



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD DE METALURGIA- ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO DE DIPLOMA

En opción al Título de Ingeniero Mecánico

Título: Determinación de los Parámetros Tecnológicos actuales de los Transportadores de Bandas de la Mina Pinares perteneciente a la Empresa Réne Ramos Latour.

Autor: Yorgelis Sánchez Fonseca

Tutor(es): Msc. Roberto Sierra Pérez
Ing. Miguel Álvarez Domínguez

Moa-2007
“ Año 49 de la Revolución ”

Resumen

En el presente trabajo se realizó una investigación detallada de los Transportadores de Bandas Principales de la Mina Pinares de Mayarí, perteneciente a la Empresa del Níquel Comandante René Ramos Latour, se hizo una búsqueda de fuentes bibliográficas, se calcularon los parámetros tecnológicos utilizando la metodología perfeccionada por Sierra (2005), donde se realizó un estudio a partir de las características técnicas del transportador, perfil de su traza y las propiedades físico mecánicas del material transportado. Comparando la potencia instalada con la calculada al variar la masa volumétrica y teniendo en cuenta las mediciones experimentales realizadas, se pudo apreciar las grandes pérdidas de potencia en los resultado de los cálculos del capítulo final, demostrando así la subutilización de estos Transportadores.

Abstract

In the Presently work was carried out a detailed investigation of the Transporters of Bands of the Mine Pinares of Mayarí, belonging to the Company of the Nickel, René Ramos Latour, a search of bibliographical sources was made, the technological parameters were calculated using the methodology perfected by Sierra (2005), where he was carried out a study starting from the technical characteristics of the transporter, profile of its appearance and the properties physique mechanics of the transported material. Comparing the power installed with the one calculated when varying the volumetric mass and keeping in mind the carried out experimental mensurations, you could appreciate the big losses of power in the result of the calculations of the I surrender final, demonstrating this way the subuse of these Transporters.

Índice	Pág
Introducción General.....	1
Capítulo I Marco teórico de la investigación	
1.1 Introducción.....	5
1.2 Objetivos del Capítulo.....	5
1.3 Descripción de los Transportadores de Bandas	5
1.4 Estado del Arte.....	7
1.5 Trabajos Precedentes.....	7
1.6 Construcción del Perfil.....	14
1.7 Características y Propiedades del Mineral.....	15
1.8 Dispositivos de limpieza.....	16
1.9 Dispositivos de carga.....	16
1.10 Sistemas de Alimentación y Puntos de Transferencias.....	17
1.11 Dispositivos de tensado	18
1.12 Flujo Tecnológico.....	18
Capítulo II Materiales y métodos	
2.1 Introducción.....	31
2.2 Cálculo de los Transportadores de Banda.....	31
2.3 Mantenimiento del Transportador.....	45
2.4 Conceptos y términos fundamentales de la teoría de la fiabilidad.....	54
2.5 Conclusiones del Capítulo.....	55
Capítulo III Análisis de los resultados	
3.1 Introducción.....	56
3.2 Análisis de los Resultados.....	56
3.3 Valoración económica.....	60
3.4 Conclusiones del Capítulo III.....	63
Recomendaciones.....	64
Conclusiones Generales.....	65
Bibliografía.....	66
Anexos	

INTRODUCCIÓN

El transporte minero metalúrgico constituye uno de los principales eslabones del proceso tecnológico, tanto en las canteras como en las plantas metalúrgicas. Las máquinas y equipos de transporte deben crear una corriente de carga de determinada potencia y dirección.

Especial importancia tiene el transporte de mineral laterítico por medio de los transportadores de banda en la Empresa "René Ramos Latour" de Nicaro, donde mas de 35 Km. de transportadores forman parte del sistema de transporte desde los diferentes frentes de trabajo hasta la planta de secaderos y molinos, combinado con otros tipos de transporte (camiones, ferrocarril, funiculares).

En la industria cubana del níquel, cuyo desarrollo va en constante ascenso, en los últimos años se han presentados algunos problemas relacionados con los niveles de utilización de la capacidad de carga, los consumos energéticos y la unificación de las piezas, partes y agregados específicamente en los sistemas de transporte por transportadores de banda, donde es necesario realizar un estudio encaminado a evaluar esta problemática que provoca afectaciones en parámetros de selección, diseño y explotación.

En la actualidad la minería presenta dificultades con el suministro de mineral a la planta metalúrgica debido a varias causas, entre los que se destacan el desfavorable estado que presentan las vías férreas, el deterioro del equipamiento por el elevado uso de explotación de los mismos, unido a la baja capacidad de los sistemas de transportación de los planos inclinados y ferroviarios.

A partir del 2006 el yacimiento de Pinares Este se convierte en la única fuente de suministro de mineral a la Planta Metalúrgica con reservas minerales suficientes hasta el año 2016. Teniendo en cuenta la explotación del Transportador Pinares se garantizará el suministro estable de 1,800 000 toneladas métricas de mineral base seca/año a la fábrica, se hace necesario invertir en un mínimo de equipos y mejoras sustanciales para garantizar la estabilidad y el incremento de la producción.

Al considerar las peculiaridades y deficiencias planteadas se establece como **situación problemática actual:**

El sistema de transporte por transportadores de banda en la Mina de Pinares de la ERRL de Nicaro, tienen instalados más de 60 equipos entre estáticos y dinámicos, los que presentan problemas relacionados con la capacidad de carga y el sistema de alimentación, los consumos energéticos y el surgimiento de averías. No se comprueban de forma sistemática ni se realiza la selección racional en las nuevas inversiones con una metodología acorde al comportamiento de las regularidades de operación y de las propiedades del material transportado.

Problema General

No se comprueban de forma sistemática ni se realiza la selección racional en las nuevas inversiones con una metodología acorde al comportamiento de las regularidades de operación y de las propiedades del material transportado.

Objetivo general

Realizar una detallada revisión bibliográfica que contribuya a enriquecer los conocimientos existentes en esta rama del saber, con el objetivo de incorporar nuevos argumentos que permitan conocer con mayor profundidad la interesante interrelación entre: ancho de banda, productividad y potencia de accionamiento.

Objetivos específicos

- 1- Realizar un cálculo comprobatorio de los transportadores de banda instalados recientemente en la mina de Pinares de Mayarí
- 2- Establecer las peculiaridades de explotación acorde a las condiciones reales de trabajo de los transportadores C02/03, C04 como transportadores magistrales de transportación del mineral laterítico.

Objeto

Los Transportadores de bandas para el acarreo del mineral laterítico.

Hipótesis

Establecer la metodología de cálculo de los parámetros tecnológicos perfeccionada, para la explotación de los transportadores de banda durante el transporte del mineral laterítico en la mina Pinares de Mayarí, con los parámetros ajustados a las condiciones reales de trabajo. que permita disminuir los consumos energéticos y los índices económicos durante el funcionamiento de la instalación.

Tareas:

- Estado del arte de las teorías y expresiones que se utilizan para los transportadores de banda.
- Establecer la metodología de cálculo tomando como referencia mediciones reales de la instalación en los transportadores de banda en la Mina Pinares de la Empresa RRL.
- Determinar las propiedades físico y mecánicas del mineral laterítico, que mayor influencia tienen en los parámetros tecnológicos de los Transportadores de Banda, directamente en el proceso industrial.
- Diseño experimental y Procesamiento estadístico de los resultados.



- Establecer los parámetros tecnológicos racionales de los transportadores de banda para el mineral laterítico en Pinares, para diferentes regímenes de trabajo, teniendo en cuenta criterios de las regularidades de las cargas transportadas.
- Valorar económicamente la aplicación de los resultados obtenidos.

CAPITULO I

1.1 Introducción

En el ámbito de la industria, el manejo y manipulación de materiales, constituye una parte fundamental la explotación de estas maquinas, dentro del proceso productivo los requerimientos de grandes volúmenes de producción han hecho que los transportadores continuos de bandas se conviertan en los elementos más adecuados para mover material a granel, principalmente cuando se trata de grandes distancias y tonelajes.

Las (MTC) poseen un conjunto de equipos auxiliares que intervienen en el proceso de transportación cuya función es lo de servir de complemento del trabajo de las maquinas. Como ejemplo de ello tenemos, los alimentadores, pesas, tolvas de llenados, dosificadores, compuertas, etc.

En este capitulo se realizará una descripción de los transportadores de bandas, sus características principales, funciones, se conocerá como esta estructurada la instalación de Transportadores de Pinares de Mayari y el Flujo Tecnológico de dicha Unidad Empresarial de Base.

1.2 Objetivo de capitulo

Realizar una detallada revisión bibliográfica que contribuya a enriquecer los conocimientos existentes en esta rama del saber, con el objetivo de incorporar nuevos argumentos que permitan conocer con mayor profundidad la interesante interrelación entre: ancho de banda, productividad y potencia de accionamiento.

