

**REPUBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
Dr ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ
FACULTAD METALURGIA ELECTROMECAÁNICA**

TESIS EN OPCION AL TITULO DE MASTER EN CIENCIAS

**Título: Perfeccionamiento de la metodología de cálculo de los
transportadores de banda.**

Autor: Ing. Roberto Sierra Pérez

Tutor: Dr. C. Rafael Pérez Barreto

El cálculo de los transportadores de banda depende en lo fundamental del perfil de la traza, lo que a su vez está determinado por las características del terreno donde se instala. Para la determinación de los parámetros principales se utiliza de forma iterativa el método de contorno por puntos (Oriol; 1993). Esto conlleva a que el cálculo se haga engorroso y tedioso hasta medida que incrementa el número de tramos. En los tramos curvos y de desvío no está definida la fórmula para determinar la resistencia, por lo que se tiene que formar un sistema de ecuaciones en función de las tensiones de entrada y salida al tambor motriz.

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

La explotación de los transportadores de banda en la planta de preparación del mineral de la ECECG se caracterizan por un nivel de subutilización de su capacidad de carga, baja eficiencia energética, gran cantidad de piezas y variedad de sus dimensiones, no se comprueba de forma sistemática ni se realiza la selección correcta de los parámetros tecnológicos con una metodología de cálculo adecuada.

Como **objeto de estudio de la investigación** se plantea:

El sistema de transportadores de banda de la planta de preparación del mineral.

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **hipótesis científica**:

Se puede obtener un algoritmo y su correspondiente programa para la automatización de la metodología de cálculo de los transportadores por banda y establecerla para las condiciones reales de explotación de la planta de preparación del mineral de la ECECG. Esto permite obtener parámetros racionales y técnicamente correctos así como su unificación.

De acuerdo con la hipótesis formulada se define como **objetivo del trabajo**:

Establecer la metodología de cálculo para los transportadores de banda en correspondencia con las condiciones reales de explotación para el mineral laterítico, así como su algoritmización y automatización.

Para cumplir el objetivo propuesto se plantean las siguientes **tareas**:

- 1) Realizar un análisis bibliográfico sobre los transportadores de banda relacionado con su funcionamiento, proyección, cálculo y explotación, así como el estudio de la situación actual de la temática en la empresa.
- 2) Perfeccionar la metodología de cálculo de los transportadores de banda; específicamente la resistencia en los tramos curvos y coeficiente constructivo para mineral laterítico.
- 3) Establecer el algoritmo y la programación en Delphi 6 de la metodología establecida
- 4) Caracterizar los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda de acuerdo a las condiciones reales de explotación y establecer los índices para la unificación de sus elementos y piezas en la planta de preparación del mineral de la ECECG.
- 5) Valorar económicamente los resultados de la investigación.

Los resultados más relevantes esperados de la investigación son:

- 1- El estado del arte sobre la temática tratada.
- 2- Una metodología de cálculo perfeccionada que relacione la influencia de las propiedades mecánica del mineral con los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda.
- 3- Un programa en Delphi 6 para la automatización del cálculo de los transportadores de banda a partir de la metodología de cálculo perfeccionada.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

Los transportadores de bandas son las máquinas de transporte continuo más empleadas a nivel mundial, esto se explica por sus innumerables ventajas respecto a otros tipos de transporte industrial, en ellos se pueden alcanzar grandes distancias de transportación, altas productividades y un flujo continuo del material, con una elevada fiabilidad en su explotación. Estos equipos juegan un rol importante dentro del proceso productivo de la empresa, especialmente en la planta de preparación del mineral de ahí que sea necesario conocer las particularidades que rigen su explotación en la planta en las condiciones actuales, en tal sentido el **objetivo** del capítulo es:

Establecer las peculiaridades del sistema de transportadores de banda que permitan el perfeccionamiento de la metodología de cálculo empleada para estos equipos bajo las condiciones reales de explotación existentes en la empresa.

1.2 Flujo Tecnológico Planta de Preparación de Minerales

El complejo minero metalúrgico para la producción carbonato amoniacal de la ECECG comprende las siguientes entidades:

- 1) Unidad Básica Minera
- 2) Planta de Preparación de Mineral.
- 3) Planta de Hornos de Reducción.
- 4) Planta de Lixiviación y Lavado.
- 5) Planta de Recuperación de Amoniac.
- 6) Planta de Calcinación y Sínter.
- 7) Planta de Cobalto.
- 8) Planta Termo energética.
- 9) Planta de Reopción y Suministro.
- 10) Laboratorio Central y Otras entidades.



Resumen

En el trabajo se realizó el perfeccionamiento de la metodología de cálculo de los transportadores de banda. Para lograrlo se determinó el coeficiente constructivo a partir de las características del mineral laterítico. La velocidad en dependencia en dependencia del deslizamiento del mineral en la zona de alimentación a la banda y la determinación de la resistencia al movimiento en los tramos curvos convexos, depender de las tensiones de entrada y salida al tramo.

Se determinaron experimentalmente de forma directa el consumo de potencia en función de la productividad. Además, se establecieron las pérdidas por concepto de consumo de energía y una valoración técnico económico del nivel de utilización de los transportadores instalados.

Se creó un algoritmo de cálculo en base a la metodología conformada y se confeccionó un programa en Delphi 6. (BANDAC.EXE).

Summary

In the work you realized the improvement of the methodology of calculation of the band transporters. To achieve it the constructive coefficient it was determined starting from the characteristics of the mineral laterítico. The speed in dependence in dependence of the slip of the mineral in the feeding area to the band and the determination of the resistance to the movement in the convex curved tracts, to depend from the receipt and disbursement tensions to the tract.

They were determined experimentally in a direct way the consumption of power in function of the productivity. Also, the losses settled down for energy consumption concept and a valuation economic technician of the level of use of the installed transporters.

One believes a calculation algorithm based on the conformed methodology and a program was made in Delphi 6. (BANDAC.EXE).

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.1 Introducción	
1.2 Flujo Tecnológico Planta de Preparación de Minerales	
1.3 Descripción y funcionamiento de un transportador de banda como objeto de estudio	
1.4 Característica de la materia prima	
1.5 Teoría de la transmisión del esfuerzo a la banda	
1.6 Conclusiones del capítulo I	
1.7 Conclusiones del capítulo I	
CAPÍTULO II	17
PERFECCIONAMIENTO DE LA METODOLOGIA DE CALCULO PARA LOS SISTEMAS DE TRASPORTADORES DE BANDA UTILIZADOS PARA EL TRASPORTE DEL MINERAL LATERITICO	
2.1 Introducción	
2.2 Parámetros y coeficientes que influyen en la magnitud principal.	
2.2.1 Coeficiente constructivo	
2.3 Parámetros característicos en la zona de alimentación del transportador	
2.4 Procedimiento para la selección del ancho de la banda de los transportadores	
2.5 Determinación de la resistencia al movimiento de los transportadores de banda	
2.6 Accionamiento de los transportadores de banda.	
2.7 Algoritmo para el cálculo.	
2.8 Como usar el programa	
2.9 Conclusiones del capítulo	

CAPÍTULO III

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS SEGUN LA METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTADORES DE BANDA	63
--	----

3.1 Introducción

3.2 Instalación experimental.

3.3 Diseño experimental.

3.4 Técnica experimental.

3.5 Determinación experimental del recorrido de las partículas en la zona de alimentación.

3.6 Medición de la potencia de accionamiento de los transportadores de banda.

3.7- Procesamiento estadístico de los resultados

3.8 Conclusiones

CAPÍTULO IV

VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	70
--	----

4.1 Introducción

4.2 Valoración económica

4.2.1 Determinación de los gastos de energía eléctrica durante la transportación

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

4.2.3 El gasto específico de energía eléctrica.

4.2.4 Determinación del costo de la energía consumida.

4.2.5 Determinación del costo por concepto de banda.

4.2.6 Costo por concepto del accionamiento, de los tambores y rodillos.

4.2.7 Determinación de la eficiencia económica de la investigación.

4.3 Conclusiones

CONCLUSIONES	75
--------------	----

BIBLIOGRAFIA	77
--------------	----

INTRODUCCIÓN

El transporte minero metalúrgico constituye uno de los principales eslabones del proceso tecnológico, tanto en las canteras como en las plantas metalúrgicas. Su objetivo consiste en el traslado de la masa minera desde el frente de trabajo hasta los puntos de recepción, y de estos hasta los almacenes de producto terminado.

Las máquinas y equipos de transporte deben crear una corriente de carga de determinada potencia y dirección.

Especial importancia tiene el transporte de mineral laterítico por medio de los transportadores de banda en el taller 01 y la planta de preparación de mineral en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (ÉCECG).

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

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.

Fundamentación de la investigación.

El agotamiento de los frentes de trabajo en las labores de extracción minera y por consiguiente el traslado hacia nuevos frentes mas alejados, la realización de nuevas inversiones (incremento de la producción de las plantas en explotación) actualmente y la instalación de nuevas empresas productoras conlleva a perfeccionar constantemente los procesos tecnológicos y que se eleve la eficiencia energética de los mismos.

Un ejemplo es la instalación de una red de transportadores de banda de conjunto con la firma FAM de Alemania en Pinares de Mayarí perteneciente a la mina de la Empresa

Rene Ramos Latour de Nicaro, la longitud de transportación es 11 Km. con una productividad de 800 t/h de mineral. Esta inversión mejorará la eficiencia y condiciones de seguridad en el acarreo del mineral al sustituir el sistema de transportación a través de los vagones por los planos inclinados de Pinares, única instalación de su tipo en el mundo con casi 100 años de explotación.

En la industria minero- metalúrgico un eslabón fundamental dentro del proceso tecnológico lo juega el sistema de transporte utilizado variado en su tipo y cantidad. Un peso considerable lo desempeñan los transportadores de banda en la ECECG, donde solo en la planta preparación del mineral están instalados 48 transportadores que acarrear el mineral con una productividad promedio de 800t/h desde la descarga de los camiones hasta los secaderos de mineral.

Los transportadores de banda son las máquinas de transporte continuo más generalizadas por sus ventajas en comparación con otros tipos de transporte. Se han realizado varios estudios sobre estos equipos, pero es insuficiente el análisis para evaluar el nivel de utilización de los mismos, por tanto la metodología de cálculo empleada debe perfeccionarse para lograr precisión en la obtención de los parámetros tecnológicos que caracterizan su trabajo. De lo anterior se deduce el valor científico técnico del presente trabajo de investigación.

El sistema de transporte por transportadores de banda en la planta de preparación mecánica y secaderos de la ECECG actualmente presenta las *siguientes deficiencias*:

- Subutilización de la capacidad de carga; ancho de banda por encima del ancho de banda necesario para garantizar la productividad real de la empresa.
- Baja eficiencia energética; la potencia instalada en cada transportador es superior a la real necesaria.
- Los parámetros tecnológicos de los transportadores no se comprueban y seleccionan correctamente con una metodología de cálculo adecuada.
- Insuficiente garantía de piezas de repuestos e insumos mínimos para mantener un buen nivel de fiabilidad y heterogeneidad de las dimensiones de las partes y piezas que componen estos equipos.

El cálculo de los transportadores de banda depende en lo fundamental del perfil de la traza, lo que a su vez está determinado por las características del terreno donde se instala. Para la determinación de los parámetros principales se utiliza de forma iterativa el método de contorno por puntos (Oriol; 1993). Esto conlleva a que el cálculo se haga engorroso y tedioso ha medida que incrementa el número de tramos. En los tramos curvos y de desvío no esta definida la fórmula para determinar la resistencia, por lo que se tiene que formar un sistema de ecuaciones en función de las tensiones de entrada y salida al tambor motriz.

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

La explotación de los transportadores de banda en la planta de preparación del mineral de la ECECG se caracterizan por un nivel de subutilización de su capacidad de carga, baja eficiencia energética, gran cantidad de piezas y variedad de sus dimensiones, no se comprueba de forma sistemática ni se realiza la selección correcta de los parámetros tecnológicos con una metodología de cálculo adecuada.

Como **objeto de estudio de la investigación** se plantea:

El sistema de transportadores de banda de la planta de preparación del mineral.

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **hipótesis científica**:

Se puede obtener un algoritmo y su correspondiente programa para la automatización de la metodología de cálculo de los transportadores por banda y establecerla para las condiciones reales de explotación de la planta de preparación del mineral de la ECECG. Esto permite obtener parámetros racionales y técnicamente correctos así como su unificación.

De acuerdo con la hipótesis formulada se define como **objetivo del trabajo**:

Establecer la metodología de cálculo para los transportadores de banda en correspondencia con las condiciones reales de explotación para el mineral laterítico, así como su algoritmización y automatización.

Para cumplir el objetivo propuesto se plantean las siguientes **tareas**:

- 1) Realizar un análisis bibliográfico sobre los transportadores de banda relacionado con su funcionamiento, proyección, cálculo y explotación, así como el estudio de la situación actual de la temática en la empresa.
- 2) Perfeccionar la metodología de cálculo de los transportadores de banda; específicamente la resistencia en los tramos curvos y coeficiente constructivo para mineral laterítico.
- 3) Establecer el algoritmo y la programación en Delphi 6 de la metodología establecida
- 4) Caracterizar los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda de acuerdo a las condiciones reales de explotación y establecer los índices para la unificación de sus elementos y piezas en la planta de preparación del mineral de la ECECG.
- 5) Valorar económicamente los resultados de la investigación.

Los resultados más relevantes esperados de la investigación son:

- 1- El estado del arte sobre la temática tratada.
- 2- Una metodología de cálculo perfeccionada que relacione la influencia de las propiedades mecánica del mineral con los parámetros tecnológicos de los transportadores de banda.
- 3- Un programa en Delphi 6 para la automatización del cálculo de los transportadores de banda a partir de la metodología de cálculo perfeccionada.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO- METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

Los transportadores de bandas son las máquinas de transporte continuo más empleadas a nivel mundial, esto se explica por sus innumerables ventajas respecto a otros tipos de transporte industrial, en ellos se pueden alcanzar grandes distancias de transportación, altas productividades y un flujo continuo del material, con una elevada fiabilidad en su explotación. Estos equipos juegan un rol importante dentro del proceso productivo de la empresa, especialmente en la planta de preparación del mineral de ahí que sea necesario conocer las particularidades que rigen su explotación en la planta en las condiciones actuales, en tal sentido el **objetivo** del capítulo es:

Establecer las peculiaridades del sistema de transportadores de banda que permitan el perfeccionamiento de la metodología de cálculo empleada para estos equipos bajo las condiciones reales de explotación existentes en la empresa.

1.2 Flujo Tecnológico Planta de Preparación de Minerales

El complejo minero metalúrgico para la producción carbonato amoniacal de la ECECG comprende las siguientes entidades:

- 1) Unidad Básica Minera
- 2) Planta de Preparación de Mineral.
- 3) Planta de Hornos de Reducción.
- 4) Planta de Lixiviación y Lavado.
- 5) Planta de Recuperación de Amoniac.
- 6) Planta de Calcinación y Sínter.
- 7) Planta de Cobalto.
- 8) Planta Termo energética.
- 9) Planta de Reopción y Suministro.
- 10) Laboratorio Central y Otras entidades.



En esta planta (preparación del mineral) es donde se inicia el proceso productivo de ECECG, según la tecnología carbonato amoniacal.

A la sección de recepción de mineral llegan camiones desde la mina, los cuales descargan su contenido en unas parrillas fijas o cribas estacionarias 215-CF-1A y 215-CF 1B., estas cribas permiten la separación de la fracción +450 mm (que es rechazada) y la fracción -450 que cae en un alimentador de esteras de 600- 1500 t/h. este alimentador suministra el mineral a las zarandas de inercia 215-ZA-1A y 215-ZA-1B de capacidad 1750 t/h. las zarandas se encargan de clasificar el mineral en dos fracciones a 100 mm que logra alcanzar la superficie de cribado y a +100 mm que pasa a las trituradoras de martillos 215-11-1B donde el mineral es reducido a un tamaño de 40 -20 mm.

Transporte por transportadores de banda:

En este la transportación del mineral se realiza mediante un grupo de transportadores estacionarios entrelazados entre sí, que en su conjunto forman un pequeño complejo industrial que tiene el nombre de planta de recepción y trituración primaria del mineral, que es donde se culmina el proceso productivo de la mina.

