



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

# TRABAJO DE DIPLOMA

*En opción al título de*

# Ingeniero Mecánico

*TITULO:* Explotación de los transportadores de banda para el mineral laterítico  
en la Empresa Comandante Ernesto Ché Guevara.

*AUTOR:* Yunieski Núñez Ochoa.

*TUTOR(ES):* M.Sc. Roberto Sierra Pérez.

*Ing. Lorenzo Velásquez.*

*Ing. Alfredo Donatim Carbonell*

“Año 49 de la Revolución”

Moa, 2007



**Resumen:**

---

En el siguiente trabajo se realizó una minuciosa investigación de algunos transportadores de banda de la mina de la empresa Comandante Ernesto Ché Guevara, donde se hizo una recopilación de fuentes bibliográficas que nos permitió fomentar sobre los temas a tratar, se aplicó la metodología de cálculo perfeccionada por Sierra 2005, teniendo en cuenta las propiedades físico mecánica, perfil y la traza del transportador. Se determinaron experimentalmente la productividad en dependencia con las averías ocurridas entre 2006-2007. Además se determinó de forma directa el consumo de potencia en función de las productividades. También se establecieron las pérdidas por concepto de consumo de energía y una valoración económica del nivel de utilización de los transportadores y que impacto tienen estos con el medio ambiente.

**Abstract**

In the following work he/she was carried out a meticulous investigation of some transporters of band of the mine of the company Ernesto Ché Guevara, where a summary of bibliographical sources was made that allowed us to foment on the topics to try, the sophisticated calculation methodology was applied by Sierra 2005, keeping in mind the properties physique mechanics, profile and the appearance of the transporter. They were determined the productivity experimentally in dependence with the mishaps happened among 2006-2007. It was also determined in a direct way the consumption of power in function of the productivities. The losses also settled down for concept of energy consumption and an economic valuation of the level of use of the transporters and that I impact they have these with the environment.



## Índice

---

Introducción.....	1
<b>Capítulo I Marco teórico de la investigación</b>	
1.1 Introducción .....	4
1.2 Estado del arte .....	4
1.3 Análisis de los trabajos precedentes.....	8
1.4 Antecedentes de la cintas transportadoras .....	18
1.5 Flujo tecnológico del proceso .....	19
1.6 Propiedades físico – mecánicas. Definiciones .....	21
1.7 Ventajas y desventajas de los transportadores .....	22
1.8 Ventajas y desventajas de las bandas como órgano de tracción flexible .....	22
1.9 Afectaciones provocadas por las alturas .....	23
1.10 Sistema de mantenimiento.....	23
1.11 Conclusiones del Capítulo.....	25
<b>Capítulo II Materiales y métodos</b>	
2.1 Introducción.....	26
2.2 Materiales y equipos empleados .....	26
2.3 Sistema de alimentación.....	26
2.4 Cálculo de los transportadores de banda.....	29
2.5 Diseño experimental.....	34
2.6 Descripción teórica.....	35
2.7 Estudio de la fiabilidad.....	36
2.7.1 Factores principales que influyen en la fiabilidad.....	38
2.7.2 Criterios de fiabilidad.....	39
2.7.3 Fallos. Clasificación.....	40
2.8 Estrategia de mantenimiento propuesta.....	43
2.8 Conclusiones del capítulo.....	45



**Capítulo III Análisis de los resultados**

3.1 Introducción.....	46
3.2 Análisis de los Resultados.....	46
3.3 Análisis de la fiabilidad del transportador TR-2.....	49
3.4 Valoración económica.....	49
3.5 Impacto medioambiental.....	52
3.6 Conclusiones del Capítulo III.....	54
Conclusiones.....	55
Recomendaciones.....	56
Bibliografía.....	57
Anexos	

## **Introducción**

---

Con el pasar de los años nuestro país se ha visto en la necesidad de modernizar todas las industrias, con el objetivo de ahorrar energía eléctrica, por esta razón se ha venido trabajando en la introducción de nuevas técnicas y nuevos equipos en la rama del transporte para así tener un ahorro de combustible considerable, es decir, disminuir importaciones e introducir mejoras en la calidad de una instalación.

La explotación de los equipos de transporte es un factor de gran importancia para la producción de nuestro país. Esta se logra teniendo los equipos diseñados según los parámetros técnicos correctos y que estén funcionando en condiciones de trabajo óptimas. Especial importancia tiene el transporte de mineral laterítico por medio de los transportadores de banda en el taller 01 y la planta de preparación de mineral en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Los requerimientos de grandes volúmenes de producción han hecho que los transportadores continuos de bandas se constituyan en los elementos más adecuados para mover material al granel, principalmente cuando se trata de grandes distancias y tonelajes.

Los transportadores de banda son las maquinas mas generalizadas por sus ventajas con respecto en comparación con otros tipos de transporte.

En la planta de recepción de mineral se vienen presentando algunas deficiencias en los transportadores de banda en estos últimos años, como son:

- Los parámetros tecnológicos de los transportadores no se comprueban y seleccionan correctamente con la metodología de cálculo propuesta.
- Insuficiente garantía de piezas de repuesto e insumos mínimos par mantener un buen nivel de fiabilidad de las partes y piezas que componen estos equipos.
- Irregularidades en la alimentación del mineral a la banda.

Por tales razones se pretende 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 siempre interesante interrelación entre: ancho de banda, productividad, potencia de accionamiento. Es oportuno trabajar en la automatización de la metodología de cálculo de estos equipos.

En la industria cubana del níquel, cuyo desarrollo va en constante ascenso, en los últimos años se han presentado 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.

Al considerar las deficiencias planteadas anteriormente se establece como **situación problemática**:

Durante el funcionamiento de los transportadores de banda utilizado para el transporte del mineral laterítico en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara se presentan algunas irregularidades que afectan el proceso de transportación ocasionando paradas frecuentes, averías, roturas en la banda y pérdidas energética.

Dentro de los fallos ocurridos están rajaduras de la banda, roturas de los empalmes mecánicos, rodamientos de los rodillos de apoyo de banda que se trancan, se desajustan, guarderas flojas y zafadas, desgates de los dispositivos de limpieza, etc. El sistema de mantenimiento es prácticamente por averías. El plan de mantenimiento planificado casi no se cumple dentro de otras cosas por la cantidad de paradas de los transportadores por averías.

El sistema de alimentación del mineral tiene irregularidades en cuanto a la forma que cae el mineral sobre la banda y principalmente la altura de caída.

Lo que conlleva al siguiente **problema científico**:

Las frecuentes averías de los transportadores de banda durante el transporte del mineral laterítico en la planta de Preparación de Mineral de la ECECG. y el deficiente sistema de alimentación del mineral sobre el transportador y por tanto el alto consumo específico de energía.

Como **objeto de estudio** se encuentra:

Los transportadores de banda para el mineral laterítico.

**Objetivo:**

Fundamentar las regularidades del comportamiento del mineral laterítico durante la alimentación sobre los transportadores de banda en la ECECG y sus influencias en el mismo.



**Objetivos específicos:**

1. Determinar los parámetros que caracterizan el mineral laterítico durante la alimentación sobre los transportadores de banda para diferentes condiciones de explotación.
2. Determinar el nivel de fiabilidad de trabajo sin fallo, las causas principales de las averías para las condiciones reales de explotación.
3. Establecer el sistema de mantenimiento de acuerdo al análisis estadístico realizado.

**Hipótesis:**

Si se disminuyen las averías más frecuentes de los transportadores y se adapta la potencia y el ancho de banda instalada a la real necesaria, se incrementa el nivel de fiabilidad de los transportadores y se disminuyen las pérdidas por concepto de energía y de piezas de repuesto.

**Tareas:**

1. Trabajos precedentes.
2. Recolección y procesamientos del comportamiento de las averías por transportador y por piezas.
3. Estudio y análisis del sistema de mantenimiento.
4. Obtener el nivel de fiabilidad de los transportadores de banda.
5. Análisis de los resultados.

---

## CAPITULO 1- Marco teórico-metodológico de la investigación

---

### 1.1. Introducción

El proceso de extracción y transporte de mineral constituye un eslabón fundamental en la industria cubana del níquel, así como el transporte mediante transportadores de banda, ya que esta es una de las vías más eficientes para la obtención de la materia prima necesaria con vista al arribo del producto final en el cual se requiere de una elevada calidad.

**El siguiente capítulo tiene como objetivo** realizar una breve reseña acerca de los trabajos que se han realizado acerca de la extracción y transporte de mineral laterítico por transportadores de banda, así como una minuciosa descripción de la instalación donde se realizará la investigación.

### 1.2. Estado del arte

El transporte de producto o materias primas mediante bandas transportadoras, data 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 provoco incentivar a los ingenieros para considerar los transportadores como rápidos, económicos y seguros método para mover grandes volúmenes de materias primas entre dos o mas puntos, alejados entre si, ubicados generalmente, dentro de una misma planta elaboradora.

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 la segunda Guerra Mundial, los componentes naturales de los transportadores se volvieron muy escasos, permitiendo que la industria de goma se volcara a crear materiales sintéticos que reemplazaran a los naturales. La ventaja básica de los transportadores de cinta sobre otros tipos de transporte (como lo son camiones, trenes, transporte aéreo, etc.)

es su variada aplicabilidad a los diferentes requerimientos de la industria. Diferentes estudios indican que hoy, los transportadores de banda se han convertido en el primer método utilizado para el transporte de material.

Verdecía (1986) hizo referencia a la sustitución de tres transportadores vibrátiles por transportadores de banda en los hornos de calcinación No 1 de la empresa René Ramos Latour en Nicaro, Mayarí debido a que aquellos son de poca eficiencia y que originan pérdidas de producto final para el transporte e óxido de níquel.

San Martín (2001) realizó los cálculos de las reservas geológicas disponibles en las zonas minerales para la empresa René Ramos Latour, las cuales serán procesadas por esta fábrica. Se determina la variante más racional para el transporte de mineral del yacimiento Canadá-Este. Se determinaron los principales parámetros de dos medios de transporte: teleférico y transportador de banda. Se partió del plano topográfico donde se eligieron variantes de traza en planta para ambos medios de transporte. Para el transporte teleférico se eligió un tipo de vagoneta que garantizaba la productividad horaria calculada seleccionándose el cable portador y de tracción. Se determinó el perfil real mediante un programa de computación. Para el transporte se hizo la elección cuyo ancho y velocidad garanticen la productividad calculada. Se propusieron normas de seguridad.

Hernández (2001) ejecutó los cálculos de dos variantes de transportación del azúcar como producto final en el Central Agro Industrial, CAI Fran País Gracia. Las variantes consisten en transportador de banda y transportador de tablilla; en el de banda se determinó su ancho y tipo, se seleccionaron los rodillos de apoyo, las tamboras, motriz y de cola respectivamente, así como el accionamiento (motor y reductor). En el de tablilla se selecciona su ancho, el tipo de cadena así como los cálculos de comprobación y el motor de accionamiento con su reductor. Por último se realizó el cálculo económico de cada una de las variantes previstas y se plasmaron las principales medidas de seguridad y protección e higiene.

Además el trabajo realizado por Breff (2002). Expone una descripción de los transportadores de banda para la transportación de los minerales en la industria, estos constituyen el medio de transportación más difundido por su gran velocidad de trabajo.

En su trabajo de tesis Loyola (2002). Hizo los cálculos de los transportadores de banda en el taller 01 de la Planta de Preparación de Mineral de la empresa Ernesto Che Guevara, los cuales son de vital importancia en el traslado de mineral.

Méndez (2002). Determinó en su trabajo de tesis el perfeccionamiento y actualización de una metodología de cálculo de los transportadores de banda. Se desarrollo el algoritmo de cálculo acorde a dicha metodología y a los intereses de la producción y la investigación. Se elaboró un programa Delphi 6 basada en la proyección del algoritmo anterior y por ultimo se exponle proceso de automatización del mismo teniendo en cuenta requisitos técnicos.