1.3 Descripción y funcionamiento de un transportador de banda como objeto de estudio

Un transportador de banda consta en general como mínimo de dos tambores, uno de ellos es motriz y el otro de cola, unido entre si por una banda que forma un contorno cerrado e infinito que se mantiene tensa por un sistema de atesado 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 colocada 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).

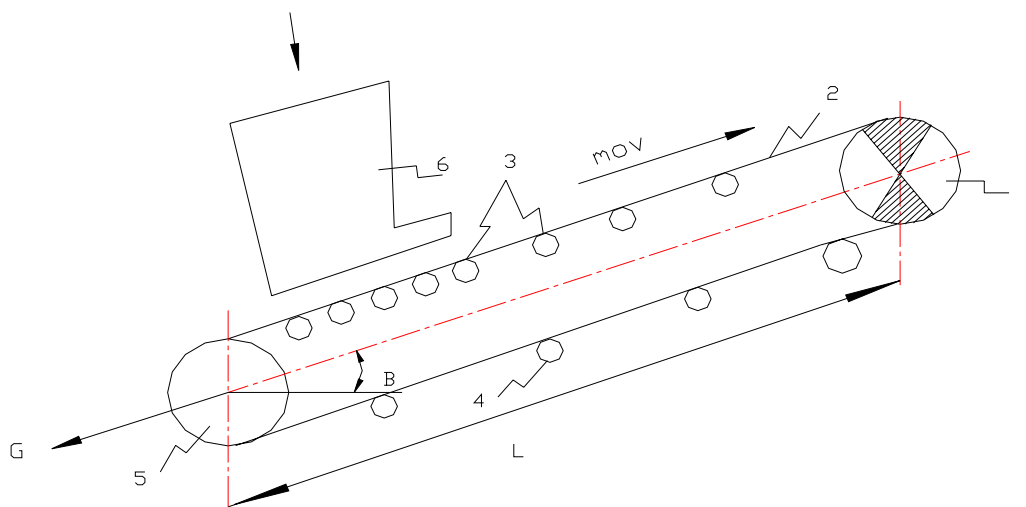


Figura. 1.1 Esquema de un Transportador de Banda

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 transportador en diferentes puntos a través de todo el largo del perfil del transportador

mediante dispositivos especiales de descarga; que son las llamadas cuchillas (en la práctica se conocen con el nombre de machetes

1.4 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 mas puntos, alejados entre si, 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 realizo bajo tierra, desde una mina recorriendo casi 8 kilómetros. La cinta transportadora consistía de 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 maquinas, así como sus metodologías de cálculos. En nuestro País existen diferentes instalaciones de gran complejidad en el acarreo del mineral laterítico. 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.

1.5 Trabajos precedentes

Después de 1902, Estados Unidos de América comenzó a mostrar interés por nuestras cortezas de intemperismo, relacionada con determinadas pruebas tecnológicas realizadas con las lateritas. Así, entre 1904 y 1907, en la región de Mayarí, las compañías norteamericanas realizaron trabajos de explotación en las lateritas. Los aceros producidos a partir de estas menas se denominaron aceros especiales Mayarí.

Durante todo este tiempo, las lateritas cubanas se estudiaban solo como minas de hierro, y al níquel y al cobalto que contienen, no se les daba atención especial.

De 1901 hasta 1916, un grupo de científicos realizaron trabajos sobre las lateritas de Cuba; entre ellos resaltan los nombres de Hayes, Vaughan, Spencer, Weld, Kemp, Cox, Little, Cummings, Millar, Woolbridge, Drake, Leit, Meat y Guardiola.

La explotación de las minas lateríticas para su exportación comenzó en 1930, en relación con la crisis económica del capitalismo; poco después, cuando fueron abiertos los yacimientos de Ni de Nueva Celedonia y de Kalimatán, en Borneo, se comenzó a pensar en la posibilidad de considerar nuestras minas como niquelíferas y no como ferruginosas.

Fue entonces que las empresas norteamericanas comenzaron a realizar rápidamente estudios tecnológicos de las minas y organizaron el trabajo para la construcción de una planta procesadora; puesto que, producir una tonelada de Níquel en nuestro país resultaba mucho más económico que trasladar el mineral en bruto a las refinerías en EUA.

En 1935 las empresas yanquis desarrollaron grandes trabajos de exploración en la región de Nicaro-Mayari y, en 1943, fue construida una planta en Nicaro, actualmente denominada Comandante Rene Ramos Latour. En dos años la planta trató cerca de 1900 toneladas de menas niquelíferas, con contenido de 1.39% de Ni; el producto final, sinter de Ni, se exportó hacia EUA.

Al mismo tiempo que esto sucedía, varias compañías norteamericanas, ante los éxitos obtenidos, se dedicaron a realizar trabajos de exploración en todas las áreas lateríticas del país, y señalaron las regiones de más perspectivas; de esta época datan los trabajos de Tayer (1942), Tayer, Guidad (1947), Baragwanath, Millàn, Davis (1955), Fischer, Dressel (1959), Lewis, Straczer (1955), y otros.

Después del triunfo de la Revolución, en 1959, comenzó el proceso de estudio profundo y detallado de nuestros recursos niquelíferos sobre una base sistemática y de forma detallada. Una segunda planta había sido comenzada a montar en Moa, fue terminada por la Revolución y recibe el nombre de Comandante Pedro Soto Alba. A diferencia de la planta de Nicaro, que produce sinter, esta produce sulfuro de Ni.

Con la colaboración de especialistas del campo socialista, fundamentalmente de la URSS, se han desarrollado importantes estudios para ampliar el conocimiento de nuestras minas

lateríticas-ferruginosas-niquelíferas-cobalíferas, tanto en el volumen de sus reservas, como en la calidad de las minas y las características de los yacimientos.

Se analizaron las metodologías de cálculo para determinar la resistencia al movimiento en los tramos curvos dadas por Tarasob (1980); Pereda (1999) en las cuales los autores consideran la resistencia al movimiento en los tramos curvos estableciendo una relación entre las tensiones de entrada y salida a ese tramo, la llamada ecuación de Euler.

$$S_s = S_e \cdot e^{\mu \cdot \alpha}$$

Shuvín y Pedre toman el tramo curvo como un arco de circunferencia en el cual determinan su radio mediante una inecuación relacionándolo con la flexión transversal de la banda, la cual depende del ángulo de los rodillos laterales.

Para tramos convexos se calcula de la forma siguiente:

$$R_{\min} \geq \frac{5 \cdot B}{1 - \frac{S_s}{S_{adm}}}$$

Para tramos cóncavos

$$R_{\min} \geq \frac{S_e}{2 \cdot q_b} \cdot K$$

Otros autores como Oriol y Aguilar (1985) plantean que prácticamente se considera que el pandeo libre de la banda se ajusta a la ecuación de una parábola

$$x^2 = 4 \cdot P \cdot y$$

donde P es el radio focal de la parábola el cual tiene relación directamente proporcional con la tensión de entrada al tramo curvo e indirectamente proporcional con el peso de la banda.

$$P = \frac{S_e}{2 \cdot q_b}$$

Zelienski y Petrov (1986) aplican las ecuaciones generales para determinar la resistencia al movimiento, incluso realizan un análisis vinculado con las tensiones que se originan en los tramos convexos,

Para tramos convexos

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

donde:

S_i : Tensión a la entrada del tramo.

Para tramos cóncavos,

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

Pero no desarrollan esta teoría y limitan su metodología de cálculo sobre los tramos curvos a las relaciones de tensión de entrada y salida y coeficientes dados en un rango determinado sin ofrecer una exactitud en su teoría.

$$S_s = S_i \cdot e^{\omega_r \cdot \beta_k}$$

Resulta fundamental el análisis del trabajo realizado por Méndez (2002), donde este realiza un análisis de los tramos curvos en el cual aborda los diferentes trabajos realizados por diferentes autores y propone determinar la resistencia dividiendo el tramo curvo en pequeños tramos, pero no considera la presión que ejerce la banda sobre los rodillos de apoyo y tambores. Además no se definen la cantidad de tramos racionales y existe dificultad con la determinación de las dimensiones fundamentales. Plantea que la tensión en los tramos curvos convexo con carga sin considerar la presión hacia los elementos de apoyo se determina por

$$W_{convc} = [(q_c + q_b + 2 \cdot q_r) \cdot R] \cdot \alpha \cdot w \pm (q_c + q_b) \cdot h$$

Sin carga

$$W_{convv} = [(q_b + q_r) \cdot R] \cdot \alpha \cdot w \pm (q_b) \cdot h$$

Si aplicamos la teoría de Euler; es decir, la presión sobre los elementos de apoyos

$$W_{convc} = [(q_c + q_b + 2 \cdot q_r) \cdot R] \cdot \alpha \cdot w \pm (q_c + q_b) \cdot h \cdot e^{\mu \cdot \alpha}$$

$$W_{convv} = [(q_b + q_r) \cdot R] \cdot \alpha \cdot w \pm (q_b) \cdot h \cdot e^{\mu \cdot \alpha}$$

Estas ecuaciones determinan la resistencia en los tramos curvos convexos sin considerar las tensiones de entrada y salida al tramo.