Las bandas transportadoras 215-TR-1A y 1B que se desplazan a lo largo de las descargas de los alimentadores de esteras, las zarandas y los trituradores recogen el mineral y lo vierten en el transportador 215-TR-2 que constituye la vía de enlace entre recepción de mineral y el depósito de homogenización. Este transportador descargará en el 215-TR-3 que tiene la peculiaridad de ser reversible o sea que puede descargar en los transportadores 215-TR-4A y 215-TR-4B en dependencia del lado del depósito de homogenización en que se esta alimentando. Ambos transportadores descargan al depósito de homogenización.

Cerca de los transportadores 215-TR-3 están situado un molino de bolas de molienda húmeda y un clasificador de espiral pequeño para realizar el muestreo del mineral que llega a la sección de recepción y que se alimentará al proceso.

Los transportadores que llegan al depósito de homogenización lo hacen a través de un carro distribuidor móvil 215- D1-1A y 1B. El mineral en el depósito de homogenización es empujado por un buldózer hasta la zona donde las grúas viajeras eléctricas lo recogen y homogenizan y lo entregan a los transportadores 215-TR-5A y B y 215-TR-

6Ay B a través de unos alimentadores que se mueven solidario a ellos 215 AL 2.A y 2B y 215 AL 2D los cuales poseen para el trabajo de alimentación unos transportadores pequeño 215 TR 8.A, 8B, 8C, 8D.ç

Los transportadores 215 TR 5.A, 5B, 6.A y 6B descargan el mineral homogenizado en los transportadores 215 TR 9.A y 9B que lo llevan hasta los secaderos.

El mineral procedente de la planta de preparación 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 14 y 15.

Cuando es desmontado en galerías, es remontado por las grúas gantry al patio exterior que tiene una capacidad de 360000t húmedo o 28 días de trabajo de la planta, donde lo homogenizan y lo suministran a los transportadores 14 y 15. Estas grúas poseen dos capacidades de trabajo que son de 660 t/h y 690 t/h.

Los transportadores 5 y 5A y 6 y 6A alimentan a los transportadores 7 y 7A los que se encargan de llevar el mineral homogenizado hasta los secaderos. Estos descargan sobre los transportadores 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 3 correas 215 TR 10.1, 10.2 y 10.3 colocadas entre los secaderos 2 y 3, 4 y 5 y al final del edificio.

El mineral almacenado en el depósito interior se usará 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 350t/h. Se encargan 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 101-107 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 en 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 enlazan con los molinos. El mineral llega a los molinos de bolas por las correas 215 TR 13.1, 13.2, 13.3, 13.4 respectivamente.

Las características de los transportadores de banda presentes en la planta de preparación de mineral se dan en el anexo 1 . Tabla 1.1

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

Un transportador de banda consta en general de dos tambores, uno de ellos es motriz y el otro de cola, unido entre sí por una banda que forma un contorno cerrado y se mantiene tensa por un sistema de atesado. Para evitar que se produzca una flecha grande en la banda, esta se apoya sobre rodillos en la rama cargada y en la rama vacía respectivamente, los cuales están sujetos a la estructura del transportador. El movimiento a la banda se transmite por medio de un tambor motriz accionado desde un motor por medio de una transmisión (reductor de engranaje).

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

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

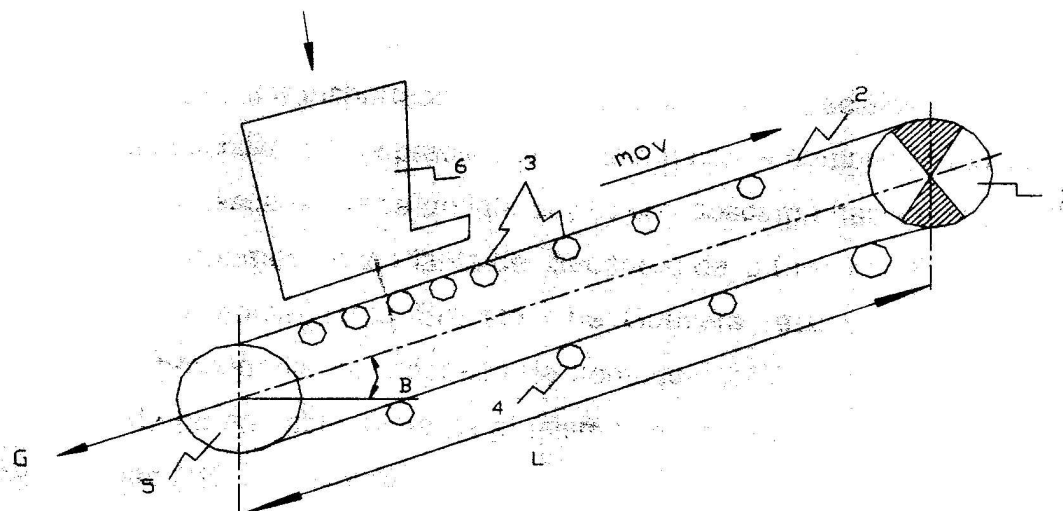


Figura. 1.1 Esquema de un Transportador de Banda

La banda [2]; en este caso actúa como órgano de tracción y portador de la carga, es movida por el tambor motriz [1], el cual es accionado por un motor eléctrico a través de una transmisión. El tambor motriz le comunica el movimiento a la banda [2] por medio de la fricción entre ambos. La banda se desplaza por encima de los rodillos de apoyo [3] de la rama cargada y [4] de la rama vacía respectivamente, contorneando a su vez el tambor de cola [5] (en este caso sirve de tambor tensor). La banda [2] forma en si un contorno cerrado y es cargada por medio de la tolva [6] o dispositivo de alimentación. La descarga del material se efectúa en el otro extremo del transportador donde la banda contornea al tambor final (motriz en este caso), además para la descarga también pueden utilizarse un tambor especial en voladizo como se muestra a continuación (figura 1.2).

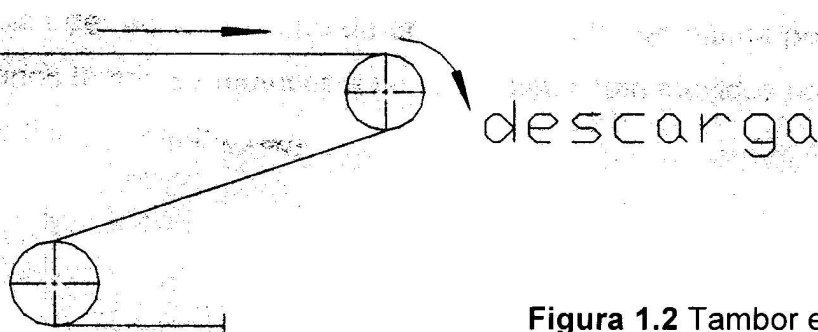


Figura 1.2 Tambor especial en voladizo

También si existe la necesidad de descarga lateral en diferentes puntos a través de todo el largo del transportador se usan dispositivos especiales de descarga; que son las llamadas cuchillas (en la práctica se conocen con el nombre de machetes); que pueden ser :a) con descarga hacia un lateral y b) con descarga hacia ambos lados. Ejemplo del caso a) lo tenemos en al Planta de Secadero de la Empresa Rene Ramos L. De Nicaro y Empresa Comandante Ernesto Che Guevara respectivamente, donde el mineral húmedo procedente del depósito de homogenización a través de un transportador de banda de goma-cable alimenta al mismo tiempo los hornos de secaderos encargados del secado del mineral.

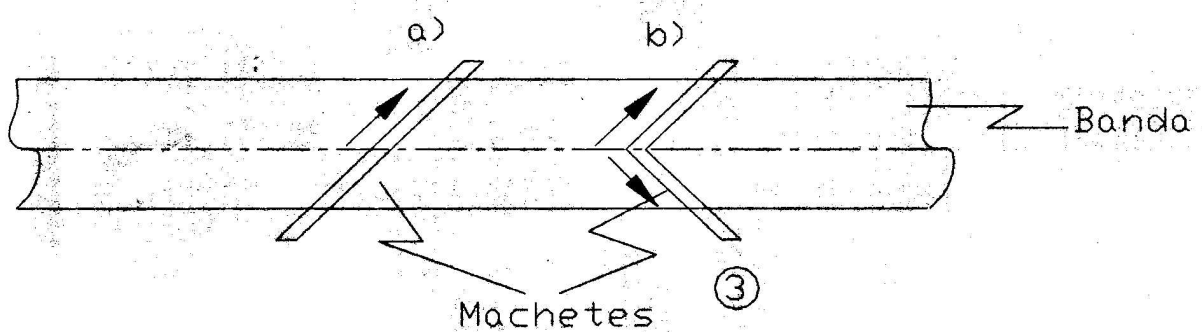


Figura 1.3 Dispositivos de descarga lateral.

En el caso de la posición b) el eje de la cuchilla puede coincidir con el eje de la banda, en este caso se obtienen teóricamente la misma productividad hacia ambos lados de la banda, aunque esta depende de la distribución transversal real del material en la banda, lo cual depende de una serie de factores tales como del sistema de alimentación, composición granulométrica, etc. Cuando no coinciden estos ejes, entonces la cantidad de producto descargado hacia ambos lados es desigual.

La estación de accionamiento de un transportador de banda puede estar formada por uno o varios tambores motrices a su vez, estos están movidos por uno o varios motores al mismo tiempo (Figura 1.4).

También si existe la necesidad de descarga lateral en diferentes puntos a través de todo el largo del transportador se usan dispositivos especiales de descarga; que son las llamadas cuchillas (en la práctica se conocen con el nombre de machetes); que pueden ser :a) con descarga hacia un lateral y b) con descarga hacia ambos lados. Ejemplo del caso a) lo tenemos en al Planta de Secadero de la Empresa Rene Ramos L. De Nicaro y Empresa Comandante Ernesto Che Guevara respectivamente, donde el mineral húmedo procedente del depósito de homogenización a través de un transportador de banda de goma-cable alimenta al mismo tiempo los hornos de secaderos encargados del secado del mineral.

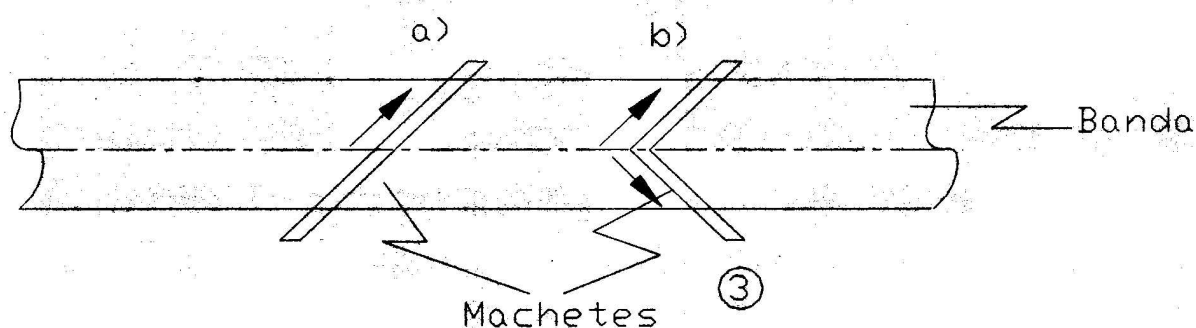


Figura 1.3 Dispositivos de descarga lateral.

En el caso de la posición b) el eje de la cuchilla puede coincidir con el eje de la banda, en este caso se obtienen teóricamente la misma productividad hacia ambos lados de la banda, aunque esta depende de la distribución transversal real del material en la banda, lo cual depende de una serie de factores tales como del sistema de alimentación, composición granulométrica, etc. Cuando no coinciden estos ejes, entonces la cantidad de producto descargado hacia ambos lados es desigual.

La estación de accionamiento de un transportador de banda puede estar formada por uno o varios tambores motrices a su vez, estos están movidos por uno o varios motores al mismo tiempo (Figura 1.4).

1.4 Característica de la materia prima

La materia prima se considera al mineral que llega de la mina con las siguientes características:

Humedad: 36.5%

Granulometría menor de 100 mm.

Contenido promedio: (Ni-1.92%), (CO-0,105%), (Fe-38.5%).

Peso volumétrico: 1,38t/m³

Característica de la materia prima necesaria.

La materia prima necesaria para el taller de preparación del mineral es mineral laterítico de donde se obtiene el níquel y el cobalto.

El mineral debe poseer una relación $LB/SB = 3$, que quiere decir la mezcla del mineral serpentinitico y el mineral limonítico, debe estar formado por 3 partes de limonita y 1 parte de serpentina.

La humedad de entrada del mineral debe ser de 36%, su composición química en base seca será: Ni; 1.32%, Fe: 38,5% y CO 0,105%. Su peso volumétrico será 1,21t/m³ base seca.

1.5 Teoría de la transmisión del esfuerzo a la banda

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

En la teoría de Euler no se considera el peso del órgano de tracción ya que estos son de poco peso y pequeñas dimensiones transversales por lo que tampoco se consideraron las tensiones complementarias surgidas en los órganos flexibles, todo lo cual no se puede dejar de tener en cuenta en los transportadores de banda, donde el peso de la banda es bastante grande y sus dimensiones transversales no son pequeñas, además este ofrece cierta resistencia a la flexión. Por todo lo anteriormente expresado, no es posible aplicar directamente la teoría de Euler a los transportadores

de banda. Así a finales del siglo XIX fue precisada esta teoría para los transportadores de banda por los científicos Petrov y Zhukoski.

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

Donde:

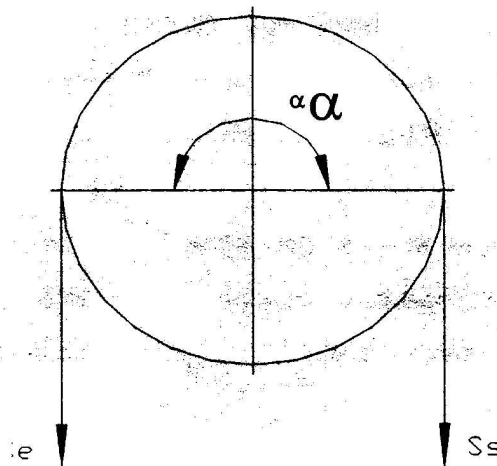
S_e : tensión de entrada

S_s : tensión de salida

μ : Coeficiente de agarre
del hilo con el cilindro

α : Ángulo abrazado por el
hilo con el cilindro

e : Base de los logaritmos



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

En el tambor motriz (transmisor del esfuerzo) de un transportador de banda la distribución de las tensiones se representa según la figura 1.5.

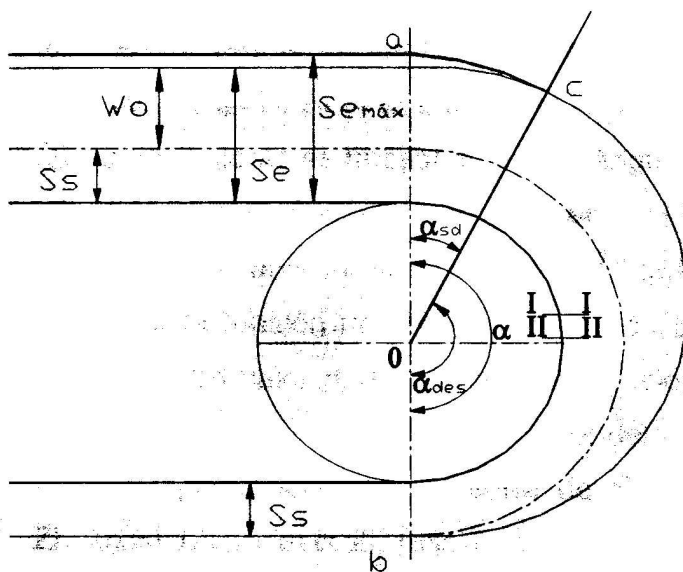


Figura 1.5 Distribución de las tensiones en el tambor motriz

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

La transmisión del esfuerzo de tracción del tambor motriz a la banda se produce precisamente debido a estos micro deslizamientos, por eso, si tomamos la superficie de un tambor de madera veremos que tiene ondas debido a este movimiento de la banda.

