos y la letra identificativa de la calidad de las capas de cubierta, de esta forma:

1800 EP800/4 6+4 X

Indicará que se trata de una banda de 1800 mm de ancho, carcasa de poliéster-nylon de 800 N/mm de resistencia en 4 capas, espesor de recubrimientos 6 y 4 mm y calidad de recubrimiento "X" (ver el apartado Calidades de los recubrimientos).

También podría denominarse como:

1800 4EP200 6+4 X;

variante que indica que la carcasa está constituida por 4 capas de 200 N/mm de resistencia cada una.

Descripción de tipos de bandas textiles

Bandas Textiles Lisas

Son las más utilizadas por su versatilidad y economía. Las variantes posibles, tanto en la carcasa de refuerzo como en la calidad de las gomas de recubrimiento, hacen que se puedan adaptar prácticamente a todo tipo de transporte.

Pueden fabricarse en dos variantes:

Canto fundido: Incorporan goma en los laterales de la carcasa textil, que la protege tanto de posibles roces contra la estructura del transportador como del ataque de agentes agresivos con los que pueda estar en contacto la banda.

Canto cortado: Más económica y con plena garantía de funcionamiento. Se suministra, bien en ancho de hasta 1700 mm para cortar el propio usuario, o bien cortada a la medida de ancho que se solicite.

El uso de la banda transportadora lisa, puede estar limitado por el ángulo de inclinación del transporte (el límite puede situarse entre los 18 y los 20°). Cuando el ángulo sea superior, es recomendable utilizar bandas con algún tipo de soporte transversal del material (bandas nervadas, de tacos, entre otros).

Ancho máximo de fabricación de 2200 mm.

Las medidas y composiciones más usuales se dan en el Anexo 1.4 tabla 1.12.

Los anchos superiores suelen llevar mayores refuerzos, adaptados a las exigencias de su trabajo.

1.4. Propiedades físico - mecánicas de los áridos procesados

El yacimiento de Grava – Arena del Río Sagua, se caracteriza desde el punto de vista geológico por estar constituido por una mezcla de grava – arena – arcilla, típica de depósitos de terrazas de ríos de alta capacidad de arrastre, demostrado por el alto contenido de grava que lo compone según (Rodríguez et al, 2008).

Estos depósitos son aluviales de poco transporte, es decir estos sedimentos han tenido poco curso de rodamiento, por lo que el contenido de grava es elevado.

La grava y arena están constituidas desde el punto de vista mineralógico por fragmentos de andesita, basalto, algunas dioritas y en mucha menor escala calizas y tobas (10 – 15 %).

1.4.1. Características cualitativas de la materia prima

El yacimiento en cuestión se caracteriza por estar constituido por una mezcla grava – arenosa – arcillosa con un 20,2 % de polvo, limo y arcilla en la zona 15 y un 79,8 % de grava – arena y de esta, el 55,9 % es de grava y el 44,1 % de arena. Para el análisis de la calidad del yacimiento, bloque y pozo se procedió además al cálculo de los parámetros de calidad, determinando el % de grava, arena, desperdicios, polvo, limo-arcilla y el cálculo de la arena beneficiada, módulo de finura y calidad, según el cumplimiento de la granulometría (NC 054 00-78). La caracterización de la materia prima y el resumen de las calidades por bloques de la zona 15 se muestra en las tablas 1.2 y 1.3 del anexo 1.2.

La arena de esta zona cumple con los requisitos de calidad solo que referente a los tamices, los porcentajes adecuados se pueden obtener reduciendo el retenido en 2,36 del producto beneficiado. La grava por su parte tiene una masa volumétrica por encima de 2,5 g/cm³, absorción menor de 3 % (en general menor que 2,0 %) y marca 800, que es una media que incluye análisis realizados a diferentes rocas donde la grava es la roca principal, la más representativa, por lo que esta materia prima conjuntamente se puede utilizar en la producción de mezclas de hormigón de mediana y alta resistencia partiendo de que la grava debe sufrir un proceso de molienda. Las características geológicas de la Zona Limba son similares a las de la Zona 15, en realidad es una prolongación de esta, situada a poca distancia con la diferencia que al encontrarse los áridos dentro del cauce ya se extraen con poco contenido de arcilla, es decir se produce un prelavado.

En el informe geológico no aparece la composición química, dada la gran variedad de rocas que componen la materia prima.

Según los ensayos realizados en el micro laboratorio del centro a los productos de la Zona 15 y sobre todo de la Zona Limba (por ser la zona de donde se ha extraído la mayor cantidad de áridos), todas las producciones han clasificado como conforme, lo cual ha sido reflejado en los diferentes Balances de Reservas.

En el anexo 1.3 se muestran diferentes tablas en las que se muestran las Investigaciones tecnológicas y características cualitativas de los productos finales.

Todos los datos reflejados anteriormente se tomaron del informe realizado por la ENIA titulado “Control de calidad a materiales de construcción, Centros de producción zona Mayarí y Sagua de Tánamo” en el año 2002.

Áridos

Los áridos se emplean especialmente en la fabricación de morteros y hormigones, en la construcción de carreteras y como balasto para las vías férreas.

Dentro de los áridos es quizás el árido fino o arena el más importante por ser el que mayor volumen ocupa tanto en los hormigones hidráulicos, las mezclas asfálticas, morteros y prefabricados de todo tipo, correspondiéndole además el rango granulométrico más amplio. Por este motivo las arenas requieren ser procesadas con cuidado, precisándose en ocasiones, especialmente cuando van a ser empleadas en la fabricación de hormigones de alta resistencia o responsabilidad, una clasificación interna en al menos dos fracciones para ajustar su granulometría a las necesidades de aplicación.

En la nueva normativa europea, se denominan finos a la fracción granulométrica inferior al tamaño 0.063 mm existentes en un árido. El contenido de finos en la arena se fija en 6% para áridos redondos y triturados no calizos y de 10% - 15% para áridos triturados dependiendo del ámbito de aplicación. Este valor se fijaba hace pocos años en un 5% de pasantes por el tamaño 0.074 mm (200 mallas), en la mayoría de los países.

Arena: es el resultado de la desintegración o trituración natural o artificial de las rocas, en forma de granos o partículas redondas, angulosas o laminares, correspondiendo a un tamaño máximo de 4.76 mm y como mínimo 0.149 mm.

Grava; roca triturada comprendida en las siguientes fracciones:

Grava de 3/8: de 5/13 mm y 5/10 mm.

Grava de 3/4: de 13/19 mm y 5/19 mm.

Grava de 1½: de 19 mm y 38 mm.

1.5. Descripción del flujo tecnológico

El material procesado en la planta procesadora de grava y arena “El Jobo” del municipio de Sagua de Tánamo procede de dos zonas de extracción, la zona 15 y la zona Limba, las cuales se encuentran ubicadas en el río de este municipio. El

material es transportado desde estas dos zonas hasta la planta procesadora por medio de camiones Kraz-256, Belaz y Maz-700. El material se descarga en un depósito a cielo abierto para luego alimentar la tolva de recepción, la cual se encuentra conformada por chapas y perfiles y tiene una capacidad de 32 m³, el material es recepcionado entre los laterales de la tolva y un alimentador reciprocante con una capacidad de 25 m³. Luego pasa al molino primario, el cual es un triturador de mandíbulas con una capacidad de 80 a 110 t/h que deposita el material triturado en el transportador 4 (TR 4), el cual es el encargado de llevar el material triturado hasta la criba de dimensiones de 4800 x 1500 mm la cual consta de tres paños, uno superior de 25 mm, un segundo de 13 mm y uno inferior de 6 mm, para proceder a la clasificación por granulometría del mismo. Luego de pasar por la criba el material que tiene la granulometría adecuada pasa a los transportadores finales (TR 7) y (TR 9) que transportan la grava de 3/4 y 3/8 respectivamente, y para el caso de la arena primero pasa por un tornillo sin fin lavador y luego es que pasa al transportador (TR 6) que la lleva hasta la sección de acabado. El material que no tiene la granulometría adecuada pasa al triturador de cono Sandvik H3800, que cuenta con una capacidad de 45 a 75 m³/h, por medio del transportador (TR 10) y luego de triturado retorna al transportador (TR 4) para pasar nuevamente por la criba.

1.6. Conclusiones del capítulo

- Se escoge para el trabajo la metodología de (Sierra, 2010 y Oriol y Aguilar 1995) por el grado de actualidad y precisión observado.
- Se pone de manifiesto que los transportadores utilizados en los esquemas tecnológicos de la instalación analizada tienen bajo nivel de utilización de su capacidad de carga (hasta 30 %) y grandes pérdidas de energía dado por el bajo nivel de aprovechamiento de su potencia instalada e inadecuada potencia de diseño.
- El diseño actual de los transportadores empleados para el transporte de los áridos procedentes de las canteras se realiza con el empleo de metodologías que no relacionan los parámetros que definen las propiedades físico-mecánicas de las rocas y aluviones extraídos (áridos).

CAPÍTULO II. Materiales y métodos

2.1. Introducción

La utilización continua de los métodos de cálculo para el diseño y selección de equipos, requiere el perfeccionamiento sistemático para la implementación con niveles de precisión adecuados y suficientes para que respondan a los intereses de los usuarios.

Se escoge la opción del cálculo de los transportadores de banda según el objetivo del trabajo que es la verificación de los parámetros tecnológicos del mismo. Se instituye el algoritmo y la metodología de cálculo de los transportadores según (Sierra, 2010 y Oriol y Aguilar, 1995), así como los datos necesarios para efectuar el mismo; es decir, a partir de la productividad se determina el ancho de la banda y se compra el tamaño de los pedazos que componen el mineral y su posterior estandarización.

Se construyen los esquemas de cálculos de cada transportador y se realiza la modelación de cada esquema que permite determinar la potencia de accionamiento más racional. Se realiza la modelación de los rodillos de apoyo y la selección del accionamiento de cada transportador.

Se divide el transportador en tramos característicos, es decir, tramos rectos y curvos y se enumeran de acuerdo a sus puntos particulares. Para cada tramo recto se determina la resistencia al movimiento de la banda así como en los puntos específicos de carga, descarga y limpieza. Luego se determinan las tensiones para poder obtener la potencia del accionamiento de acuerdo a las condiciones reales. Finalmente se establece el procedimiento de mantenimiento del transportador.