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), se 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, con estas utilizando las

fórmulas clásicas, 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, 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 elementos constitutivos principales de una banda transportadora en función de los requerimientos del proceso. El programa ha sido desarrollado en Visual Basic y en él están involucrados aspectos técnicos requeridos así como algunos de los estándares y normas que los fabricantes de elementos para bandas transportadoras han publicado para la selección de sus componentes. Luego de una consideración breve de las generalidades y los parámetros de diseño tales como: tipo de material a transportar, capacidad requerida, perfil de la trayectoria del transportador, ancho, velocidad de la banda, entre otros, se procede a calcular los siguientes parámetros: capacidad máxima de transporte, fuerzas, potencias y tensiones en la banda. En base a estos resultados, se realiza finalmente la selección y diseño de los diferentes elementos constitutivos de la banda transportadora.

Sin embargo, a pesar que se proporcionan 11 perfiles, no se da la posibilidad de construir el perfil de cálculo para cualquier perfil del terreno real, solo se utilizan los apoyos de rodillo de un rodillo (plano) y de dos y tres rodillos (acanalado), no se escoge la velocidad de movimiento de la banda de acuerdo a un criterio científico o de optimización y en el cálculo no se tiene en cuenta la resistencia al movimiento en los tramos convexos hacia arriba y convexos hacia abajo. Los aspectos anteriores hay que considerarlo para hacer la selección y explotación de los transportadores mas racional y correcta técnicamente.

La resistencia al movimiento en los tramos rectos y curvos a lo largo de todo el transportador se denomina resistencia distribuida. En contraposición a esto la resistencia en los puntos de retorno, desviación, puntos de carga y descarga, dispositivo de limpieza se denominan resistencias concentradas. (Pérez)?

La resistencia en los tramos rectos ya sean horizontales e inclinados se determinan por la siguiente expresión (Tarasob,1980; Diakov,196; Faddiev,1972; Potapob,1980; Spibacoski,1983;)

$$W_c = [(q_c + q_b) \cdot \cos \beta + q_r] \cdot w \cdot l \pm (q_c + q_b) \cdot \sin \beta \cdot l \quad W_v = [(q_b) \cdot \cos \beta + q_r'] \cdot w \cdot l \pm (q_b) \cdot \sin \beta \cdot l$$

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

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

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

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

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

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

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

Resistencia en los tramos curvos

Los tramos curvos en la traza del transportador de banda se distribuyen a lo largo del perfil en el plano vertical. A la resistencia al movimiento que surge como resultado del peso de la carga y las partes móviles debe agregarse otra resistencia complementaria como consecuencia de la tensión del órgano de tracción y la aparición de fuerzas radiales que oprimen a este contra el sector curvado, estas últimas no tienen aún definida una expresión matemática para su determinación. Estos tramos curvos se logran suavizar mediante la instalación de baterías de rodillos estacionarios, que tienen cambios de dirección en el plano vertical. Los cambios de dirección de la banda a parte de los que necesariamente tienen que existir en los extremos de la traza y que se logran con el empleo de tambores, pueden ser convexos o cóncavos. [Ôriol, 1995, 1993]

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 convexidad hacia o hacia arriba. [Oriol, 1995; Tíjonov, 1987]

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, en la rama cargada esta 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 $l_r = (0,4 \text{ a } 0,5)l$ y la cantidad de rodillos se determina por (Oriol, 1995)

$$Z = 1 + \frac{R \cdot \beta_k}{l_r}$$

donde R; es el radio de curvatura del tramo curvo

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

En el transportador de Pinares están presentes todos los casos mencionados anteriormente.

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 **Bacilieb K A et al (2006)**, plantea que $B = 1,1 \cdot \left(\sqrt{\frac{Q}{K \cdot v \cdot \gamma}} + 0,05 \right)$; donde el

coeficiente k se determina de la tabla siguiente

PARÁMETRO	FORMA DE LA BANDA					
	PLANA		ACANALADA			
			$\alpha = 20^\circ$		$\alpha = 30^\circ$	
Ángulo del talud, grad	15	20	15	20	15	20
Coeficiente k	240	325	470	550	550	625

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 del mineral laterítico es mayor que estos valores, por lo que no se corresponden y es necesario determinar el valor de K mas racional.

Potapob (1980), determina los valores o utiliza los valores del coeficiente k según la tabla 25 en Anexos

Tipo de banda	Valores del coeficiente k				
	Angulo de inclinación de los rodillos laterales(α); en grado				
2 rodillo	k	450	500	590	---
	α	15	20	30	---
3 rodillo	k	470	555	585	610
	α	20	30	35	40
4 rodillo	k	620	660	---	---
	α_1	15	18	---	---
	α_2	30	36	---	---
5 rodillo	k	630	680	690	705
	α_1	22,5	30	36	---
	α_2	22,5	30	25	---

En ningún caso se tienen en cuenta los valores del ángulo del talud para el mineral laterítico

Sierra (2005), determina los valores del coeficiente de forma K para el mineral laterítico.

1.6 Construcción del perfil del Transportador

La traza de los transportadores de banda es recta, aunque en la actualidad se están instalando transportadores con la traza curva, como es en Pinares de Mayarí para el traslado del mineral laterítico para la Empresa Comandante Rene Ramos Latour.

El perfil del Transportador de Banda es la distribución de las alturas y las longitudes de cada tramo a través de toda la traza. Se forman tramos rectos horizontales e inclinados así como tramos curvos en los puntos de cambio de pendiente, que pueden ser cóncavos o convexo. Estos datos se obtienen a partir de la traza obtenida en el plano topográfico. Es importante tener en cuenta los ángulos máximos de inclinación permisible del transportador que depende del coeficiente de fricción entre la banda y el material, de la fricción interna del material, del ángulo de reposo estático y el método mediante el cual el material es depositado sobre la banda. La experiencia práctica demuestra que la operación resulta eficiente y segura, sin que exista derramamiento del material por los bordes de la banda, cuando el ángulo de inclinación es entre 7 y 10^0 menor que el ángulo de fricción del material contra la banda. Esto se explica por el hecho de que la banda se comba en los rodillos, dando lugar a que a la entrada de estos, la banda tenga un ángulo real mayor que el de la inclinación geométrica del conductor. La inclinación máxima recomendada para los conductores de banda, de acuerdo con el material transportado puede obtenerse a partir del coeficiente de fricción estático f_0 .

1.7 Características y Propiedades del Mineral Transportado

Las reservas de Ni y Co de Cuba están asociadas a yacimientos de lateritas de donde se extraen dichos metales. Las lateritas cubanas son ricas en óxidos de hierro y serpentina, aunque también están presentes otros minerales en menor proporción, tales como óxidos de aluminio, cuarzo y espinelas cromíferas. Dentro de los óxidos de hierro, las fases mineralógicas más importantes son goethita, magnetita y maghemita. La presencia de estas fases mineralógicas determinan, en gran medida, la eficacia del comportamiento de las suspensiones en operaciones tecnológicas importantes de las fábricas donde se tratan, como son las plantas de sedimentación y lixiviación. Las suspensiones de mineral laterítico, constituyen sistemas polidispersos muy complejos con características coloidales y comportamiento reológico variable, debido a la influencia de diferentes factores, cuyo peso cualitativo y cuantitativo todavía no está del todo bien establecido por lo que requiere aún de investigaciones específicas.

1.7.1 Clasificación y características de los materiales

El tipo de carga a transportar y sus características físico-mecánicas constituyen el principal factor que determina el tipo y diseño de las maquinas transportadoras y sus equipos auxiliares.

Los materiales transportados se dividen en dos grupos:

- 1- Bultos.
- 2- A granel.

Para la correcta selección del tipo y parámetro de las maquinas transportadoras es necesario tener muy en cuenta las características y propiedades de los materiales a granel.

1.8 Dispositivos de limpieza

La limpieza total de la banda; o sea la eliminación de las partículas de cargas tienen 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

1.9 Dispositivo de carga

La carga del transportador de carga a granel se produce desde la tolva o desde equipos tecnológicos de transporte y de carga. La carga del transportador de cargas en bultos o paquetes se realiza de equipos de transporte y de descarga.

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 banda
- 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 derramamiento ni estancamientos de la carga
- La banda se deja libre por ambos lados y floja 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 los 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. Ver Fig 6 en Anexos.

1.10 Sistemas de Alimentación y Puntos de Transferencias

Limpiadores de Bandas y Accesorios

El sistema de limpieza múltiple originalmente adoptado por Martin Engineering es ahora el estándar para aplicaciones en bandas transportadoras trabajando con todo tipo de sólidos a granel alrededor del mundo.