De esta forma se tiene que el ángulo de abrazado por la banda sobre el tambor es:

$$\alpha = \alpha_{des} + \alpha_{sd} \quad (1.1)$$

La relación de estos valores depende de la reserva de rozamiento en el tambor. Se pueden dar 3 casos:

1. Cuando $\alpha_{des} < \alpha_{sd}$. En este caso el coeficiente de reserva ($K_z > 1$)
2. Cuando $\alpha_{des} = \alpha$. En este caso el coeficiente de reserva de rozamiento es igual a la unidad ($K_z = 1$)
3. Cuando $\alpha_{des} > \alpha$. En este caso el coeficiente de reserva de rozamiento es menor a la unidad ($K_z < 1$). Aquí el transportador no va a trabajar ya que para que se produzca su movimiento es necesario que el ángulo de agarre sea mayor, debido a que no se podrá transmitir el esfuerzo necesario.

Según todo lo anterior se puede afirmar, que la tensión de entrada va a ser menor o igual que la tensión de salida multiplicada por la base de los logaritmos neperianos, elevada a un valor dado por la multiplicación del coeficiente de fricción o rozamiento entre la banda y el tambor, por el valor del ángulo de deslizamiento; dado en radianes, en correspondencia con la teoría de Euler y en la precisión hecha por Petrov, y Zhukoski, (Zelienkii et al; 1986).

$$[S_e \leq S_s \cdot e^{f\alpha_{des}}] \quad (1.2)$$

Como no se conoce el valor del ángulo de deslizamiento se coloca en su lugar el valor del ángulo de abrazado y se multiplica por un coeficiente de explotación K, que tiene en cuenta las condiciones de explotación y el cual se determina experimentalmente.

$$[S_e \leq S_s \cdot e^{Kf\alpha}] \quad (1.3)$$

Suponiendo que el coeficiente de reserva de rozamiento K_z es igual a la unidad entonces el valor del esfuerzo de tracción W transmitido del tambor a la banda se determina según:

$$W = S_e - S_s \quad (1.4)$$

Pero, como:

$$[S_e = S_s \cdot e^{f\alpha}] \quad (1.5)$$

Entonces:

$$W = W = S_s(e^{f\alpha} - 1) \quad (1.6)$$

También se puede determinar el valor de W según el valor de la tensión de entrada S_e .

$$W = S_e - S_s \quad (1.7)$$

Como:

$$S_s = \frac{S_e}{e^{f\alpha}}$$
$$W = S_e - \frac{S_e}{e^{f\alpha}} = S_e \left(1 - \frac{1}{e^{f\alpha}}\right) \quad (1.8)$$
$$W = S_e \left[\frac{e^{f\alpha} - 1}{e^{f\alpha}} \right]$$

Según, Oriol,1995; Pereda, 1999; Potapob, 1980; Shubin, 1986; Spibacoski , 1983; la resistencia al movimiento en los tramos curvos se determina como la diferencia de las tensiones de entrada y salida al tramo, aplicando la teoría de Euler o a través de un coeficiente que muestre el incremento de las tensiones. Por su parte Zelienskii (1986) determina la resistencia en estos tramos utilizando una ecuación que incluye el radio del arco que forma el tramo, en este caso se considera como un arco de circunferencia.

Para determinar la dimensión principal de transportador se utiliza el coeficiente constructivo K_c tabulado con valores que no se corresponden con las características mecánicas del mineral laterítico.

1.6 Conclusiones del capítulo I

- El estudio bibliográfico de esta temática a pesar de estar ampliamente difundida y estudiada demostró que existen procedimientos en la metodología que se tratan de forma aproximada como son la determinación de la resistencia en los tramos curvos y aspectos constructivos que influyen en la dimensión principal de los transportadores de banda.

- La capacidad de transportación de cada transportador no se aprovecha racionalmente debido a que la productividad real de la planta es inferior a la nominal de los transportadores.

CAPÍTULO II

PERFECCIONAMIENTO DE LA METODOLOGIA DE CALCULO PARA LOS SISTEMAS DE TRASPORTADORES DE BANDA UTILIZADOS PARA EL TRASPORTE DEL MINERAL LATERITICO

2.1 Introducción

La dimensión principal durante la proyección, diseño y explotación de los transportadores de banda es el ancho de su elemento portador de la carga. Es necesario tener un método que garantice la elección de esta dimensión de forma racional y que asegure la transportación eficiente de los volúmenes de material para mantener el flujo de carga. En la actualidad se desconoce el peso que desempeñan y el origen de los coeficientes y parámetros que influyen en el cálculo, todo lo anterior hace necesario el perfeccionamiento de los métodos de cálculos existentes en correspondencia con las condiciones reales de explotación de estos sistemas, es por ello que el **objetivo** de este capítulo es:

Perfeccionar la metodología de cálculo de los sistemas de transportadores de banda a partir de la influencia del mineral laterítico en correspondencia con las exigencias tecnológicas del proceso.

2.2 Parámetros y coeficientes que influyen en la magnitud principal.

El diseño y verificación de la explotación de los transportadores de banda en base a las necesidades del proceso tecnológico. Como condiciones iniciales (datos) indispensables se tienen las características físico-mecánica del material a transportar y las necesidades productivas. (Oriol, 1993) Existen otros factores que intervienen de carácter constructivo, ambiental y de seguridad.

La productividad del transportador (Q) es una función del área transversal del flujo de carga (F en m^2), de la velocidad de movimiento de la banda (v en m/s), del peso volumétrico del material transportado (γ ; kN/m^3) y de la inclinación del transportador en el sentido ascendente de la carga (Pérez cano;1993, Matiushev;1979, Mac Queen; 1993 , Castro J;1990)

$$Q = 3600 \cdot F \cdot v \cdot \gamma \cdot \psi \quad \text{kN/h} \quad (2.1)$$

Al analizar diferentes disposiciones del órgano portador de la carga (banda) sobre los apoyos de rodillos (artesa), se observa que las áreas transversales del fuljo de carga son diferente para un mismo ancho de banda. Las expresiones para la determinación de las áreas transversales para artesa de uno, dos y tres rodillos de apoyo (Fig.2.1, 2.2, 2.3 y 2.4) , que son las más utilizadas, se dan a continuación:

$$F_1 = 0,25 \cdot b^2 \cdot \tan \varphi_d \quad \text{m}^2 \quad (2.2)$$

$$F_2 = 0,25 \cdot b^2 \cdot ((\cos^2 \alpha \cdot \tan \varphi_d) + 0,50 \cdot \text{sen}(2\alpha)) \quad \text{m}^2 \quad (2.3)$$

$$F_3 = 0,25 \cdot b^2 \cdot \left\{ \left[\cos \alpha + \frac{l}{b} \cdot (1 - \cos \alpha) \right]^2 \cdot [\tan \varphi_d + \tan \alpha] - \left(\frac{l}{b} \right)^2 \cdot \tan \alpha \right\} ; \text{m}^2 \quad (2.4)$$

En las expresiones (2.2), (2.3) y (2.4) los subíndices 1, 2, 3 representan la cantidad de rodillos que posee el apoyo.

- b , es el ancho ocupado en la banda por el material, m. Por norma este ancho deberá ser un 10 % menor que el ancho de la banda menos 2,5 cm. por cada lado, como margen de seguridad para evitar el derramamiento del material debido a las irregularidades en la alimentación de este (Spibacoski;1983). Expresando esto matemáticamente:

$$b = 0,9 \cdot B - 0,05 \quad \text{m} \quad (2.5)$$

- B , ancho de la banda, en m

- φ_d , ángulo del talud dinámico de la carga. Su valor oscila normalmente entre 0,5 y 0,75 veces el ángulo del talud natural estático φ en grados, es decir:

$$\varphi_d = (0,50 - 0,75) \varphi \quad (2.6)$$

Las diferencias entre φ_d y φ se deben al reordenamiento de las partículas de carga originado por las oscilaciones mecánicas (vibraciones), que se transmiten desde el accionamiento hasta la estructura soporte del transportador, o debido a otras causas como la acción del viento, el régimen de trabajo de otras máquinas, el movimiento de la banda con la carga sobre los apoyos de rodillos, etc. Generalmente los menores valores se toman para regímenes vibratorios fuertes.

α , ángulo de inclinación de los rodillos laterales.

L, longitud del rodillo central, en m.

Incluyendo en las expresiones (2.2), (2.3) y (2.4) el coeficiente de transformación 3600 , se puede plantear generalizando que:

$$F = k \cdot b^2 \quad m^2 \quad (2.7)$$

Donde k para cada caso será igual a:

$$k_1 = 900 \cdot \tan \varphi_d \quad (2.8)$$

$$k_2 = 900 \cdot (\cos^2 \alpha \cdot \tan \varphi_d + 0,5 \cdot \sin 2\alpha) \quad (2.9)$$

$$k_3 = 900 \cdot \left[\left(\cos \alpha + \frac{l}{b} \cdot (1 - \cos \alpha) \right)^2 \cdot (\tan \varphi_d + \tan \alpha) - \left(\frac{l}{b} \right)^2 \cdot \tan \alpha \right] \quad (2.10)$$

De todo lo anterior se concluye que el área transversal del flujo de carga depende de factores condicionales que son las características físico-mecánicas del material a transportar y de factores constructivos como son las dimensiones y la forma de la artesa, así como el régimen vibratorio y de movimiento de la carga por toda la traza del transportador. Los factores condicionales son impuestos a los proyectistas, sin embargo, este es el que impone los factores constructivos mediante su elección.

Los métodos utilizados en la actualidad realmente son apreciativos ya que se fundamentan en la elección de algunos parámetros dados según la experiencia acumulada hasta el momento y no fundamentada científicamente, como por ejemplo, la velocidad de transportación, el coeficiente constructivo k, el coeficiente de inclinación ψ , la resistencia en los tramos curvos

Definitivamente para obtener la expresión que determina la dimensión principal, se sustituye la expresión (2.5) en la (2.7) y su resultado se sustituye en la expresión (2.1) de la cual se despeja el ancho de banda y queda de la forma:

$$B = 1,1 \cdot \left(\sqrt{\frac{Q}{K_c \cdot v \cdot \varphi \cdot \gamma}} + 0,05 \right) ; [m] \quad (2.11)$$

en la ecuación anterior se aprecian los parámetros y coeficientes de los que depende el ancho de la banda.

2.2.1 Coeficiente constructivo

De la expresión (2.11) se puede observar que con el aumento o disminución del coeficiente constructivo (k), el ancho de la banda disminuye o aumenta respectivamente, (Quesada; 1993)

En las referencias (Oriol; 1993, Oriol;1995, Shubin; 1986, Spibakoski; 1982), sólo aparecen los valores de este coeficiente con magnitudes entre 400 y 650, para ángulos de inclinación de los rodillos de apoyo laterales prefijados en 20 y 30 grados y ángulo del talud de 15, 20 y 25 grados. Esto solo para artesa de uno y tres rodillos de apoyo, el resto no aparecen. Ver anexo Figura 2.2, 2.3 y 2.4.

De lo señalado anteriormente se observa, teniendo en cuenta las expresiones (2.8), (2.9) y (2.10), que escoger de esta forma un coeficiente de tal importancia, que puede determinar el ancho de la banda, no es lo más racional, primero porque no se tienen en cuenta las características reales de los materiales, segundo porque no se aprovechan totalmente o más racionalmente las posibilidades de transportación y tercero porque la transportación se hace menos eficiente.

Según la expresión (2.8) el coeficiente k tiene un carácter puntual para cada tipo de material. Se debe aclarar que este punto es oscilante de acuerdo con el régimen de movimiento de la carga sobre los apoyos de rodillos y de la intensidad de las oscilaciones mecánicas transmitidas. No obstante lo anterior normalmente se toma φ_d igual a 0,7 de φ .

El mineral laterítico en la región niquelífera de Moa el ángulo de reposo natural oscila entre 36 y 38 grados.

Para φ igual 36 grados se tiene que: $k_1=423,507$.

Según lo analizado es evidente que si no se varían otros parámetros se tendría un ancho de banda único de acuerdo con la expresión (2.11).

De la expresión (2.9) teniendo en consideración lo referido a la magnitud del ángulo de talud dinámico (φ_d) se obtienen valores variables del coeficiente k_2 en dependencia del valor que toma el ángulo de inclinación de los rodillos en la artesa, por lo que al graficar los mismos se obtiene una curva única para cada tipo de material. En el gráfico

Fig2.5 (Ver anexo) se aprecia la curva obtenida para los minerales lateríticos de la región minera de Moa.

En el gráfico de la fig 2.5 (anexo) se observa que los valores de k_2 superan a los de k_1 , esto significa que las artesas con dos rodillos de apoyo tienen mayor capacidad de transportación. Además, se aprecia que la curva posee un punto máximo de los valores del coeficiente k_2 , correspondiente a un ángulo de 28° de los rodillos de apoyo. Este último resultado es importante ya que indica cual debe ser el ángulo óptimo de disposición de los rodillos en la artesa, que garantice la productividad necesaria y la máxima utilización de la capacidad de transportación. Además se pueden establecer para los transportadores instalados, las nuevas reservas constructivas que posee. Por ejemplo para un transportador que tiene un ángulo de inclinación de 20° haciendo modificaciones en su estructura hasta aumentar este ángulo a 28° se incrementaría la productividad en un 6,7 %, es decir, que para una productividad anual de 500 000t/año se pudiera llegar a tener 533 936,6t/año .

Expresando esto matemáticamente queda como

$$Q_{\text{pos}} = \frac{k_{\text{max}}}{k} \cdot Q \cdot \psi \quad [\text{kN/h}] \quad (2.12)$$

donde :

k_{max} ; coeficiente máximo obtenido

k ; coeficiente constructivo que posee el transportador, nominal o de explotación.

El coeficiente constructivo k se obtiene según las expresiones (2.8), (2.9) y (2.10), el nominal depende de los valores nominales de los parámetros de la expresión:

$$k_n = \frac{Q_n}{b^2 \cdot V_n \cdot \gamma \cdot \varphi} \quad (2.13)$$

El coeficiente de explotación k_e de la productividad media o de la instantánea. Es preferible usar los valores medios que se obtienen al dividir las cantidades anuales totales en peso P transportadas por el tiempo de trabajo anual total h trabajado por el transportador, es decir:

$$Q_m = P/h \quad (2.14)$$

De aquí que el coeficiente de explotación se obtenga según

$$K_e = \frac{P}{h \cdot b^2 \cdot V_n \cdot \gamma \cdot \varphi} \quad (2.15)$$

En la expresión anterior la velocidad puede o no coincidir con la nominal. Igualmente estos tres tipos de coeficientes pueden o no coincidir siendo esto lo que más ocurre en la práctica.

La expresión (2.13) indica solamente como se aprovecha el área transversal de transportación durante la explotación. Si se deseara conocer, para las características físico-mecánicas del material el ancho de banda aparente que ocupará el material de forma media durante el periodo que se analice, entonces es necesario realizar una verificación del valor de K_e . Primero se debe conocer el tipo de artesa. Si es de un solo rodillo, entonces $K_e \leq k_1$ y b se determina como:

$$b_1 = \sqrt{Q_m / (K_1 \cdot v \cdot \gamma \cdot \psi)} \quad (2.16)$$

Si la artesa es de dos rodillos $K_e \leq k_2$ e incluso puede ser menor que k_1 y b_2 se determina por:

$$b_2 = \sqrt{Q_m / (k_2 \cdot v \cdot \gamma \cdot \psi)} \quad (2.17)$$

Pero si la artesa es de tres rodillos, entonces $K_e \leq k_3$ incluyendo ser menor que k_1 , más es necesario comprobar que la productividad supere la que se puede transportar encima del rodillo central Q_1 , es decir que para aplicar la expresión:

$$b_3 = \sqrt{Q_m / (k_3 \cdot v \cdot \gamma \cdot \psi)} \quad (2.18)$$

Es condición indispensable que Q_m es mayor Q_1 , donde:

$$Q_1 = k_1 \cdot b^2 \cdot v \cdot \gamma \cdot \varphi \quad (\text{t/h}) \quad (2.19)$$

En caso contrario se aplica la ecuación (2.16).