Objetivo del capítulo

Identificar los procedimientos de cálculo más adecuados para la determinación de los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda que más se ajuste a las condiciones de explotación. Construir los esquemas de cálculo de cada transportador que integra el flujo tecnológico. Modelar los parámetros tecnológicos de cada esquema de cálculo de los transportadores de banda utilizados en la planta procesadora de grava y arena "El Jobo".

Establecer el sistema de mantenimiento adecuado a los transportadores de banda para áridos.

2.2. Metodología de cálculo para transportadores de banda utilizada

Durante el cálculo de los transportadores de banda se pueden presentar dos casos posibles:

1. Proyectar un nuevo transportador en el cual se conocen algunos de los datos de la empresa en cuestión.
2. La comprobación de un transportador ya instalado, comparándolo con otro que ya se conocen, o simplemente cálculos que se realizan para conocer sus parámetros desconocidos.

Para el caso particular del presente trabajo analizaremos el segundo caso. Durante el mismo tendremos el siguiente orden de cálculo.

1. Podemos tener como dato la productividad y en ese caso determinaremos el ancho de la banda necesario. El ancho de la banda escogido de la productividad debe ser menor que su ancho real. También puede ocurrir que conozcamos el ancho de la banda y en este caso calculamos la productividad del transportador. [Seleccionamos de un catálogo el transportador adecuado]
2. Se determina la resistencia a la marcha del transportador.
3. Se determinan las tensiones en los puntos característicos del transportador.
4. Se controla la resistencia de la banda.
5. Se determina el esfuerzo del mecanismo de tensión.
6. Se realizan los cálculos complementarios como: La determinación de la flecha máxima, el alargamiento de la banda, relación de los diámetros de los tambores motrices en el caso de que existan más de uno en la instalación motriz.
7. Se determina la potencia del motor y se escoge el mismo según los catálogos.
8. Se determinan los gastos de energía eléctrica durante la transportación.

Para llevar a cabo este cálculo es necesario tener una serie de datos como son:

1. La productividad de la empresa o de una parte de ella, o el ancho de la banda.

2. La longitud del transportador.
3. El perfil del transportador y su traza.
4. El peso volumétrico del material a transportar [t/m^3].
5. El ángulo del talud del material.
6. El tiempo de trabajo al año.

2.3. Determinación de los diferentes parámetros según el orden establecido por la metodología de cálculo

Si conocemos la velocidad de movimiento de la banda (v) del transportador instalado (de no conocerlo es posible medirla) podemos calcular el ancho de la banda necesario para mantener dicha productividad.

2.3.1. Cálculo del ancho de banda conociendo la productividad

El ancho de la banda de un transportador según (Faddiev, 1972; Tarasov, 1980; Potapov, 1980; Diakov, 1996; Shasmeiter, 1987; Garcell, 2003; Grigoriev et al, 1986; Spivakosli, 1982; Spivakosli y Dimitriev, 1982; Spivakoski y Potapov, 1983; Lamber, 1990; Vasiliev et al, 2006; Alonzo, 2002) se determinan en función de la productividad Q del transportador, de la velocidad de movimiento de la banda (v ; m/s), de la masa volumétrica del material transportado (γ ; t/m^3) y de la inclinación del transportador en el sentido ascendente de la carga (β); coeficiente (ψ) y del coeficiente constructivo K el cual esta tabulado. El valor del coeficiente K dado en la literatura se elige de forma aproximada y en correspondencia con la geometría y dimensiones de la artesa.

Según (Sierra, 2009) al analizar diferentes disposiciones del órgano portador de la carga (banda) sobre los apoyos de rodillos (tipos de artesa), se observa que las áreas transversales del flujo de carga son diferentes para un mismo ancho de banda, lo cual se puede alcanzar con diferentes combinaciones de la longitud de los rodillos y sus ángulos de inclinación de estos con respecto a la horizontal.

(Sierra, 2010) obtiene la siguiente ecuación y es la que utilizaremos para el cálculo de este trabajo:

$$B = 1,1 \cdot \left(\sqrt{\frac{Q}{K \cdot v \cdot \psi \cdot \gamma}} + 0,05 \right), [m] \quad (2.1)$$

Donde:

B: ancho de la banda; m.

Q: productividad del transportador; t/h.

ψ : coeficiente que tiene en cuenta la disminución de la productividad debido al ángulo de inclinación del transportador.

γ : masa volumétrica del material transportado; t/m³

v: velocidad del movimiento de la banda; m/s.

K: coeficiente constructivo o de forma.

Se estandariza el ancho de banda tomando un valor igual o mayor al resultado obtenido.

Tabla 2.1 Valores estándar para el ancho de banda.

Ancho de la banda B, mm.

300	400	500	650	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------

Normalización del ancho de banda.

Del análisis granulométrico se obtiene:

Tamaño máximo del mineral $T_{max} = 200 \text{ mm}$

Tamaño mínimo del mineral $T_{min} = 0,149 \text{ mm}$

Tamaño medio del mineral $T_e = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} = 100,07 \text{ mm}$

$$k = \frac{T_{max}}{T_{min}} \quad (2.2)$$

$$k = 1342,28 \text{ mm}$$

Como el valor de $k > 2,5$ la carga se denomina no clasificada (ordinaria).

Se calcula la velocidad real a la cual se moverá la banda para este nuevo valor del ancho de banda normalizado de la misma.

Luego es determinado el valor óptimo del ancho de banda estandarizado según el tamaño de las partículas del material a transportar según sea el tipo de carga:

- Para las cargas ordinarias compuestas por pedazos grandes en un 15% de la masa total $B \geq (2,3 \text{ a } 2,5) \cdot T_{max}$, [mm]
- Para cargas clasificadas con contenido principal de pedazos de un tamaño determinado (a) en una proporción de aproximadamente el 80% de la masa total

$$B \geq (3,3 \text{ a } 4,5) \cdot T_e, [\text{mm}]$$

Si el valor estandarizado del ancho de banda no satisface las condiciones anteriores, entonces se seleccionará de forma estándar el ancho de banda inmediato superior que cumpla la condición.

Con el valor del ancho de banda estandarizado calculamos la velocidad (V_R) a la cual realmente se debe mover la banda para mantener esta productividad.

$$v_r = \frac{Q}{(0,9 \cdot B - 0,05)^2 \cdot \gamma \cdot \psi \cdot K}, [\text{m/s}] \quad (2.3)$$

Luego de obtener el valor de la velocidad real se verifica la banda con ayuda del período de la misma.

$$T = \frac{L}{30 \cdot v_r}, [\text{min}] \quad (2.4)$$

Donde:

L: longitud total de la banda del transportador; m

2.3.2. Determinación de la resistencia a la marcha del transportador

Para determinar la resistencia a la marcha del transportador primeramente debemos determinar los valores de los siguientes parámetros.

- Peso lineal de la banda [q_b].
- Peso lineal de los rodillos de apoyos [q_r' y q_r''].
- Peso lineal de la carga [q].

Determinación del peso lineal de la banda

El peso lineal de la banda lo determinamos según la siguiente ecuación:

$$q_b = B \cdot (q'_b \cdot \delta \cdot i + q_b'' \cdot \delta_1 + q_b'' \cdot \delta_2), [\text{N/m}] \quad (2.5)$$

Donde:

B : ancho de banda, (según oferta).

σ : resistencia a la rotura (según oferta).

δ : espesor de la capa (Oriol y Aguilar, 1995).

δ_1 : espesor recubrimiento superior (según oferta).

δ_2 : espesor recubrimiento inferior (según oferta).

i : cantidad de capas (según oferta).

q_b : peso lineal de la banda; N/m

$q'b$: peso de la capa (según Oriol y Aguilar, 1995).

$q''b$: peso de la capa (según Oriol y Aguilar, 1995).

Determinación del peso lineal de la carga

$$q_c = \frac{Q \cdot g}{3,6 \cdot V_r}, \text{ [N/m]} \quad (2.6)$$

Donde:

g : aceleración de la gravedad; m/s²

El peso lineal de los rodillos de apoyo se determina por:

Para la rama cargada

$$q_r' = \frac{G_r'}{l_r'}, \text{ [N/m]} \quad (2.7)$$

Para la rama vacía

$$q_r'' = \frac{G_r''}{l_r''}, \text{ [N/m]} \quad (2.8)$$

Donde:

G_r' y G_r'' : peso de los apoyos de rodillos en la rama cargada y vacía respectivamente; [N]

l' y l'' : distancia entre rodillos de apoyo en la rama cargada y vacía respectivamente; [m]

$$l' = (0,9 - 1,5); [m]$$

$$l'' = 2 \cdot l'$$

Rodillos superiores

$$l' = 1m$$

$$G'r = 210N$$

Rodillos inferiores

$$l'' = 2m$$

$$G''r = 205N$$

Se divide el contorno del transportador en tramos característicos, es decir, tramos rectos y curvos y estos a su vez se enumeran de acuerdo a sus puntos característicos. En los tramos rectos entre los puntos característicos la resistencia a la marcha la calculamos según:

a) Para la rama cargada:

$$Wc = \{[(q_b + q) \cos \beta + q_r'] \omega' L \pm (q + q_b) L \cdot \text{sen} \beta\}, [N] \quad (2.9)$$

Donde:

β : ángulo de inclinación del tramo en cuestión; [grados]

L: longitud del tramo; [m]

ω' : coeficiente de resistencia al movimiento, (Oriol y Aguilar, 1995)

b) Para la rama vacía:

$$Wc = \{[q_b \cos \beta + q_r''] \omega' L \pm (q_b) L \cdot \text{sen} \beta\}, [N] \quad (2.10)$$

Podemos considerar entonces:

$\omega' = 0,035$: para rodillos planos de la rama vacía en condiciones de operación adversas y $\omega' = 0,040$: para rodillos acanalados de la rama cargada en condiciones de operación adversas. El signo (+) se utiliza cuando el movimiento es ascendente y el signo (-) cuando el movimiento es descendente.

En los tramos curvilíneos se pueden dar los siguientes casos:

1. Que la banda bordee los tambores motrices.
2. Que la banda bordee los tambores de desvío o de retorno.
3. Que la banda bordee una zona transitoria o de cambio de pendiente. Esta puede ser con la convexidad hacia arriba o con la convexidad hacia abajo.