LOS alimentadores sirven para controlar el flujo del material hacia los transportadores o maquinaria de proceso. También facilitan la disposición de los equipos como la ubicación, dirección o flujo y otras consideraciones similares, son requeridos cuando el material debe ser extraído de silos o de contenedores, esto no lo puede hacer eficazmente un transportador o directamente una máquina, debido a esto se utilizan los alimentadores.

1.11 Dispositivos de tensado

En los equipos de transporte con elementos de tracción, la instalación del dispositivo de tensado, como regla, es obligatoria. 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 instalación transmisión cuando se sobrepasa el límite teórico de carga y de alargamiento excesivo del elemento de tracción.

1.12 Flujo Tecnológico

El transportador pinares de mayari, se destina para el transporte de mineral Laterítico de níquel desde la meseta Pinares hasta Piedra Gorda con productividad de 800 t/h y una longitud de 11km, divididos en varias secciones que lo constituyen una planta de cribado, varios transportadores incluyendo uno curvo y una instalación de ferrocarril para el llenado de los vagones que transportan el mineral hasta la fabrica de níquel situada en Nicaro. Ver Anexos Fig.1 y 2

A la planta de cribado llegan los camiones y depositan el mineral a la tolva de recepción que tiene situada una parilla para granulometría 500 mm. En esta área se sitúa una tenaza hidráulica con un motor de 36kW para las labores auxiliares. En la parte baja e interior de la tolva receptora de mineral se desplaza la denominada cinta de placa A01 con motor de 90 kW situado en la cabeza y que deposita todos los componentes minerales a una zaranda o criba vibrante con abertura máxima de 150 mm y movida por un motor de 36KW que deposita las rocas en el transportador de rechazo C01 con 92m de largo y es movido por un motor de 26KW situado en la cola. Ver Anexos Fig.7

El mineral beneficiado cae desde la criba al transportador C02.1 de 126 m de longitud y es movida por un motor de 54kW en la cabeza. Este deposita el mineral en el transportador de la meseta C02/O3 con largo total de 4.54 km que aunque es recto no deja de ser complejo debido a las irregularidades del terreno y se hace sinusoidal. Este transportador es movido por dos motores de 190 kW, uno en la cabeza y otro en la cola y la alimentación de estos al igual que la del resto de la parte de fuerza es de 440V, no siendo así la parte de climatización que es de 220V y esta a su vez es la que se utiliza para los transformadores de la parte de señal que es de 24 V y 60 V de CD.

El Transportador C03.1 es un transportador que se le incorpora a la criba central y que deposita el mineral en el C02/O3 donde se sitúa el sistema de báscula para el pesaje de mineral que regula y mantendrá siempre las 800t/h. Este Transportador posee un motor de 44kW en la cabeza.

El Transportador curvo C04 posee 4 motores de 190kW y es movido solo por la cola, todos estos transportadores no se alimentan directamente de la red, sino a través de un convertidores de frecuencias del tipo ACS 80007/U7(45 a 560Kw), ver Anexos Fig. 3 para controlar motores de CA. Este transportador tiene una longitud de 4.75km

Comienza en la meseta y termina en el patio ferroviario en Piedra Gorda en la estación de vagones, posee un radio de curvatura de 3km, finalmente descarga en transportador C05 desplazante de movimiento longitudinal con objetivo de llenar las dos estaciones de llenado y se mueve por la cabeza por un motor de 132kw, siendo su longitud de 760m y deposita en los transportadores C07.1 Y C07.2 de 9m de largo y con motores de 55kW cada uno que depositan el mineral en tolvas de llenado de los vagones de cargas y consta de sensores de llenado que siempre le indican al operador el volumen de mineral que hay en existencia.

1.12.1 Características Eléctricas del Transportador

El Transportador consta de dos líneas eléctricas de fuerzas de 33KV; una principal que viene de la subestación de Guerrita y una segunda que viene de mayarí de 19km que tiene su acceso por el camino de la loma de la bandera. Estas dos líneas llegan hasta el

punto central P2 donde se hará la subestación central de 34.5kv/6.3Mva de capacidad y una subestación de 6.3KV/0.48KV con capacidad de 1600KVA y las dos pizarras de 33KV y de 6.3KV (PDG) están dentro de la estación central C02, los interruptores de sobre carga de 33KV son a base de carga de hexafloruro de azufre y los de 6.3KV son del mismo material, de la subestación de 6.3 sale 440V que alimenta esta estación.

El punto P2 o central consta de la estación C02 que es la que controla a C01 y C03 y al transportador curvo (C04).

En el punto P03 se encuentra la estación C03 que controla el transportador C05 del patio ferroviario con sus dos transportadores C07.1 Y C07.2 y una subestación de 6.3 KV/0.48KV con capacidad de 630 KVA, que su alimentación es a través de cable trifásico de 3*240mm que corre por todo el sistema estructural del transportador. Los cables de señal también viajan por la estructura solo que por el otro lado. Todos los motores poseen al menos el tipo de norma IP55 y son adecuados para el servicio de excavación con vibraciones.

1.12.2 Automatización y control

- El sistema de Transporte de mineral, será controlado por autómatas programables (PLCs) a lo largo del transportador.
- Como sistema informativo, se propuso la evaluación por el proveedor FAM la instalación de la última variante del sistema EROS de la Empresa SERCONI. Este sistema conectado con la Red de la Fábrica, para lo cual se instalo un Sistema de Radio Enlace, entre la mina Pinares y el edificio Central de la Empresa, además por esta Red
- Llegan los servicios de Voz, Correo Electrónico e Internet.
- Las maquinas computadoras que conforman el sistema informativo serán PC Standard, con todos los accesorios periféricos, tanto de hardware como de software para la instalación de los mismos.

1.12.3 Funcionamiento del Transportador de Banda de Pinares de Mayarí

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

1. Revisión general de las instalaciones.
2. 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 frenos electromagnéticos.
6. Revisión de los rodillos.
7. Poner en posición de arranque el transportador y en la pantalla de monitor, luego de hacer un chequeo al sistema general donde aparecerá la orden de arranque.
8. Revisar las resistencias de frenado.

El transportador funcionara por el denominado sistema de cascadas o escalones, que significa la puesta en marcha inicial del transportador C05 en Piedra Gorda, posteriormente el transportador curvo C04 y dando paso al de la meseta C02/03.

1.12.4 Operación del alimentador

Una vez en funcionamiento los transportadores se pondrán en marcha los dependientes de la estación de cribado C02.1 Y C03.1 que descargan el mineral sobre el C02/03 y acto seguido los transportadores de rechazo C01 en planta de cribado nueva así como C3 y CR en planta de cribado vieja y los sistemas de cribado.

El alimentador de mineral a través de las cintas de placas metálicas de ambas plantas es el último que se pondrá en servicio del sistema y esto tiene su explicación, por lo contrario se llenaría la caja de la criba ofreciendo grandes resistencias en el torque de arranque del motor.

La parada del sistema de transportadores se realizara en el proceso inverso a la arrancada y todo ello parar evitar el embotamiento o sobrecarga de mineral sobre las instalaciones transportadoras.

El enlace de las estaciones de dirección puede ser automática, semiautomática, o manual y este se hará por fibra óptica que va a la estación central C02 donde se encuentra el autómatas del tipo AC800F que controlara todo el sistema.

Todos los accionamientos de las cintas transportadoras pueden manipularse independientemente en sus estaciones, están previstas de varias funciones de control, estas estaciones poseen un UPS para mantener la continuidad del trabajo del autómatas en el momento del cambio de líneas en las fallas eléctricas.

1.12.5 Puesta en marcha de la instalación

Para la puesta en servicio de la instalación se debe conectar el interruptor de potencia o de protección del motor y el accionamiento principal y secundario en los paneles de conmutación de baja tensión del contenedor número 2. El operador de pizarra de control general se comunica con todos los operadores de las zonas de carga y descarga informándoles que procederá la arrancada de la instalación, este pulsará el botón de marcha general poniendo en funcionamiento el sistema. La instalación arrancara en forma de cascada para evitar derrame del mineral en los tolvinos donde descargan los transportadores, siendo el C05 el primero en ponerse en funcionamiento y a continuación el C04, el C02/03, y el C02.1 y finalmente el extractor de placas articuladas.

Ver Esquema General en Anexos.

1.12.6 Operación de parada del Transportador

El transportador C05 es el ultimo equipo del sistema que debe pararse, esto se hace con el objetivo de que las bandas transportadoras se queden vacías, no sufriendo los motores de los transportadores en su próxima arrancada, de lo contrario el torque de los motores se hace muy grande afectando el tiempo de duración del mismo.

Para la parada del transportador el operador le dará la señal de parada correspondiente al sistema y luego de un chequeo general a todo el transportador desde el alimentador de placa hasta los extractores de tolvas C07.1 y C07.2 en el punto de descarga para asegurar que todos queden sin mineral.