El valor de la productividad Q de la expresión (2.12) deberá corresponderse con el tipo de coeficiente k que haya tomado. De la expresión (2.10) considerando las condiciones anteriores para ϕ_d , se observa que el valor del coeficiente k es una función del ángulo de inclinación de los rodillos laterales, de la longitud del rodillo central y del ancho de la banda ocupado por el material que se transporta, es decir, que depende de tres variables. Para determinar el coeficiente k para este caso se aplica el procedimiento siguiente:

Como los ancho de banda se encuentran normalizados, se fija un valor de este, se da un valor inicial del ángulo α y ellos se varia la longitud del rodillo central desde $0,2B$ hasta $0,4B$, lo cual garantiza que para cada valor de α exista una gama de valores del coeficiente k , de los cuales se escoge el mayor, para este valor se toma la longitud correspondiente del rodillo central. Para el valor de B prefijado, se da un nuevo valor de α y se realiza la misma operación con la longitud del rodillo central y así sucesivamente hasta concluir con este ancho tomado Anexo Figura 2.1b. Luego se fija otro valor de B según los normalizados y repite la operación.

Los valores obtenidos se grafican para cada longitud del rodillo central, de cual resulta una familia de curvas similares a la del gráfico de la fig 2.5. Los resultados que se muestran en el gráfico de la fig 2.6 (Ver anexo) se refieren al mineral laterítico y a un ancho de banda de $0,8$ m. Por lo normal las longitudes de los rodillos oscilan entre $0,38B$ y $0,40B$, por lo que la zona contenida entre las curvas correspondientes es la más usada.

Al comparar los resultados entre esta zona de mayor utilización y el gráfico de la fig2.5, según se muestra en el gráfico de la fig 2.7 se observan claramente dos zonas. En la primera para $0 \leq \alpha < 28^\circ$ a 32° los valores del coeficiente k_3 siempre son menores que los de k_2 , pero para $\alpha \geq (28^\circ \text{ a } 35^\circ)$ k_3 es siempre mayor que k_2 . Esto evidencia que cada tipo de artesa es predominante en una zona y que por tanto ella es la que debe ser utilizada, debido a que ofrece las mayores capacidades de transportación.

De los gráficos obtenidos se puede concluir que la capacidad de transportación para artesas acanaladas siempre es mayor que en las planas.

Los valores del coeficiente k para longitudes del rodillo central iguales a $0,38B$, para los ancho de bandas empleado en la región minera de Moa y Nicaro de los cuales se representan algunos valores en los gráficos desde la fig 2.8 hasta la fig 2.16 . De los resultados obtenidos se puede concluir una curva media, ya que todas las curvas se encuentran enmarcadas en un margen estrecho, que propiciaría el cálculo para cualquier ancho de banda con un mínimo de error

Para un determinado ancho de banda al construir un gráfico de longitud del rodillo central óptimo con respecto al ángulo de los rodillos laterales de las artesas de tres rodillos, teniendo como premisas que la longitud se tomará en función del coeficiente $k_{\max}$ según la longitud y del ángulo de inclinación, se obtienen dos características que se interceptan para $\alpha = 43^\circ$ y $l = 0,28B$ (gráfico 5). Para este ángulo y longitud se obtiene la capacidad óptima de transportación del mineral laterítico.

Para la longitud de $0,38B$ el mayor valor del coeficiente k se obtiene para $\alpha = 47^\circ$.

Estos resultados (López; 1991) difieren notablemente de los valores de α utilizados que son: de 20° , 30° para los transportadores rusos, de 30° para los japoneses y españoles y de 36° para los alemanes.

2.3 Parámetros característicos en la zona de alimentación del transportador

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. Esto es 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 alimentará en forma de una vena continua.

La operación de alimentación se realiza de dos formas fundamentales:

1. Directamente desde otra máquina transportadora. Figura 2.17
2. A través de tolvas de alimentación. Figura 2.18

En ambos caso el eslabón anterior al transportador deberá tener una productividad igual o ligeramente inferior a este para garantizar el flujo productivo.

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

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 apoyos de rodillos amortiguadores.
3. no deben 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 derramamiento de los materiales, que propicien el cambio de dirección del movimiento y no produzcan estancamiento. Se utilizan solamente guías en el caso de transporte de cargas ligeras de pequeños tamaños y poco abrasivos. Se emplean guías y canales en el, caso de materiales pesados de gran tamaño y abrasivos. En otro caso se escogerá la variante que proporcione las mejores condiciones de operación. 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 uso de canales inclinadas a favor del movimiento de la banda atenúa grandemente este efecto. A mayor diferencia de velocidades entre la banda y el material, mayor será el desgaste de la primera, debido a que las partículas necesitarán mayor espacio para lograr alcanzar la velocidad de la banda a costa de la fricción entre ambas, producto de lo cual surge una resistencia concentrada que influye en el funcionamiento del sistema.

Analicemos 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 esto en la 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, propiciando 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 rechazadas por la banda siempre que no supere su límite de elasticidad. El movimiento de la banda arrastra consigo a las partículas que caen sobre ella y le transmite 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 la realidad es muy irregular) en toda el área, la colocación de una primera capa de material que se desplaza conjuntamente con la banda. A esta capa se le sigue otra 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 las 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. En la figura 5 se observa este comportamiento, el cual se puede comprobar a simple vista.

De este análisis se concluye que la resistencia total en la zona de carga está provocada por el cambio de dirección y asimilación de la energía cinética por parte del material,

durante este proceso actúa el coeficiente de rozamiento entre el material y la banda (y con las guarderas).

Obtener las expresiones que rigen esta resistencia y su vinculación con la velocidad de transportación es de vital importancia para poder establecer los criterios de elección.

El trabajo producido por una fuerza en cierto trayecto de un camino es igual al aumento de la energía cinética del punto material en este trayecto. (Masso;1982).

$$\Delta E_c = T_{1-2} \quad (\text{J}) \quad (2.20)$$

donde;

ΔE_c ; Variación de la energía cinética del material

T_{1-2} ; trabajo realizado por la fuerza de fricción al moverse el material sobre la banda hasta alcanzar la velocidad de esta.

La energía cinética de un cuerpo rígido animado con un movimiento de traslación es igual a la mitad del producto de la masa del cuerpo por el cuadrado de la velocidad de su centro de gravedad, por tanto, el incremento de la energía cinética está dado por la diferencia de las energías cinéticas de los puntos finales e iniciales del recorrido, es decir:

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} \cdot (m) \cdot [v_2^2 \pm v_1^2] \quad [\text{J}] \quad (2.21)$$

donde:

m ; masa que se mueve en el intervalo de tiempo durante la alimentación hasta alcanzar la velocidad de la banda, en kg.

v_1 ; Componente de la velocidad de caída libre de la partícula en el sentido de movimiento de la banda.

v_2 ; Velocidad de la banda o final que adquirirá la partícula. Se toma el signo + cuando las direcciones de movimiento son opuestas y se utilizan los valores modulares de v .

La masa que se mueve en la zona de alimentación viene dada por la expresión:

$$m = \frac{Q \cdot t}{2 \cdot 3,6 \cdot g} \quad [\text{kg}] \quad (2.22)$$

siendo:

t ; tiempo que demora la masa móvil en pasar de la v_1 a la v_2 .

g; aceleración de la gravedad.

La expresión (2.22) de la que aparece en la referencia [Oriol, 1993] debido a que en esta última no se tiene en consideración la distribución de los materiales en la zona de alimentación la que se explico con anterioridad y de lo cual se derivan todos los cambios que vienen a continuación hasta la expresión (2.35).

Por tanto:

$$\Delta E_c = \frac{Q \cdot t \cdot [v_2^2 \pm v_1^2]}{2 \cdot 2 \cdot 3,6 \cdot g} \quad [\text{J}] \quad (2.23)$$

por definición el trabajo de una fuerza es igual al producto de la fuerza por el camino que ha recorrido una partícula, si bajo la acción de esta fuerza por una línea recta que coincide con la línea de acción de la fuerza. La fuerza que se origina durante la operación de alimentación es la fuerza de resistencia y la partícula se mueve en forma generalizada por la misma línea de esta fuerza, por lo que se puede plantear que:

$$T_{1-2} = w_{z\alpha} \cdot S \quad [\text{J}] \quad (2.24)$$

donde:

S; espacio recorrido por la masa

$$S = \left[\frac{v_2 \pm v_1}{2} \right] \cdot t \quad [\text{m}] \quad (2.25)$$

El signo + para direcciones contrarias.

$w_{z\alpha}$; fuerza de resistencia surgida en la zona de alimentación debido al cambio de dirección y del régimen de movimiento.

Por lo que:

$$T_{1-2} = w_{z\alpha} \left[\frac{v_2 \pm v_1}{2} \right] \cdot t \quad [\text{J}] \quad (2.26)$$

Igualando las expresiones (2.23) y (2.26) se tiene:

$$\frac{Q \cdot t \cdot [v_2^2 \pm v_1^2]}{2 \cdot 2 \cdot 3,6 \cdot g} = w_{z\alpha} \left[\frac{v_2 \pm v_1}{2} \right] \cdot t \quad [\text{J}] \quad (2.27)$$

despejando $w_{z\alpha}$ se obtiene que:

$$w_{za} = \frac{Q \cdot [v_2^2 \pm v_1^2]}{2 \cdot 3,6 \cdot g \cdot [v_2 \pm v_1]} \quad [\text{N}] \quad (2.28)$$

De esta expresión se obtienen dos ecuaciones de w_{za} que dependen de las condiciones de caída del material sobre la banda durante su alimentación, que son:

- Para la componente de la velocidad de caída libre en el sentido contrario que el movimiento de la banda:

$$w_{za} = \frac{Q \cdot [v_2^2 + v_1^2]}{2 \cdot 3,6 \cdot g \cdot [v_2 + v_1]} \quad [\text{N}] \quad (2.29)$$

- Para el caso del mismo sentido:

$$w_{za} = \frac{Q \cdot [v_2 + v_1]}{2 \cdot 3,6 \cdot g} \quad [\text{N}] \quad (2.30)$$

La velocidad v_1 y v_2 son iguales respectivamente a las componentes del vector de velocidad de las partículas alimentadas en el sentido de movimiento de la banda (v_0) y a la velocidad de transportación o de la banda (v).

Por ello, según la expresión (2.29):

$$w_{za} = \frac{Q \cdot [v^2 + v_0^2]}{2 \cdot 3,6 \cdot g \cdot [v + v_0]} \quad [\text{N}] \quad (2.31)$$

y según (2.30):

$$w_{za} = \frac{Q \cdot [v + v_0]}{2 \cdot 3,6 \cdot g} \quad [\text{N}] \quad (2.32)$$

Si $v_0 = 0$ las expresiones (2.31) y (2.32) se hacen iguales.

En virtud de que:

$$Q = 3,6 \cdot q \cdot v \quad [\text{N}] \quad (2.33)$$

La fuerza de resistencia w_{za} también será igual a:

$$w_{za} = \frac{q \cdot v \cdot [v^2 + v_0^2]}{2 \cdot g \cdot [v + v_0]} \quad [\text{N}] \quad (2.34)$$

$$w_{za} = \frac{q \cdot v \cdot [v + v_0]}{2 \cdot g} \quad [\text{N}] \quad (2.35)$$

Estas son las expresiones que rigen la magnitud de la fuerza de resistencia por el cambio de dirección.

Al analizar el proceso de alimentación se plantea la irregularidad en la distribución del material en la zona de carga. De este análisis se concluye que el peso lineal del material en la zona (q_{za}) es igual a la mitad del peso lineal en la zona de reposo relativo (zona cargada) (q), esto es debido al incremento de la cantidad de material desde un valor nulo hasta la magnitud del peso lineal del material en la zona de reposo relativo (q), es decir:

$$q_{za} = \frac{q}{2} \quad [\text{N/m}] \quad (2.36)$$

De otra forma, el peso lineal del material en la zona de alimentación es el peso contenido en dicha zona con respecto a la longitud de la misma, es decir:

$$q_{za} = 1000 \cdot \frac{\gamma \cdot V}{l_{za}} \quad [\text{N/m}] \quad (2.37)$$

donde:

V ; volumen del material en la zona de alimentación.

Es igual a:

$$V = l_{za} \cdot h_g \cdot B \quad (\text{m}^3) \quad (2.38)$$

l_{za} ; longitud de la zona de alimentación.

h_g ; Altura media del material en la guarderas.

$l_{zc} \cdot h_g$; Área de contacto entre el material y una de las guarderas.

B^7 ; ancho de abertura de la tolva de alimentación.

Por lo que:

$$q_{za} = 1000 \cdot h_g \cdot \gamma \cdot B^7 \quad [\text{N/m}] \quad (2.39)$$

$$q = 2 \cdot 1000 \cdot h_g \cdot \gamma \cdot B^7 \quad [\text{N/m}] \quad (2.40)$$

El material contenido en la zona de alimentación ofrece resistencia a su movimiento al ponerse en contacto con la banda y con las guarderas, provocando por ello el desgaste de estos elementos por la fricción aparecida. Existirán, por lo tanto, dos fuerzas de resistencias: una sobre la banda y otra sobre las guarderas.

La fuerza de resistencia provocada por la banda w_{pb} viene dada por la fuerza normal en la zona de alimentación y por el coeficiente de fricción entre la banda y el material alimentado (f_r) y que se representa por la ecuación:

$$w_{pb} = q_{za} \cdot l_{za} \cdot f_r \quad [\text{N}] \quad (2.41)$$

Por lo que:

$$w_{pb} = \frac{q}{2} \cdot l_{za} \cdot f_r \quad [\text{N}] \quad (2.42)$$

la fuerza de resistencia provocada sobre las guarderas (w_{pg}) esta dada por la fuerza de presión que ejerce el material sobre el área de contacto con las guarderas y la presión que se genera, es decir;

$$w_{pg} = A_g \cdot F_g \cdot f_r \quad [\text{N}] \quad (2.43)$$

Donde:

A_g ; Área de contacto con las guarderas laterales.

$$A_g = 2 \cdot h_g \cdot l_{za} \quad [m^2] \quad (2.44)$$

F_g , fuerzas de presión del material contra las guarderas.

$$F_g = 2 \cdot \gamma \cdot \frac{h_g}{2}$$

$$F_g = \gamma \cdot h_g \quad [kN / m^2] \quad (2.45)$$

donde:

$\frac{h_g}{2}$; Altura al centro de gravedad de un área de contacto entre las guarderas y el material.

Por tanto:

$$w_{pg} = 2 \cdot h_g^2 \cdot l_{za} \cdot \gamma \cdot f_r \quad [N] \quad (2.46)$$

O lo que es lo mismo

$$w_{pg} = h_g \cdot l_{za} \cdot f_r \cdot \frac{q}{B^7} \quad [N] \quad (2.47)$$

En este análisis no cuenta con que las guarderas presionen sobre la banda, pues esto representa un problema de montaje que para el mejor trabajo del transportador no debe ocurrir. En el caso en que ello ocurra, sencillamente es necesario eliminarlo. Si esto último no es posible para los efectos reales, entonces, se deberá adicionar la fuerza de resistencia que esto ofrece al movimiento de la banda.

De forma general la fuerza de resistencia en la zona de alimentación será igual a:

$$w_{za} = w_{pb} + w_{pg} \quad [N] \quad (2.48)$$

o sea:

$$w_{za} = \frac{q}{2} \cdot l_{za} \cdot f_r + h_g \cdot l_{za} \cdot f_r \cdot \frac{q}{B^7} \quad (2.49)$$

Se puede establecer, además, que la fuerza de resistencia w_{za} es igual al peso normal del material sobre la banda en la zona de alimentación (P) por el coeficiente de fricción (f_r), es decir:

$$W = P \cdot f_r \quad [\text{N}] \quad (2.50)$$

Por lo que considerando que el material no es un cuerpo sólido único, sino que está formado por un conjunto de partículas, entonces:

$$P = P_p \cdot n \cdot V_c \quad [\text{N}] \quad (2.51)$$

Siendo

P_p ; peso de una partícula.

n ; número de partículas contenidas en un volumen de 1 m^3 .

$$n = a^{-3} \quad [\text{m}^{-3}] \quad (2.52)$$

a ; tamaño de la partícula.

V_c ; Volumen que ocupa el material en la zona de alimentación sin tener en consideración los espacios entre partículas.

El peso de una partícula viene dado por la expresión:

$$P_p = V_p \cdot \gamma \quad [\text{N}] \quad (2.53)$$

Debido a que las partículas tienen forma irregular, el volumen se determina: (Canillo, 1990)

$$V_p = k_1 \cdot k_2 \cdot a^3 \quad [\text{m}^3] \quad (2.54)$$

donde:

k_1 y k_2 ; coeficientes de proporcionalidad que permiten comparar el volumen de la partícula irregular con el de una partícula cúbica.