Otra investigación importante en este centro es la efectuada por Sierra (2005). Donde realizo el perfeccionamiento de la metodología de cálculo de los transportadores de banda. Para lograrlo determino el coeficiente contractivo a partir de las características del mineral laterítico. Determino experimentalmente la velocidad en dependencia del deslizamiento del minerales la zona de alimentación a la banda, la resistencia al movimiento en los tramos curvos convexos, sin depender de las tensiones de entrada y salida de estos y se determinaron experimentalmente de forma directa el consumo de potencia en funciona de la productividad. Además, se establecieron las perdidas por concepto de consumo de energía y una valoración técnico económica del nivel de utilización de los transportadores instalados. Se creo un algoritmo de cálculo en base a la metodología conformada y se confecciono un programa en Delphi 6. (BANDAC: EXE).

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 calculo 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 calculo 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 más racional y correcta técnicamente.

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; )

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

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

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

$\beta$  ; 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.

Varios autores han desarrollado la temática de los transportadores por banda determinado los distintos parámetros por principios técnicos comunes Spibacoski (1983).

Zelienkii (1986), Shubin (1986), y Potatob (1980). Según estos autores se determina el ancho de la banda en función de las propiedades del mineral a transportar, la velocidad y la productividad. La resistencia al movimiento se determina para cada tramo y se utiliza el método de contorno por puntos y en los tramos curvos la ecuación de Euler.

### 1.3. Análisis de los trabajos precedentes

Tarasob (1980), Pereda (1999) realizaron la metodología de cálculo para determinar la resistencia al movimiento en los tramos curvos 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.

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

Shubin 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 siguiente forma;

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

Para tramos cóncavos;

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

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

$$X^2 = 4 * P * y$$

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

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

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 cóncavos,

Para tramos convexos

$$w = [S_i + (q_c + q_b + 2qr)R_1] \beta_k \varpi \pm (q_c + q_b)h$$

donde :

$S_i$  : Tensión a la entrada del tramo.

Para tramos cóncavos,

$$w = (q_c + q_b + q_r) * L_T \varpi \pm (q_c + q_b) * h$$

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

$$S_s = S_i * e^{\varpi_r * \beta_k}$$

Según (Pereda, 1999; Potapob, 1980 no; Spibakoskii, 1983; Tarasov, 1980) la resistencia en los tramos curvos con la convexidad hacia abajo se determina por la siguiente ecuación

$$W = S_e \cdot k'$$

Donde  $k'$ ; coeficiente que considera el aumento de la tensión debido a la resistencia al movimiento en la batería de rodillos.  $K' > 1.0$  y depende del ángulo de abrazado del arco que forma la batería de rodillos

Otros autores plantean determinar la tensión mínima de trabajo considerando las cargas lineales de la carga y de la banda y de la distancia entre rodillos  $l_r$ .

$$S_{\text{min.trab.}} = (10 - 5) \cdot (q_b + q_c) \cdot l_r$$

Esto no es correcto por varias causas, en primer lugar en el perfil del transportador no se puede conocer en que punto de la rama cargada esta situada la mínima tensión sin haber obtenido el valor de todas las tensiones de esa rama. En segundo lugar, la tensión en un punto es igual a la tensión en el punto anterior más la resistencia entre los puntos y a su vez, esta última puede ser muchas veces mayor porque depende de la longitud del tramo, del perfil de la traza y de las dimensiones de los rodillos de apoyo y tambores motrices y de desvío o retorno.

$$S_n = S_{n-1} + W_{n-1,n}$$

La tensión mínima de trabajo obtenida sirve para comprobar la flecha de la banda en la rama cargada.

Según Zelenskii (1986) la tensión en los tramos curvos convexo con carga sin considerar la presión hacia los elementos de apoyo se determina por

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

Sin carga

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

Si se aplica la teoría de Euler a las ecuaciones anteriores; para considerar la presión sobre los elementos de apoyos Méndez (2002)

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

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

Estas ecuaciones determinan la resistencia en los tramos curvos con convexidad hacia arriba, sin considerar las tensiones de entrada y salida al tramo. Sin embargo, dependen de parámetros como el radio y la diferencia de altura del tramo y el ángulo del arco que forma el tramo, que no siempre es conocido y más difícil de determinar cuando se proyecta el transportador; de tal manera, que garantice la menor resistencia posible y suavidad del tramo.

Hay autores que no consideran el cálculo de la resistencia al movimiento en los tramos curvos como Matushev, 1979; Gerontiev, 1962; Potapob, 1980 la consideran a través de

un coeficiente  $K_{rc} = 1,05$  a  $1,10$  y Bacilieb K A all et 2006  $K_{rc} = 1,03$  a  $1,05$ . Esto tampoco nos da exactitud en el cálculo, que se incrementa la imprecisión a medida que se aumenta el número de tramos del transportador.

Resumiendo los trabajos precedentes no calculan con precisión la resistencia al movimiento en estos tramos

### Consideraciones teórica de la velocidad de moviendo de la banda

Los parámetros tecnológicos de los transportadores están interrelacionados a través de la siguiente expresión

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

donde:

B ancho de la banda; en m

Q; es la productividad entregada por el transportador; en t/h.

$\psi$ ; Coeficiente que tiene en cuenta la disminución de la productividad debido al ángulo de inclinación longitudinal del transportador.

v; velocidad de movimiento de la banda; en m/s

K; Coeficiente constructivo que depende de las dimensiones transversales del transportador y de las propiedades del material transportado, algunos autores lo denominan coeficiente de forma.

La velocidad de movimiento de la banda es un parámetro, que no tiene establecida una metodología para la obtención o selección de sus valores más racionales para las distintas condiciones de explotación de los transportadores de banda, menos aún para los minerales lateríticos.

Según Shubin (1975-1986), tabla 9,5 página 31 la velocidad de la banda recomendada para descarga por el tambor cabezal la establece para distintos tipos de carga y ancho de banda (B), de acuerdo a la siguiente tabla.

B; en mm	400	500	650	800-1000	1200-1600
v; en m/s	0,8-2,0	0,8-3,0	0,8-3,0	0,8-4,0	0,8-4,0

En este caso plantea que:

- para las cargas abrasivas tanto de pedazos grandes y pequeños la velocidad  $v=1,0$  a  $2,5$  y  $3,0$  m/s, siendo los valores mayores para B máxima.
- para materiales pesados y ligeros en granos como cemento, arena  $v=1.5$  a  $3,0$  y  $4$  m/s.
- materiales en polvo, en condiciones que no se permite el esparcimiento  $v=0,8$  a  $1,0$  m/s.
- cuando la descarga se realiza por un arado, la velocidad se disminuye de un (10 a 15) %.
- cuando hay descarga de carro de doble tambor se recomienda disminuir la velocidad de 20 a 25 %.

En este caso, para la determinación de la velocidad de la banda hay que considerar el grado de movilidad de las partículas de la carga movediza o por pieza. Aquí, es importante la relación entre el ángulo de talud estático y el ángulo del talud dinámico de la carga transportada a granel. El tamaño de las partículas también se debe tener en cuenta

Según Tarasob, (1980, 1985), pág. 77 la velocidad de movimiento de la banda determina la productividad del transportador. Con el aumento de la velocidad de la banda crece el desgaste de la misma, principalmente en los apoyos de rodillos y tambores y disminuyen las dimensiones de las partículas de la carga y el ángulo del talud dinámico. La velocidad se determina de los análisis técnicos económicos, que son gastos reducidos, no sólo a los gastos de transportación, sino a otros gastos. La elección de la banda tiene que corresponder con los gastos reducidos mínimos. Para minas subterráneas y en interiores de fábricas, con frecuencia la velocidad es de  $1,5$  a  $3,0$  m/s, para transportadores magistrales la velocidad utilizada se puede incrementar hasta  $6$  a  $7$  m/s y en raras ocasiones hasta los  $10$  m/s. Cuando se transportan cargas polvorientas la velocidad se toma de  $0,8$  a  $1,0$  m/s. En la tabla 3 pág. 10 se ve que los menores valores mínimos corresponden a anchos de banda de  $650$  mm y para los granos polvorientos transportados por cualquier ancho de banda en el rango de  $650$  a  $1800$  mm los valores de velocidad de la banda es de  $1,0$  a  $2,0$  ( $2,5$ ) m/s. Los mayores valores de la velocidad de  $4,0$  a  $5,0$  m/s corresponden a los minerales extraídos a cielo abierto y para tamaño menores de  $350$  mm para anchos de banda de  $1000$  a  $1800$  mm.

En este caso se dan criterios para la selección de la velocidad de movimiento de la banda en base a experiencias aculadas y de condiciones de trabajo o explotación, considerando

el aspecto económico como criterio importante, sin no se establece un procedimiento que permita evaluar cual a de ser el valor de velocidad mas racional.

Oriol, 1995, plantea que la velocidad de movimiento de la banda del transportador depende de: la naturaleza del material transportado, de las dimensiones transversales de la banda y de la existencia de descargas intermedias del material transportado. Por experiencia se han tabulado los valores de velocidad en función de los parámetros citados. Sin embargo, en la práctica, esto requiere de un proceso de tanteo por la interrelación entre el ancho de la banda, la productividad, el perfil y las propiedades físicas y mecánicas del material transportado. La velocidad varía de 1,25 a 3,5 (4,0) m/s para materiales de determinada abrasividad. Los menores valores para anchos de banda de 400 a 650 mm. Para materiales finos (ligeros y pesados) y frágiles para cualquier ancho de banda, la velocidad se considera de 0,75 a 1,5 m/s. Los menores valores para materiales frágiles. El análisis anterior no establece la regularidad del comportamiento de los parámetros citados, para lograr racionalidad, validez técnica y energética durante la selección y explotación del transportador de banda. Debe establecerse siempre que sea posible escoger el ancho de banda más estrecho para la máxima velocidad recomendada, que será a su vez la velocidad más económica de funcionamiento.

Zelienskii, 1986, según las normas rusas la velocidad se establece según la serie o estandarización siguiente: 0,5; 0,63; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4,0; 5,0; 6,3. Se pueden seleccionar con margen de más menos un 10 %.

B, mm	400	650	800	1000	1200	1400	1600	2000
V, m/s	1-1,6	1-2,5	1-3,15	1-4,0	1-4,0	1-5,0	1,25-5,0	

De aquí, se ve que para bandas de 400 a 800 mm la velocidad no sobrepasa los 3,15 m/s. En este análisis no se establece el procedimiento o metodología de determinar la velocidad y seleccionarla de acuerdo a los valores de la serie establecida. No se cuestiona el comportamiento energético de aumento ancho de banda con el aumento de la velocidad, que es un aspecto a considerar de conjunto, por depender uno de otro directamente proporcional.

Pereda, 1999; plantea que la productividad calculada puede obtenerse en función de la variación de la velocidad y el ancho de la banda. Se puede obtener  $Q$  deseada con un valor de  $B$  pequeño y alto valor de  $v$ , lo que implica poco costo del transportador, pero un gran desgaste de la banda o al revés. Aún no existe la relación óptima con la cual se obtienen los gastos mínimos de explotación. La tendencia actual es de aumentar la velocidad. En los transportadores de canteras con anchos de banda mayor de 2000 mm, la velocidad alcanza 8 m/s.