4. Que la banda varíe en trayectoria según su traza. Estos son casos que no analizaremos.

Para ver el primero observemos la siguiente figura.

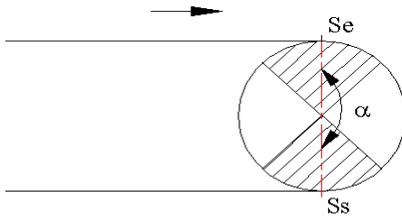


Figura 2.1 Banda bordeando el tambor motriz.

Como se ha mostrado anteriormente el esfuerzo que se transmite a la banda viene dado por la diferencia de tensiones a la entrada y a la salida, además que la distribución de tensiones no es uniforme y que está condicionada por el ángulo de deslizamiento de la banda sobre el tambor por lo que el esfuerzo no se transmite a la banda en todo el arco abrazado, sino solamente en el límite del arco donde existe el deslizamiento de la banda sobre el tambor.

Por tanto la resistencia al movimiento en el tambor motor es igual al esfuerzo transmitido.

$$W_{tm} = S_e - S_s \quad (2.11)$$

Como $S_e = S_s \cdot e^{f \cdot \alpha \cdot des}$

Entonces sustituyendo en la ecuación anterior.

$$W_{tm} = S_s \cdot (e^{f \cdot \alpha \cdot des} - 1) \quad (2.12)$$

O expresándola en función de la tensión de entrada

$$W_{tm} = S_e \cdot \frac{e^{f \cdot \alpha \cdot des} - 1}{e^{f \cdot \alpha \cdot des}} \quad (2.13)$$

Donde, f : Coeficiente de fricción entre la banda y el tambor, S_e : Tensión de entrada, S_s : Tensión de salida, α : ángulo de deslizamiento, W_{tm} : Resistencia al movimiento en el tambor motriz.

En el caso que la banda borde los tambores de desvío o de retorno.

$$W_{tm} = S_s - S_e \quad (2.14)$$

Esto se debe a que la banda es la que mueve al tambor, por tanto a la salida es donde debe haber un mayor esfuerzo.

$$S_s = S_e \cdot e^{\omega_t \cdot \alpha} \quad (2.15)$$

Donde, ω_t : coeficiente de resistencia al movimiento de los rodamientos o cojinetes del tambor, α : ángulo de abrazado por la banda del tambor.

Por tanto:

$$W_{td} = S_e \cdot (e^{\omega_t \cdot \alpha} - 1) \quad (2.16)$$

En los **puntos de carga la resistencia** se determina por la fórmula:

$$W_{dc} = C \cdot \frac{q \cdot (V - V_0) \cdot V}{g} \quad (2.17)$$

Donde, C: coeficiente que tiene en cuenta la fricción de la carga con la banda y los bordes guías de la tolva. Varía de 1,3 a 1,4; V: velocidad de la banda, V_0 : velocidad de la carga en la dirección del movimiento.

Cuando el material cae en dirección perpendicular $V_0 = 0$ por lo que

$$W_{dc} = C \cdot \frac{q \cdot V^2}{g}, N \quad (2.18)$$

En este caso es cuando la banda tiene mayor resistencia al movimiento.

En los **puntos de descarga la resistencia** se determina por la fórmula:

$$W_{dd} = C^1 \cdot B \cdot q_c \quad (2.19)$$

La resistencia en los **dispositivos de limpieza** se puede calcular por la fórmula.

$$W_{dl} = q_1 \cdot B, [N] \quad (2.20)$$

q_1 : resistencia específica del dispositivo de limpieza. Para raspadores y arados de limpieza q_1 toma valores entre 30 y 50 N/m. Para el caso particular del transportador de banda objeto de estudio el dispositivo de limpieza es un raspador y se toma $q_1 = 50$ N/m.

2.3.3. Determinación de la tensión de la banda

En general podemos decir que la tensión en cada punto posterior, según el movimiento de la banda es igual a la tensión en el punto anterior más la resistencia al movimiento en este tramo. En esto consiste el método, el cual se puede representar según la fórmula:

$$S_n = S_{n-1} + \sum W, \text{ [N]} \quad (2.21)$$

2.3.4. Construcción del esquema de cálculo según proceso tecnológico

En el caso particular del presente trabajo, el esquema de cálculo correspondiente a los transportadores analizados es el mismo, debido a las características de la instalación de procesamiento de áridos, objeto de estudio. La diferencia entre estos transportadores está dada en este caso, por las longitudes de los mismos y el ángulo de inclinación.

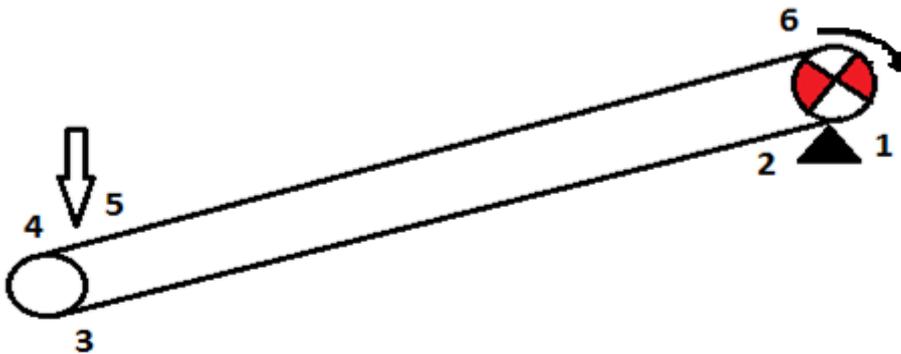


Figura 2.2 Perfil de cálculo de los transportadores analizados.

Modelación de los parámetros tecnológicos para cada esquema de cálculo

El perfil del transportador se divide en tramos característico, es decir, tramos rectos horizontales e inclinados y tramos curvos. Se realiza la numeración de los puntos que limitan los tramos, iniciando el punto número 1 el de salida del tambor motor.

Entonces según la fórmula de la tensión para nuestro caso tenemos:

$$S_1 = ?$$

$$S_2 = S_1 + W_{1-2}$$

$$S_3 = S_1 + W_{1-2} + W_{2-3}$$

$$S_4 = K_t^{180} \cdot S_3 = K_t^{180} \cdot S_1 + K_t^{180} \cdot (W_{1-2} + W_{2-3})$$

$$S_5 = K_t^{180} \cdot S_1 + K_t^{180} \cdot (W_{1-2} + W_{2-3}) + W_{4-5}$$

$$S_6 = K_t^{180} \cdot S_1 + K_t^{180} \cdot (W_{1-2} + W_{2-3}) + W_{4-5} + W_{5-6}$$

$$S_6 = S_1 \cdot e^{(\mu \cdot \alpha)} \quad (2.22)$$

$$e^{\mu \cdot \alpha} = 3,51 \quad (\text{según Oriol y Aguilar, 1995})$$

Determinación de la flecha entre rodillos

La flexión máxima entre los rodillos de la rama cargada se determina por la siguiente fórmula:

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{(q_c + q_b) \cdot l^2}{8 \cdot S_{min} tr} \quad (2.23)$$

$S_{min} tr$ - tensión mínima a la que está sometida la banda en la rama de trabajo:

$$S_{min} tr = (10 - 5)(q_c + q_b) \cdot l_r ; [N] \quad (2.24)$$

Por las reglas de explotación se ha tenido que:

$$F_{m\acute{a}x} = (0,0125 - 0,025)l^* \quad (2.25)$$

$$S_{min} tr \leq Si$$

Si : Tensión mínima en la rama de trabajo. Correspondiendo los menores valores para la banda de goma – cable.

Cálculo de la fuerza necesaria en los atesadores de tornillo

$$W_t = \frac{S_5 + S_6}{2} \quad (2.26)$$

Determinación del tiraje efectivo

W_0 : Esfuerzo de tracción en el tambor motriz, [N]. Su valor en este caso se tomará igual:

$$W_0 = (S_e - S_s) + (0,05 - 0,06)(S_e + S_s), [N] \quad (2.27)$$

Donde:

S_e : tensión de entrada, [N]

S_s : tensión de salida, [N]

Determinación de la resistencia de la banda

Para bandas de goma con fibras sintéticas se determina el número de capas.

$$i = \frac{S_{max} \cdot K}{S_{rot} \cdot B \cdot K_u} \quad (2.28)$$

Donde:

i : es el número de capas que tiene la banda para evitar su rotura al estar sometida a una función igual a S_{max} .

S_{max} : tensión máxima a la que está sometida la banda; [N]

$K = 8$ coeficiente de seguridad (según Oriol y Aguilar, 1995)

$K_u = 0,6$ coeficiente debido a que es una unión mecánica (Oriol y Aguilar, 1995).

S_{rot} : límite de resistencia a la rotura; N/cm.

Si el número de capas tomado para el cálculo de las resistencias es menor que el obtenido, entonces hay que cambiar el tipo de banda o hay que calcular nuevamente las resistencias y las tensiones pero con el número hallado.

En caso contrario no es necesario volver hacer el cálculo.

2.3.5. Selección de los rodillos de apoyo de los transportadores de banda determinados en función de la carga

Para la selección de un rodillo según ROCMAN se determina la carga sobre este **Kr**:

$$Kr = Gr + L1 \cdot (q_c + \frac{Q}{3,6 \cdot v}) \cdot Fc \cdot Fi \cdot Fv \quad (2.29)$$

Donde:

Gr; peso de la parte rodante de los rodillos (kg) que es el 70% del peso del rodillo.

L1; separación entre dos rodillos o estaciones de rodillos (m).