Haciendo $k_1 \cdot k_2 = k$ tendremos que:

$$V_p = k \cdot a^3 \quad [\text{m}^3] \quad (2.55)$$

$$P = K \cdot a^3 \cdot n \cdot V_c \cdot \gamma \quad [\text{N}] \quad (2.56)$$

El volumen ocupado por el material en la zona de alimentación es igual a la mitad del volumen ocupado por el material fuera de esta zona en una longitud igual a la zona de alimentación l_{za} , por lo tanto:

$$V_c = \frac{q_v \cdot l_{za}}{2} \quad [m^3] \quad (2.57)$$

donde:

q_v ; Volumen lineal del material.

$$q_v = \frac{Q}{3.6 \cdot \gamma \cdot v} \quad [m^3 / m] \quad (2.58)$$

de donde

$$V_c = \frac{Q \cdot l_{za}}{2 \cdot 3.6 \cdot \gamma \cdot v} \quad [m^3] \quad (2.59)$$

por tanto

$$P = \frac{k \cdot a^3 \cdot n \cdot Q \cdot l_{za}}{2 \cdot 3.6 \cdot v} \quad [N] \quad (2.60)$$

La magnitud del coeficiente de proporcionalidad k da la medida de cuanto se diferencia la partícula irregular de la forma cúbica. Si se parte del hecho de que el tamaño de la partícula es la mayor diagonal de esta, entonces la forma cúbica tendrá que contener a la otra, es decir, que la partícula será incluida dentro del cubo. Por tanto, el coeficiente de proporcionalidad es la razón entre el volumen real de la partícula y el del cubo imaginario.

Para poder determinar la magnitud media del coeficiente k es necesario realizar una investigación del tipo de material que se vaya a trasladar.

Sustituyendo a P y a n por las expresiones correspondientes en la ecuación (50) se tiene que

$$w_{za} = \frac{k \cdot f_r \cdot Q \cdot l_{za}}{2 \cdot 3.6 \cdot v} \quad [N] \quad (2.61)$$

las expresiones (2.28), (2.49), (2.61) son equivalentes por su sentido ya que tratan de describir la fuerza de resistencia que obra en la zona de alimentación aunque parten de análisis diferentes. Utilizando las expresiones (2.29 y (2.30) para igualarlas individualmente con las expresiones (2.49) y (2.61) se obtienen los siguientes resultados:

Igualando (2.29) con (2.49)

$$\frac{v \cdot [v^2 + v_0^2]}{[v + v_0]} = 2 \cdot \left[\frac{1}{2} + \frac{h_g}{B^7} \right] \cdot l_{za} \cdot g \cdot f_r \quad (2.62)$$

igualando (29) con (61):

$$\frac{v \cdot [v^2 + v_0^2]}{[v + v_0]} = k \cdot l_{za} \cdot g \cdot f_g \quad (2.63)$$

Igualando (30) y (49) :

$$v = \sqrt{2 \cdot \left[\frac{1}{2} + \frac{h_g}{B^7} \right] \cdot l_{za} \cdot g \cdot f_r + \frac{1}{4} \cdot v_0^2} - \frac{1}{2} \cdot v_0 \quad (2.64)$$

Igualando (30) con (61) :

$$v = \sqrt{k \cdot l_{za} \cdot g \cdot f_r + \frac{1}{4} \cdot v_0^2} - \frac{1}{2} \cdot v_0 \quad (2.65)$$

De las expresiones (2.62), (2.63), (2.64), y (2.65) se observa que la velocidad de transportación no depende, en lo absoluto, del tamaño de las partículas, sino de la forma de estas, del coeficiente de fricción del material con la banda y de la componente de la velocidad de caída de las partículas en el sentido del movimiento de la banda.

La longitud de la zona de alimentación no es una zona arbitraria, ni tiene por que coincidir con la longitud de las guarderas laterales, su sentido físico coincide con la longitud del deslizamiento del material sobre la banda (l_d) hasta alcanzar la velocidad de esta, por ello se determina por:

$$l_d = \frac{v \cdot [v^2 \pm v_0^2]}{g \cdot [v \pm v_0]} \quad (2.66)$$

Esta expresión se obtiene si no se tiene en consideración el coeficiente de forma, las guarderas laterales y el coeficiente de fricción, por tanto es ideal.

De la expresión anterior se obtiene para movimientos contrarios:

$$l_d = \frac{v \cdot [v^2 + v_0^2]}{g \cdot [v + v_0]} \quad (2.67)$$

y para movimientos en el mismo sentido:

$$l_d = \frac{v \cdot [v - v_0]}{g} \quad (2.68)$$

Si el material se alimenta verticalmente, entonces las expresiones (2.67) y (2.68) son iguales a:

$$l_d = \frac{v^2}{g} \quad (2.69)$$

Con el objetivo de mostrar la veracidad de las expresiones obtenidas se utilizará la ecuación (2.67 y 268) por ser la más sencilla. En este sentido se trata de comprobar que partículas de forma similar y diferentes tamaños se comportan de manera parecida y que partículas de configuración irregular y disímil se comportan desigualmente. El comportamiento de las partículas se establece en virtud del desplazamiento de estas sobre la banda desde su caída en ella y hasta que adquieran el estado de reposo relativo, siendo alimentadas desde diferentes alturas. (Ver capítulo III)

Como se ha demostrado, los menores valores del área de transportación se obtienen para transportadores con un solo rodillo de apoyo, lo cual implica el mayor valor de la velocidad para garantizar la productividad necesaria. Para esta condición se obtienen los máximos valores de la velocidad de transportación en función de la productividad para cada ancho de banda normalizado según la expresión:

$$v = \frac{Q}{900 \cdot b^2 \cdot \gamma \cdot \tan(\varphi_d)} \quad (2.70)$$

Según (2.70), la dependencia entre la velocidad y la productividad es lineal, donde la pendiente es función del ancho normalizado y de las características físico-mecánicas del material.

2.4 Procedimiento para la selección del ancho de la banda de los transportadores

Durante la proyección de los transportadores de banda es necesario seleccionar y determinar los parámetros fundamentales del mismo. Entre estos parámetros se encuentra el ancho de la banda, cuyo valor define el resto de los parámetros del transportador. Es por esto que su elección debe realizarse sobre un criterio fundamentado técnicamente y en dependencia de las condiciones impuestas al proyectista.

Para el que proyecta es de suma importancia la correcta elección del ancho de la banda, cuyo valor se define a partir de las necesidades de materiales a transportar.

Para determinar el ancho de la banda se parte del análisis de la expresión (2.1).

Al analizar diferentes artesas para una misma productividad se obtiene que:

$$Q = k_1 \cdot b_1^2 \cdot v_1 \cdot \gamma \cdot \psi \quad (2.71)$$

$$Q = k_2 \cdot b_2^2 \cdot v_2 \cdot \gamma \cdot \psi \quad (2.72)$$

$$Q = k_3 \cdot b_3^2 \cdot v_3 \cdot \gamma \cdot \psi \quad (2.73)$$

Partiendo del hecho que se esta realizando un cálculo de proyección de un transportador, esto significa que se están seleccionando y calculando los parámetros más racionales del mismo y por tanto cabe la posibilidad de comparar variantes entre si. Es por ello que en las expresiones anteriores se ha tomado un valor único de productividad como la necesaria para cualquier variante.

Suponiendo que Q es la productividad deseada, entonces igualando las expresiones (2.71) y (2.72), (2.72) y (2.73) y las expresiones (2.71) y (2.73) tendremos:

$$k_1 \cdot b_1^2 \cdot v_1 = k_2 \cdot b_2^2 \cdot v_2 \quad (2.74)$$

$$k_2 \cdot b_2^2 \cdot v_2 = k_3 \cdot b_3^2 \cdot v_3 \quad (2.75)$$

$$k_1 \cdot b_1^2 \cdot v_1 = k_3 \cdot b_3^2 \cdot v_3 \quad (2.76)$$

Ahora bien, la velocidad de transportación de los materiales no puede ser cualquiera, debido a que, mientras mayor sea la diferencia de velocidades entre el material y la banda en la zona de carga mayor será el desgaste provocado, ya que para lograr el material la velocidad de la banda tendrá que acelerarse a costa de la fricción entre ellos. Por tanto, queda claro que para cualquier tipo de artesa la velocidad siempre tendrá un límite para cada clase de material en condiciones de caída vertical de este sobre la banda que se circunscribe a la zona de carga, es decir, que cada tipo de material tendrá sus propios límites de velocidad en dependencia de sus características físico-mecánicas.

Por tanto, según lo expresado anteriormente, suponemos que trabajamos con las velocidades límites, entonces v_1, v_2, v_3 son iguales y las expresiones (2.74), (2.75) y (2.76) se convierten en:

$$k_1 \cdot b_1^2 = k_2 \cdot b_2^2 \quad (2.77)$$

$$k_2 \cdot b_2^2 = k_3 \cdot b_3^2 \quad (2.78)$$

$$k_1 \cdot b_1^2 = k_3 \cdot b_3^2 \quad (2.79)$$

Estas expresiones divididas por el factor de conversión 3600, constituyen el área transversal de transportación del material con la cual se garantiza la productividad necesaria.

Como se puede observar en las expresiones (2.8), (2.9) y (2.10) el único valor de los coeficientes k se puede determinar y que no depende de las características constructivas, es el coeficiente k_1 , que sólo dependerá del ángulo del talud dinámico de la carga a transportar y que ya debe haber sido definido previamente. Por tanto, para el apoyo de un rodillo podrá ser definido el ancho de la banda por la expresión:

$$B_1 = 1,1 \cdot \left[\sqrt{\frac{Q}{k_1 \cdot v \cdot \gamma \cdot \psi}} + 0,05 \right] ; [m] \quad (2.80)$$

Para una misma velocidad, tomar anchos de banda superiores a B_1 implicaría subutilizar las posibilidades reales de transportación debido a que según las expresiones (2.77) y (2.79) esto provoca que k_2, k_3 tengan valores inferiores a los de k_1 , pudiendo ser estos superiores.

De expresión (2.9) tenemos que:

$$k_2 = \cos^2 \alpha [k_1 + 900 \cdot \tan \alpha] \quad (2.81)$$

De aquí se observa que el menor valor del coeficiente k_2 coincide con el de k_1 cuando la artesa de dos rodillos no presenta inclinación de los mismos, es decir, $\alpha = 0^\circ$. Por tanto, según la expresión (2.80) se puede plantear también que:

$$B_{II} = 1,1 \cdot \left[\sqrt{\frac{Q}{k_{II} \cdot v \cdot \gamma \cdot \psi}} + 0,05 \right] ; [m] \quad (2.82)$$

De las expresiones (80) y (82) se obtiene que:

$$k_1 \cdot (0,9 \cdot B_1 - 0,05)^2 = k_2 \cdot (0,9 \cdot B_2 - 0,05)^2 \quad (2.83)$$

Del análisis de esta expresión se observa que cuando B_2 coincide con B_1 los valores de k_1 y k_2 coinciden, que cuando B_2 es mayor que B_1 entonces para mantener la equivalencia el valor k_2 deberá disminuir; esto significa que la cantidad de material sobre la banda no completa las posibilidades de transportación, que cuando B_2 es menor que B_1 entonces k_2 deberá aumentar su valor.

De la expresión (2.10) se obtiene:

$$k_{III} = \left[\cos \alpha + \frac{l}{b} \cdot (1 - \cos \alpha) \right]^2 \cdot (k_I + 900 \cdot \tan \alpha) - 900 \left(\frac{l}{b} \right)^2 \cdot \tan \alpha \quad (2.84)$$

O lo que es lo mismo:

$$k_{III} = \left[1 + \frac{l}{b} \cdot \left(\frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right) \right]^2 \cdot k_{II} - 900 \left(\frac{l}{b} \right)^2 \cdot \tan \alpha \quad (2.85)$$

Las expresiones (2.84) y (2.85) son equivalentes. En ellas se observa que el coeficiente k_{III} se hace igual al coeficiente k_I solamente en el caso en que los rodillos laterales se encuentren en posición horizontal.

Por similitud se puede plantear directamente que:

$$k_I (0,9 \cdot B_I - 0,05)^2 = k_{III} \cdot (0,9 \cdot B_{III} - 0,05)^2 \quad (2.86)$$

De aquí que, las conclusiones del análisis de la expresión concuerden con las realizada en el caso anterior.

En general podemos plantear que para las expresiones (2.81), (2.84) y (2.85) los coeficientes k_1 , k_2 y k_3 se hacen iguales solamente en el caso en el valor del ángulo de inclinación de los rodillos laterales (α) sea igual a cero. Cuando este ángulo toma un valor diferente de cero, el comportamiento de los coeficiente k_2 y k_3 difieren, debido a

sus dependencias particulares, dada por sus expresiones respectivas, en las que k_2 solo depende del ángulo α y k_3 depende, además del ángulo (α), de la longitud del rodillo central (l) y del ancho de la banda ocupado por el material (b).

Según las expresiones (2.9) y (2.10) se pueden establecer los valores de k_2 y k_3 respectivamente para los anchos de banda normalizados con los cuales se garantizaría la productividad necesaria. Ahora bien, si se analiza la expresión (2.9) se observa que para cualquier ancho de la banda la característica que se obtendrá de la variación del ángulo de inclinación de los rodillos laterales (α) siempre será la misma para cualquier tipo de material.

De las expresiones (2.77) y (2.79) se obtendrían los anchos de banda óptima para cada condición preestablecida. Expliquemos en que consiste esto:

Primeramente se determina el coeficiente k_1 según la expresión (2.8). Teniendo como datos la productividad (Q), la velocidad (v), las características del material y la traza, se determina B_1 según la expresión (2.80), que será el mayor ancho de banda que se necesita para garantizar esta productividad en las condiciones prefijadas. Para los valores máximos de k_2 y k_3 se pueden establecer los valores mínimos de B_2 y B_3 según:

$$B_{II} = 1,1 \cdot \left[(0,9 \cdot B_I - 0,05) \cdot \sqrt{\frac{k_I}{k_{2\max}}} \right] + 0,05 \quad (2.87)$$

$$B_{II} = 1,1 \cdot \left[(0,9 \cdot B_I - 0,05) \cdot \sqrt{\frac{k_I}{k_{3\max}}} \right] + 0,05 \quad (2.88)$$

Estos valores garantizan la productividad, pero debido a que los anchos de banda son normalizados, entonces se buscan los valores normalizados superiores a los calculados y para ellos se fijan los parámetros correspondientes, es decir, la longitud de los rodillos y el ángulo de inclinación de estos. Esto último se realiza despejando el valor de los coeficientes k_2 y k_3 en las expresiones anteriores teniendo establecidos los valores normalizados de B_2 y B_3 por los valores de $k_{2\max}$ y $k_{3\max}$ se pueden introducir los correspondientes a los ángulos de los rodillos laterales preestablecidos y escogidos con antelación.

Para poder realizar una buena selección es necesario conocer cual es la velocidad que puede alcanzar la banda, es decir, la velocidad límite para la realización de la transportación conociendo además, de qué factores depende.

Tomando como ejemplo el transportador 114-CO-8 de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba, cuyos datos principales son:

$Q = 880 \text{ t/h}$

$B = 800 \text{ mm}$

$V = 4 \text{ m/s}$

$L = 3200 \text{ m}$

$N = 300 \text{ kw}$

Se obtiene utilizando la expresión 2.80 que $B_1 = 0,715 \text{ m}$, por lo que normalizando es 800 mm. Este es el ancho de banda máximo que garantiza la productividad nominal.

Según (2.87) se obtiene que $B_2 = 0,6195 \text{ m}$ y según (2.88) que $B_3 = 0,604 \text{ m}$.

2.5 Determinación de la resistencia al movimiento de los transportadores de banda

Cuando se desplazan cargas de cualquier tipo y en cualquier forma con velocidad constante en el caso general surgen fuerzas de resistencia al movimiento de dos tipos :

1 – Las fuerzas de resistencia de las componentes del peso de la carga y de los elementos que se trasladan.

2 – Las fuerzas de resistencias nocivas.

Para la determinación de la magnitud de la fuerza de resistencia convenimos que las que actúan en dirección contraria al movimiento se designan con signo positivo y las que actúen en dirección al movimiento con signo negativo. De lo cual se desprende que la fuerza de la componente del peso puede ser positiva cuando el movimiento es hacia arriba y negativa cuando el movimiento es hacia abajo. Mientras que la resistencia nociva siempre es positiva. Cuando el movimiento es horizontal la componente del peso es nula.