La velocidad máxima se toma según el movimiento estable de la banda, el desgaste y la vibración de la misma y los rodillos, la trituración del mineral durante la caga y la descarga, cuando la carga es en pedazos se determina por los golpes peligrosos de los pedazos sobre la banda a su paso por los rodillos. La velocidad mínima de 0,75 m/s se determina por la observación de que el material en la descarga se desprege de la banda en la zona del tambor de descarga y caiga libremente, al evitar de este modo el desgaste excesivo de la banda debido al resbalamiento (roce) del material sobre el tambor

La velocidad máxima de 6.3 m/s se alcanza para el material de suelos arcillosos, arcilla, arenas desde bandas de ancho de desde 400 a 2000 y 3000 mm y la productividad desde 175 a 20 000 m<sup>3</sup>/h. Los menores valores de la velocidad para pedazos mayores de 100 mm y varia desde 1,6 m/s (320 m/s) a 3,15 (5000 a 10000 m<sup>3</sup>/h). Aquí vemos que para  $V=4.0$  m/s para  $B=800 - 1000$  mm y que valores mayores de la velocidad de 4m/s es para anchos de banda mayores de 1000 mm y productividad mayores de 1000 m<sup>3</sup>/h.

La tarea de seleccionar los valores de  $B$  y  $v$  se resuelven en el siguiente orden: se determina el ancho de banda mínimo según el tamaño de los pedazos de la carga y el valor racional del ancho de banda en función de la productividad  $Q$  (tabla 5.9 pág. 132 Pereda, 1999). Se toma el mayor valor de los resultados obtenidos. A partir de la ecuación 5 se recalcula la velocidad, si el resultado obtenido sobrepasa el valor que se puede alcanzar, entonces se incrementa el  $B$  y de nuevo se determina la velocidad. Si se presentan condiciones concretas, donde sea posible una mayor longitud del transportador para un equipo, entonces,  $v$  y  $B$  se toman mayor que las necesarias según su  $Q$ .

Según Potapob (1980) la velocidad en m/s se selecciona según la siguiente tabla

Productividad; en m <sup>3</sup> /h	Material mullido, movedizo	Material rocoso
400-750	2,0-3,0	1,5-2,5
1000-2200	3,0-4,0	2,0-3,0
2500-5000	3,0-5,0	2,5-4,0
6000-8500	4,0-7,0	2,5-4,5

Para anchos de banda de 1000, 1200, 1600 y 2000 hasta 2400 mm, la velocidad de movimiento de la banda se puede tomar hasta 5,0 a 7,0 m/s.

Como se observa, todos los autores analizados plantean criterios de selección diferentes y basados en su gran mayoría en la experiencia acumulada y no existe aún una metodología científicamente establecida para un material determinado, incluyendo los minerales lateríticos.

Durante la selección de la velocidad hay que considerar también, la altura de caída del material sobre la banda en los puntos de alimentación.

Según GOST-22645-77 el ancho de la banda esta normalizado: 300, 400, 500, 650, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 2000, 2500 y 3000 mm

Según Bacilieb K A et al 2006 los valores máximos recomendados de la velocidad de movimiento de la banda en m/s en la tabla Pág. 101

CARACTERISTICA DE LA CARGA TRANSPORTADA	ANCHO DE LA BANDA EN cm.					
	65	80	100	120	140	200
	1,0	1,0	1,25	1,25	1,66	1,66
	1,6	2,0	2,0	2,5	2,5	3,15
	2,5	3,15	4,0	4,0	4,0	5,0
	2,0	2,5	3,15	4,0	4,0	4,0
	2,0	2,5	3,15	4,0	4,0	-----
	-----	2,0	2,5	3,15	-----	4,0
	-----	1,6	2,0	2,5	2,5	3,15
	-----	1,15	1,6	2,0	2,0	2,5
	-----	-----	-----	2,0	2,5	2,5

Los valores de velocidad en este caso no dependen de la productividad que debe entregar el transportador

Según Cobas (2004) y Cobas et al (2006), Aplicando la teoría de campo orientado o método de control vectorial, un motor asíncrono se puede controlar como uno de corriente directa de excitación independiente. El grado de simplificación dependerá de si es alimentado por un inversor con ataque por tensión o por corriente, así como del tipo de modelo del motor que se utilice para su modelado o implementación. En este trabajo la alimentación es con fuente de tensión por lo que aparecerán acoplamientos entre los ejes  $d$  y  $q$ , además se utilizará el modelo T del motor de inducción. Se utilizó el modelo dinámico de una estera transportadora de caña de azúcar.

Los reguladores de velocidad vectoriales para motores de inducción son básicamente sistemas de control multivariable, donde el voltaje y la frecuencia de alimentación son las entradas del control y las salidas pueden ser: velocidad, posición, momento, flujo, corriente de estator o cualquier combinación de ellas. Las simulaciones que se han realizado se han efectuado

considerando solamente que se sustituye el motor de rotor bobinado por uno de jaula de ardilla sin realizar ningún otro cambio en la transmisión.

A través de los resultados aportados por las simulaciones se concluyó que si no se sustituye el reductor el control  $v/f$  es una opción buena, pero si es factible eliminarlo lo que representa la mejor opción, el control vectorial es la única condición operacional disponible.

El accionamiento de los transportadores de banda utilizan este tipo de motor, entonces, es posible el análisis de los métodos anteriores mencionados para la estera de caña.

Suweken G, Van Horssen W. T. (2003), analiza las vibraciones transversales de un transportador de banda considerando los modelos de una viga con efecto de cordón para describir las vibraciones verticales de una banda transportadoras cuando su velocidad es pequeña comparada con la velocidad de la onda. Asume que la banda se mueve con velocidad variable en el tiempo  $V(t) = \varepsilon \cdot [V_0 + \alpha \cdot \text{sen}(\theta \cdot t)]$  se construyen de forma aproximada asintóticamente. El modelo se complica dinámicamente cuando la frecuencia  $\theta$  es la suma o diferencia de dos frecuencias naturales con velocidad de la banda igual a cero.

Este aspecto es importante para la determinación del ángulo talud del dinámico del transportador.

Nuttall A.J.G. Lodewijks (2006a). Obtiene un modelo que describe o establece la relación entre la tracción y el deslizamiento en la curva de la banda en un tambor movido. Se incluye las propiedades viscoelásticas del caucho en la superficie según los elementos de Maxwell. Después de aplicar un factor de corrección entre los elementos adyacentes, que inicialmente no fueron modelados, los resultados experimentales muestran que el modelo genera una respuesta satisfactoria y que la velocidad de la banda tiene un pequeño efecto sobre la tracción dentro de los rangos permisibles de velocidad para el transportador de banda.

Este factor aun no da la precisión suficiente en los cálculos de los transportadores, porque no incluye la presión de la banda contra el tambor

Nuttall A.J.G. et al (2006b), determina la fricción rodante debido a la histeresis y la relación la tracción y el deslizamiento en los tambores movidos y rodillos de apoyo de los transportadores de banda con banda de caucho considerando tres parámetros del modelo Maxwell para un transportador recto. Se incorpora y se adapta para un tramo con cambio de pendiente y analiza la relación entre el deslizamiento (resbalamiento) y la tracción en estos tramos considerando la viscoelástica.

Siva Prasad N, Radha Sarma (1990), mediante un análisis de elemento finito calculan las deformaciones y tensiones en las superficies del tambor motriz y de la banda. La carga se distribuye según una serie de Fourier. Los resultados obtenidos analíticamente se corresponden con los experimentales. Se realiza un estudio paramétrico variando el ángulo de abrazado de la banda sobre el tambor y la tensión de la misma. Este cálculo mejora la exactitud de la banda sobre el tambor.

En este caso no se tiene en cuenta la presión adicional de la banda sobre el tambor.

Dhal B. B. and M. C. Pal (1991), se obtiene una solución analítica de un sistema de ecuaciones diferenciales exponenciales a través de todo el espesor (variando el espesor de la banda) de la banda en el arco del tambor motriz. La solución se corresponde con los resultados teóricos y experimentales para el tambor de acero, en particular para un espesor constante. Estos resultados se computan y se grafican y son de vital importancia para la optimización del espesor de la banda.

Estos resultados no se corresponden para las bandas de goma cable, que son las de mayor utilización en los transportadores magistrales de gran longitud y productividad

#### **1.4. Antecedentes de las cintas transportadoras**

Las cintas transportadoras son elementos auxiliares de las instalaciones, cuya misión es la de recibir un producto de forma más o menos continua y regular para conducirlo a otro punto.

Por otra parte, las cintas son elementos de una gran sencillez de funcionamiento, que una vez instaladas en condiciones suelen dar pocos problemas mecánicos y de mantenimiento.

Son aparatos que funcionan solos, intercalados en las líneas de proceso y que no requieren generalmente de ningún operario que manipule directamente sobre ellos de forma continuada.

Tanto el proyectista como el usuario suelen considerar que las cintas son elementos que únicamente complican y encarecen las instalaciones; por ello no suele prestarse la adecuada atención a todas aquellas características que no sean la potencia de su motor y la capacidad de transporte en toneladas/hora, olvidándose de las cotas de seguridad necesarias frente a los riesgos que como máquinas presentan, o, lo que es más grave, considerando las protecciones como elementos "accesorios o suplementos" que únicamente encarecen la instalación.

Así encontramos instalaciones en las que las cintas, por dejación, carecen de los más elementales medios de protección, o acaso disponen de algunos de los más diversos sistemas de seguridad. Pero raramente se encuentran cintas de nueva implantación que cumplan con las necesarias premisas para la prevención de los riesgos profesionales.

### 1.5. Flujo tecnológico del proceso

En esta planta (recepción del mineral) es donde se inicia el proceso productivo de ECECG. Según la tecnología carbonato amoniacal. La extracción del mineral laterítico y serpentinitico se realiza con escavadoras andante del tipo draga Lina ESCH – 5/45, retrocavadora EC – 650, la transportación se realiza con los camiones de marca VOLVO A40-D, la velocidad de transportación es de 30 a 40 Km/h los cuales descargan su contenido en unas parrillas fijas o cribas estacionarias 035-CF-1A y 035-CF-1B, estas cribas permiten la reparación de la fricción +450 mm (que es rechaza)

y la fricción -450 que cae en un alimentador de esteras de 600-1500 t/h. Este alimentador suministra el mineral a las zarandas de inercia 035-ZA-1A y 035-ZA-1B de capacidad 1750 t/h en las cuales las partículas mayores de 160 mm en el caso de la criba vibratorio 035-TR-1A pasan al transportador de rechazo 035-TR-5 A y las menores pasan por la rejilla al transportador 035-TR- 1 A, en el caso de la criba vibratoria 035-TR-1B con 160 mm en las dimensiones de la rejilla, las partículas mayores que esa dimensiones se rechazan y pasan al transportador 035-TR-5B, y las menores e esa dimensión caen al transportador 035-TR-1B, de capacidad 900 t/h, descargan el mineral a una tolva que lo conduce hasta el transportador 035-TR-2 que constituye la vía de enlace entre recepción del mineral y en dispositivo de homogenización.

Este transportador descargara en el 035-TR-3 que la peculiaridad de ser reversible o sea que puede descargar en los transportadores 035-TR-4 A y 035-TR-4B en dependencia del lado del deposito de homogenización en que se esta alimentando. Ambos transportadores descargan al depósito de homogenización.

El mineral procedente de la planta de recepción primaria (objeto 01) puede ser suministrado a la planta de preparación de mineral por dos vías:

- A través de Grúas Gantry
- Directamente por los transportadores de enlace 215-TR-14 y 215-TR-15.

Los transportadores que llegan al depósito de homogenización que tiene una capacidad de 36 0000 t húmedo o 28 días de trabajo de la planta lo hacen a través de un carro distribuidor móvil 215-D1-1 A y 1B. El mineral en el depósito de homogenización es empujadote por un buldózer hasta la zona donde las grúas gantry recoge y homogeniza y lo entrega a los transportadores 215- TR-5 y 5 A y 215-TR-6 y 6A a través de unos

alimentadores que se mueven solidarios a ellos 215 AL 2.A y 2B y 215 AL 2D los cuales poseen para el trabajo de alimentación unos transportadores pequeños 215-TR 8.A, 8B, 8C, 8D.