Tabla 2.2 Distancia entre rodillos según Rocman catálogo

	superiores		
ancho de la banda	peso específico del material		Inferiores
	>0,6	<0,6	
400	1,35	1,35	3

500	1,35	1,20	3
650	1,20	1,10	3
800	1,20	1,00	3
1000	1,00	1,00	3
1200	1,00	1,00	3
1400	1,00	1,00	3
1600	1,00	1,00	3
1800	1,00	1,00	3
2000	1,00	1,00	2,4

Tabla 2.3 Peso de la banda

Ancho de la banda	Peso	Espesor
400	4	8
500	5	8
650	6,5	8
800	8,5	8,5
1000	13	11
1200	15,5	11
1400	18	11
1600	25	13
1800	30	14
2000	33	14

Tabla 2.4 Diámetro de los rodillos según la velocidad de la banda

velocidad de la banda	ø(mm) del rodillo						
0,25	75	53	47	44	36	30	24
0,50	150	107	90	88	72	60	49
0,75	225	161	141	132	107	90	74
1	300	214	188	176	143	120	98
1,25	376	268	235	22	179	150	123
1,50	451	322	282	265	215	180	148
1,75	526	375	329	309	309	251	172
2	601	429	376	353	353	287	197
2,25	676	483	423	398	398	323	222
2,50	751	536	470	442	442	359	246
2,75	827	590	517	486	395	330	271
3	902	643	564	530	430	360	295

3,25	977	697	611	574	466	390	320
3,50	1052	758	658	619	502	420	345
4	1203	858	752	707	574	480	394
4,50	1278	912	799	751	610	510	419
5	1503	1073	940	884	718	600	493

Se recomienda no superar las 650 r.p.m

Tabla 2.5 Factor de carga.

0°	20°	20°	30°	35°	45°
Fc=1	Fc=0,55	Fc=0,60	Fc=0,63	Fc=0,66	Fc=0,70

Tabla 2.6 Factor de impacto.

Tamaño del Material	Velocidad de la banda		
	<2.5 m/s	2.5 a 4 mm	4 a 5 mm
<100 mm	1	1	1
175 a 300 mm	1,025	1,060	1,110
175 a 300 mm	1,075	1,140	1,280
325 a 500 mm	1,260	1,600	2,100

Tabla 2.7 Factor de vida de los rodillos

Factor de vida (Fv)						
Horas de funcionamiento	de	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000
Fv		0,70	0,87	1	1,10	1,18

2.3.6. Selección del accionamiento de cada transportador

Los elementos que integran el accionamiento de un transportador se muestran en la figura 2.3

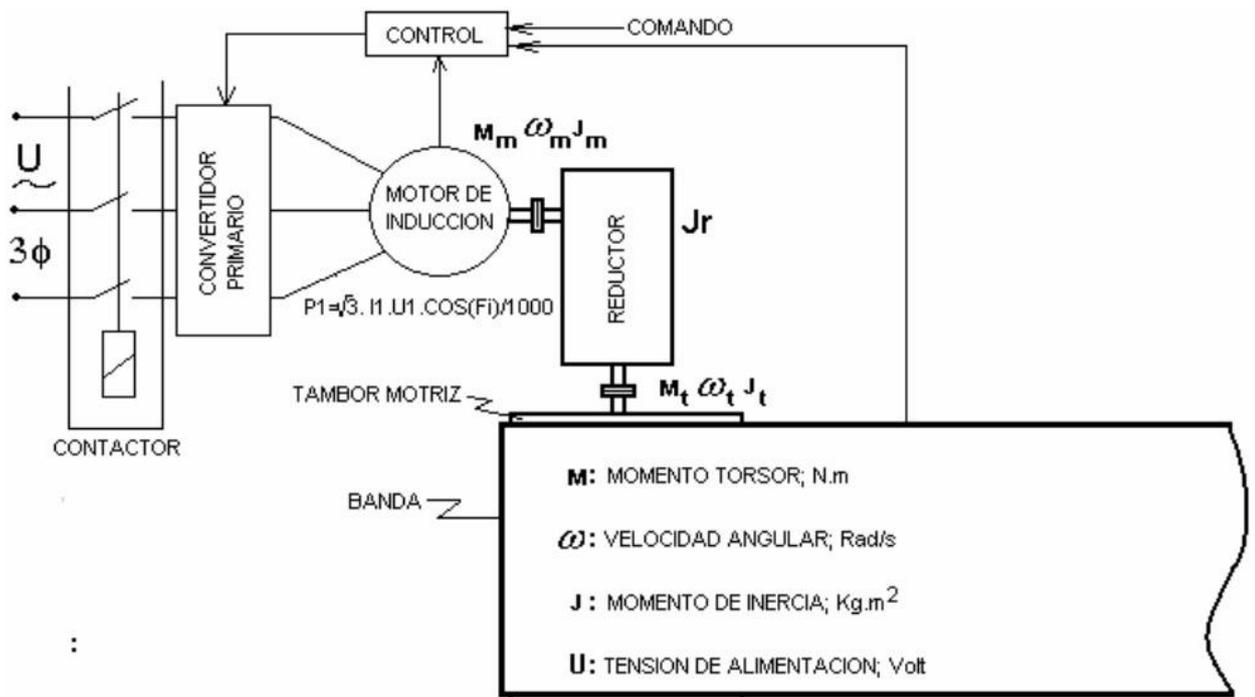


Figura 2.3 Esquema general del accionamiento electromecánico de un transportador de banda según (Sierra, 2010).

Todos los transportadores tienen accionamientos similares y la modelación de sus parámetros se establece a través del siguiente modelo.

Para seleccionar el accionamiento se realiza a través del siguiente algoritmo:

1) Determinación de la potencia del tambor motor

$$P_t = \frac{W \cdot v}{1000} \cdot Kr; \text{ kW} \quad (2.30)$$

2) Selección del rendimiento de la transmisión de fuerza

Los transportadores de banda utilizan reductores de velocidad de construcción cerrada con lubricantes líquidos. Según (Reshetov, 1985) para engranajes cilíndricos y séptimo grado de precisión; el rendimiento se toma igual a 98 %. Considerando el rendimiento en los acoplamientos igual al 100 % y en el tambor y la banda según (Dobrovolki et al, 1985) igual 98 %

Entonces el rendimiento total del accionamiento del transportador de acuerdo a la figura 2.3 es:

$$\eta_{Tr} = na \cdot \eta_a \cdot ne \cdot \eta_e \cdot \eta_T \cdot \eta_M \quad (2.31)$$

Donde:

na: número de acoplamientos de un mismo tipo

η_a : rendimiento del acoplamiento; $\eta_a=1,00$

ne; número de escalones

η_e : rendimiento del escalón; $\eta_e=0,98$

η_T : rendimiento entre el tambor y la banda. Según (Dobrovolki et al, 1985) $\eta_T=0,98$

η_M : rendimiento del rotor del motor; $\eta_M=1,00$

3) Determinación de la potencia del motor

$$P_2 = \frac{P_t}{\eta_{Tr}}; \text{ kW} \quad (2.32)$$

4) Selección del motor

El motor se selecciona de acuerdo a los catálogos con los siguientes parámetros

- Tipo de motor
- Potencia nominal; kW
- Velocidad angular nominal ω_n ; rad/s.
- Momento de inercia I; kg·m².
- Tensión eléctrica nominal V_n ; V
- Corriente nominal I_n ; A

• Momento de arranque; N·m

5) Determinación de la relación de transmisión total (i_T)

$$i_T = i_{RED} \cdot i_{ACOP} \cdot i_{TM} \quad (2.33)$$

Donde

i_{RED} : relación de transmisión del reductor, que depende del número de escalones y de sus parámetros cinemáticos.

$$i_{RED} = \prod_{i=1}^{ne} (i_i) \quad (2.34)$$

i_i : relación de transmisión en el escalón i .

i_{ACOP} : relación de transmisión en los acoplamientos, en este caso la consideramos igual a 1.

i_{TM} : relación de transmisión en el tambor motor

$$i_{TM} = \frac{\omega_n}{v} \cdot Rt \quad (2.35)$$

Rt : radio del tambor motor; m

6) Cálculo de las transmisiones sistema de fuerza

El momento de entrada al reductor se determina por:

$$M_{RED}^{ENT} = \frac{Pn}{\omega_m}; \text{ N}\cdot\text{m} \quad (2.36)$$

El momento de salida al reductor se determina por

$$M_{RED}^{SAL} = \frac{Pn}{\omega_m} \cdot i_{RED}; \text{ N}\cdot\text{m} \quad (2.37)$$

El momento desarrollado en el tambor motor se determina por

$$M_{TAMB}^{MOT} = \frac{Pn}{\omega_m} i_{RED} \cdot i_{TM}; \text{ N}\cdot\text{m} \quad (2.38)$$

2.4. Establecimiento del sistema de mantenimiento

En todas las instalaciones industriales el mantenimiento desempeña un papel fundamental en el funcionamiento eficiente de las máquinas, con el mantenimiento se aumenta la vida útil del equipo y su longevidad.

Existen diferentes tipos de mantenimiento, desde el punto de vista filosófico se clasifican en: mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo. Sin embargo desde el punto de vista de su ejecución, se hace una división de tres grandes tipos: distinto en cuanto a forma, pero no así en sus fines: mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo.

Objetivos del mantenimiento

- Asegurar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos durante toda su vida útil.
- Elevación continúa de la calidad, operación estable, correcta y prolongada de los equipos.
- Contribuir al retorno óptimo del capital invertido en los equipos.
- Elevar la seguridad operacional y la protección del medio ambiente.

Mantenimiento ligero.

1. Revisión del motor eléctrico
2. Revisión del coupling motor reductor
3. Revisión del reductor
4. Revisión del aceite
5. Revisión de los rodamientos
6. Revisión de los engranes
7. Revisión del coupling red-sprok motriz
8. Revisión de la tambora de cola
9. Revisión de los puntos de apoyo
10. Revisión de los rodillos de carga
11. Calibración de los rodamientos
12. Mantenimiento a los rodamientos. Trancados de carga y retorno
13. Mantenimiento al rodillo sin fin limpiador
14. Revisión del mecanismo tensor
15. Revisión de la cadena de carga
16. Revisión del sistema de engrase
17. Mantenimiento a los timones guías
18. Prueba y chequeo de ruidos y vibraciones
19. Limpieza del equipo

Lubricación por componentes

- Los cambios de lubricantes se realizarán acorde a las recomendaciones del fabricante para cada parte o instalación según el sistema de mantenimiento a emplear y ajustadas a las normas vigentes para la lubricación.
- Se comprobará la calidad de los lubricantes por un especialista según periodos establecidos en el Plan de Lubricación.
- Se definen los diferentes puntos de engrase de cada instalación o componentes de estas.

Mantenimiento de los reductores

A continuación se muestra en la Tabla 2.8 el periodo con el que debe ser cambiado el lubricante para el mantenimiento de las diferentes partes componentes del transportador de banda.

Tabla 2.8 Periodo del cambio de lubricante.