La traslación de la carga en los transportadores se realiza sobre un elemento portador de la carga (banda o cinta) que se desplaza por encima de rodillos. En este caso tiene lugar la resistencia al rodamiento y desplazamiento en los muñones.

Se pueden presentar tres casos:

I – Movimiento horizontal con velocidad constante de la carga con un peso G , se traslada en un medio portante de peso G_0 , la fuerza móvil será:

$$W = (G + G_0) \frac{d \cdot f + 2 \cdot k}{D} = (G + G_0) \cdot w \quad (\text{N}) \quad (2.89)$$

Donde: D ; es el diámetro del rodillo, tambor o polea, en m

d ; es el diámetro del rodamiento, cojinete; en m

f ; coeficiente de fricción en los cojinetes

k ; coeficiente de fricción al rodamiento se expresa en las mismas unidades que

D y d . Se determina de forma experimental.

w , coeficiente generalizado de resistencia al movimiento. Se define como la relación entre las fuerzas que limitan el movimiento de la carga y el peso de esta. (Oriol, 1995)

$$w = \frac{d \cdot f + 2k}{D} = \frac{W}{G + G_0} \quad (2.90)$$

W ; es la fuerza móvil ; en N

G_0 y G se expresan en N

$W = W_n$ para el movimiento horizontal; donde W_n es la fuerza de resistencia nociva o fuerza de resistencia por fricción.

Si los pesos G y G_0 se expresan lineal entonces

$$G + G_0 = (q + q_0) \cdot L \quad (2.91)$$

Luego

$$W = (q + q_0) \cdot L \cdot w \quad (2.92)$$

Donde: q , q_0 son los pesos lineales de la carga y del elemento portador de la carga respectivamente, en N/m

L , es la longitud del tramo que se analiza; en m

II – Movimiento inclinado con velocidad constante

a- Movimiento inclinado hacia arriba

fig

Cuando se mueve por un plano inclinado hacia con un ángulo β la fuerza total de resistencia o fuerza móvil W es igual a la componente del peso W_p mas la fuerza de resistencia nociva W_n

$$W = W_n \oplus W_p \quad (2.93)$$

$$W_p = (G + G_0) \cdot \text{sen} \beta \quad \text{y} \quad W_n = (G + G_0) \cdot \cos \beta \cdot w^1$$

$$W = (G + G_0) \cdot \text{sen} \beta + (G + G_0) \cdot \cos \beta \cdot w^1 \quad (2.94)$$

$$W = (G + G_0) \cdot (\text{sen} \beta + w^1 \cdot \cos \beta) \quad (2.95)$$

b- cuando el movimiento es hacia abajo

$$W = (G + G_0) (w^1 \cdot \cos \beta - \text{sen} \beta) \quad (2.96)$$

En el caso del movimiento inclinado la fuerza de resistencia nociva es igual al producto de la presión dl peso por el coeficiente generalizado de resistencia w' ; es decir .

$$w' = \frac{W_n}{(G + G_0) \cos \beta} \quad (2.97)$$

Cuando $w' < \tan \beta$, implica $W > 0$

$w' > \tan \beta$ implica $W < 0$, es decir, que el movimiento tiene lugar por la componente del peso y para mantener la velocidad constante es necesario frenar.

Cuando el movimiento es acelerado a la fuerza móvil o resistencia total se le debe agregar la fuerza de inercia. W_a

$$W = W_n + W_p + W_a \quad (2.98)$$

$$W_a = \frac{(G + G_0) \cdot a \cdot k}{g} \quad (2.99)$$

donde a , es la aceleración en m/s

k , coeficiente que toma en consideración la influencia de las masas en rotación $k > 1$.

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

La resistencia en los tramos rectos ya sean horizontales e inclinados se determinan por la siguiente expresión:

$$W_c = [(q_c + q_b) \cdot \cos \beta + q_r] \cdot w' \cdot l \pm (q_c + q_b) \cdot \sin \beta \cdot l \quad (2.100)$$

$$W_v = [(q_b) \cdot \cos \beta + q_r'] \cdot w' \cdot l \pm (q_b) \cdot \sin \beta \cdot l \quad (2.101)$$

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

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

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

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

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

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

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

Resistencia en los tramos curvos

Los tramos curvos en la traza del transportador de banda se distribuyen a lo largo del perfil en el plano vertical. A la resistencia al movimiento que surge como resultado del peso de la carga y las partes móviles debe agregarse otra resistencia complementaria como consecuencia de la tensión del órgano de tracción y la aparición de fuerzas radiales que oprimen a este contra el sector curvado. Estos tramos curvos se logran mediante la instalación de baterías de rodillos estacionarios que tienen cambios de dirección en el plano vertical. Los cambios de dirección de la banda a parte de los que

necesariamente tienen que existir en los extremos de la traza y que se logran con el empleo de tambores, pueden ser convexos o cóncavos. [Oriol, 1995]

Los cambios de dirección de la banda aparte de los que necesariamente tienen que necesariamente tienen que existir estar en los extremos de la traza y que se logran con el empleo de tamboras, pueden ser cóncavos o convexos. [Oriol]

Los cambios convexos ocurren en los siguientes casos:

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

Dichos cambios se realizan mediante uno de los siguientes métodos:

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

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

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

$$Z = 1 + \frac{R \cdot \beta_k}{l_r} \quad (2.102)$$

donde R; es el radio de curvatura del tramo curvo

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

Los cambios cóncavos ocurren en los siguientes casos:

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

Dichos cambios en la rama cargada se logran mediante el propio pandeo de la banda. Mediante el pandeo libre de la banda, que esta sometida a una determinada tensión, se debe lograr que esta se apoye sobre los rodillos en todo momento. La determinación del radio de curvatura que debe tener la banda se obtiene del análisis de la condición más peligrosa, que es cuando la banda esta cargada justamente hasta el punto donde comienza el cambio de dirección. Anexo figura 2.19

Prácticamente se considera que el pandeo libre de la banda se ajusta a la ecuación de una parábola, la cual se expresa por:

$$x^2 = 4 \cdot p \cdot y \quad (2.103)$$

donde , p; radio focal de la parábola

El radio focal de la parábola coincide con el radio mínimo de curvatura de esta, que es el que se toma desde el punto de vista constructivo para sustituir el arco de círculo, lo que se tiene en cuenta mediante el factor k. Lo anterior se expresa por:

$$R_{\min} \geq \frac{S_t}{2 \cdot q_h} \cdot k \quad (2.104)$$

Los valores de k están en función de β

β	k
≤ 7	1,0
8 a 15	1,05
16 a 20	1,10
≥ 20	1,15

[Oriol, 199]

Según (shubin) la resistencia en las partes curvilíneas del transportador se calculan por la fórmula

$$W = S_s \cdot k_K \quad (2.105)$$

donde S_s ; tensión de salida del tramo curvo

$$k_k = 1 - \frac{1}{e^{w \cdot \alpha}} \quad (2.106)$$

donde α ; Ángulo del arco de curvatura del arco del tramo, en rad.

Si se conoce la tensión de entrada S_e , entonces se puede expresar en función de S_e

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

Según (Polanco, 1999; Potapob, 1980; Spibakoskii, 1983) la resistencia en los tramos curvos convexos se determina por la siguiente ecuación

$$W = S_e \cdot k' \quad (2.107)$$

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.

La ecuación 2.107 la utilizamos fundamentalmente cuando tenemos un tambor de desvío en el tramo curvo.

Para los tramos curvos cuyo arco lo forma una batería de rodillos se utiliza la ecuación siguiente

$$S_s = S_e \cdot k'' = S_e \cdot e^{w_f \cdot \alpha} \quad (2.108)$$

w_f ; coeficiente de fricción de los rodillos que forman la batería de rodillos.

Según (O.B.Zelenskii; 1986) la resistencia al movimiento en los tramos curvos cuyo arco lo forma una batería de rodillos se determina por las ecuaciones siguientes

a) En los tramos convexo cargados .Anexo figura 2.20

$$W = [S_e + (q_c + q_b + 2 \cdot q_r) \cdot R] \cdot \alpha \cdot w \pm (q_c + q_b) \cdot h \quad (2.109)$$

b) En los tramos convexos sin carga

$$W = [S_e + (q_b + q_r) \cdot R] \cdot \alpha \cdot w \pm (q_b) \cdot h \quad (2.110)$$

c) En los tramos cóncavos cargados Anexo figura 2.21

$$W = (q_c + q_b + q_r) \cdot l \cdot w \pm (q_c + q_b) \cdot h \quad (2.111)$$

d) En los tramos cóncavos vacíos.

$$W = (q_b + q''_r) \cdot w \cdot l \pm q_b \cdot l \quad (2.112)$$

e) En los tramos curvos formado por un rodillo. Anexo2.22

$$W = (0,03 \cdot S_e) \quad (2.113)$$

$$W = (0,04 \cdot S_e) \quad (2.114)$$

para $\alpha = 180$ a 210° Anexo2.23

$$W = (0,02 \cdot S_e) \quad (2.115)$$

$\alpha < 30^\circ$

f) Para los tramos con dos tambores o rodillos de la forma Anexo figura 2.24

$$W = (0,01 \cdot S_e) \quad (2.116)$$

La determinación de la resistencia al movimiento en los tramos curvos definidas por los cambios de dirección de la banda en los tambores, tramos convexos y cóncavos según varios autores (Lanber J,1990; Catolog 210C, 1992; Catolog 410C) esta función de la tensión de entrada o de salida del tramo que se calcula; es decir

$$S_s = S_e \cdot e^{wt \cdot \theta} \quad (2.117)$$

donde:

wt; es el coeficiente de fricción generalizado en el tramo curvo

θ ; es el ángulo que forma el arco del tramo analizado, en rad.

Otros autores como [O.B.Zelenskii; 1986] determinan la resistencia en los tramos curvos con más precisión también en función de una de las tensiones, pero además en función del radio R del arco de curvatura del tramo. Este último parámetro no siempre esta como dato y no es fácil de obtener. Con frecuencia los valores de $e^{wt \cdot \theta}$ se toman en un rango de 0,01 a 0,03. Como se puede observar la determinación de la resistencia al movimiento de la banda y las tensiones no es una tarea fácil y exacta.

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 .

$$S_{\min .trab.} = (10 - 5) \cdot (q_b + q_c) \cdot l_r \quad (2.118)$$

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 ya que 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.

$$S_n = S_{n-1} + W_{n-1,n} \quad (2.119)$$

La tensión mínima de trabajo obtenida por la ecuación 2.119 nos sirve para comprobar la flecha de la banda en la rama cargada.

Según Méndez (2002) la tensión en los tramos curvos convexo con carga sin considerar la presión hacia los elementos de apoyo se determina por

$$W_{convc} = [(q_c + q_b + 2 \cdot q_r) \cdot R] \cdot \alpha \cdot w \pm (q_c + q_b) \cdot h \quad (2.119.1)$$

Sin carga

$$W_{convv} = [(q_b + q_r) \cdot R] \cdot \alpha \cdot w \pm (q_b) \cdot h \quad (2.119.2)$$

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

$$W_{convc} = [(q_c + q_b + 2 \cdot q_r) \cdot R] \cdot \alpha \cdot w \pm (q_c + q_b) \cdot h \cdot e^{\mu \cdot \alpha} \quad (2.119.3)$$

$$W_{convv} = [(q_b + q_r) \cdot R] \cdot \alpha \cdot w \pm (q_b) \cdot h \cdot e^{\mu \cdot \alpha} \quad (2.119.4)$$

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

2. 6 Accionamiento de los transportadores de banda.

La potencia de accionamiento se determina por

$$N = \frac{W_0 \cdot v}{1000 \cdot \eta_T} \cdot k_r \quad (2.120)$$

Donde:

$k_r = 1.1$ a 1.15 coeficiente de reserva

η_T ; Coeficiente de rendimiento total de la transmisión. ($\eta_T = 0.85-0.90$)

W_0 ; es el esfuerzo de tracción en el tambor motriz.

$$W_0 = S_e - S_s + (0.05a0.06) \cdot (S_e + S_s) ; N \quad (2.121)$$

S_e y S_s ; son las tensiones de entrada y salida al tambor motriz respectivamente.

El esfuerzo de tracción depende de las tensiones de entrada y salida al tambor motriz, estas a su vez dependen en primer lugar del peso lineal de la carga, de la banda y de los rodillos de apoyo y de las dimensiones del perfil. Como el peso lineal de la carga depende directamente proporcional a la productividad Q del transportador, entonces aplicando el método de contorno por puntos en el perfil de los transportadores TR-6Ab, TR-7, TR-11, TR-12 y TR-15, se obtiene un modelo teórico que nos relaciona la potencia de cada uno de estos transportadores en función de la productividad.

$$\text{TR-6A: } N = 0,064 \cdot Q + 36.048 \quad (2.122)$$

$$\text{TR-7A: } N = 0,158 \cdot Q + 22.1229 \quad (2.123)$$

$$\text{TR-11: } N = 0,131 \cdot Q + 24.470 \quad (2.124)$$

$$\text{TR-12: } N = 0.153 \cdot Q + 28.460 \quad (2.125)$$

$$\text{TR-15: } N = 0.0352 \cdot Q + 17.660 \quad (2.126)$$

Al realizar la modelación de las ecuaciones anteriores se observa que el consumo de potencia de cada transportador de banda se incrementa de forma lineal desde un valor N_0 para $Q=0$ hasta un valor N_n para Q_n . También se aprecia que aun cuando $Q=0$ existe un consumo de potencia activa, que es para vencer la carga provocada por el peso de la banda, la resistencia al giro de los rodillos de apoyo, tambor motriz y demás elementos que se mueven.

Si se obtienen modelos para los transportadores de la planta de preparación de minerales que están en explotación actualmente, con bandas de ancho mucho mayor que la que realmente se necesitan para satisfacer la productividad de la instalación y además con potencia instalada por encima de la real necesaria, al modelarlo se puede apreciar que para estos mismos transportadores la potencia N_0 es mayor. Por otro lado, al utilizar los motores con potencia por debajo de su potencia nominal se incrementan considerablemente las pérdidas.

La diferencia entre el valor de los parámetros de diseño (instalados actualmente) y los propuestos se pueden obtener en las tablas 4.1 y 1.1 (ver anexo).

En la tabla 3.2 se muestran los valores N calculado por los modelos 2.122 al 2.126 en base a la productividad mínima, media y máxima medida para poder compararlo con los valores de potencia medida correspondiente estas productividades. Esto servirá para la validación de estos modelos.

La eficiencia del accionamiento de los transportadores puede ser mejorado directamente por el incremento del rendimiento del motor y/o del transportador mediante: uso de motores acorde a la potencia real necesaria, realizar el mantenimiento según los planes para lograr fundamentalmente el giro suave de los rodillos y tambores, ajustar la abertura de las tolvas, disminuir al máximo la altura de caída del mineral sobre la banda, usar bandas de ancho que se corresponda con la productividad.

2.7 Algoritmo para el cálculo.

Para la elaboración del programa se siguieron una secuencia de pasos lógicos conforme la metodología anteriormente planteada, a continuación se relacionan los pasos para la ejecución del mismo.

1) Cálculo de la productividad horaria del transportador.

En caso de que sea conocida:

- Introducir el valor correspondiente.

En caso que se desconozca dicho valor :

- Introducir valores de:
 - Productividad anual del transportador
 - Tiempo que trabaja el transportador al año
 - Valor del coeficiente de irregularidad del trabajo.
- Calcular la productividad horaria del transportador

2) Cálculo del ancho de banda.

-Introducir los valores de:

- Velocidad de movimiento de la banda
- Masa volumétrica del material.

- Coeficiente que tiene en cuenta la disminución de la productividad en función del ángulo de inclinación
- Coeficiente que tiene en cuenta la forma de la banda y las propiedades física y mecánica del material transportado.
- Calcular el ancho de banda.
- Estandarización del ancho de banda calculado. Este va a ser igual al valor de ancho de banda inmediato superior estándar.
- Comprobación del ancho de banda
- Se selecciona el tipo de material que se transporta
- Carga ordinaria
- Carga clasificada.