1.12.7 Sistema de parada de la instalación

- ❖ Parada en automático o planificada: Es la que efectúa el operador de pizarra central desde el contenedor No2, pulsando la botonera Parada General. Esta es coordinada por con el Jefe de Turno y Jefe de Brigada de la estación de carga en Piedra Gorda. Este tipo de parada se produce cuando el tren esta lleno y las tolvas receptoras donde descarga el C07.1 y C07.2 están a un nivel máximo de carga. Se realiza en cascada, al contrario de la puesta en marcha, en esta ocasión se detendrá primero el extractor de placa para evitar derrame de mineral atascamientos en los tolvinos y tolvas.
- ❖ Parada por emergencia: se efectúa cuando se detectan visualmente anomalías en el sistema.
- ❖ Parada por avería: Esta ocurre cuando presenta desperfectos técnicos, ya sea mecánico, eléctrico, lubricación o falta de energía eléctrica.

1.12.8 Condiciones Ambientales

- ❖ Altitud: 650 m sobre el nivel del mar
- ❖ Clima: clima tropical húmedo
- ❖ Temperatura a la sombra: +18,2 a +32,5°C
- ❖ Humedad relativa: 61 al 90 %
- ❖ Viento máximo: 180 km/h

1.12.9 Partes mecánicas y aspectos generales que se han tenido en cuenta para el transportador

1. Instalación con capacidad máxima de manipulación hasta 800 t/h.
2. La ubicación de la nueva criba es en un lugar central al yacimiento y de fácil acceso.
3. En los puntos donde existan equipos instalados de grandes pesos (motores, reductores) existen facilidades de izaje.
5. La solución de diseño de la Criba semi móvil presenta tres partes armadas entre si con uniones roscadas que permite que puedan ser desarmables y recolocadas en otra posición sin grandes gastos.
6. Se sustituye el martillo rompedor de piedras sobre las rejillas con dimensiones mayores de 500 mm por equipo con mordaza hidráulica rompedora, por las ventajas que aporta al no trabajar directamente sobre la parilla y la facilidad para sacar las rocas en caso necesario.
7. El volumen de la tolva será el mínimo necesario para garantizar la capacidad de diseño de la criba en virtud de lograr continuidad del flujo de mineral alimentando a los transportadores de 800 t/h, considerando la frecuencia de llegada de los camiones, la operaron del deposito del mineral y la posibilidad de descargar dos camiones a la vez.
8. Se diseño un depósito de mineral auxiliar aledaño a la instalación que hizo flexible la operación, garantizo la continuidad del flujo para operar en tiempo de lluvia y permita alimentar mineral directamente de este a la tolva.
9. Diseñar el depósito de rechazo en área definida por la instalación considerando la operación del mismo. La cantidad de mineral de rechazo será hasta un 10% del mineral alimentado.
10. Los tolvinos o puntos de transferencias de un transportador a otro están dotados de un registro por la parte superior que permita el acceso al interior y ser limpiados y eliminadas las obstrucciones de mineral en tiempo de lluvia.
11. El techado de estos transportadores es metálico. (Ver Anexos)

12. Existe un grupo electrógeno como equipo universal, portátil y auto energizado para el empalme de las bandas (posibilidad de entregar 440, 220, 110V), así como todas las herramientas necesarias para este trabajo. Este equipo posee disponibilidad de alumbrado portátil para la instalación y facilidad para conectar máquinas de soldar y otros equipos eléctricos.
13. Los frenos en los transportadores grandes son electromagnéticos y en los transportadores pequeños mecánicos.
14. Existe un sistema de separación magnética, detector de metales y pesaje de mineral.
15. La estación de vagones es techada y con aleros protectores de arrastres de agua.

1.13 Características Generales

Esta instalación de transportadores, transporta el mineral extraído desde la mina Pinares hasta un punto de carga de Vagones (Piedra Gorda) que sustituyó el Sistema de Transporte de los Planos Inclinados por un sistema de transportadores de Bandas para garantizar el suministro estable del Mineral a la Planta Metalúrgica, esto permitió cerrar las operaciones de la Mina Martí por su agotamiento en el año 2005.

Con este sistema de Transportadores de Bandas, se garantiza el suministro incrementado y estable de transporte de mineral a la Planta Metalúrgica, para alcanzar una capacidad de transportación de hasta 3.3 millones de toneladas métricas por año de mineral húmedo para satisfacer los requerimientos de incremento de la producción de Ni + Co hasta 17000 t/año por un tiempo prolongado.

El sistema de planos inclinados fue construido en 1906 por los americanos, y por su importancia histórica forma parte del Patrimonio Nacional de nuestro País en estos momentos.

Los planos inclinados se pueden ver en Fig.10 y 11 en Anexos.

1.13.1 Régimen de explotación

Capítulo II: Materiales y Métodos

2.1 Introducción

En el capítulo anterior se realizó un análisis referente a las cuestiones teóricas, en este capítulo se llevará a cabo la metodología de cálculo para la determinación de los parámetros tecnológicos de dicho transportador, se definen algunas cuestiones de mantenimiento y mediciones experimentales de productividad y potencia.

2.2 Cálculo de los Transportadores de Banda

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.

Durante el mismo tendremos el siguiente orden de cálculo.

- 1- Podemos tener de datos 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 Y 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.

Existen otras series de datos que aparecen en los textos.

Veamos como se determinan los diferentes parámetros según el orden establecido.

Determinación de la productividad y el ancho de la banda del transportador (banda).

Conociendo la productividad de la empresa (A), podemos conocer la productividad del transportador que se necesita (plan) según

$$Q = \frac{A \cdot K_i}{T}; \quad [t/h] \quad (1) \text{ Ver los **datos Técnicos** en Anexos}$$

Q- Productividad planificada del transportador $[t/h]$

A- Productividad anual de la empresa $[t/año]$

T- Tiempo de trabajo al año $[h/año]$

K_i - Coeficiente de irregularidad en el trabajo. Para los transportadores que trabajan junto a la excavadora K_i varia de (1,3 a 1,5). En los transportadores principales $K_i = (1,11 \text{ a } 1,25)$. Estos valores pueden sufrir variaciones en casos específicos.

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

$$B = 1,1 \cdot \left(\sqrt{\frac{Q}{K_c \cdot v \cdot \varphi \cdot \gamma}} + 0,05 \right); \quad [m] \quad (2)$$

Donde:

K_c - Coeficiente que tiene en cuenta la forma de la banda (**tabla 25**) en Anexos.

v - Velocidad de movimiento de la banda; en [m/s].

φ - Coeficiente de disminución de la productividad que tiene en cuenta el ángulo de inclinación del transportador (tabla).

γ - Peso volumétrico del material a transportar en [t/m³].

Q - Productividad en [m³/h].

Si la productividad está expresada en m³/h

$$B = 1,1 \cdot \left(\sqrt{\frac{Q}{K_c \cdot v \cdot \varphi}} + 0,05 \right); [\text{m}] \quad (3)$$

el ancho de banda calculado se estandariza según los siguientes valores :

400, 500, 650, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000

Luego de determinado el valor óptimo del ancho de banda estandarizado según el tamaño de las partículas del material a transportar según

- Para las cargas compuestas por pedazos grandes en un 15% de la masa total

$$B \geq 2,3a2,5a_{\text{máx}} \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

- Para cargas clasificadas con en contenido principal de pedazos con un tamaño determinado (a) en una proporción de aproximadamente el 80% de la masa total

$$B \geq (3,3a4,6)a; \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

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.

$$V_R = \frac{Q}{K_c \cdot \varphi \cdot (0,98 - 0,05)^2}; [\text{m/h}]$$

Q en m³/h

B en m

Determinación de la resistencia o la marcha del transportador.

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

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

El peso lineal de la banda lo determinamos según

$$qb = \gamma_b \cdot B \cdot (\delta \cdot i + h_1 + h_2); \text{ [N/m]} \quad (6)$$

γ_b - Peso volumétrico de la banda en [N/m^3].

B - Ancho de la banda en [m].

δ -Espesor de una capa m. Varía de 1,25 a 2 mm.

i -Número de capas . Se toma de forma arbitraria mayor que 3.

h_1 - Espesor del revestimiento superior en m.

h_2 - Espesor del revestimiento inferior en m.

$h_1 = (2 \text{ a } 3); \text{ [mm]}$

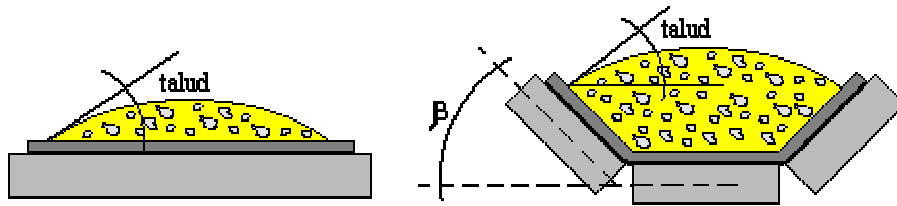
$h_2 = (1,5 \text{ a } 2); \text{ [mm]}$

$$q_c = \frac{Q}{3,6 \cdot V}; \text{ [kg/m]} \quad (7)$$

Ángulo de reposo (talud)

Se forma cuando una carga a granel se deja caer libremente formando una pila sobre una superficie horizontal, la superficie lateral se distribuye formando un ángulo (φ) con la horizontal.