En caso de aceite sintético	Cambio de 1000 - 1500 horas de trabajo
Otros cambios	Cada 8000 - 12000hrs
Clases de aceite recomendados	Mobilgear SHC 220

Detección de posibles fallas y requisitos de mantenimiento

- La formación de ranuras en el ramal inferior indican que los rodillos están inmóviles y desgastados, por consiguiente tienen que ser aflojados o sustituidos.
- Una vibración de la construcción inferior indica que la tensión de la banda es demasiado alta.
- Es necesario eliminar incrustaciones que se encuentran en los rodillos.
- Es necesario sustituir los rascadores de bandas desgastados.
- La alimentación del mineral debe realizarse en el centro de la banda.
- Sobre los puntos de alimentación y de traspaso de mineral, hay que observar que no halla mineral acumulado y si hay debe ser eliminado.

Nota:

Cuando la banda es cambiada se realizan pruebas en funcionamiento, se verifica su estado teniendo en cuenta si existe alargamiento o un desvío, es necesario realizar varios ajustes hasta que la banda funcione en marcha sin carga y luego con carga.

Almacenamiento de las bandas transportadoras

- Deben almacenarse en un lugar frío, libre de polvo a una temperatura de 0°C a 30 °C.
- Evitar el contacto de la banda con sustancias tales como solventes, combustibles, ácidos, productos químicos, etc.
- Es necesario protegerlas de los procesos de intercambios de calor.
- En caso de almacenarlas por tiempo prolongado debe protegerse con un toldo.

Conceptos y términos fundamentales de la teoría de la fiabilidad

Fiabilidad: Es la propiedad del artículo de cumplir las funciones a él asignadas conservando sus índices de explotación dentro de los límites establecidos, para un tiempo dado y en determinado tiempo de explotación.

Factores principales que influyen en la fiabilidad

Los factores principales que influyen en la fiabilidad de los artículos durante su explotación son:

Condiciones de explotación requerida: (climatológicas y de producción). La acción de las altas o bajas temperaturas del medio ambiente, las oscilaciones de la humedad, las lluvias, la existencia de gran cantidad de polvo e impurezas agresivas en el aire, producto de la fábrica metalúrgica, del mar y de la gran circulación de los equipos por los caminos mineros.

Un adecuado sistema de revisión, el examen y control preventivo periódico, la limpieza y el reglaje establecido, el mantenimiento, la reparación y la sustitución de las piezas y elementos desgastados, cuyas características hayan indicado desviaciones de las normas durante el control del turno, permiten evitar los fallos y prolongar los plazos de servicios de los artículos.

La calificación y la responsabilidad del personal de servicio (operadores y encargados de mantenimiento y reparaciones) tienen un gran valor para asegurar la fiabilidad.

Formas de elevar la fiabilidad

El desarrollo acelerado de la técnica y las necesidades de la producción exige de un aumento considerable de la fiabilidad de los equipos, lo que se logra con un desarrollo en los fundamentos teóricos del diseño de los artículos y aparatos a fin de asegurar los requisitos prefijados a la fiabilidad y duración y adoptar una serie de medidas encaminadas al perfeccionamiento de los métodos de diseño, producción y uso de los mismos, lo cual se resume en las siguientes recomendaciones.

2.5. Conclusiones del capítulo

- Se aplica un procedimiento de cálculo preciso y actualizado que permite determinar los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda para áridos con un enfoque racional.
- Se conforma el esquema de cálculo de los 6 transportadores de banda que garantizan el flujo tecnológico de áridos procesados en la instalación analizada (ver anexo 2.1 figura 2.1).
- Se establece la modelación del esquema de cálculo para determinar las tensiones en todos los puntos característicos del perfil; así como; la potencia y parámetros del accionamiento de cada transportador.
- Se propone el sistema de instauración del mantenimiento para el transportador según la metodología establecida.

CAPÍTULO III. Análisis de los resultados

3.1. Introducción

En este trabajo se determinan los parámetros tecnológicos que permiten seleccionar los transportadores de banda del proceso tecnológico de la planta procesadora de grava y arena bajo los cuales se minimiza el costo de explotación de los equipos con un enfoque racional.

La determinación de los parámetros tecnológicos se realiza en todos los casos utilizando criterios de estandarización y se realiza la variante adecuada sobre la base del cálculo económico.

Los resultados de la aplicación de la metodología propuesta se exponen en tablas y gráficos y se realiza una valoración de dichos resultados.

Objetivo del capítulo

Seleccionar los valores de los parámetros tecnológicos que permitan reajustar los transportadores estudiados para disminuir sus pérdidas y mejorar la explotación de los mismos. Considerar criterios de estandarización para seleccionar los elementos que conforman cada transportador integrante del proceso tecnológico. Evaluar económicamente las variantes factibles desde el punto de vista técnico para la selección racional acorde a las condiciones reales de explotación.

3.2. Parámetros tecnológicos de los transportadores estudiados

Para la realización del cálculo mediante la metodología seleccionada en el capítulo 2, se utilizaron los siguientes parámetros. Los transportadores analizados trabajan un total de 1936 h/año.

Tabla 3.1 Parámetros de los transportadores.

Transportador	Q (m ³ /h)	B (m)	V (m/s)	γ (t/m ³)	N (kW)	a mm	L (m)	Δh m
TR 4	80	0,8	1,94	1,57	18	0 a 90	30,0	7,6
TR 6	22	0,6	1,6	1,40	9,9	0,15 a 5	19,3	4,6
TR 7	16	0,6	1,37	1,40	11	5 a 12	20,1	4,5
TR 9	25	0,6	1,37	1,40	11	13 a 19	21,4	4,6
TR 10	14	0,6	1,87	1,40	11	35	9,0	2,2
TR 12	14	0,6	1,87	1,40	9	19	15,2	3,6

Tabla 3.2 Principales parámetros calculados.

Equipo	Método de Cálculo	Potencia; kW	Ancho de Banda; m	Productividad; m ³ /h	longitud del transportador; m
TR 4	Instalado	18,00	0,800	80,00	30,00
	Necesario	11,00	0,500	60,00	30,00
	Diferencia	7,00	0,300	20,00	30,00
TR 6	Instalado	9,90	0,600	22,00	19,30
	Necesario	5,50	0,400	15,00	19,30
	Diferencia	4,40	0,200	7,00	19,30
TR 7	Instalado	11,00	0,600	16,00	20,10
	Necesario	5,50	0,400	15,00	20,10
	Diferencia	5,50	0,200	1,00	20,10
TR 9	Instalado	11,00	0,600	25,00	21,40
	Necesario	5,50	0,400	12,00	21,40
	Diferencia	5,50	0,200	13,00	21,40
TR 10	Instalado	11,00	0,600	14,00	9,00
	Necesario	3,00	0,400	12,00	9,00
	Diferencia	8,00	0,200	2,00	9,00
TR 12	Instalado	9,00	0,600	14,00	15,20
	Necesario	4,00	0,400	10,00	15,20
	Diferencia	5,00	0,200	4,00	15,20
Total	Instalado	69,90		171,00	
	Necesario	34,50		124,00	
	Diferencia	35,40		47,00	

Análisis de los resultados obtenidos

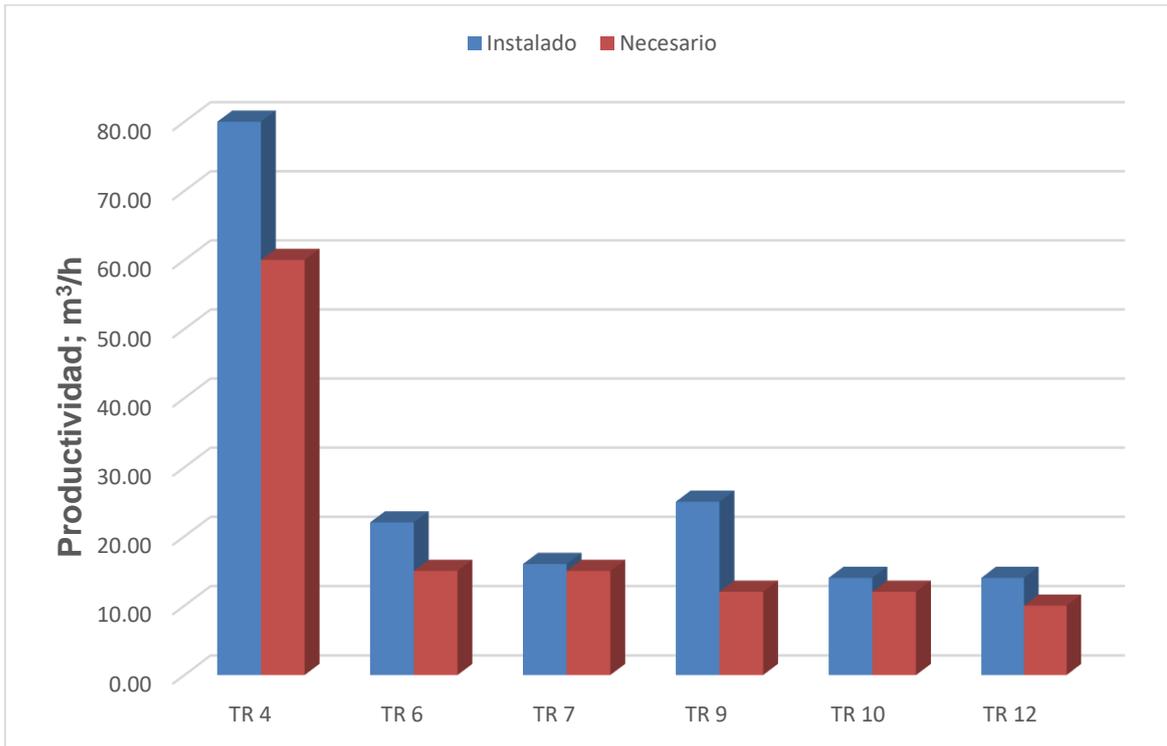


Figura 3.1 Gráfico comparativo de la productividad instalada y la necesaria para las condiciones de explotación actual.