Si el ancho de banda comprobado (no cumple la condición anterior) es mayor que el valor estandarizado anteriormente, estandarizamos nuevamente al inmediato superior, este nuevo valor obtenido es el que se utiliza para seleccionar la banda.

3) Cálculo de la velocidad real del transportador.

-Con el ancho de banda, estandarizado y otros datos conocidos como es la productividad horaria del transportador calculamos su velocidad real

4) Cálculo del peso lineal de la banda, la carga y los rodillos de apoyos en la rama cargada y vacía respectivamente.

Peso lineal de la banda si es de goma y cable

- Introducir el peso de un metro cuadrado de banda.
- Calcular el peso lineal de la banda.

Peso lineal de la banda si es de capas

- Introducir valores de:
 - Peso específico del material de la banda
 - Espesor del revestimiento superior
 - Espesor del revestimiento inferior
 - Número de capas
 - Espesor de una de las capas.
- Calcular el peso lineal de la banda.

Peso lineal de la carga.

-Calcular el peso lineal de la carga.

Peso lineal de los rodillos de apoyo en la rama cargada

-Introducir los valores de:

- Peso de los rodillos de apoyo en la rama cargada
- Distancia entre rodillos en la rama cargada

-Calcular el peso lineal de los rodillos en la rama cargada

Peso lineal de los rodillos de apoyo en la rama vacía

-Introducir valores de:

- Peso lineal de los rodillos en la rama vacía
- Distancia entre rodillos en la rama vacía

-Calcular el peso lineal de los rodillos de la rama vacía

5) Cálculo de la resistencia al movimiento y tensiones en cada tramo del transportador.

-Declarar un arreglo hasta n número de tramos; que puede tener el perfil de un transportador.

En dependencia del tipo de tramo a calcular por el usuario (en orden), partir de la salida del tambor motriz hasta la entrada del mismo, tenemos.

6) Cálculo de la resistencia en los tramos rectos.

-Introducir

- Longitud lineal del tramo
- Angulo de inclinación
- Coeficiente generalizado de resistencia al movimiento

-Indicar

- Tipo de rama
- Si es sentido ascendente o descendente

Tener en cuenta la existencia de resistencias puntuales en el tramo para el cálculo, las cuales pueden ser:

- En caso de la existencia de punto de carga, dar a conocer el valor de la velocidad de la carga en el mismo sentido del movimiento de la banda.
- En caso de la existencia de punto de descarga.
- En caso de la existencia de dispositivos de limpieza teniendo en cuenta el tipo.

- Sumar las resistencias puntuales a la resistencia del tramo analizado.
- Calcular el valor de la resistencia.

7) *Cálculo de resistencia en los tramos que ocurren cambios de pendiente (cóncavos y convexos).*

-Definir el tipo de tramo

- Convexo
- Cóncavo

Cálculo de la resistencia en los tramos convexos

-Introducir

- Longitud lineal del tramo
- Radio de curvatura
- Diferencia de altura entre el inicio y el final del mismo.
- Coeficiente generalizado de resistencia para el tramo.

- Indicar.

- Tipo de rama
- El sentido ascendente o descendente

-Calcular el valor de la resistencia.

-Cálculo de resistencia en tramos cóncavos

-Introducir:

- Longitud lineal del tramo
- Diferencia de altura entre el inicio y el final del mismo
- Coeficiente generalizado de resistencia para el tramo.

- Indicar.

- Tipo de rama
- El sentido ascendente o descendente

-Calcular el valor de la resistencia

8) *Calculo de la resistencia en tramos que la banda rodea el tambor de retorno o de desvío.*

-Definir tipo de tramo

- Para tambor de retorno
- Para tambor de desvío

Calculo de resistencia en tramos en que la banda rodea el tambor de retorno.

-Introducir:

- Angulo de abrazado de la banda al tambor.
- Radio del tambor
- Angulo de entrada de la banda al tambor
- Coeficiente generalizado de resistencia

Cálculo de resistencia en tramos en que la banda rodea el tambor de desvío

-Introducir:

- Angulo de abrazado de la banda al tambor.
- Radio del tambor
- Angulo de entrada de la banda al tambor
- Coeficiente generalizado de resistencia

-Indicar tipo de rama en que se encuentra el tambor.

-Calcular el valor de la resistencia

9) *Cálculo de tensiones.*

-Hallar la sumatoria de todas las resistencias calculadas.

-Determinar la tensión del primer tramo.

-Determinar las demás tensiones sustituyendo el valor de la tensión del primer tramo en la expresión del método de contorno por punto.

10) *Comprobación de la resistencia de la banda.*

Resistencia de la banda de goma con fibras sintéticas. (Bandas de capas).

-Introducción.

- Coeficiente de seguridad en dependencia del tipo de transportador.
- Resistencia a la rotura de una capa.

-Calcular el número de capas necesario para las condiciones de trabajo expuestas.

Teniendo en cuenta que:

El número de capas calculado debe ser menor o igual al escogido para el cálculo.

Resistencia de la banda de goma y cable.

-Introducir.

- Resistencia a la rotura

-Calcular el coeficiente real de reserva.

Teniendo en cuenta que :

Para transportadores horizontales (6-9).

Para transportadores inclinados (>9).

Si no se cumple la condición anterior en caso particular, regresar al paso 4 y seleccionar otra banda.

11) *Cálculo de la flecha máxima entre rodillos en la rama cargada.*

-La flecha máxima calculada se compara con la admisible

12) *Cálculo de la potencia del transportador.*

-se introduce

- Coeficiente de rendimiento de la transmisión

- Coeficiente de reserva.

-Calcular la potencia del transportador.

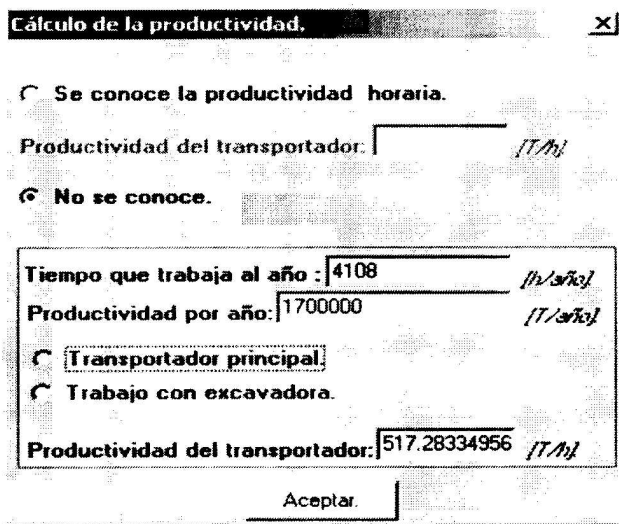
13) *Visualización de los resultados.*

-Mediante tablas, se recopilaran los resultados obtenidos durante el cálculo.

2.8 Como usar el programa

De antemano el usuario debe conocer el perfil del transportador para el cual se desea determinar sus parámetros tecnológicos y las características del material que se transporta.

La primera ventana visualizada, es la del calculo de la productividad del transportador (Fig. 2,8.1). Seleccionamos una de las dos opciones que se muestran e introducimos los datos correspondientes, en caso de no conocerse la productividad se selecciona también el tipo de transportador; y damos clic en el botón “aceptar” para dar paso al cálculo del ancho de banda del transportador.



Cálculo de la productividad.

☐ Se conoce la productividad horaria.

Productividad del transportador: [] [T/h]

☒ No se conoce.

Tiempo que trabaja al año: [4108] [h/año]

Productividad por año: [1700000] [T/año]

☐ Transportador principal.

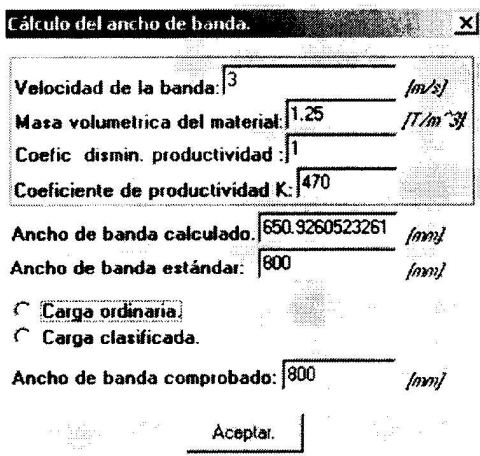
☐ Trabajo con excavadora.

Productividad del transportador: [517.28334956] [T/h]

Aceptar.

Fig 2.8.1. Cálculo de la productividad

En esta nueva ventana se introducen los datos correspondientes al material que se transporta y el valor de la velocidad de la banda, presionamos "enter" para ver los resultados del ancho de banda calculado y su valor estandarizado (Fig 2.8.2). Luego seleccionado el tipo de carga que se transporta según sea, se introduce el valor correspondiente al tamaño de la partícula del material que se transporta. Comprobándose de esta forma el ancho de banda que acabamos de obtener.



Cálculo del ancho de banda.

Velocidad de la banda: [3] [m/s]

Masa volumetrica del material: [1.25] [T/m³]

Coefic. dismin. productividad: [1]

Coeficiente de productividad K: [470]

Ancho de banda calculado: [650.9260523261] [mm]

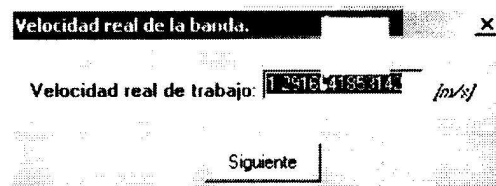
Ancho de banda estándar: [800] [mm]

☐ Carga ordinaria.

☐ Carga clasificada.

Ancho de banda comprobado: [800] [mm]

Aceptar.



Velocidad real de la banda.

Velocidad real de trabajo: [1.29164185314] [m/s]

Siguiete

Fig 2.8.3. Velocidad real de la banda.

Fig 2.8.2. Cálculo del ancho de la banda

Luego de accionar el botón "aceptar" de la ventana del cálculo de ancho de banda, aparece una pequeña ventana que muestra el valor de velocidad real del transportador. El cálculo siguiente es el del peso lineal de la banda, la carga y los rodillos, en el cual se selecciona el tipo de banda que usa el transportador y se teclean los que se piden a continuación según sea (Fig 2.8.4).

Cálculo del peso lineal de la banda, la carga y los rodillos.

☐ Banda de cable.

Peso por metro cuadrado de banda: [N/m²]

☒ Banda de capas.

Esesor del revestimiento superior: [mm]

Esesor del revestimiento inferior: [mm]

Peso específico de la banda: [N/m³]

Esesor de la capa: [mm]

Número de capas: [L]

Peso lineal de la banda: [N/m]

Peso lineal de la carga: [N/m]

Rama cargada.

Distancia entre rodillos: [m]

Peso de los rodillos: [N]

Peso lineal de los rodillos: [N/m]

Rama vacía.

Distancia entre rodillos: [m]

Peso de los rodillos: [N]

Peso lineal de los rodillos: [N/m]

Fig. 2.8.4 Peso lineales de la banda, rodillos y La carga.

Luego de presionar “enter” y visualizarse los resultados del peso lineal de la banda y de la carga , introducimos los datos para el cálculo del peso lineal de los rodillos en la rama cargada y vacía.

Al liberarse esta ventana, se activa una ventana que pide la cantidad de tramos del transportador, en la cual se teclea el número de puntos que definen los tramos del perfil. Al liberarse esta aparece una ventana para el calculo de las resistencias, que contiene un menú de opciones para el calculo según el tramo que se quiera calcular (Fig. 2.8.5), con la excepción del tramo motriz; el cual se reserva para el final; siendo el ultimo tramo del tramo del transportador (Fig 2.8.9). por lo que se le recomienda al usuario que el análisis que el análisis por tramo se realice de forma ordenada, partiendo de la salida del tambor motriz; es decir; que el primer punto del primer tramo seria el primero a la salida de dicho tambor en la rama vacía; de lo contrario el cálculo arrojaría resultados erróneos.

Cálculo de resistencias.

☐ Cálculo de resistencia en tramos rectos.

☐ Cálculo de resistencias en tramos curvos.

☒ La banda bordea los tambores de desvío o retorno.

☐ La banda bordea una zona transitoria de cambio de pendiente.

Fig 2.8.5. Calculo de resistencias

En caso de tramos rectos se dan a conocer los datos que exige el cálculo de la resistencia al movimiento en este tipo d tramo, se selecciona el tipo de rama y sentido de movimiento en caso que no sea horizontal el tramo. En de existir resistencias puntuales en el mismo, debido a la presencia de puntos de carga, de descarga o

dispositivo de limpieza; pulsar sobre la opción que aparece en la parte inferior de la ventana y continuar completando el procedimiento en caso de quiera la entrada de algún valor o alguna especificación, como se muestra en la figura 2.8.6. Al liberarse esta ventana regresamos al menú nuevamente, para elegir el otro tramo que le sigue.

Fig. 2.8.6. Resistencias en tramos rectos

Para tramos curvos en los que la banda bordea el tambor de retorno o de desvío, se selecciona inicialmente el tipo de tambor (Fig. 2.8.7); luego se registran los datos correspondientes, indicando siempre el tipo de rama en caso del tambor de desvío.

Fig. 2.8.7. Resistencia en el tambor de desvío o retorno

Para el cálculo de resistencia al movimiento en tramos curvos en los que ocurren cambios de pendientes; es decir; tramos cóncavos y convexos el procedimiento es similar al anteriormente descrito, con la diferencia de que aquí se introduce de una vez el tipo de rama y el sentido para ambos casos.

En el caso del tambor motriz se registran los datos correspondientes (Fig.2,8.8) necesario para el cálculo de tensiones. Al ser liberada dicha ventana, le damos entrada al cálculo de la resistencia de la banda. En dependencia del tipo para el cual se realizado el cálculo hasta aquí. Se visualizará una ventana para bandas de gomas con fibras sintéticas, según corresponda.

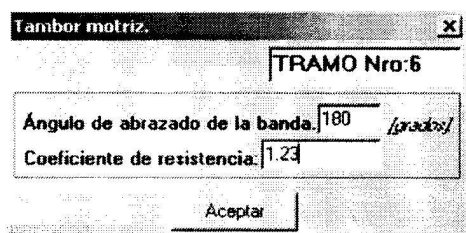


Fig.2.8 .8Tambor motriz

Si al introducir los datos y realizar el cálculo la banda no resiste las condiciones de trabajo, el programa automáticamente regresa al cálculo del peso lineal de la banda, la carga y los rodillos (Fig, 2.8.4)

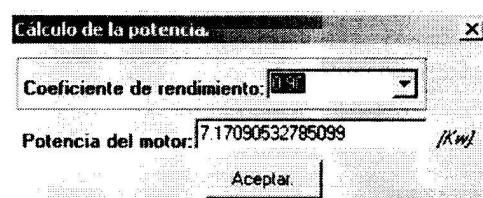
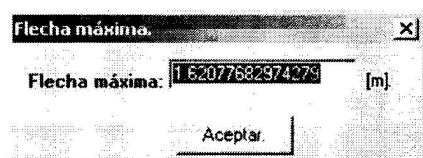
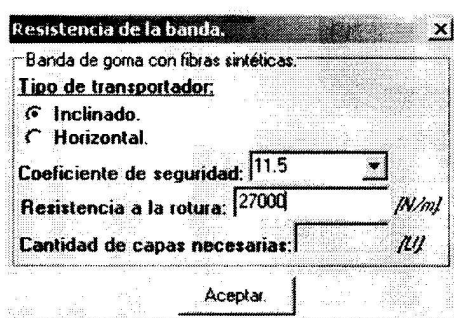


Fig.3,8.9 a. Resistencia de la banda de capas.

Fig.3.8.9 b Resistencia de la banda de goma y cable.

Si la banda resiste para las condiciones de trabajo expuestas y las características del material a transportar o que se transporta; entonces pulsando en “aceptar” se muestra la flecha máxima entre rodillos para la rama cargada

El paso siguiente es el cálculo de la potencia, donde seleccionando el coeficiente rendimiento y pulsando “enter” obtenemos la potencia del motor

Al dar clic en aceptar se visualizan los parámetros del transportador que han sido calculados de forma tabulada.

2.9 Conclusiones del capítulo

- Se obtiene el coeficiente constructivo para el mineral laterítico y valores geométricos de la artesa del transportador.
- Se determina la longitud de la zona de descarga, dimensión que influye en la selección de la velocidad del transportador.
- Se obtiene el procedimiento para la determinación del ancho de la banda como magnitud principal de los transportadores.
- Se determina la resistencia en los tramos curvos sin considerar las tensiones de entrada y salida al tramo curvo.
- Se establece el algoritmo de cálculo de la metodología perfeccionada y el programa (Bandac.exe) en Delphy6.