Este ángulo depende de la movilidad entre las partículas, a mayor movilidad menor será su valor, esta movilidad depende de la fuerza de cohesión y del coeficiente de fricción que depende de la humedad, temperatura, y de su granulometría.



β ángulo de artesa.

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

Para la rama cargada

$$q_r' = \frac{G_r'}{l_r'}; \text{ [N/m]} \quad (8)$$

Para la rama vacía

$$q_r'' = \frac{G_r''}{l_r''}; \text{ [N/m]} \quad (9)$$

G_r' y G_r'' → Peso de los apoyos de rodillos en la rama carga y vacía respectivamente [N]

l_r' y l_r'' → Distancia entre rodillos de apoyo en la rama carga y vacía respectivamente [m]

$$l_r' = (0,9 - 1,5) \text{ m}$$

$$l_r'' = 2 \cdot l_r'$$

Dividiremos entonces el contorno del transportador en partes rectas y curvas y estas a su vez por sus puntos característicos.

En los tramos rectos entre los puntos característicos la resistencia a la marcha la calculamos según:

Para la rama cargada

$$W_c = \{[(q_b + q) \cos \beta + q_r'] \omega' L \pm (q + q_b) L \cdot \sin \beta\} \quad (10)$$

β - ángulo de inclinación del tramo en cuestión (grados)

L – Longitud del tramo (m)

ω' - coeficiente de resistencia al movimiento en la rama cargada

Para la rama vacía

$$W_c = \{[q_b \cos \beta + q_r''] \omega'' L \pm (q_b) L \cdot \sin \beta\} \quad (11) \quad \text{unidad}$$

ω'' - coeficiente de resistencia a la marcha de los rodillos en la rama vacía

Podemos considerar

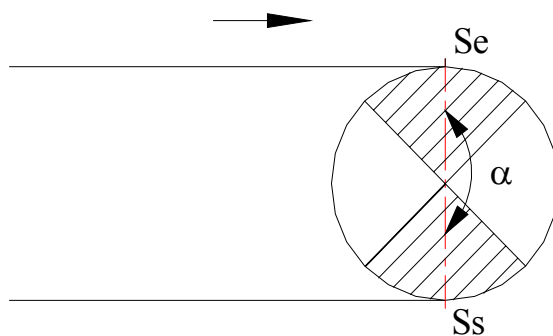
$$\omega' = \omega'' = \omega$$

$\omega = 0,02 - 0,03$ para bandas estacionarias.

$\omega = 0,04 - 0,05$ para bandas no estacionarias.

El signo (+) se utiliza cuando el movimiento es ascendente y el signo (-) cuando el movimiento es descendente.

Para ver el primero observemos el siguiente gráfico.



Como hemos dicho en clases anteriores el esfuerzo que se transmite a la banda viene dado por la diferencia de tensiones a la entrada y a la salida, veíamos 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 tambor motriz es igual al esfuerzo transmitido.

$$W_{tm} = S_e - S_s \quad (12) \quad \text{unidadd}$$

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

Entonces sustituyendo en (12)

$$W_{tm} = S_s \cdot (e^{f \cdot \alpha \cdot des} - 1) \quad (13)$$

O expresándola en función de de la tensión de entrada

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

$$W_{tm} = S_e \cdot \frac{e^{f \cdot \alpha \cdot des} - 1}{e^{f \cdot \alpha \cdot des}} \quad (14)$$

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.

$$W_{tm} = S_s - S_e$$

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

$$S_s = S_e \cdot e^{\omega_t \cdot \alpha} \quad (15)$$

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

$$W_{td} = S_e \cdot e^{\omega_t \cdot \alpha} - S_e$$

$$W_{td} = S_e \cdot (e^{\omega_t \cdot \alpha} - 1) \quad (16)$$

O expresando en función de la tensión de salida

$$W_{td} = S_s - \frac{S_s}{e^{\omega_t \cdot \alpha}} = S_s \left(1 - \frac{1}{e^{\omega_t \cdot \alpha}} \right)$$

$$W_{td} = S_s \cdot \frac{e^{\omega_t \cdot \alpha} - 1}{e^{\omega_t \cdot \alpha}} \quad (17)$$

Cuando la banda bordea una zona transitoria de cambio de pendiente, la convexidad puede estar hacia arriba o hacia abajo.

Cuando está hacia arriba la resistencia a la marcha de la banda por:

$$W_{cp} = S_s - S_e$$

pero

$$S_s = S_e \cdot e^{\omega_r \cdot \theta}$$

Por lo que

$$W_{cp} = S_s \cdot \left(\frac{e^{\omega_r \cdot \theta} - 1}{e^{\omega_r \cdot \theta}} \right) \quad (18)$$

$$W_{cp} = S_e \cdot (e^{\omega_r \cdot \theta} - 1) \quad (19)$$

Donde:

ω_r : Coeficiente de resistencia al movimiento de los rodillos en el tramo. Puede ser igual a ω' y ω'' en dependencia del tramo que se esté calculando.

θ : ángulo central del tramo curvilíneo.

Cuando la convexidad es hacia abajo, entonces los rodillos se colocarán de forma tal que estos pasen por la curva de enlace entre los puntos de entrada y salida (según la parábola), por lo que la resistencia en este tramo puede ser considerada igual a cero.

$$W_{cp} = 0$$

W_{cp} : Resistencia por el cambio de pendiente en los tramos curvos sobre apoyos de rodillos.

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

$$W_{dc} = C \cdot \frac{q \cdot (V - V_0) \cdot V}{g} \quad (20)$$

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.

Vo: velocidad de la carga en la dirección del movimiento.

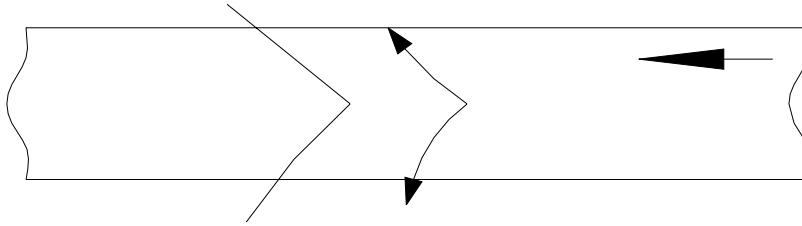
Cuando el material cae en dirección perpendicular Vo = 0 por lo que

$$W_{dc} = C \cdot \frac{q \cdot V^2}{g}, N \quad (21)$$

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

En el punto de descarga la resistencia al movimiento se determina por:

$$W_{dd} = C \cdot B \cdot q ; [N] \quad (22)$$



C' - Coeficiente que toma valores entre 2,7 y 3,6

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

$$W_{dl} = q_1 \cdot B ; [N] \quad (23)$$

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 cepillos giratorios se toma igual de 2 a 6 veces mayor que la velocidad lineal del cepillo (V_c) y esta a su vez se toma mayor que la velocidad de la banda entre las magnitudes de 1,2 a 2; es decir

$$q_1 = (2\%6)V_c$$

$$V_c = (1,2\%2)V$$

Determinación de la tensión de la banda.

Como para la determinación de las resistencias hemos dividido el contorno del transportador en varias secciones dadas estas por los puntos característicos, entonces

CAPITULO III. Análisis de los resultados

3.1- Introducción

En el siguiente capítulo se realizará un análisis de los parámetros tecnológicos del Transportador, teniendo en cuenta los parámetros nominales instalados por el fabricante la firma FAM y los de explotación con las condiciones reales de trabajo y las características del mineral transportado y utilizando la metodología expuesta en el capítulo II.

Se efectuará un análisis estadístico y procesamiento de los datos de los dos Transportadores Principales, el C02/03 y el C04 por ser dos transportadores magistrales.

El objetivo del capítulo es:

Mostrar el análisis de los resultados alcanzados con la metodología de cálculo actual, compararlos con los resultados obtenidos experimentalmente en los Transportadores de la Mina Pinares de Mayarí y comparar con los nominales.

3.2. Análisis de los resultados obtenidos en la investigación

El estudio realizado nos permite comparar los valores teóricos calculados del transportador para diferentes productividades con los valores experimentales obtenidos directamente en el transportador C02/03 y C04 de la mina Pinares de Mayarí de la ECRRL en las condiciones reales de explotación.

El perfil con sus diferentes datos de los transportadores analizados se pueden observar en los planos.

En los Planos se muestra el perfil del transportador C0203 y C04 y en la tabla 8 y 11 sus respectivos datos de longitudes, ángulos de inclinación y varios datos técnicos del diseño.