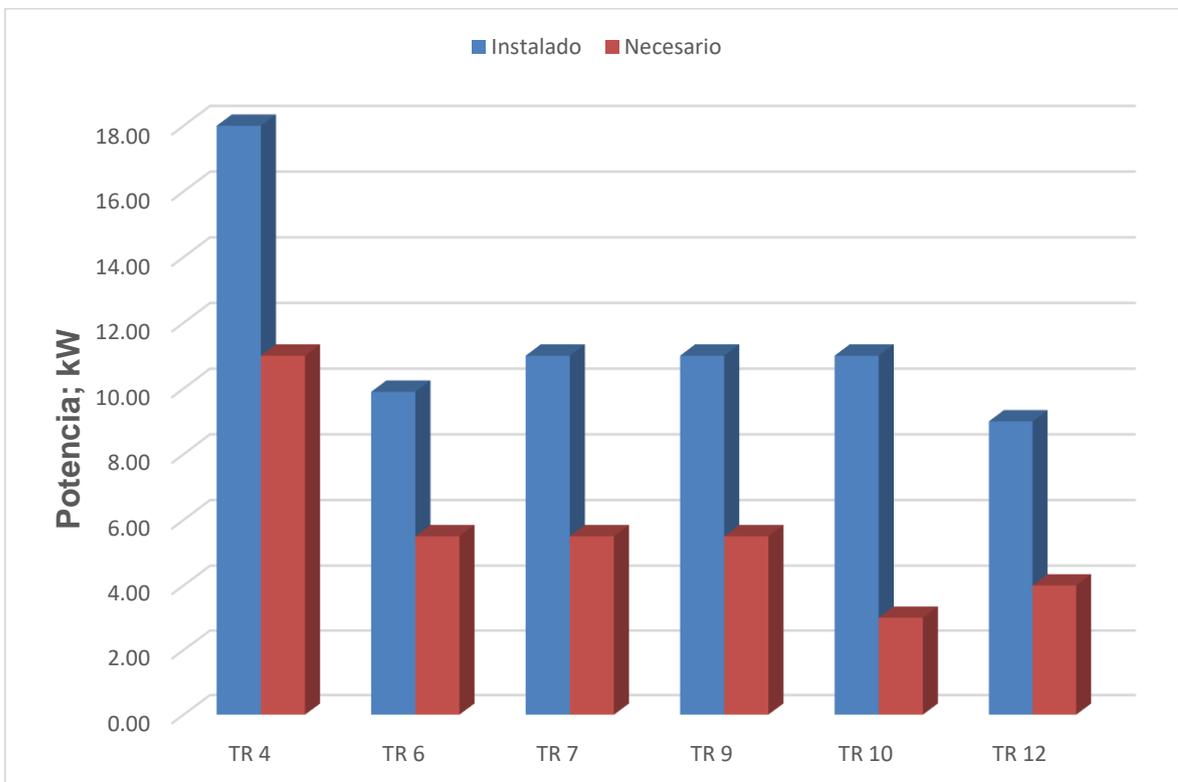


Figura 3.2 Gráfico comparativo de la potencia instalada y la necesaria para las condiciones de explotación actual.

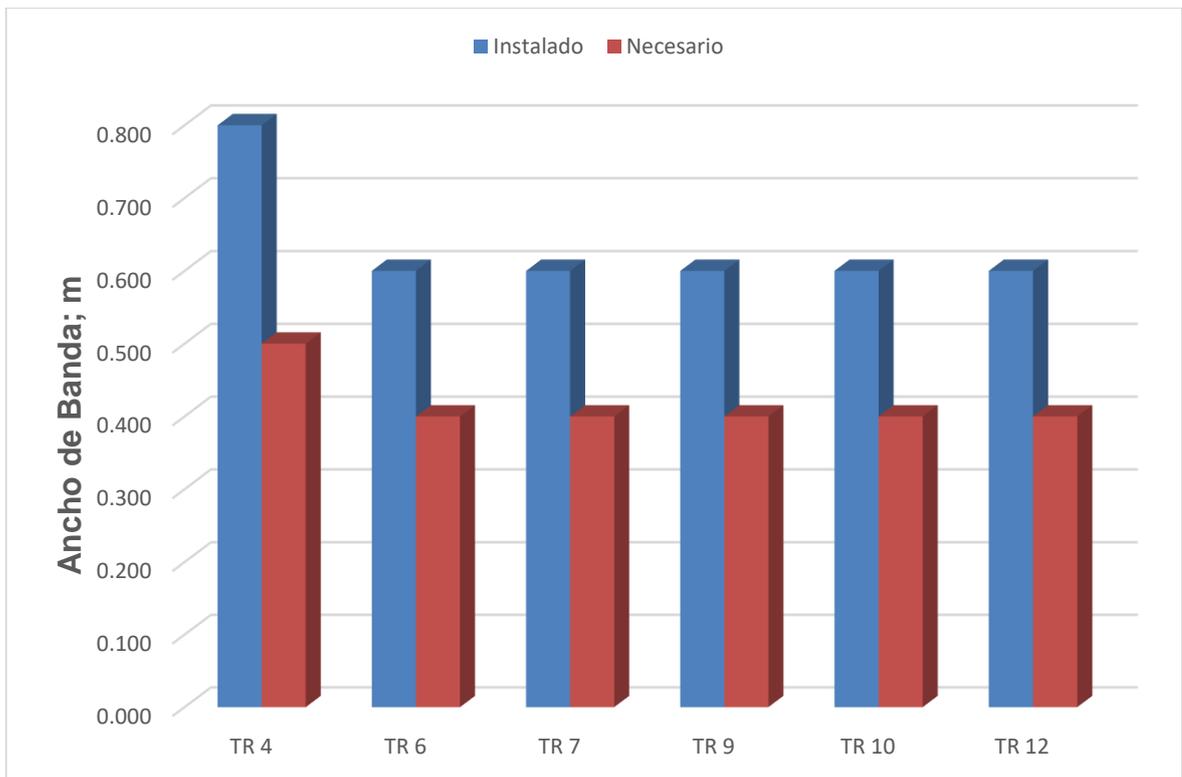


Figura 3.3 Gráfico comparativo del ancho de banda instalado y el necesario para las condiciones de explotación actual.

3.3. Actividades a ejecutar en el mantenimiento

Medidas de seguridad para las operaciones del transportador

- Tiene que estar avalado por una certificación médica y carnet de salud.
- Estar dotados de los medios de protección afines al trabajo que se está realizando.
- Estar instruidos en las funciones que realiza.
- No realizar trabajos para los cuales no estén capacitados u autorizados.
- Mantener el área organizada y limpia.
- No abandonar el puesto de trabajo.
- No permitirá personal ajeno al puesto de trabajo.
- No se presentara al puesto de trabajo después de ingerir bebidas alcohólicas.
- No cruzar sobre las bandas transportadoras cuando estén en operación.

Cubiertas de los transportadores de bandas en la planta de preparación de mineral

La necesidad de proteger las cintas transportadoras está dado por diferentes características como el clima, por las características del material transportado entre otras cuestiones. Los tipos más comunes de cubiertas son: de cloruro de polivinilo (PVC) y las de chapa galvanizada ondulada.

Es necesario cubrir los transportadores por las siguientes cuestiones:

- Para proteger el material transportado
- Para proteger el medio ambiente contra el polvo y ruido.
- Para la seguridad de los operarios.

3.4. Valoración económica

El análisis económico permite determinar financieramente, cuáles son las mejores variantes del presente trabajo. Dentro de estas herramientas las más conocidas son el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Período de Recuperación (PR).

El VAN es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros. El método, además, descuenta una determinada tasa o tipo de interés igual para todo el período considerado. Se define de la siguiente forma:

$$VAN = \sum_{i=0}^m \frac{Sa_i}{Q_i}; \quad (3.1)$$

Donde,

$$Sa_i = Cobros_i - Pagos_i = C_i - P_i; \quad (3.2)$$

$$Q_i = (1 + K_{ccap})^i$$

l:	Año
m:	Total de años
k:	Interés (%)

El valor de C_i está determinado por los ingresos (cobros) que realiza el inversionista durante la explotación del proyecto. En el caso de un transportador se tiene como fuente de ingreso el valor total de la transportación en cada año (VTA). Este valor se calcula:

$$VTA = VTM \cdot Q \cdot t \cdot L; \quad (3.3)$$

Donde:

Q; valor de la productividad,

T; horas trabajadas en el año,

L; longitud de transportación y

VTM; valor de transportar una tonelada por unidad de longitud.

El valor de P_i debe ser estudiado primero de manera particular cuando $i=0$, es decir en la etapa de montaje. En esta etapa se tienen en cuenta los siguientes gastos:

- Infraestructura: Cimientos, Estructuras y Montaje
- Artesa: Costo de la estructura y Costo de los rodillos
- Accionamiento: Costo de los Motores, Costo de los reductores y acoplamientos, Costo de tambores motores, Costo de dispositivos de regulación y control, Costo de frenos, etc.
- Banda: Costo de la Banda y Costo de Empalme de la Banda
- Puntos de Limpieza
- Puntos de Carga
- Puntos de Descarga
- Puntos de Tensión
- Instalación de Artesa, Banda y Puntos

Para $i > 0$, el valor de P_i contempla los siguientes rubros:

- Valor de la energía que se consume en un año.
- Gastos de Mantenimiento.
- Gastos de salarios y otros.

El TIR o Tasa Interna de Retorno es el valor de K_{ccap} que logra que el VAN se anule cuando $i=m$. Para obtenerlo debe resolverse para K_{ccap} la ecuación

$$\sum_{i=0}^m \frac{S_i}{(1+K_{ccap})^i} = 0 \quad (3.4)$$

El valor de i representa al tiempo y en el momento en que el VAN pase a ser un valor positivo se dice que n toma el valor llamado Período de Recuperación (PR).

Para cada variante propuesta de transportador se puede calcular el VAN como punto de referencia para evaluar su factibilidad. Aquellos proyectos factibles de mayor VAN, serán considerados los de mayor nivel de aceptación.

Para las condiciones de explotación actual, comparando los resultados de los parámetros instalados con los calculados, se tienen los resultados de la tabla 3.3:

Tabla 3.3. Indicadores comparativos entre los parámetros instalados y los resultados de este trabajo.

Variante	Costo total por Ancho de Banda; CUC	Potencia Instalada; kW	Periodo de Recuperación Año
Instalado	118775,61	135326,40	2,033
Calculado	83715,68	66792,00	1,780
Diferencia	35059,93	68534,40	0,253

3.5. Impacto medio ambiental y riesgos

Esta opción de transportación desde el punto de vista territorial es más convencional, pues no afecta a poblaciones ni a infraestructuras. No obstante, a continuación se exponen las principales afectaciones desde el punto de vista medio ambiental, tanto las acciones impactantes de la actividad de explotación y procesamiento de áridos, así como los factores ambientales posibles a ser impactados.