Los transportadores 215-TR-5 y 5 A y 6 y 6 A alimentan a los transportadores 215-TR-7 y 7 A los que se encargan de llevar el mineral homogenizado hasta los secaderos. Estos descargan sobre los transportadores 215-TR-8 y 8A que tienen como función alimentar a los transportadores que alimentan al depósito de mineral interior o de emergencia.

La alimentación a los secaderos se realiza a través de unos desviadores que se encuentran justamente sobre las tolvas de los secaderos. La alimentación al depósito se realiza de la misma forma, por medio de tres correas 215 TR 10.1, 10.2 y 10.3 colocadas entre los secadores 2 y 3, 4 y 5 y al final del edificio.

El mineral almacenado en el depósito interior se usara cuando por cualquier causa se interrumpa el suministro a los secaderos. La capacidad de este almacén posibilita a la planta trabajar durante 4 días.

Este depósito posee para la manipulación del material, dos grúas de puente GRL 101 A y B de capacidad 350 t/h. Se encarga de alimentar a los secaderos en los casos que se explicaron en el párrafo anterior. El mineral llegará a los secaderos a través de los alimentadores de esteras 215 AL 101 y 107 de capacidad variable 70, 105, 125 t/h y los TR 9.1-9.7 de capacidad 125 t/h.

El tambor secador posee una longitud de 4800 mm y un diámetro de 4500 mm. El mineral entra al secadero con una humedad de 36% y sale con una humedad de 4,5% según esta establecido.

El mineral después de secado es descargado a los transportadores 215 TR 11 y 11.A.

En estas correas se encuentran instaladas las romanas encargadas del pesaje del mineral seco. Este mineral es descargado en las correas 215 TR 12 y 12.A que lo enlaza con los molinos.

El mineral llega a los molinos de bola por las correas 215 TR 13.1 y 13.2, 13.3, 13.4 respectivamente.

Ver Tabla 4 (Anexo 5). Parámetros de pasaporte de los transportadores de banda de la Planta de Preparación de Minerales de la Empresa Ernesto Guevara.

## 1.6. Propiedades físico-mecánicas. Definiciones

Las cargas a granel se caracterizan por sus propiedades, dentro de las cuales podemos mencionar su granulometría, masa volumétrica, abrasividad, humedad, entre otras. A continuación definimos de forma breve algunas de ellas para su mayor conocimiento.

**Composición granulométrica:** es la distribución cuantitativa de las partículas según su tamaño. Esta propiedad determina la distribución de dichas partículas de acuerdo con sus medidas. Según este término las cargas pueden ser clasificadas o divididas en corrientes y clasificadas.

**Peso volumétrico:** este puede darse con respecto al macizo o al granel. El peso volumétrico en el macizo, es el peso de 1 m<sup>3</sup> de roca monolítica, secada a una temperatura de 100 – 105 °c. El peso volumétrico a granel, es el peso de 1 m<sup>3</sup> de roca desbrozada. La unidad de esta magnitud es t/m<sup>3</sup>.

**Coefficiente de mullido o esponjamiento:** se denomina así a la relación existente entre el volumen de la roca y el macizo, al tener ambos la misma masa. El valor de este coeficiente es siempre mayor que la unidad y expresa el aumento del volumen de roca desbrozada, comparado con su volumen en el macizo.

**Ángulo de reposo:** es el ángulo que forma la superficie lateral del material desbrozado, con la superficie horizontal. Este ángulo depende de la movilidad de las partículas de las cargas a granel. El talud de este ángulo depende del tipo de material, humedad, forma, granulometría, etcétera. Mientras mayor movilidad posea las partículas menores será el valor de este ángulo. Esta movilidad mutua de las partículas depende de las fuerzas de cohesión y del coeficiente de fricción. Según el estado del material (humedad, temperatura, compresión) y de su granulometría, este tendrá diferentes ángulos de reposo.

**Humedad:** se denomina así a la presencia de agua (no enlazada químicamente) en forma de capa superficial rodeando a las partículas u ocupando los espacios libres entre ellas. Este valor se expresa en %.

### **1.7. Ventajas de los transportadores de banda:**

Se logran grandes productividades, seguridad en el trabajo, facilidad para la automatización, posibilidad de variar la productividad en amplio rango, relativamente poco consumo de energía durante la explotación, sencillez en las labores de mantenimiento y reparación, posibilidad de cargar y descargar el material transportado en cualquier punto.

#### **- Desventajas:**

Desgaste rápido de la banda (poco tiempo de servicio de la misma) que es el elemento mas costoso del transportador; oscila en el orden del 50% del costo total del transportador, dificultad con la transportación de materiales pegajosos.

### **1.8. Ventajas de las bandas como órganos de tracción flexible**

1. Gran flexibilidad.
2. Poco peso.
3. Altas velocidades (4-6m/s).

#### **- Desventajas**

1. Transmisión por fricción lo que exige gran tensión inicial.
2. Poca durabilidad para cargas pesadas
3. Grandes deformaciones por sobre cargas o cambios de temperaturas
4. Rápido deterioro cuando se produce flexiones en sentidos diferentes (atesadores colgantes)

### **1.9. Afectaciones provocadas por las alturas en los distintos transportadores de banda de la planta de recepción de mineral.**

El transportador de banda 035-TR-1A 035-TR-1B de la planta de recepción de mineral viene presentando averías en la banda en los últimos años, como rajaduras, caída de rodillos, desajuste o aflojamiento de las bases de los rodillos de apoyo en los puntos de carga, desajuste en los empalmes. Producto a la gran altura (14m) con que impactan las partículas menores de 160 mm entre la zaranda vibratoria y el transportador. Una situación similar la presentan los transportadores 035- TR-2, 035-TR-3, 215-TR-14, 215-TR-15, esto produce rotura en la banda ocasionando grandes pérdidas económicas para la empresa y la vez al país.

### **1.10. Sistema de mantenimiento y reparaciones**

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, mantenimiento predictivo.

#### **Objetivos del Mantenimiento**

- Asegurar la fiabilidad y disponibilidad de los equipos durante toda su vida útil.
- Elevación continua 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.

#### **Ventajas del Mantenimiento Preventivo**

- Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado, y sus condiciones de funcionamiento.
- Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos/máquinas.
- Mayor duración, de los equipos e instalaciones.

- Disminución de existencias en almacén y, por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo.
- Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de mantenimiento debido a una programación de actividades.
- Menor costo de las reparaciones

### **El mantenimiento preventivo planificado (MPP)**

Es la programación de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido y no a una demanda del operario o usuario.

La característica principal de este tipo de mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial, y corregirlas en el momento oportuno.

El mantenimiento, tal como lubricación y ajustes, debe ser realizado en lo posible por personal calificado y entrenado. Se puede decir que el mantenimiento del transportador comprende a la lubricación, la alineación y tensión de la banda y a la alineación y tensión de la correa de transmisión de potencia.

### **Clasificación de las reparaciones en el mantenimiento preventivo planificado**

- Ligero (pequeño)
- Parcial (mediano)
- General

### **Fuerza de trabajo utilizada en las reparaciones.**

#### Brigada mecánica

Mecánico (A) ---2

Mecánico (B) ---3

#### Brigada eléctrica

Electricista (A) ---- 4

Electricista (B) ---- 2

## CAPITULO II. Materiales y métodos

---

### 2.1 – Introducción

Los transportadores de banda son las máquinas de transporte continuo más generalizadas por sus ventajas en comparación con otros tipos de transporte. En el ámbito de la industria, el manejo y manipulación de materiales constituye una parte fundamental dentro del proceso productivo. Ya que unos de los aspectos a tener en cuenta en las instalaciones que poseen transportadores de banda es la selección adecuada de la banda y los elementos constructivos que la forman.

El **objetivo** de este capítulo es:

Realizar un estudio experimental de la influencia de alimentación del mineral laterítico en los transportadores de banda ocasionando averías en el mismo.

Determinar el nivel de fiabilidad de los transportadores de banda de la ECECG para la transportación del mineral laterítico.

### 2.2. Materiales y equipos empleados

- Cinta métrica de cinco metros para medir el desplazamiento.
- Tacómetro para medir la velocidad de la banda.
- Tiza de yeso para marcar el recorrido de la partícula al caer en la banda.
- Cronómetro para medir el tiempo de descarga del mineral.
- Analizador de redes para medir la energía consumida en el transportador.
- Transportador de banda TR -2
- Transportador de banda TR -4A
- Transportador de banda TR -4B

### 2.3. Sistema de alimentación

En el transportador de banda el material que se traslada se pone en contacto con la banda en dos zonas fundamentales que son la de alimentación y la de reposo relativo. Producto a los cambios de dirección del movimiento de las partículas, las variaciones de su

velocidad y con ello su deslizamiento y choques fuertes que ocurren durante la operación de alimentación del material.

El transportador puede ser alimentado por uno o varios puntos a lo largo de su trayectoria. Cuando el material alimentado es a granel, la operación de alimentación debe hacerse lo más constante y uniforme posible, ya que el material se alimenta en forma continua.

La operación de alimentación se realiza de dos formas fundamentales:

1. Directamente desde otra máquina transportadora.
2. A través de tolva de alimentación.

La operación de los materiales a granel deberá cumplir ciertas condiciones para garantizar el buen funcionamiento del transportador, como son:

1. el material debe ser alimentado centradamente en la banda y fluir uniformemente.
2. debe ser disminuido el efecto nocivo que tiene lugar al caer el material sobre la banda y los rodillos de apoyo.
3. no debe producirse derramamiento del material en la zona de alimentación, ni estancamiento.
4. la alimentación no debe realizarse en todo el ancho de la banda.

Cuando se realiza la alimentación desde otra máquina transportadora, se deben utilizar guías o canales de diferentes tipos, que garanticen el no derrame de los materiales y no produzcan estancamiento. Se utiliza solamente guías en el caso de transporte de carga ligera de pequeños tamaños y poco abrasivo. Se emplean guías y canales en el caso de materiales pesados y de gran tamaño y abrasivos. El mayor desgaste de la banda tiene lugar en la zona de alimentación debido al deslizamiento del material por esta y también a los choques producidos durante la caída libre de las partículas, sobre todo de aquellas que poseen gran tamaño. El deslizamiento del material es resultado de la diferencia de velocidades entre las partículas alimentadas y la banda.

El proceso de alimentación del material (Toll; 1993) sobre la banda:

Considerando inicialmente que la banda este totalmente libre del material, es decir, que esta vacía. Al caer el material desde cierta altura, las partículas adquieren también cierta energía cinética en virtud de la altura de caída libre y producto de la transformación de la energía potencial en energía cinética. Este movimiento se ve bruscamente frenado por encontrarse la banda como un obstáculo que impide la continuidad de su movimiento y

que esta última, además, posee otra dirección de movimiento y otra energía cinética. Si la banda no tuviera movimiento y se obviarán las características elásticas de esta y de las partículas, la velocidad de estas al producirse el choque se anularía. Sin embargo, en realidad no es así. Debido a las propiedades elásticas de la banda y de las partículas, ambas se deforman y en mayor medida la banda, cuando esta es de goma, propiciado la aparición de grietas y rajaduras al ser vencido su límite de elasticidad y penetrar las partículas en su estructura. Además, sucede el salto de las partículas al ser rechazada por la banda siempre que no supere su límite de elasticidad. El movimiento de la banda arrastra consigo a las partículas que caen sobre ellas y le trasmite su energía cinética por medio de la fricción hasta que quedan en reposo relativo.

Al comenzar la alimentación se produce en toda la zona, con una alimentación perfectamente uniforme (en realidad es muy irregular) en todo el área, la colocación de una primera capa de material que se desplaza conjuntamente con la banda. A esta capa le sigue otra capa que caerá en un intervalo de tiempo  $dt$  posterior. Esta segunda capa no cae completamente sobre la primera ya que debido al movimiento de la banda esta ya se habrá movido una distancia  $dl$ . Lo mismo ocurre con las restantes capas, por lo cual se ira incrementando la altura del material depositado en la dirección de la banda en dicha zona. Al mismo tiempo la altura del área de contacto del material con la guarderas laterales se incrementa en la dirección del movimiento ya que esta se comporta como una pared contenedora. Por esta causa el material, al salir de la zona de alimentación y de las guarderas, se acomoda de acuerdo con su ángulo de talud dinámico, llenando el ancho de la banda según la cantidad que haya alimentado.