La Tabla A en Anexos muestra los resultados del cálculo del transportador magistral C0203 y C04 de la mina Pinares de Mayarí de la ECRRL, utilizando la metodología de cálculo de los transportadores de banda perfeccionada actualmente (Mena 2006) expuesta en el capítulo 2. Utilizando el mismo factor de tracción y variando la productividad en correspondencia con los valores experimentales obtenidos; en Anexos tabla 25 se puede apreciar cuanto pueden aumentar los diferentes valores de tensión y

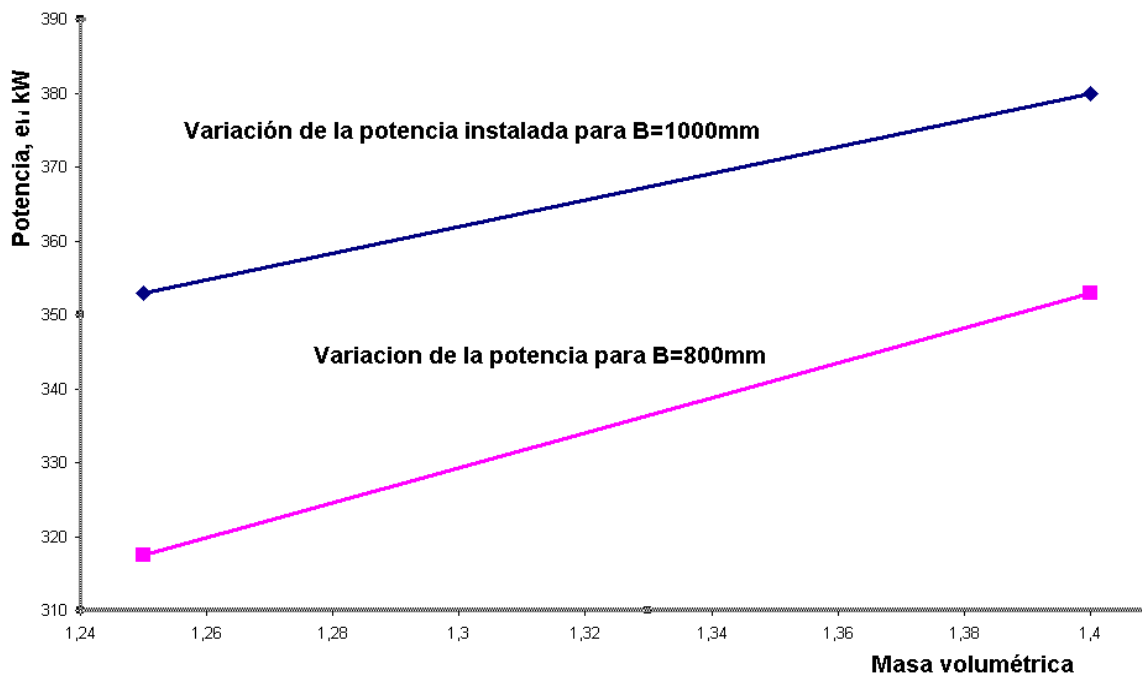
resistencia al movimiento en función del aumento de la productividad, lo que influye de manera directa en la potencia del transportador.

Tabla A

Transportador	Nn (kW)	B (mm)	Q_N (t/h)	Ncal (kW)	Bcal (mm)	M, Vol t/m ³
C02/03	2x190	1000	800	353	1000	1,4
C04	4x190	1000	800	713	1000	1,4
C05	132	1000	800	115	1000	1,4

Tabla B Transportador C0203

Descripción	N (kW)	B (mm)	Q (t/h)	M vol. (t/m ³)
INSTALADA	380	1000	800	1,4
Cálculo	353	1000	800	1,25
Cálculo	317,5	800	800	1,25

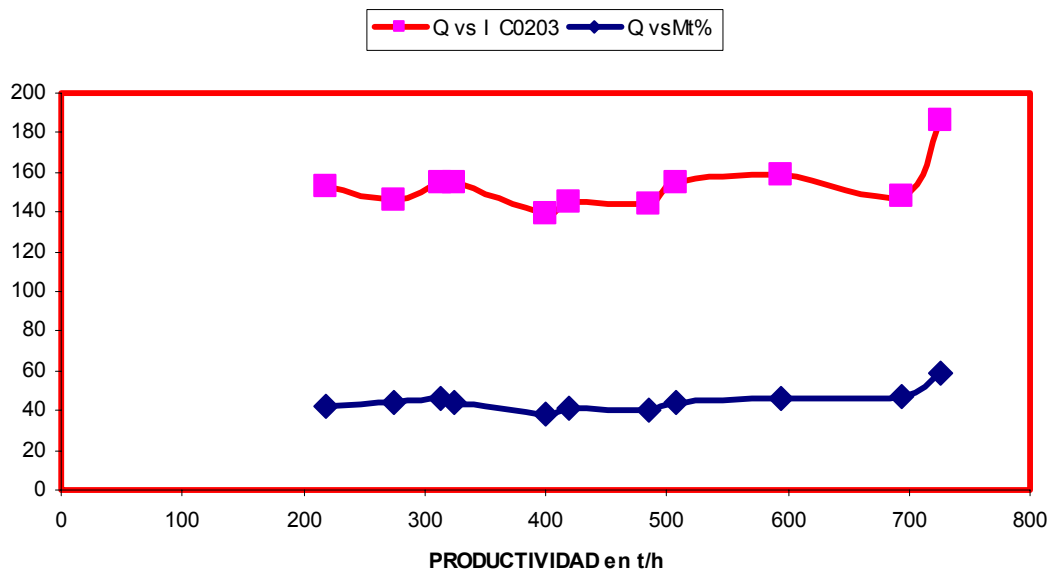
**Figura A**

Variación de la potencia respecto a la masa volumétrica para bandas de 800 mm y 1000mm.

De la gráfica se observa claramente las pérdidas de energía permanente en el transportador C0203

De los valores experimentales realizados se observa que los transportadores C0203 y C04 de banda están subutilizado. De la Tabla 24 en Anexos se puede apreciar que el transportador C02/03 se mantiene trabajando por debajo de 50 % para cualquier valor de productividad medido en tiempo real. De la Tabla 23 se observa que los valores de corrientes tienen menor valor, esto es debido a que el transportador C04 está más subutilizado a pesar de tener 4 motores de accionamiento (4x190kW) y que cuando la productividad adquiere valor equivalente a que el peso lineal de la carga (q_c) es mayor que el peso lineal de los rodillos y la banda (q_r y q_b), debido a la gran pendiente en descenso con carga, el motor del transportador en vez de consumir energía trabaja en régimen de frenado regenerativo.

Los valores de las graficas A y B se obtienen de los análisis estadísticos de los resultados experimentales de la Tabla 25 en Anexos.

Fig. B

Figura, Comportamiento de la corriente y el momento del motor en función de la productividad en el transportador C0203

El valor nominal de corriente es de 285A.

En el gráfico A se observa que a medida que aumenta la productividad el momento se incrementa en magnitudes pequeñas y siempre esta por debajo del 60%, incluso para productividades cerca de 800t/h. Esto demuestra el nivel de subutilización del accionamiento del transportador instalado para la transportación del mineral laterítico en la mina Pinares de Mayarí. De los cálculos realizados y las mediciones efectuadas tabla 25 en anexos se puede apreciar que la productividad nunca alcanza los 800 t/h, por lo que continuamente el transportador esta subutilizado, si a esto le agregamos que los cálculos de proyecto se realizaron para una masa volumétrica de $1,4 \text{ t/m}^3$ y que la masa volumétrica real según Barrientos (2005) es de $1,25 \text{ t/m}^3$ como máximo, constituyen las causas fundamentales de las pérdidas de potencia y energía durante la explotación del Transportador C02/03.

Comparando los resultados de la tabla A y el gráfico A obtenido este último de los parámetros experimentales en la tabla 25 de los anexos.

3.3. Valoración económica

Valoración de la explotación del transportador C02/03

Los transportadores de banda se caracterizan por su alta productividad, con altos gastos capitales de instalación y relativamente pequeños costos de los gastos de explotación. La economía de un transportador de banda se determina fundamentalmente por el tiempo de servicio de la banda el cual depende del carácter de la carga transportada. En este caso el cálculo esta dado por el ahorro de energía, el incremento de la vida útil de la instalación y la disminución de los gastos de inversiones para el mantenimiento, la medida de reconstrucción y modernización.

Determinación de los gastos de energía eléctrica durante la transportación

$$AE = \frac{\sum N \cdot K1 \cdot K2 \cdot T}{\eta_l} \quad (\text{kW/h})$$

donde:

$\sum N$, Potencia total del transportador, en kW.

K1, coeficiente que considera el grado de utilización de la potencia nominal

K1=0.75 a 0.85

K2, coeficiente que considera el grado d utilización de la jornada laboral

K2=0.7 a 0,8 para los transportadores que trabajan en los frentes de trabajo, cerca de la excavadoras, dispositivos de homogenización.