Acciones impactantes

Fase de construcción

- Necesidades del suelo.
- Desvío de cauces de agua.
- Accesos adicionales.
- Transporte de materiales.
- Movimiento de maquinaria pesada.
- Áreas de servicio.

Factores impactados

Medio natural

- Aire (calidad, gases, vientos dominantes con polvo, contaminación sonora).
- Tierra (recursos minerales, destrucción de los suelos, erosión, reposición, compactación, estabilidad de laderas, características físicas, químicas y permeabilidad).
- Agua (calidades, contaminación de aguas superficiales, cambio en los flujos de los caudales).

Medio socioeconómico

- Infraestructuras (red y servicio de transporte y comunicación).

Condiciones ambientales

- Clima: clima tropical húmedo
- Temperatura a la sombra: +18,2 °C a +32,5 °C
- Humedad relativa: 61 al 90 %
- Viento máximo: 25-35 km/h

3.6. Conclusiones del capítulo

- Es factible utilizar bandas de tipo textil por capas como elemento portador de la carga y de tracción para los transportadores de banda del proceso tecnológico de la Instalación analizada.
- Se estandarizan los transportadores a anchos de banda de 500 y 400 mm.
- Se realiza una valoración económica que permite seleccionar la variante más racional de los transportadores de banda para el proceso tecnológico.
- Se establece el sistema de mantenimiento para el transportador de banda seleccionado para el acarreo del mineral laterítico mullido y homogeneizado.

Conclusiones generales

Durante la presente investigación:

1. Se analizan varios procedimientos de cálculo para la determinación de los parámetros tecnológicos de los transportadores y se selecciona el procedimiento propuesto por (Sierra, 2010 y Oriol y Aguilar, 1995).
2. Se demuestra que los transportadores de banda seleccionados por la planta procesadora de grava y arena “El Jobo” están sobrediseñados tanto desde su capacidad (anchos de banda superior a los reales necesarios); como de la potencia de accionamiento (Tabla 3.2).
3. Se obtiene el esquema de cálculo y la modelación de las tensiones correspondiente que permite determinar los parámetros tecnológicos necesarios para la selección de los transportadores de banda que conforman el flujo tecnológico para el acarreo de áridos.
4. Se logra estandarizar los transportadores de banda del flujo tecnológico a anchos de banda de 500 y 400 mm, que implica a su vez estandarizar otros elementos del transportador como son: rodillos de apoyo y tambores.
5. La aplicación de los resultados del presente trabajo significan para la planta procesadora de grava y arena “El Jobo” un ahorro de 35059,93 CUC, disminuir la potencia instalada en el accionamiento de los transportadores en 68534,40 kWh/año y se disminuye el periodo de recuperación en 0,253 año con respecto a lo instalado.

Recomendaciones

1. Considerar el presente trabajo como material técnico de referencia en la planta procesadora de grava y arena “El Jobo” y como material de consulta tanto para estudiantes como técnicos superiores.
2. Utilizar la metodología presente en este trabajo para el cálculo de los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda en futuros proyectos para el acarreo de áridos.
3. Publicar los resultados del trabajo en la Revista Ciencia y Futuro del ISMMM.

Referencias bibliográficas

1. ALONZO DANIEL. Transportadores Convencionales. www.geocites.com/ingenieriadlplata. Mayo 2002.
2. CALDERÓN COLUMBIÉ M. Transportadores de bandas de la planta de secaderos y molinos. Empresa Comandante "René Ramos Latour". Tutores Walter Quesada y Juan Candebat. 1984.
3. DIAKOV V A. Máquinas de transporte en la minería a cielo abierto. Ed. Niedra. Moscú, 1996.
4. FADDIEV BORISV. Transportadores de banda en las canteras de minerales metálicos. Ed. Niedra. Moscú, 1972. 387 p.
5. GARCELL REGALADO YOANNIA. Perfeccionamiento científico y metodológico de asignatura equipos de transporte industrial e izaje. Trabajo de Diploma. Tutores Ing. Roberto Sierra Pérez, Lic. Leila Reyes Oliveros. Año 2003. I.S.M.M.
6. GRIGORIEV B. N. ET AL. Máquinas y complejos de transporte para el laboreo subterráneo. Ed. Niedra, Moscú, 1986.415 pp.
7. HINOJOSA HEBER, CAMACHO FEDERICO. Desarrollo de software para diseño de bandas transportadoras. Revista Tecnológica. Vol.16, No.1, Junio 2003. (SOFTWARE).
8. LAMBER J. Alternative weighing. Technology for belt. Conveying systems. B.S.H. 1 (3), Germany, 1990.
9. LAUHOFF H. Control de Velocidad en Correas Transportadoras - ¿Realmente Ahorra Energía? Vol. 25 (2005) No. 6.Revista. Bulk Solids Handling (Manejo de Sólidos a Granel). Alemania. www.synergy-eng.com/spanish/pdf/
10. Loyola Fernández, Roberto. Estandarización del sistema de transporte por transportadores de bandas en el taller 01 y en la planta de recuperación de mineral de la empresa Ernesto Che Guevara. Roberto Sierra (tutor). Trabajo de diploma. Instituto superior minero metalúrgico, 2002. 73 h.

11. MENA PERDOMO SERVIO TULIO. Aplicación de métodos matemáticos para el perfeccionamiento de la metodología de cálculo de los transportadores de banda. Trabajo de Diploma. Tutores M Sc Roberto Sierra Pérez, Dr C Arístides A. Legrá Lovaina. ISMMM. 2006.
12. ORIOL G. J.M. AGUILAR P.F. Máquinas de transporte continuo. T I. 3Ed. Pueblo y Educación. 1995. 235 p. ISBN 959-13-0393-9.
13. ORIOL G. J.M. Conferencia de máquinas transportadoras. Cuba. Editorial Félix Varela. Manual. 1993.
14. PEREDA H. S., POLANCO A. R G. Transporte minero. La Habana. Edit. Félix Varela. 1999. Libro. 363 p.
15. POTAPOV N. G. Máquinas de transporte. Niedra. 1980. 261 p.
16. RESHETOV D. Elementos de Máquinas. Editorial Pueblo y Educación. 1985.
17. RODRÍGUEZ T., CALIXTO Y FALCÓ O., OLBEN. Proyecto de explotación actualizado periodo 2007 – 2011, concesión del yacimiento de grava – arena Rio Sagua zona 15 y zona Limba. 2008.
18. SHASMEITER L G. DIITRIEV V G. Teoría y Cálculo de los Transportadores de banda. Mashinostoinie. Moscú, 1987. 417 P.
19. SHUBIN V. S., PEDRE C. Diseño de máquinas industriales T. II. La Habana. Edit. Pueblo y Educación. Libro. 1986.
20. SHUBIN V. S., PEDRE C. Diseño de máquinas industriales T. III. La Habana. Edit. Pueblo y Educación. Libro. 1986. 364 pp.
21. SIERRA PÉREZ R J., LEGRÁ LOBAINA A A, DONATIÉN CARBONEL A, MATOS L. Caracterización de la mena laterítica para el ajuste de parámetros tecnológicos del transportador de banda. Revista Minería y Geología. [Consultado: 2009 10 14]. Vol 25 No 3 de 2009. Disponible en www.ismm.edu.cu/revistamg.
22. SIERRA PÉREZ, ROBERTO JOHAN. Análisis de la explotación de los equipos de transportación de grava y arena en la industria de materiales

de construcción de Moa. Revista Minería y Geología. Moa. Holguín. Cuba. 1987. Pp 71-82.

23. SIERRA PÉREZ, ROBERTO JOHAN. Optimización energética en el diseño de transportadores de banda para el mineral laterítico cubano. Tesis Doctorado en Ciencias Técnicas. ISMM. 2010.
24. SPIVAKOSKI A O. Transportadores de Banda para la Industria Minera. Ed Niedra, Moscú, 1982. 345 p
25. SPIVAKOSKI A. O., DIMITRIEV B G. Teoría de los transportadores de banda. Moscú. Nauta. 1982. 363 pp.
26. SPIVAKOSKI A. O., POTAPOV M. G. Máquinas y complejos de transporte en las labores minera. Libro. Editorial Niedra. 1983. 383 p.
27. TARASOV U. D. Construcción y cálculo de las máquinas y complejos de transporte. Leningrado, 1980. 227 p.
28. TÍJONOV N V. Máquinas de transporte en las empresas mineras. Ed. Niedra, Moscú, 1987. 367 p.
29. VALOTKOSKII V.S., KARMAYEV G.D., DRAYA M.I. Selección del equipamiento de los transportadores de banda en las canteras. Ed Niedra. Moscú. 1990. 387 pp.
30. VASILIEV K A, NIKOLAIEV A K Y CAZONOV K G. Máquinas de cargas y transporte de las plantas de beneficio de minerales. Sant Petersburgo. HAYKA. 2006. 358 p. ISBN 5-02-025092-9. 359 p.
31. VASILIEV K A, NIKOLAIEV A k. Máquinas de transporte. Sant Petersburgo. 124 p. ISBN 5-94211-216-9. 2003.
32. ZELIENKII O. B., PETROV A. C. Manual para proyectos de transportadores de banda. Niedra. Moscú 1986. En ruso. 222 p.

Anexos

Anexo 1.1

Tabla 1.1. Capacidad de Transporte Q_M para $v = 1$ m/s., en m^3/h							
Ancho	Montaje Plano	Montaje en Artesa (para valores de β indicados)					
		20°	25°	30°	35°	40°	45°
400	23	42	47	51	54	56	58
450	30	55	61	67	70	73	76
500	38	70	77	84	89	93	96
550	48	87	96	105	111	115	119
600	58	106	116	127	134	139	145
650	69	126	139	151	160	166	173
700	81	148	163	178	188	195	203
750	94	172	189	206	218	227	235
800	108	198	217	237	251	261	271
850	123	225	247	270	286	297	308
900	139	254	280	305	323	335	348
950	156	285	314	342	362	376	391
1000	173	318	350	381	404	420	436
1100	212	389	428	467	494	513	533
1200	255	467	513	560	593	616	640
1300	301	552	607	662	701	729	756
1400	351	644	709	773	818	850	883
1500	406	744	818	892	944	982	1019
1600	464	850	935	1020	1080	1122	1165
1800	592	1085	1193	1301	1377	1432	1486
2000	735	1348	1482	1617	1711	1779	1846
2200	894	1639	1803	1967	2081	2163	2245

Anexo 1.2

Tabla 1.2 Caracterización de la materia prima.