La longitud de la zona de alimentación no es una zona arbitraria, ni tiene porque coincidir con la longitud de las guarderas laterales, su sentido físico coincide con la longitud del desplazamiento del mineral sobre la banda ( $I_d$ ) hasta alcanzar la velocidad de esta, si el material se alimenta verticalmente, entonces:

$$I_d = \frac{v^2}{g} \quad (2.1)$$

## 2.4. Cálculo de los transportadores de banda

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

Conociendo la productividad

$$Q = \frac{A \cdot K_i}{T}; \text{ (t/h)} \quad (2.2)$$

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 % 1,5). En los transportadores principales  $K_i = (1,11 \text{ a } 1,25)$ . Estos valores pueden sufrir variaciones en casos específicos.

### 1- Ancho de la banda

$$B = 1,1 \cdot \left( \sqrt{\frac{Q}{K_c \cdot v \cdot \varphi \cdot \gamma}} + 0,05 \right); \text{ (m)} \quad (2.3)$$

donde:

$K_c$  - Coeficiente que tiene en cuenta la forma de la banda.

V - Velocidad de movimiento de la banda; en (m/h).

$\varphi$  - Coeficiente de disminución de la productividad que tiene en cuenta el ángulo de inclinación del transportador.

$\gamma$  - Peso volumétrico del material a transportar en (t/m<sup>3</sup>).

Q - Productividad en (t/h).

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

$$B \geq 2,3a_{2,5a_{\max}}; \text{ (mm)} \quad (2.4)$$

- 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.

$$B \geq (3,3a4,6)a; (\text{mm}) \quad (2.5)$$

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.

## 2- Resistencia a la marcha.

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 ( $q_c$ ).

El peso lineal de la banda lo determinamos según

$$qb = \gamma_b \cdot B \cdot (\delta \cdot i + h_1 + h_2); (\text{N/m}) \quad (2.6)$$

$\gamma_b$ - Peso volumétrico de la banda en ( $\text{N/m}^3$ ).

$\delta$ -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.

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

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

Peso lineal de la carga

$$q_c = \frac{Q}{3,6 \cdot V}; (\text{N/m}) \quad (2.7)$$

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

Para la rama cargada

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

Para la rama vacía

$$q_r'' = \frac{G_r''}{l_r''}; \text{ (N/m)} \quad (2.9)$$

$G_r'$  y  $G_r''$  Peso de los apoyos de rodillos en la rama carga y vacía respectivamente (N)

$l'$  y  $l''$  Distancia entre rodillos de apoyo en la rama carga y vacía respectivamente (m)

$$l' = (0,9 - 1,5)$$

$$l'' = 2 \cdot l' \quad (2.10)$$

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:

a) Para la rama cargada

$$Wc = \{[(q_b + q_c) \cos \beta + q_r'] \omega' L \pm (q_c + q_b) L \cdot \text{sen} \beta\} \text{ (N)} \quad (2.11)$$

donde:

$\beta$  - ángulo de inclinación del tramo en cuestión (grados)

L - Longitud del tramo (m)

$\omega'$  - coeficiente de resistencia al movimiento en la rama cargada

a) Para la rama vacía

$$Wb = \{[q_b \cos \beta + q_r''] \omega'' L \pm (q_b) L \cdot \text{sen} \beta\} \text{ (N)} \quad (2.12)$$

b) resistencia en los dispositivos de limpieza

$$W_L = q_1 * B \text{ (N)} \quad (2.13)$$

$q_1$  - resistencia específica del dispositivo de limpieza

c) resistencia en el dispositivo de carga

$$W_{dc} = C \cdot \frac{q \cdot V^2}{g} \text{ (N)} \quad (2.14)$$

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.

### 3- Tensiones de la banda

$$[S_{n+1} = S_n + \sum W] \quad (2.15)$$

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 este método.

### 4- Comprobación de la resistencia de la banda seleccionada.

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

$$i = \frac{S_{max} \cdot m}{\sigma_r \cdot B} \quad (2.16)$$

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)

$m$  - Coeficiente de seguridad (Tabla).

$\sigma_r$  - Límite de resistencia a la rotura de 1 cm. de ancho en una capa en N/m.

$B$  - ancho de la banda

$m = 9-10$  – Horizontales  $m = 11-12$  – Inclinados

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.

Para el caso de bandas de goma- cable su resistencia está en dependencia de la resistencia de los cables.

Estas bandas se seleccionan de acuerdo a su resistencia a la destrucción (rotura)

$$\sigma_P = \frac{S_{m\acute{a}x} \cdot K_{real}}{B} \quad (2.17)$$

El coeficiente real de reserva es de

$$K_{real} = \frac{\sigma_P \cdot B}{S_{m\acute{a}x}} \quad K_{real} \geq 6-9$$

El menor valor para los transportadores horizontales y el mayor para los inclinados. Por este coeficiente sabemos si la banda sirve, sino sirve tomamos otra banda.

#### 5- Determinación de la flecha entre rodillos.

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

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{(q + q_b) \cdot l^2}{8 \cdot S_{min\ tr}} \quad (2.18)$$

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

$$S_{min\ tr} = (10 - 5)(q + q_b) \cdot g \cdot l_r ; \text{ (N)} \quad (2.19)$$

Por las reglas de explotación se ha tenido que:

$$F_{m\acute{a}x} = (0,0125 - 0,025)l^* \quad (2.20)$$

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

$Si$ - Tensión mínima en la rama de trabajo.

Correspondiendo los menores valores para la banda de goma – cable.

## 6- Potencia del motor

$$N = \frac{W_o \cdot v}{1000 \cdot \eta} \cdot K_r \text{ (kW)} \quad (2.21)$$

$W_o$  - esfuerzo de tracción en el tambor motriz

$\eta = 0,90$  - coeficiente de rendimiento de la transmisión (0,85-0,90) %

$K_r = 1.2$  - coeficiente de reserva que considera los regimenes de arranque y otros (1.1-1.15)

$$W_o = (S_e - S_s) + (0,05 - 0,06)(S_e + S_s) \text{ (N)} \quad (2.22)$$

$S_e$  - tensiones de entrada

$S_s$  - tensiones de salida

## 2.5. Diseño experimental

Para establecer el número de corridas en cada experimento se aplica el método estadístico de diseño factorial. Los diseños factoriales manipulan dos o más variables independientes e incluyen dos o más niveles de presencia en cada una de las variables independientes. Han sido sumamente utilizadas en la investigación del comportamiento. La construcción básica de un diseño factorial consiste en que todos los niveles de cada variable independiente son tomadas en combinación con todos los niveles de las otras variables independientes (Wiersma, 1986, p. 115) para ello nos auxiliamos en la siguiente expresión:

$$N = n^p \quad (2.23)$$

N- es el número de experimento.

n- es el número de niveles.

p- es el número de factores o de variables independiente.

Selección de las variables.

El análisis del proceso de transportación demostró que un mismo transportador, el consumo de energía depende fundamentalmente de los siguientes parámetros.

-Productividad del mineral transportado. Para un mismo mineral y condiciones de trabajo, la productividad es el parámetro que más influye en la determinación del ancho de la banda. Si comparamos la productividad real de estos equipos con la nominal observamos que todos están subutilizados.

-Velocidad de movimiento de la banda. Se comprobó la velocidad de todos los transportadores con la ayuda de un tacómetro coincidiendo con la del pasaporte, siendo la misma constante. Esta velocidad depende en gran medida de la longitud de desplazamiento del mineral sobre la banda hasta que se igualan ambas velocidades.

-Del nivel de llenado de las tolvas de recepción.

-Características física-mecánica del material (masa volumétrica, ángulo del talud natural, humedad y composición granulométrica). Estas características determinan las dimensiones de los elementos portadores de las cargas, la productividad y los consumos energéticos.

-Altura de caída del material sobre la banda.

## 2.6. Descripción teórica

-Relación experimental entre la potencia consumida y la productividad entregada por el sistema de transporte del taller 01.

En el taller 01 de la UEB de la Mina de la ECECG se controla la productividad a través del transportador de banda 035- TR- 2. Se utiliza pesa electrónica que registra de forma continua la cantidad de mineral laterítico que pasa. Se presentan irregularidades en los resultados obtenidos por este sistema y el resto de los sistemas de transporte (camiones) y plantas de proceso Secadero así como el mineral calculado en los frentes determinado por los tipógrafos. El transportador 2 se caracteriza por los siguientes datos.

Potencia (kW)

Ancho de la banda (mm)

Velocidad de movimiento de la banda (m/s)

El experimento se realiza en las siguientes condiciones, el mineral descargado por los camiones VOLVO A40D procedentes del frente o de los depósitos de homogenización y secado se descarga en la tolva de recepción del taller 01 pasando a través del alimentador de esteras, criba vibratoria de 160 mm cae en los transportadores 035-TR-1A y 035-TR-1B

descargando en el transportador 035-TR-2, donde está el sistema de pesaje, de este pasa al transportador 035-TR-3 reversible y de este al transportador 035-TR-4A, donde se descarga el mineral directo a galería.

## **2.7. Estudio de la fiabilidad de la explotación de los transportadores de banda en la mina de la ECECG.**

La fiabilidad es uno de los problemas fundamentales de la ingeniería y herramienta, esencial para organizar el mantenimiento a los equipos.

**La definición de fiabilidad** se refiere a 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 determinados tiempos de explotación.

Esta definición general podría ser referida concretamente a las construcciones de transporte continuo estableciendo que la fiabilidad es la propiedad de un transportador de banda (agregado, mecanismo, piezas) de cumplir sus funciones básicas durante la realización de su trabajo, manteniendo sus cualidades de explotación dentro de los límites establecidos, lo cuales corresponden a determinado régimen y condiciones de explotación, servicios técnicos, reparación y parada.

El aumento de la fiabilidad de los equipos es uno de los problemas más actuales vinculados con el desarrollo de la técnica moderna. Este objetivo se ha adquirido en los últimos años debido a las siguientes razones:

- El aumento de la complejidad de los sistemas técnicos modernos por la variedad y responsabilidad de las funciones que se les imponen así como por la elevada cantidad de elementos componentes.
- La intensidad de los regímenes de trabajos o funcionamiento del sistema o sus partes individuales, altas temperaturas, altas presiones, altas cargas y altas velocidades.
- La complejidad de las condiciones en la que se explota el sistema técnico caracterizado por amplios rangos de temperatura, humedad, vibraciones, ambientes radioactivos y otras difíciles condiciones.
- El aumento de las exigencias a la actualidad del trabajo del equipo. Se busca mayor precisión y exactitud en las cualidades y características del producto que se fabriquen con el equipo, una mayor efectividad y mayor eficiencia.

- El aumento de la responsabilidad de las funciones cumplidas por el sistema y con ello el alto valor técnico-económico de la interrupción debida al fallo.
- La automatización total o parcial y la exclusión de la participación directa del hombre la cual no posibilita la observación continua y confía el control al sistema de la propia instalación que debe ser altamente fiable. El aseguramiento de la fiabilidad es una tarea a cumplir durante todo el ciclo de vida del artículo, que posee tres etapas.

#### **La primera etapa:**

Diseño del artículo. En esta se debe tener en cuenta la calidad de los componentes y sus materiales. La elección de los componentes y sus materiales debe utilizarse teniendo en cuenta las futuras condiciones de trabajo. Se debe satisfacer los requisitos funcionales, la resistencia mecánica y técnica, la rigidez necesaria, la presión y la fiabilidad para las futuras condiciones de explotación. La utilización de elementos unificados y la concepción de módulos. La concepción de regímenes de trabajo racionales. La accesibilidad a todas las partes del artículo para permitir la acción del mantenimiento durante la explotación.