K2=0,85 a 0,95 para transportadores magistrales.

η_l , coeficiente que considera las pérdidas en la línea de transmisión.

η_l =0,9 a 0,95

T, Tiempo de trabajo del transportador por jornada (día), en h.

T=21h/jornada para el caso de pinares de Mayarí

AE = 4834,6 kW/h para 353 kW

AE = 5204,34 kW/h para 380 kW

AE = 4348,37 kW/h para 317,5 kW

Determinación de las pérdidas por concepto de subutilización de la potencia instalada.

Con el aumento de las pérdidas no sólo disminuye el rendimiento, sino también empeora el factor de potencia.

Acercando la potencia el factor de potencia y el rendimiento propio del motor (Sierra, 1987).del motor a la carga real que demanda la instalación, se mejora notablemente

El factor de potencia promedio medido directamente en la planta actualmente oscila entre 0,84.

Las pérdidas se determinan por

$$N_p = N_n \cdot \left(1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_n} \right) ; \text{ kW}$$

donde: $\cos \varphi_1$; es el factor de potencia medido.

$\cos \varphi_n$; es el factor de potencia nominal.

N_n ; potencia nominal en kW

Los resultados se muestran en la Tabla C

Tabla C.

Procedencia	Potencia kW	Factor Potencia nominal	Productividad t/h	Pérdidas kW
Potencia cálculo B=1000mm	353	0,90	800	23,5
Potencia de cálculo B=800	317,5	0,90	800	21,16
Potencia Nominal	380	0,90	800	25,33

Debemos considerar que cuando se utilice el transportador con la potencia real obtenida las pérdidas disminuyen.

Determinación del costo de la energía consumida.

$$CE = AE \cdot b$$

b; tarifa que se paga por 1kW.h

$$b = 0,073$$

El ahorro por concepto de energía eléctrica

$$CE = 4834,6 \times b = 352,93 \text{ CUC/h para } 353 \text{ kW}$$

$$CE = 5204,34 \times b = 379,92 \text{ CUC/h para } 380 \text{ kW}$$

$$CE = 4348,37 \times b = 317,43 \text{ CUC/h para } 317,5 \text{ kW}$$

Si se utiliza B=1000 mm y masa volumétrica de 1,25 t/m³

$$379,92 - 352,93 = \mathbf{26,99 \text{ CUC/h}}$$

Si se utiliza B=800 mm y masa volumétrica de 1,25 t/m³

$$379,92 - 317,43 = \mathbf{62,49 \text{ CUC/h}}$$

Determinación del costo por concepto de banda.

$$Cb = Lb \cdot Sb, \text{ CUC}$$

donde:

Lb; es la longitud total de la banda.

$$Lb = 2 \cdot \left(\sum_{i=1}^n (L_i \cdot \cos \beta_i) \right) + 2 \cdot \pi \cdot D + 2 \cdot Lt; \text{ m}$$

L; longitud total horizontal del transportador; m

D; diámetro de la tambora motriz; m

Lt; altura del contrapeso de tensión; m

Sb; costo de 1m de banda.

Los resultados del cálculo, tabla 3.2

Costos por la elección de la banda

Tabla 3.2

Banda	1000 mm	800 mm
Costo (Banda)	3000000 CUC	2760000 CUC

El ahorro por concepto de utilizar una banda más racional de 800mm es 3000000-2760000=240000 CUC

Costo del m de banda

De 1000 mm =125CUC/m

De 800 mm =115 CUC/m

De lo planteado anteriormente podemos comparar los costos de ambas bandas y llegar a la conclusión de la importancia de la correcta elección de los parámetros tecnológicos de los transportadores de bandas para la valoración económica.

3.4 Conclusiones del Capítulo III

En este capítulo se realizó un análisis económico teniendo presente el valor del ancho de banda de 800mm y una masa volumétrica diferente a la del diseño, se determinaron los costos de la banda en relación a lo planteado. El cálculo económico se llevó a cabo para el valor real del ancho de banda y el calculado.

CONCLUSIONES

- Los cálculos demuestran que los transportadores instalados en la mina Pinares de Mayarí tienen instalada un ancho de banda superior, (1000mm) al real necesario que es (800mm), esto se verificó con los resultados experimentales.
- El accionamiento del Transportador tiene una potencia instalada ineludiblemente mayor que la real requerida para el movimiento y arranque del transportador.
- Existen grandes pérdidas de energía por concepto de subutilización de los accionamientos que actualmente es de 26,99CUC/h.
- El cambio de la banda de 1000mm por una banda de 800mm implica un ahorro de 240 000 CUC.
- El transportador C04 esta más subutilizado que el transportador C02/03 desde el punto de vista del accionamiento electromecánico.
- Se pudo realizar el objetivo del trabajo.

RECOMENDACIONES

- En las nuevas inversiones variar los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda teniendo en cuenta los resultados obtenidos, en especial el ancho de banda y la potencia eléctrica, para lograr mayor eficiencia energética.
- En los diferentes puntos de transferencia disminuir la altura de caída del mineral.
- Utilizar este documento como consulta para posteriores trabajos que se realicen en esta entidad.
- Proponer un mantenimiento periódico a los transportadores que mas averías presentan.
- Recalcular todos los parámetros de los transportadores de banda en la empresa Comandante René Ramos Latour para que no existan tantas dificultades a la hora de cambiar un dispositivo del mismo.

Bibliografía

- 1- Bonet Borja, C. Monografía Fiabilidad de las máquinas automotrices e industriales. Prever 2004.
- 2- Hernández Sampier, Roberto. Metodología de la investigación, Editorial
- 3- Félix Varela, La Habana, Cuba, 2004, Tomo 1y 2.
- 4- Martínez G. S. T., Montes de Oca J. Estudio del transportador central para la fabricación de calzado. Trabajo de diploma, facultad de electromecánica, ISMM, Moa, 2001.
- 5- Matushev, L. G; Sumin, V. N. Dispositivos de transporte y *depósitos de las fábricas de enriquecimiento*. Moscú: Vneshtorgizdat, 1985. 206 p.
- 6- Méndez Galardy, O. Automatización de la metodología de cálculo de los transportadores de banda. Trabajo de Diploma, facultad de Electromecánica, ISMM, Moa, 2002.
- 7- Navarrete Pérez, E., González Martín, R. Mantenimiento Industrial. Tomo I. MES ISPAJE 1986.
- 8- Oriol G. J. M., Aguilar P. F. Máquinas de Transporte Continuo. Tomo I. Editorial Pueblo y Educación. 1995. Libro.
- 9- Portuondo Pichardo Fernando. Economía de Empresas Industriales. Editorial Pueblo y Educación. 1983.
- 10- Potapob N. G. Maquinas de Transporte. Niedra. Libro. 1980.
- 11- Quesada Fajardo, W. F. Coeficiente constructivo en transportadores de banda. Minería y Geología, 1993, Vol. X, No 3, 34 – 38.
- 12- San Martín Ferrer, J. Selección del sistema de transporte de minerales en la empresa Rene Ramos Latour para el yacimiento Canadá este. Trabajo de Diploma, facultad de Electromecánica, ISMM, Moa, 2001.
- 13- Spibacoski A. O., Potapob M. G. Máquinas y Complejos de Transporte en las Labores Mineras. Libro. Editorial Niedra. 1983.
- 14- Toll Macias P. P. Estudio del Movimiento Dinámico de las Cargas a Granel, sobre el órgano portadores los transportadores de banda. ISMM. Facultad Electromecánica. 1993.
- 15- Zelenkii O. B., Petrob A. C. Manual para Proyectos de Transportadores de *Banda*. Niedra. Moscú, 1986.

- 16 Hinojosa, "Software para diseño de Bandas Transportadoras". Tesis, Ing. Mecánico, FIMCP, ESPOL, 2002
- 17 Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA), Belt Conveyors for Bulk Materials, 2nd Edition
- 18 Deutsche Norm, Belt Conveyors for Bulk Materials, DIN 22101
- 19 Dodge, Catálogo de selección de componentes para bandas transportadoras
- 20 Goodyear, Handbook of Conveyor and Elevator Belting, 1975
- 21 Shigley, Mischke, Diseño en Ingeniería Mecánica. McGraw-Hill, 5a ed.
- 22 North American, Inc. Transall División, Belt Conveyor Idlers Catalogue
- 23 Roulunds, Conveyor Belting Catalogue
- 24 SKF, Catálogo General de selección de rodamientos, 1997
- 25 Targhetta L., López Roa, A., Transporte y Almacenamiento de materias primas en la industria básica, Tomo 2, Editorial Blume, 1970
- 26 TransTech Publications, Bulk Solids Handling—The International Journal of Storing and Handling Bulk Materials, Vol. 6, No. 2, April 1986

Sitios web consultados

<http://www.fineprint.com>.

<http://www.imt.mx>

<http://expertos.monografias.com/>

<http://www.monografias.com/mediakit>