Caracterización de la materia prima Zona 15						
Depósitos de terraza de río, mezcla de arena, grava y arcilla. Depósitos aluviales de poco arrastre	100 % (Alto contenido de grava)	Composición Fragmentos de andesitas, basalto, algunas dioritas y en menor grado calizas y tobas (10 - 15 %)	Polvo, limo y arcilla	20,2 %		20,2 %
			Grava y Arena	79,8 %	100 %	Arena 44,1 %
						Grava 55,9 % MV-2,5 g/cm ³ Abs. 3 % Marca: 800
Caracterización de la materia prima Zona Limba						
Depósitos de terraza de río, mezcla de arena, grava y arcilla. Depósitos aluviales de poco arrastre	100 % (Alto contenido de grava)	Composición Fragmentos de andesitas, basalto, algunas dioritas y en menor grado calizas y tobas (10 - 15 %)	Polvo, limo y arcilla	2 %		Arena 51 %
			Grava y Arena	80 %	100 %	Grava 49 % MV-2,5 g/cm ³ Abs. 3 % Marca: 800

Tabla 1.3 Resumen de calidades por bloques (Zona 15).

Bloques	Eficiencia Tecnológica	Grava	Arena	Perdidas Tecnológica	Módulo. Finura	Calidad
1BB	78,1	48	29,9	21,7	3,47	C - D
2C ₁ B	78	48	29,9	21,7	3,47	C - D
3C ₁ B	75,9	57,2	18,6	23,6	3,35	D
4C ₂ B	84,35	64,39	19,96	15,45	3,37	B
5C ₁ N	73,7	51,5	22,23	26,05	3,13	C
6C ₁ N	73,5	42,77	30	26,2	3,31	C

Anexo 1.3 Investigaciones tecnológicas y características cualitativas de los productos finales

Tabla 1.4 Composición granulométrica de la fracción 19 – 10 mm. p

Tamiz (mm)	% Pasado	% Retenido
25,4	99	1
19,1	84	16
12,7	11	89
9,52	1	99
4,76	1	99

Tabla 1.5 Otras características físicas de la fracción 19 – 10 mm.

Masa unitaria suelta; kg/l	1,488
Masa unitaria compactada; kg/l	1,635
Vacío; %	35,7
índice de triturabilidad; %	6,34
Abrasión; %	20,4

Material más fino que el tamiz 200; %	0,72
Partículas planas y alargadas; %	7,26
Partículas de arcilla; %	0
Peso específico corriente; g/cm ³	2,226
Peso específico saturado; g/cm ³	2,543
Peso específico aparente; g/cm ³	2,617
Absorción; %	2,87

Tabla 1.6 Composición granulométrica de la fracción 10 – 5 mm.

Tamiz (mm)	% Pasado	% Retenido
12,7	100	0
9,52	77	23
4,76	14	86
2,38	3	97
1,19	2	98

Tabla 1.7 Otras características físicas de la fracción 10 – 5 mm.

Masa unitaria suelta; kg/l	1,423
Masa unitaria compactada; kg/l	1,569
Vacío; %	37,2
índice de triturabilidad; %	6,58
Abrasión; %	24,0
Material más fino que el tamiz 200; %	0,85
Partículas planas y alargadas; %	6,0
Partículas de arcilla; %	0

Peso específico corriente; g/cm ³	2,502
Peso específico saturado; g/cm ³	2,588
Peso específico aparente; g/cm ³	2,736
Absorción; %	3,4

Tabla 1.8 Composición granulométrica de la fracción 5 – 0,15 mm.

Tamiz (mm)	% Pasado	% Retenido
9,52	100	0
4,76	98	2
2,38	84	16
1,19	69	31
0,59	46	54
0,297	15	85
0,149	2	98

Tabla 1.9 Otras características físicas de la fracción 5 – 0,15 mm.

Masa unitaria suelta; kg/l	1,500
Masa unitaria compactada; kg/l	1,614
Vacío; %	33,7
Material más fino que el tamiz 200; %	1,4
Partículas de arcilla; %	0
Peso específico corriente; g/cm ³	2,435
Peso específico saturado; g/cm ³	2,530
Peso específico aparente; g/cm ³	2,693
Absorción; %	3,94

Anexo 1.4

Tabla 1.10 – Coeficientes de Seguridad para Bandas de Carcasa textil			
Número de Capas (Z)	de 3 a 5	de 6 a 9	más de 9
Coeficiente Seguridad (S)	11	12	13

Tabla 1.11 Diámetros de tambores normalizados s/DIN 22101												
20	25	32	40	50	63	80	100	125	140	160	180	200
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 1.12 Tipos de Bandas Lisas más usuales		
Ancho (mm)	Lonas	Recubrim. (mm)
400	2 EP-125	2+1,5
400	3 EP-125	3+1,5
500	2 EP-125	2+1,5
500	3 EP-125	3+1,5
600	3 EP-125	3+1,5
650	3 EP-125	3+1,5
800	3 EP-125	3+1,5
800	4 EP-125	4+2
1000	3 EP-125	3+1,5
1000	4 EP-125	4+2
1200	4 EP-125	4+2

Tabla 1.13 - Valores de "K"	
Inclinación δ	K
0	1
2	1
4	0,99
6	0,98
8	0,97
10	0,95
12	0,93
14	0,91

16	0,89
18	0,85
20	0,81
21	0,78
22	0,76
23	0,73
24	0,71
25	0,68
26	0,66
27	0,64
28	0,61
29	0,59
30	0,56

Tabla 1.14 - Coeficientes de Corrección según Talud							
Ángulo Talud	Montaje Plano	Montaje en Artesa (para valores de β indicados)					
		20°	25°	30°	35°	40°	45°
10	0,50	0,77	0,79	0,82	0,84	0,86	0,87
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
30	1,50	1,24	1,21	1,19	1,17	1,16	1,14

Anexo 2.1 Esquema de la instalación caso de estudio

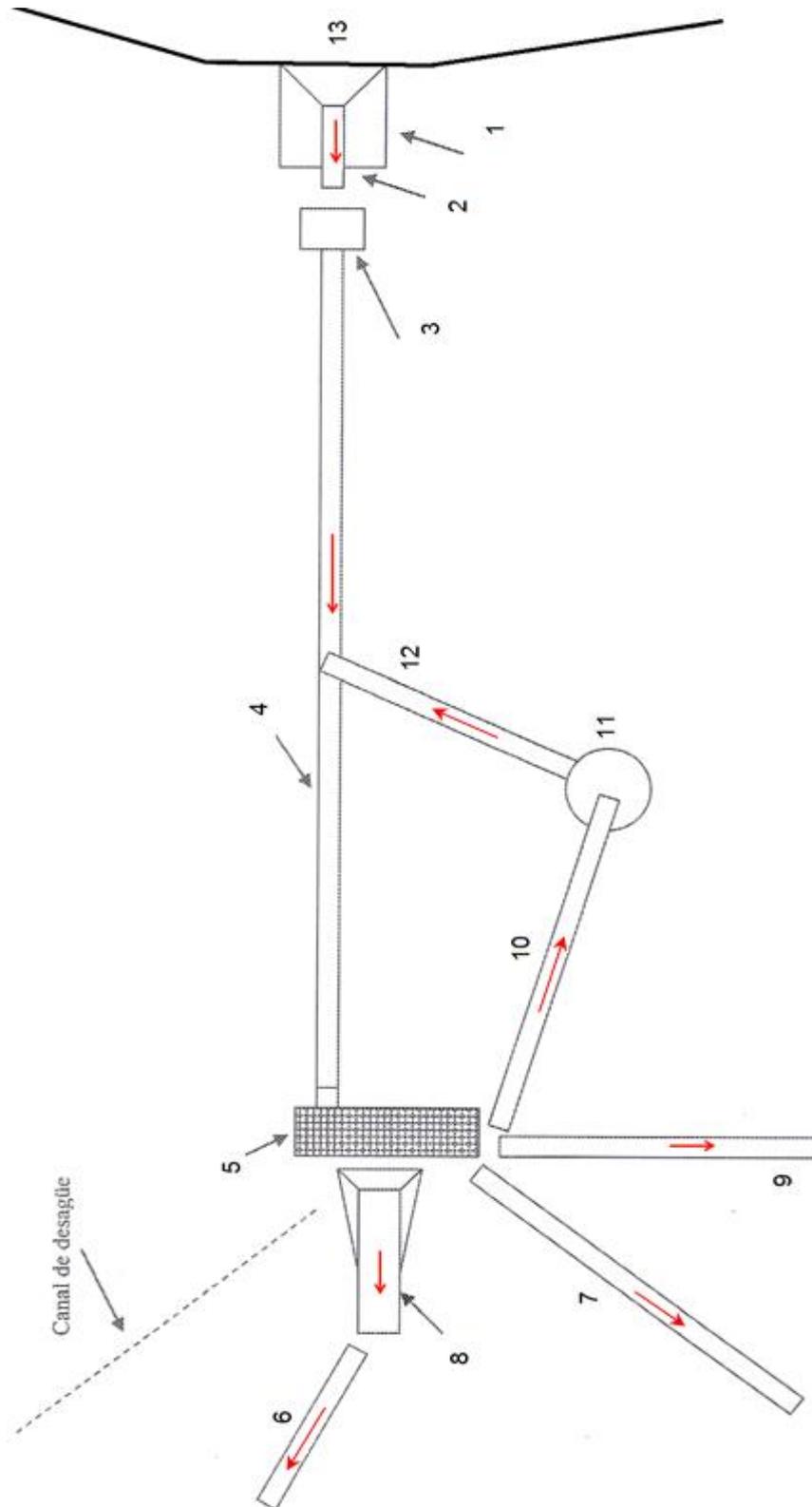


Figura 2.1 Esquema tecnológico de la procesadora de grava y arena el Jobo, municipio Sagua de Tánamo, Holguín.