#### **La segunda etapa:**

Producción del artículo. Es una etapa importante, destacándose por el cumplimiento de la disciplina tecnológica establecida en el diseño para los procesos de elaboración. La calidad de la materia prima, la limpieza y organización del puesto de trabajo, la verificación periódica de la calidad y la prohibición de alternativas de lo propuesto en la documentación técnica.

#### **La tercera etapa:**

Explotación. Aquí influyen las condiciones de explotación, climatológicas y de trabajo, la calificación y responsabilidad del personal, tanto del servicio de mantenimiento como los de operación. La experiencia ha demostrado que el cambio frecuente del personal disminuye la responsabilidad y afecta el dominio de los equipos que se atienden.

La aplicación de un servicio de mantenimiento racional a las máquinas, es decir, la decisión acertada sobre donde utilizar un tipo de sistema de mantenimiento, cuales acciones son las efectivas y con que periodicidad se deben realizar, son aspectos que tiene una relación directa con la fiabilidad de la máquina que se explota

.La **fiabilidad** se cimienta en el diseño, se asegura durante el proceso de producción y se mantiene durante el proceso de producción.

En sentido general, la fiabilidad se determina por:

- Ausencia de fallos (trabajos sin fallos, funcionalidad).
- Capacidad de repararse.
- Durabilidad

**Durabilidad:** No es más que cuando el aumento de la cantidad de fallos de un transportador hace que, a partir de cierto momento ya no sea posible por razones térmicas o económicas, seguir explotándolo.

**Duración:** Propiedad del artículo de conservar la capacidad de trabajo con las interrupciones necesarias para el servicio técnico y las reparaciones hasta un estado límite estipulado en la documentación técnica.

**Conservabilidad:** Viene dada porque durante la transportación y en los períodos en que el transportador y algunas de sus partes estén almacenados y su capacidad de trabajo pueda que por alteraciones no cumplan sus funciones para lo cual se diseñó.

### 2.7.1. 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 (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,

### 2.7.2. Criterios de fiabilidad

Para la evaluación cuantitativa de la fiabilidad del equipamiento se utiliza un sistema de criterios con sus características cuantitativas.

1. Para los criterios de ausencia de fallos
  - Tiempo medio de trabajo hasta el fallo y probabilidad de trabajo sin fallo.
2. Como criterio de durabilidad; se utilizan los diferentes siguientes periodos de servicio y los recursos.
3. Como criterio de capacidad de repararse
  - Se utiliza el tiempo medio de restauración gastado en la búsqueda y eliminación de un fallo, volúmenes de trabajo del servicio técnico gastado en la reparación.
4. Como criterios integrales de fiabilidad se utilizan
  - Coeficiente de disponibilidad
  - Coeficiente de utilización técnica
5. Los índices técnicos – económicos

#### **Labor media hasta el fallo (tiempo medio de trabajo hasta el fallo).**

Es el recorrido medio (tiempo medio) de trabajo del equipo entre fallos es la esperanza matemática del tiempo de trabajo sin fallo.

En el caso que se tenga bajo observación una partida de  $N_0$  elementos, este indicador puede estimarse por:

$$T_m = \sum_{i=1}^{N_0} t_i * m_i / N_0 \quad (2.24)$$

Donde:

$t_i$ , labor hasta el surgimiento del fallo del elemento ( horas). (Tiempo de trabajo entre fallos).

$m_i$ ; número de elementos con el tiempo recorrido.

#### **Tiempo medio de restauración.**

$$T_r = \sum_{i=1}^{\eta} t_{ri} * m_i / \eta' \quad (2.25)$$

donde:

$t_{ri}$ ; Tiempo de eliminación de  $i$  fallas.

$\eta'$ ; Número de fallos en el período analizado.

### **Coefficiente de rotura.**

Refleja el tiempo relativo de los pasos por causas de averías y se determina por la siguiente relación:

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^{\eta} t_{ri}}{\sum_{i=1}^{\eta} t_i} = T_r / T_m \quad (2.26)$$

De acuerdo a los resultados obtenidos en las ecuaciones 2.24 y 2.25 el coeficiente de rotura es igual a 0.23.

### **Coefficiente de disponibilidad.**

Desde el punto de vista probabilístico el coeficiente de disponibilidad significa la probabilidad del trabajo sin fallo en cualquier momento de tiempo, se puede expresar de otra manera.

$$Kd = t_i / (t_i + t_{av}) = 1 / (1 + \eta_{av}) \quad (2.27)$$

(Kd) es la relación entre el tiempo de trabajo entre fallos y la suma del tiempo de trabajo entre fallos y la reparación

De acuerdo a la ecuación 2.27 determinamos el coeficiente de disponibilidad para los transportadores que es de 0.81.

### **2.7.3. Fallos. Clasificación.**

**Fallo:** Es la pérdida parcial o total de la capacidad de trabajo de un transportador, o sea, a un estado tal que impide realizar su trabajo manteniendo sus parámetros de funcionamiento dentro de los límites establecidos, por las especificaciones técnicas.

Para analizar la naturaleza física de los fallos, así como poder elaborar las medidas encaminadas a pronosticarlo, los mismos se clasifican en:

#### **1- Según el grado de influencia en la capacidad de trabajo.**

- Fallo total:
- Fallo incompleto o parcial

**2- Según el carácter físico de la aparición del fallo.**

- Fallo catastrófico: conducen a la alteración completa de la capacidad de trabajo, fracturas, deformaciones, atascamiento de piezas mecánicas, el fundido, las rupturas y el cortocircuito.
- Fallo paramétrico: son fallos parciales de artículos complejos, en los que ellos entran y se expresan, en el empeoramiento del funcionamiento del equipo. Este empeoramiento puede ser estable o transitorio.

**3- Debido a otros fallos:**

- Fallo independiente: cuando el fallo de un elemento cualquiera del sistema no motiva el fallo de otros elementos.
- Fallo dependiente: cuando surgen como consecuencia del fallo de otros elementos constructivos. El flujo de fallos dependientes en el proceso de explotación permite evaluar las deficiencias de los esquemas constructivos adoptados en la etapa de diseño de los conjuntos y mecanismos del automóvil.

**4- Según el carácter del proceso de aparición:**

- Fallo repentino: (inesperados) Aparecen a consecuencia de las variaciones bruscas a saltos (catastróficos) de los parámetros fundamentales bajo la acción de uno o varios de los muchos factores casuales vinculados con defectos internos de los elementos, con la alteración de los regímenes de funcionamiento o las condiciones de trabajo, o bien con errores del personal de servicio. Desde luego esta clasificación es un tanto convencional, toda vez que el fallo súbito en la mayoría de las ocasiones es consecuencia del empeoramiento paulatino de las propiedades físico - químicas de los materiales, lo que permanece oculto hasta tanto no tiene lugar el fallo al que es superado.
- Fallo gradual: Se observa la variación suave de los parámetros debido al envejecimiento y al desgaste de los elementos o de todo el sistema.

**5- Según el tiempo de existencia del fallo.**

- Fallo estable: Se elimina solo con la reparación o la regulación o bien sustituyendo el elemento que fallo.
- Fallo temporáneo: Pueden desaparecer espontáneamente sin la intervención del personal de servicio debido a la eliminación de los motivos que lo provocaron.

Las causas de tales fallos frecuentemente son los regímenes y las condiciones de trabajo anormales; y grandes variaciones de temperatura a la humedad, la aceleración, vibraciones de magnitudes anormales etc.

- Fallo alternante (intermitente): Son los fallos que se repiten muchas veces (temporales) generalmente son difíciles de descubrir; ellos atestiguan la existencia de anomalías en la calidad del artículo o de sus regímenes y condiciones de trabajo.

#### **6- Según las causas que lo provocan:**

- Constructivos: están determinados por el empleo de esquemas y soluciones de diseños imperfectos o no adecuados, así como también por errores en los cálculos de los diferentes parámetros del vehículo. Este tipo de fallo tiene lugar preferentemente en el periodo inicial de la explotación de los automóviles aunque también puede surgir en etapas más avanzadas. Una de sus características principales consiste que son típicos en tiempo y lugar, para todos los ejemplares de un sistema elemento dado.

- Fallos tecnológicos: son consecuencia de la tecnología incorrecta de fabricación de la pieza o de la alteración de la tecnología de montaje, regulación, asentamiento o prueba de los vehículos (agregados) así como también por la selección incorrecta de los materiales, la inestabilidad de sus propiedades. Estos fallos surgen en los más tempranos periodos de la explotación del automóvil.

- Fallos de explotación: Tienen lugar cuando se violan las reglas de explotación técnica establecidas para los automóviles y también cuando el tipo de construcción del transportador no corresponde con el medio y régimen de trabajo en que labora.

- Fallo por desgaste: Son provocados por el envejecimiento de los sistemas y surge como consecuencia de la acumulación paulatina de alteraciones irreversibles en los elementos constructivos (cristalización del metal, corrosión, fatiga, variación de la forma de las piezas) etc.

Este fallo aparece por la influencia conjunta de diversos factores; por ello es preciso determinar las causas fundamentales de los mismos; estudiar exhaustivamente su física, para establecer los métodos adecuados para su prevención y eliminación. Ocupan un lugar especial los fallos de corta duración (pasajeros) que se auto eliminan, provocados por variaciones efímeras de acciones de entradas aplicadas al elemento, aparato, sistema (por ejemplo durante la acción de perturbaciones externas) o bien originadas a

consecuencia de variaciones efímeras de los parámetros internos o las propiedades del elemento o sistema.

El fallo es una de las manifestaciones del defecto o mal estado del artículo, elemento o automóvil.

Por defecto se sobre entiende la disparidad o la incompatibilidad del artículo) pieza componente, elemento, aparato, dispositivo, vehículo, sistema etc.)

A uno o varios requisitos que deben satisfacer tanto los parámetros y las características fundamentales (de trabajo) como el aspecto exterior, la comodidad de explotación etc.

No todos los desperfectos son fallos. El mal funcionamiento que nos da lugar al fallo generalmente se denomina defecto.

El surgimiento de los fallos, así como el recorrido al cabo del cual pueden tener lugar, son fenómenos aleatorios, por lo cual, para la determinación de los indicadores de fiabilidad del automóvil y sus elementos componentes, se emplea el método estadístico y el aparato matemático de la teoría de probabilidades.

La aplicación de los métodos de la teoría de fiabilidad a la explotación técnica de los vehículos automotores permite resolver importantes problemas de la misma, tales como la determinación de las demandas de reparaciones y consecuentemente de la mano de obra, piezas y materiales para realizarlas, la normalización del consumo de piezas de repuesto, la corrección de las periodicidad de los mantenimientos técnicos, la determinación de los recorridos hasta la reparación general del vehículo y sus agregados etc.

### **Estrategia de mantenimiento propuesta**

Con los aspectos analizados anteriormente y considerando las condiciones reales del transportador de banda proponemos que se realice al mismo un Mantenimiento Preventivo Planificado. Creemos necesario la revisión diaria del equipo, ya que en ocasiones presentan pequeñas dificultades y estas se agudizan debido a la demora existente en aplicar el servicio de mantenimiento correspondiente. Se debe realizar el cambio de aceite al sistema de lubricación en el tiempo establecido, esto constituye a mejorar el trabajo de los rodillos de apoyo debido a la suavidad que aparece en los elementos lubricados, es imprescindible el chequeo constante de la banda, por cuanto es una de las causas fundamentales de averías del transportador y esta debe ser reparada de manera oportuna



y en el momento preciso. Para en caso del motor principal del transportador, se recomienda el monitoreo de los parámetros síntomas (temperatura, potencia, ruido) por el operario correspondiente, el cual lo puede realizar con ayuda de equipos especializados o la observación.

## **2.8. Conclusiones del capítulo**

De los resultados obtenidos en el presente capítulo podemos concluir:

- 1- Se comprobó que existen en la actualidad los métodos de cálculos y experimentales necesario para realizar un estudio posterior de la temática de mayor envergadura.
- 2- Realizar una mayor cantidad de estos experimentos para lograr una mayor fiabilidad de los resultados obtenidos y disminuir el rango de error en las mediciones.
- 3- Utilizar varias técnicas experimentales para comparar la validez de los resultados por diversas vías.

## **CAPITULO III. Análisis de los resultados**

---

### **3.1- Introducción**

Una investigación requiere de un análisis riguroso de los resultados, los que a su vez deben ser lo más exacto posible, por su influencia de forma directa o indirecta en la calidad, en tal sentido el **objetivo** del capítulo es:

Mostrar el análisis de los resultados alcanzados con la metodología de cálculo actual y compararlos con los resultados obtenidos experimentalmente en los transportadores del taller 01 de la ECECG.

### **3.2. Análisis de los resultados obtenidos en la investigación**

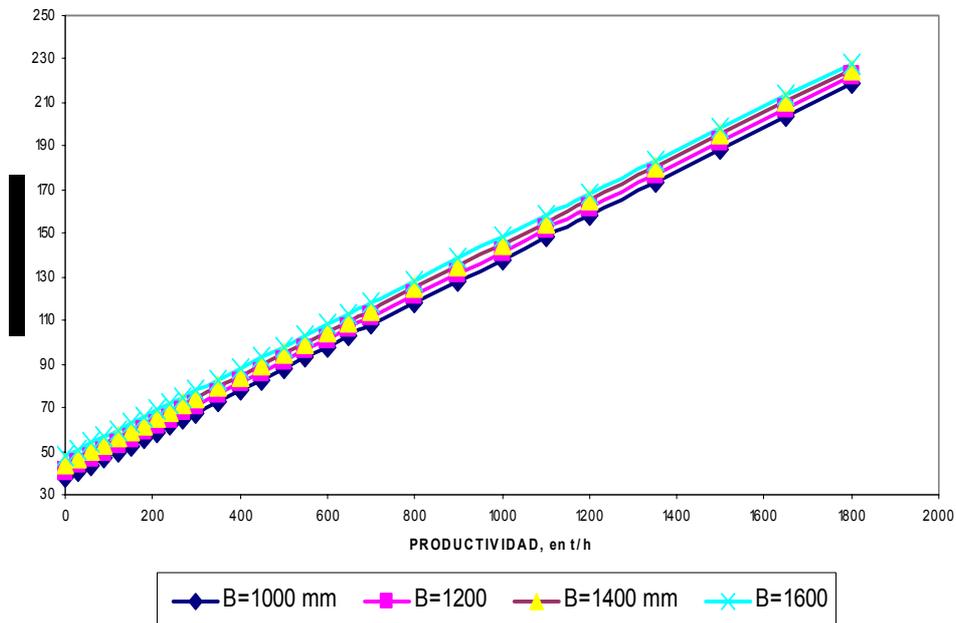
#### **Comportamiento de los valores teóricos obtenidos. Comparación con los valores experimentales.**

El estudio realizado nos permite comparar los valores teóricos calculados del transportador para diferentes productividades con los valores experimentales obtenidos directamente en el transportador TR-2 del taller 01 de la ECECG en las condiciones reales de explotación.

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

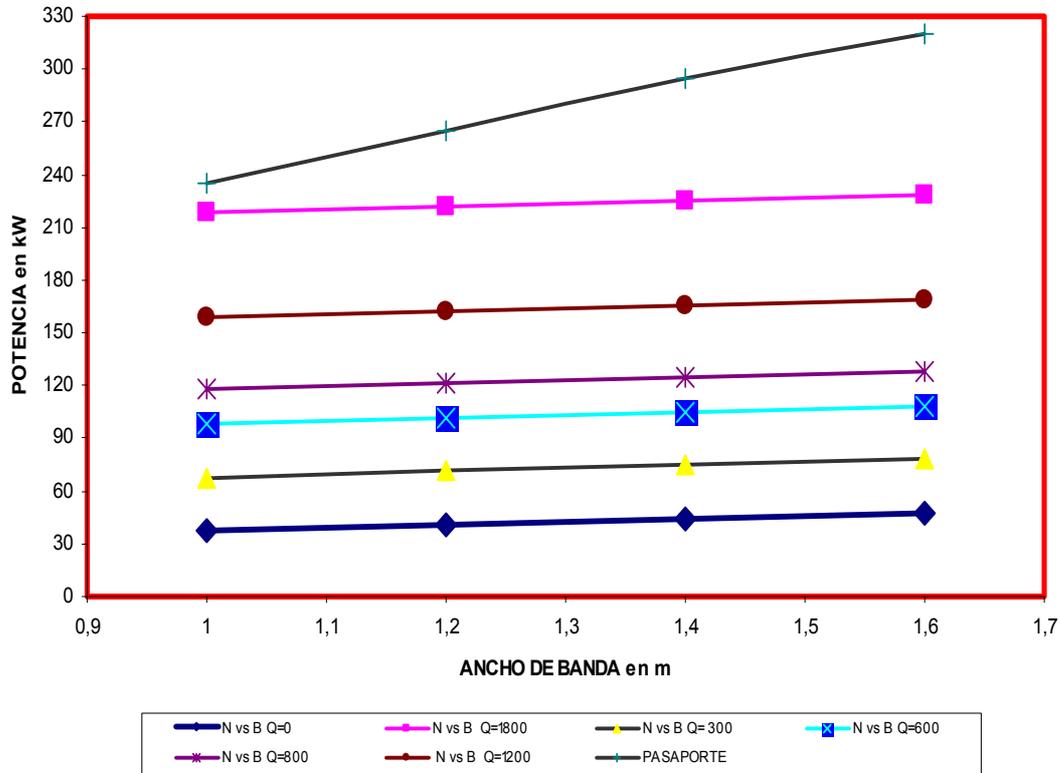
En el anexo (1) se muestra el perfil del transportador TR-2 y el anexo (2) sus respectivos datos de longitudes y ángulos de inclinación.

La tabla (3) (anexo 4) muestra los resultados del cálculo del transportador magistral # 2 del taller 01 de la mina de la ECECG, utilizando la metodología de cálculo de los transportadores de banda perfeccionada actualmente (Mena 2006). Utilizando el mismo factor de tracción y variando la productividad en correspondencia con los valores experimentales obtenidos; anexo 3; tabla 2. 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.



**Fig. 3.1** Potencia en función de la productividad para diferentes anchos de banda.

En el gráfico 3.1 se observa que a medida que se utiliza un ancho de banda mayor el consumo de potencia se incrementa para una misma productividad. De los cálculos realizados y las mediciones efectuadas tabla 2 anexo 3 se puede apreciar que la productividad nunca alcanza los 1800 t/h, por lo que continuamente el transportador está 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 Sierra (2006) es de  $1,14 \text{ t/m}^3$ , constituyen las causas fundamentales de las pérdidas de potencia y energía durante la explotación del transportador TR-2.



**Fig. 3.2** Potencia en función del ancho de la banda para diferentes valores de Productividad.

El gráfico 3.2 representa las pérdidas de potencia según el trabajo del transportador para diferentes productividades y para distintos anchos de banda.

La tabla 6 (ver anexo 7) muestra los resultados de las mediciones eléctricas del accionamiento para el transportador magistral # 2 del taller 01 de la mina de la ECECG, utilizando el analizador de redes. De la misma se observa también que en ningún caso el motor llega a consumir la potencia nominal instalada, lo que confirma el nivel de subutilización del motor.

### 3.3. Análisis de la fiabilidad del transportador TR-2

En los anexos 8,9 y 10 se muestran las estadísticas de las principales averías y causas de las paradas de los transportadores 1 A, 1 B, 2, 3, 4 A y 4 B durante la explotación en el taller 01 de la ECECG para el traslado del mineral laterítico.

En el anexo 11 se muestra el análisis estadístico del tiempo de restauración del transportador TR-2, donde el tiempo medio de restauración es de 4,56 h.

El tiempo medio de trabajo hasta el fallo para el transportador TR-2 es 19,44 h. la causa fundamental de este tiempo de trabajo sin fallo, que es bajo esta determinado fundamentalmente por la poca duración del dispositivo de limpieza, que es hacia donde se deben proyectar y solucionar el desgaste tan frecuente que prácticamente diario.

### 3.4. Valoración económica

#### Valoración de la explotación del transportador TR-2

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.

1. Determinación de los gastos de energía eléctrica durante la transportación.

$$AE = \frac{\sum N \cdot K1 \cdot K2 \cdot T}{\eta_i} \quad (\text{kW/h}) \quad (3.1)$$

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.

$K_2=0,85$  a  $0,95$  para transportadores magistrales.

$\eta_l$ , coeficiente que considera las pérdidas en la línea de transmisión.

$\eta_l=0,9$  a  $0,95$

AE = 3294,5 kW/h para 225kW para B=1,4m

AE= 3472,48 kW/h para 237kW para B=1,6m

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

**2.** 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 0,49 y 0,73

Las pérdidas se determinan por

$$N_p = N_n \cdot \left( 1 - \frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_n} \right); \text{ kW} \quad (3.2)$$

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 3.1

Procedencia	Potencia kW	Factor Potencia nominal	Productividad t/h	Pérdidas kW
Potencia de calculo	162	0,90	1800	30,6
Potencia Nominal	320	0,90	1800	60,4

Debemos considerar que cuando se utilice el transportador con la potencia real obtenida las pérdidas aun disminuyen aún más, por el aumento del factor de potencia real

### 3. Determinación del costo de la energía consumida.

$$CE = AE \cdot b \quad (3.3)$$

b ; tarifa que se paga por 1kW.h

$$b = 0,073$$

El ahorro por concepto de energía eléctrica si se utiliza un motor con una potencia de 162 kW en vez de uno de 320kW) actualmente), se ahorrara  $3472,48 \times b - 3294,5 \times b = 13$  CUC/h

la metodología propuesta para los cálculos será de 6,935 CUC/h con respecto a la metodología tradicional y de 11,534 si se utilizan los datos nominales.

### 4. Determinación del costo por concepto de banda.

$$Cb = Lb \cdot Sb, \quad \text{CUC} \quad (3.4)$$

donde:

Lb; es la longitud total de la banda.

$$Lb = 2 \cdot \left( \sum_{i=1}^n (L_i \cdot \cos \beta_i) \right) + 2 \cdot \pi \cdot D + 2 \cdot Lt; \quad \text{m} \quad (3.5)$$

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

### 5. Costo por concepto de la banda.

Tabla 3.2

Banda	B=1600 mm	B=1400 mm
Costo	51250 CUC	47150 CUC

Si se sustituye la banda de 1600 mm por la banda de 1400mm se ahorrará un total de  $51250 - 47150 = 4100$  CUC

### 3.5. Impacto medioambiental

Todos los métodos de extracción minera producen algún grado de alteración de la superficie y los estratos subyacentes, así como los acuíferos. Los impactos de la exploración y predesarrollo, usualmente, son de corta duración e incluyen:

- Alteración superficial causada por los caminos de acceso, hoyos y fosas de prueba, y preparación del sitio.
- Polvo atmosférico proveniente del tráfico, perforación, excavación, y desbroce del sitio.
- Ruido y emisiones de la operación de los equipos.
- Alteración del suelo y la vegetación, ríos, drenajes, humedales, recursos culturales o históricos, y acuíferos de agua freática.
- Conflictos con los otros usos de la tierra.

Las labores mineras causan una destrucción total del medio ambiente del lugar donde se efectúan, afectando todos los ecosistemas existentes en el área y en áreas aledañas.

La extracción superficial incluye los siguientes aspectos: drenaje del área de la mina y descarga del agua de la misma; remoción y almacenamiento, eliminación de grandes volúmenes de desechos; y traslado y procesamiento de los minerales. El transporte del mineral dentro del área de la mina y hacia las instalaciones de procesamiento puede utilizar camiones, transportadores, el ferrocarril, poliducto o banda de transporte, y generalmente, incluirá instalaciones de almacenamiento a granel, mezcla y carga.

En la planta de recepción del mineral, se lleva a cabo tareas encaminadas a disminuir las afectaciones producidas al medio ambiente que fundamentalmente es contaminación de polvo y por ruido mostrándose en la actualidad una relativa mejora ya que se realiza el lavado de las instalaciones de la planta. Unas de las medidas de seguridad llevadas a cabo es el uso de aspiradores de polvo y las orejeras par protegerse contra el ruido.

#### **El ruido en el puesto de trabajo**

Técnicamente, el ruido es un tipo de energía secundaria de los procesos o actividades que se propaga en el ambiente en forma de ondulatoria compleja desde el foco productor hasta el receptor a una velocidad determinada y disminuyendo su intensidad con la distancia y el entorno físico.



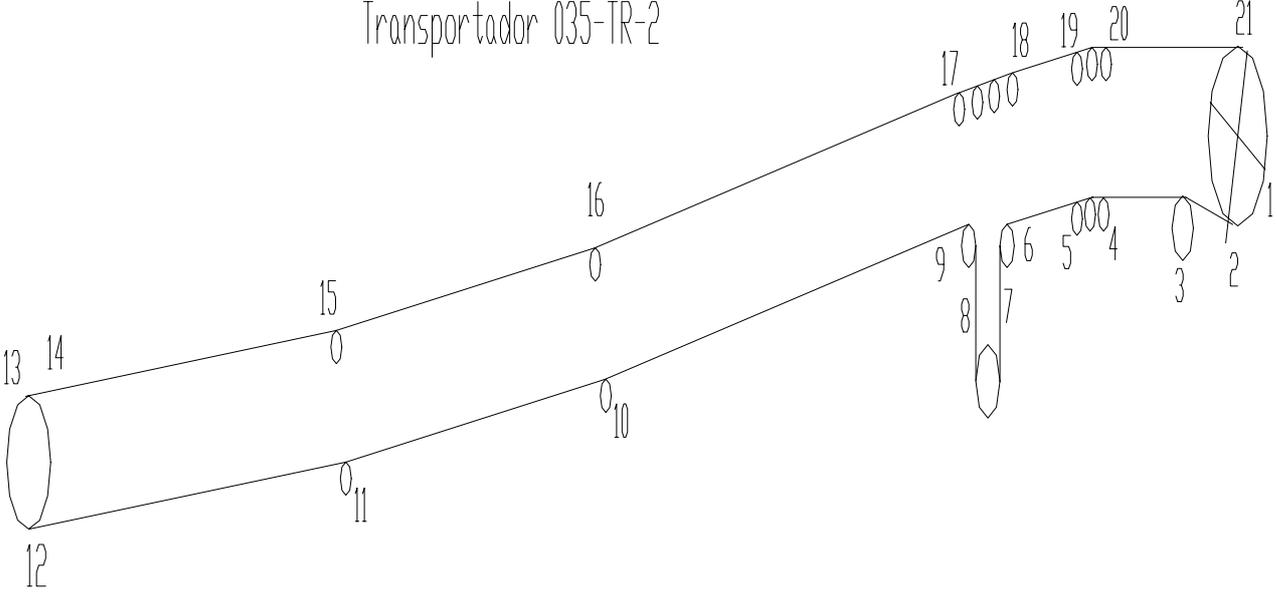
El ruido ambiental causado por las actividades industriales, constituye uno de los principales problemas medioambientales. El origen del ruido lo encontramos en las actividades humanas y está asociado especialmente a los procesos de urbanización y al desarrollo del transporte y de la industria.

-

**Anexo 1**

---

Transportador 035-TR-2



**Perfil del transportador TR-2**

## Anexo 2

---

Tabla1 Datos del transportador TR-2.

<b>Tramo</b>	<b>Longitud (m)</b>	<b>Ángulo de inclinación respecto a la horizontal (°)</b>
<b>1-4</b>	<b>28,5</b>	<b>0</b>
<b>4-5</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>5-6</b>	<b>15</b>	<b>4</b>
<b>6-9</b>	<b>2</b>	<b>8</b>
<b>9-10</b>	<b>69</b>	<b>8</b>
<b>10-11</b>	<b>12</b>	<b>6</b>
<b>11-12</b>	<b>6</b>	<b>4</b>
<b>13-15</b>	<b>6</b>	<b>4</b>
<b>15-16</b>	<b>12</b>	<b>6</b>
<b>16-17</b>	<b>69</b>	<b>8</b>
<b>17-18</b>	<b>3</b>	<b>8</b>
<b>18-19</b>	<b>15</b>	<b>4</b>
<b>19-20</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>20-21</b>	<b>28,5</b>	<b>0</b>

---

## **Anexo 3**

---

**Tabla 2. Valores experimentales de la productividad en t/h del transportador TR-2**

	19/06/2007			
No	Hora	Min	Máx	Ave
1	7:00-7:10AM	34.69	891.75	664.95
2	7:20	315.38	1608.19	907.61
3	7:30	1430.50	1769.19	1643.07
4	7:40	502.88	1718.75	1200.43
5	7:50	455.44	948.44	583.91
6	8:00	531.81	1172.81	672.01
7	8:10	536.44	793.94	636.46
8	8:20	498.25	786.44	639.73
9	8:30	486.05	1340.25	699.82
10	8:40	544.50	1340.25	833.51
11	8:50	498.81	1111.69	644.70
12	9:00	576.94	1177.06	830.37
13	9:10	928.81	1475.06	1076.10
14	9:20	840.25	1330.24	994.09
15	9:30	142.31	1774.75	994.69
16	9:40	31.25	1438.06	801.94
17	9:50	787.56	1252.88	956.05
18	10:00	865.69	1311.88	993.90
19	10:10	829.81	1146.38	992.61
19	10:20	918.38	1397.56	1086.53
20	10:30	906.25	1972.75	1077.84
21	10:40	902.19	1357.00	1048.85
22	10:50	718.75	1614.00	967.06
23	11:00	760.38	1352.38	1013.46
24	11:10	883.06	1370.94	1057.91
25	11:20	883.63	1284.13	1109.55
26	11:30	854.13	1351.81	1042.79
27	11:40	313.63	1303.19	864.65
28	11:50	31.81	1720.00	694.85
29	12:00PM	935.13	1331.56	1054.40
30	12:10	912.00	1425.88	1080.93
31	12:20	862.25	1671.88	1015.74
32	12:30	32.94	1165.50	904.68
33	12:40	854.69	1328.69	1001.31
34	12:50	909.69	1453.69	1043.78
35	1:00	838.50	1325.75	991.82
36	1:10	38.25	1246.50	895.80
37	1:20	804.94	1316.50	1005.49
38	1:30	898.13	1354.13	1037.62
39	1:40	857.63	1200.75	1002.56
40	1:50	879.00	1572.31	1016.44
41	2:00	44.50	1020.81	465.90
42	2:10	387.69	791.06	536.22
43	2:20	445.56	1082.13	576.66
44	2:30	680.50	1309.00	1073.92
45	2:40	890.63	1181.69	1039.49
46	2:50	857.00	1304.94	987.41
47	3:00	31.81	1605.31	964.3
48	3:10	46.88	1426.50	1039.04
49	3:20	928.81	1609.38	1097.38
50	3:30	38.19	1239.56	1018.54
51	3:40	83.31	1062.50	872.99
52	3:50	0.00	0.00	0.00
53	4:00	329.25	1221.63	962.07
54	4:10	35.25	1122.06	958.96
55	4:20	456.56	1259.81	1066.97
56	4:30	914.31	1182.81	1034.93
57	4:40	830.44	1165.50	959.47

## **Anexo 4**

---

**Tabla 3. Resultados del cálculo teórico del Transportador TR-2 en función de diferentes valores de Productividad**

	<i>programa</i>	<i>spline</i>		<i>Tradicional</i>
<i>Pto perfil</i>	<i>W (N)</i>	<i>S (N)</i>	<i>W (N)</i>	<i>S (N)</i>
<b>1</b>	<b>1003,77</b>	<b>59968,8</b>		<b>91563</b>
<b>2</b>			<b>80</b>	<b>91643</b>
<b>3</b>				<b>93475,86</b>
<b>4</b>		<b>60972,57</b>	<b>1003,77</b>	<b>94479,63</b>
<b>5</b>	<b>-3,571268</b>	<b>60968,9987</b>		<b>97314,0189</b>
<b>6</b>	<b>-11,71763</b>	<b>60957,2811</b>	<b>-12,18</b>	<b>97301,8389</b>
<b>7</b>				<b>99247,8757</b>
<b>8</b>				<b>104210,269</b>
<b>9</b>	<b>-71,10967</b>	<b>60886,1714</b>		<b>106294,475</b>
<b>10</b>	<b>-2536,684</b>	<b>58349,4877</b>	<b>-2535,3</b>	<b>103759,175</b>
<b>11</b>	<b>-224,981</b>	<b>58124,5067</b>	<b>1225,6</b>	<b>104984,775</b>
<b>12</b>	<b>-1,589154</b>	<b>58122,9176</b>	<b>175,089</b>	<b>105159,864</b>
<b>13</b>				<b>110417,857</b>
<b>14</b>			<b>1892</b>	<b>112309,857</b>
<b>15</b>	<b>1980,0446</b>	<b>60102,9622</b>	<b>979,13</b>	<b>113288,987</b>
<b>16</b>	<b>5124,0612</b>	<b>65227,0233</b>	<b>5125,4</b>	<b>118414,387</b>
<b>17</b>	<b>36333,984</b>	<b>101561,007</b>	<b>36360,39</b>	<b>154774,777</b>
<b>18</b>	<b>1047,7242</b>	<b>102608,732</b>		<b>159418,02</b>
<b>19</b>	<b>4912,2678</b>	<b>107520,999</b>	<b>4912,7</b>	<b>164330,72</b>
<b>20</b>	<b>988,57532</b>	<b>108509,575</b>		<b>169260,642</b>
<b>21</b>	<b>3632,1714</b>	<b>112141,746</b>	<b>3630,9</b>	<b>172891,542</b>

## Anexo 5

---

**Tabla 4. Parámetros de pasaporte de los transportadores de banda de la Planta de Preparación de Minerales de la Empresa Ernesto Ché Guevara.**

No	Transportador	Q(t/h)	B(mm)	V(m/s)	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	N(kw)	Humedad (%)	L(m)
1	1A-1B	900	1400	1,94	1.4	30	36.5	30.8
2	2	1800	1600	2.08	1.4	320	36.5	133.5
3	3	1800	1600	2,50	1.4	30	36.5	10
4	4A-4B	1800	1600	1,97	1.4	320	36.5	221.5
5	5-5A	750	1400	1.87	1.4	110	36.5	222.4
6	6-6A	750	1400	1.87	1.4	110	36.5	222.4
7	7-7A	750	1600	1.97	1.4	160	36.5	195.5
8	8-8A	750	1400	1.82	1.4	110	36.5	146
9	9,1...9,7	125	1000	1.15	1.4	17	36.5	22
10	10,1...10,3	750	1400	1.82	1.4	17	36.5	15.5
11	11-11A	490	1400	1.82	1.4	110	4.5	180.1
12	12-12A	490	1400	1.82	1.4	110	4.5	169.6
13	13,1...13,4	160	1000	1.15	1.4	15	4.5	13.5
14	14 y15	1700	1200	2.45	1.4	90	36.5	110

## Anexo 6

---

**Tabla 5. Resultados del cálculo de productividad en función de la potencia para anchos de banda de 1,0; 1,2; 1,4 y 1,6m respectivamente.**

POTENCIA EN FUNCION