CAPÍTULO III

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS SEGUN LA METODOLOGIA PARA EL CALCULO DE LOS SISTEMAS DE TRANSPORTADORES DE BANDA

3.1 Introducción

La metodología desarrollada en el capítulo precedente requiere de la experimentación para lograr la adecuación de esta al equipo industrial., para lo cual los experimentos fueron realizados con el objeto activo, o sea en los transportadores en producción.

La realización de experimentos en los transportadores en producción impone dificultades inevitables a los mismos, pues es necesario, en la mayoría de las ocasiones, introducir perturbaciones que afecten en poca medida la estabilidad de las operaciones desde el punto de vista de la obtención del producto final dentro de las especificaciones comerciales establecidas.

El **objetivo** del capítulo es:

Realizar la comparación entre los resultados obtenidos en el proceso de experimentación y los calculados por la metodología descrita en el capítulo precedente.

3.2 Instalación experimental.

Como instalación experimental se emplearon los propios transportadores de banda utilizado en el flujo tecnológico de la Planta de Preparación de Mineral. Los principales elementos de estos equipos son:

La banda; son del tipo goma cable, se caracterizan por su principal parámetro que es su ancho, que influye en la productividad y su velocidad de movimiento.

Accionamiento; están compuesto por un motor eléctrico asíncrono, acoplamiento, reductor de engranajes y el tambor motriz. El esfuerzo de tracción se transmite a la banda por fricción a través del tambor motriz.

Rodillos de apoyo; son los encargados de soportar la banda durante su desplazamiento.

Tambores de retorno o de cambio de dirección; uno de estos tambores se utiliza como tambor tensor.

Tolva de alimentación; es la encargada de realizar la alimentación del mineral a la banda de acuerdo a los requerimientos planteadas en el capítulo II.

Las características técnicas de estos equipos están dadas en el capítulo I (anexo tabla 1.1).

3.3 Diseño experimental.

Selección de las variables.

El análisis del proceso de transportación demostró que el ancho de la banda depende fundamentalmente de los siguientes parámetros.

-Productividad del mineral transportado. Para un mismo mineral y condiciones de 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. Expresiones (2.66), (2.67), (2.68) y (2.69).

-Características constructivas del transportador. Es determinante el ángulo de inclinación de los rodillos laterales (α). Su valor determina conjuntamente con el ángulo del talud natural (φ), el valor del coeficiente constructivo k . El coeficiente k para las condiciones del mineral laterítico se determinó mediante la modelación teórica utilizando las expresiones (2.8), (2.9) y (2.10).

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

-Potencia consumida por el accionamiento. Depende de la fuerza de resistencia nociva, de la fuerza de resistencia producto de la componente del peso de la carga y de los elementos que se mueven (banda).

3.4 Técnica experimental.

Los camiones volvo procedente de la mina descargan en el punto de recepción de mineral donde se separan las partículas mayores de 100 mm. Luego se acarrean hasta el depósito de homogenización o directamente a los secaderos mediante la utilización de varios transportadores. La productividad se controla fundamentalmente por el transportador No 2 mediante un sistema de pesaje.

La potencia obtenida por el cálculo se comprobó midiendo la potencia eléctrica consumida desde la red en varios transportadores de la Planta de Preparación de mineral (transportadores 6, 7, 11, 12, 15).

Para el ajuste de la velocidad de movimiento de la banda se determinó experimentalmente la longitud de la zona de alimentación para partículas de diferente forma, distintos diámetros y alturas de alimentación (transportadores 2, 5, 7).

3.5 Determinación experimental del recorrido de las partículas en la zona de alimentación.

Con el objetivo de mostrar la veracidad de las expresiones obtenidas se utilizará la ecuación (2.69) por ser la más sencilla. En este sentido se trata de comprobar que partículas de forma similar y diferentes tamaños se comportan de manera parecida y que partículas de configuración irregular y disímil se comportan desigualmente. El comportamiento de las partículas se establece en virtud del desplazamiento de estas sobre la banda desde su caída en ella y hasta que adquieran el estado de reposo relativo, siendo alimentadas desde diferentes alturas.

Para la realización del experimento se utilizaron los transportador TR-5-A y TR-5-B de la planta de secaderos de la Empresa Comandante Ernesto che Guevara cuyos datos principales son:

Longitud: 222,4 m	Ancho: 1400 mm
Productividad: 750 t/h	Velocidad: 1,87 m/s

También se utilizaron los transportadores TR-7-A y B sus datos principales son:

Longitud: 195,5 m	Ancho de la banda: 1600 mm
Productividad: 750 t/h	Velocidad: 1,97 m/s

El transportador Tr-2 sus datos

Longitud: 133,5 m	Ancho de la banda: 1600 mm
Productividad: 1800 t/h	Velocidad : 2,08 m/s

Para ejecutar el experimento se tomaron muestra del mineral de diferentes tamaños y configuraciones similares (redondeadas, aplanadas y cuadradas), las cuales se dejaron caer desde diferentes alturas sobre el transportador (con velocidad constante de la banda), midiendo previamente la altura de caída y conociendo el tamaño de la muestra, se tomó la medición aproximada del desplazamiento de la muestra sobre la banda hasta su reposo relativo y también la distancia entre el punto de caída y el punto donde deja de deslizarse alcanzando el reposo relativo, los resultados alcanzados se muestran en la tabla 3.3 y su representación en los gráficos del 3.7 al 3.14.

De los resultados obtenidos se observa que el recorrido de las muestras con respecto a la banda, oscila por lo general entre el 0,30 y 0,724 m, independientemente de la altura de caída. Las oscilaciones en las magnitudes medidas son provocadas por la irregularidad de las partículas y las características elásticas de la banda.

Se demuestra que la velocidad de la banda influye en el recorrido de las partículas con respecto a ella para lograr el reposo relativo, provocando el desgaste de la banda.

La media del recorrido de la partícula con relación a la banda fue de 0,48 m. A modo de verificación se emplea la expresión (2.69) para los datos del transportador , de donde se obtiene que $l_d=0,338$ m. Comparando los resultados obtenidos experimentalmente y teóricamente se concluye que no obstante la influencia de las características elásticas, no incluidas en la expresión (2.69), los resultados son cercanos y por tanto ello prueba la veracidad de estas expresiones. Indica, además, que para baja de movimiento de la banda 1,87 m/s el desplazamiento de las partículas es más desordenados es decir, variación del desplazamiento de las partículas en función del tamaño de las partículas

(Fig 3,7 a 3,9). A medida que aumenta la velocidad del movimiento de la banda 1,97 m/s el desplazamiento de la partícula tiende a disminuir a medida que aumenta el tamaño de la partícula (Fig 3.10 a 3.12) para velocidades de hasta 2m/s. Al aumentar la velocidad hasta 2,45 m/s (Fig. 3.13 a 3.14) el desplazamiento es creciente a medida que aumenta el tamaño de las partículas. En todos los casos la altura de caída en la zona de alimentación es de 200, 400 y 600 mm. En la figura 3.17 se muestra la variación del desplazamiento de las partículas en la zona de alimentación del material a banda en función de la velocidad de la banda de forma experimental y teórica.

Valores experimentales, L_{za} son los valores promedio y v la velocidad de cada transportador.

Velocidad m/s	1,87 (TR-5)	1,97 (TR-7)	2,08 (TR-2)	2,45 (TR-15)
L_{za} en m	0,362	0,417	0,483	0,542

3.6 Medición de la potencia de accionamiento de los transportadores de banda.

La potencia se midió directamente por el consumo del motor de la red de suministro eléctrico durante su trabajo por un periodo de tiempo determinado.

Método empleado.

El método utilizado en las mediciones fue el de los dos vatímetros. Este método consiste en conectarlos transformadores de corriente del analizador de redes en la fase A y C del motor a medir y las pinzas de tensión en A y C las rojas y en B las negras. Este método se emplea en circuitos trifásicos (tres hilos sin neutro) como se muestra:

$$P_{3f} = P_{w1} + P_{w2}$$

Se utiliza para el cálculo de los promedios de las potencias y los valores calculados, los de determinación y los ajustes de curvas, la de cálculo de Microsoft excel.

Para el caso de ajuste de las curvas usaremos el método de los mínimos cuadrados cuya tendencia será potencial.

Anexo Tabla 3. 4 Resultados de las mediciones de potencia de los transportadores.

Tabla 3.1 Datos de chapa de los motores investigados

No	Transportador	Nn (Kw.)	Un (V)	Conexión	In (A)	n _n (r.p.m)	Factor de potencia
1	15	90	440	Y	142.0	1186	0,88
2	6A	110	440	Y	172.5	1180	0,90
3	7	160	440	Y	254.0	1175	0,89
4	11	110	440	Y	175.2	1160	0,90
5	12	110	440	Y	175.2	1160	0,90

No	Transportador	Q (t/h)	V(m/s)	$\gamma_{\text{real}}(\text{t/m}^3)$	B (mm)	V _{real} (m/s)	N (kw)
1	1A-1B	600	2.50	1,38	800	2.09	15
2	2	1200	2.50	1.38	1200	1.77	150
3	3	1200	2.50	1.38	1200	1.77	15
4	4A-4B	1200	2.50	1.38	1200	1.77	135
5	5-5A	600	2.50	1.38	800	2.09	74
6	6-6A	600	2.50	1.38	800	2.09	74
7	7-7A	600	2.50	1.38	800	2.09	117
8	8-8A	600	2.50	1.38	800	2.09	85
9	9,1...9,7	100	1.15	1.38	500	0.98	7.5
10	10,1...10,3	600	2.50	1.38	800	2.09	10
11	11-11A	400	2.50	0.80	800	2.37	77
12	12-12A	400	2.50	0.80	800	2.37	90
13	13,1...13,4	100	1.15	0.80	650	0.98	7.5
14	14	1200	2.50	1.38	1200	1.77	55
15	15	1200	2.50	1.38	1200	1.77	55

Tabla 3.2 Parámetros tecnológicos de los transportadores de banda propuestos de acuerdo a la productividad real máxima que se puede obtener en la planta de preparación de mineral.

3.7- Procesamiento estadístico de los resultados

El mismo se efectúa mediante los errores admisibles de los valores de las variables, utilizando como herramienta "Microsoft Excel; Mathcad Plus 6.0". Los parámetros de cálculo del análisis estadístico son:

Media aritmética:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (3.2)$$

Donde:

x_i - elementos de la serie.

n - número de pruebas.

Desviación media:

$$\Delta \bar{X} = \frac{\sum |X_i - \bar{X}|}{n} \quad (3.3)$$

La varianza muestral :

$$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (3.4)$$

La raíz cuadrada de la varianza muestral se denomina error estándar S_x . El error estándar de la media aritmética es:

$$\delta = \frac{t_d \cdot S_x}{\sqrt{n}} \quad (3.5)$$

El procesamiento estadístico se ejecuta con el empleo del criterio de Student para una probabilidad $t_{0,95}$ mediante la comparación del t observado con t_d de la tabla:

$$t = \frac{|X_i - \bar{X}|}{S_x} \quad (3.6)$$

En todos los casos se confirma que $t < t_d$ por lo que la dispersión entre los resultados obtenidos no es significativa, encontrándose el error estándar de la media aritmética por debajo del 5%.

La confirmación de la validez de los valores experimentales con el modelo teórico se desarrolla a través del error relativo, o sea, la diferencia entre el módulo del valor experimental " X_{exp} " longitud de desplazamiento del mineral en la zona de alimentación y el valor teórico " X_{teo} " obtenido por el modelo para las mismas condiciones del experimento. (Expresión 2,60)

El error relativo puntual se calcula por la siguiente expresión:

$$E_p = \left| \frac{X_{\text{exp}} - X_{\text{teo}}}{X_{\text{exp}}} \right| \cdot 100 \quad (3.7)$$

El error relativo promedio se expresa por:

$$E = \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_{\text{exp}} - X_{\text{teo}}}{X_{\text{exp}}} \right| \cdot \frac{100}{n}$$

Para $V=1,87$ m/s

$$\overline{Lza} = 362 \text{ mm} \quad \Delta \overline{Lza} = 38,33 \text{ mm} \quad S_x^2 = 2167,96 \quad S_x = 46,56$$

$E= 3,24\%$ el valor máximo.

3.8 Conclusiones

Se demuestra que las mediciones realizadas del desplazamiento de la partícula en la zona de alimentación están correctos, su error relativo promedio esta por debajo del 5 %

Existe correspondencia entre la potencia medida de los transportadores y su productividad real.

CAPÍTULO IV

VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Introducción

En la actualidad resulta generalmente admitido que los ingresos presentes y futuros de la sociedad, así como la producción continua de bienes y servicios dependen de la disponibilidad no solo de capital y fuerza laboral, sino también de recursos naturales y del medio ambiente. Si no se toma adecuadamente el costo y valor del medio ambiente, puede llegarse a una visión errónea de la riqueza y los ingresos de la sociedad y de su auténtico potencial de desarrollo sostenible.

Es oportuno destacar que todas las inversiones e investigaciones que se realizan en Cuba deben cumplir tres requisitos inviolables: primero, deben ser compatibles con los principios de la defensa nacional, deben ser económicamente factibles y deben contribuir a la preservación y mejora del medio ambiente, es por ello que...

El **objetivo** del capítulo es:

Valorar económicamente la propuesta efectuada considerando el impacto ambiental asociado a la misma.

4.2 Valoración económica

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.

4.2.1 Determinación de los gastos de energía eléctrica durante la transportación

$$AE = \frac{\sum N \cdot K1 \cdot K2 \cdot T}{\eta_i} \quad (\text{kw.h})$$

Donde:

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

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

K1=0.75 a 0.85

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

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

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

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

η_i =0,9 a 0,95

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

4.2.2 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

En la tabla 5.2 se muestra el factor de potencia promedio medido directamente en la planta.

Transportador	TR-6A	TR-7A	TR-11	TR-12	TR-15	Total
Fact potencia	0,81	0,597	0,525	0,66	0,77	
Np Kw	11	52,67	12,22	29,33	11,25	116,47

En la tabla 3.1 del anexo podemos obtener los valores del factor de potencia nominal para cada uno de los motores investigados.

Las pérdidas se determinan por

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

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

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

N_n ; potencia nominal en kw

Los resultados se muestran en la tabla 5.2.

Por concepto de subutilización de la potencia de los motores de los transportadores la empresa se ahorraría en un mes 4696.0704 MLC

4.2.3 El gasto específico de energía eléctrica.

$$a = \frac{AE}{Q_j}; \text{ kw.h/t}$$

Q_j ; Productividad del transportador por jornada (por días); t

4.2.4 Determinación del costo de la energía consumida.

$$CE = AE \cdot b$$

b ; tarifa que se paga por 1kw.h

$b = 0.056$ horario del día

$b = 0.065$ horario pico

$b = 0.037$ madrugada.

Los resultados del cálculo de CE, ver en el anexo tabla 5.3.

Variante 1- Cálculo con todos los datos del pasaporte

Variante 2- Cálculo con la productividad real y los demás datos del pasaporte.

Variante 3- Cálculo con la productividad real y demás parámetros tecnológico acorde a las condiciones reales de la planta de preparación de minerales.

4.2.5 Determinación del costo por concepto de banda.

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

donde:

Lb ; es la longitud total de la banda.

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

L ; longitud total horizontal del transportador; m

D ; diámetro de la tambora motriz; m

Lt; altura del contrapeso de tensión; m

Sb; costo de 1m de banda.

Los resultados del cálculo, anexo tabla 5.4

4.2.6 Costo por concepto del accionamiento, de los tambores y rodillos.

Ver el anexo en la tabla 5.4

4.2.7 Determinación de la eficiencia económica de la investigación.

Determinación de los gastos de inversión.

$$G_I = \sum C_p \cdot k_o \cdot k_m \cdot k_{res} + C_{inst} + C_{const}$$

Cp; Precio al por mayor de los equipos y partes.

Ko; Coeficiente que considera los gastos en la adquisición de los equipos y partes.

$$K_o = 1.05$$

Km; Coeficiente que considera los gastos en el montaje.

Kres; Coeficiente de existencia, considera las reservas necesarias de los equipos y partes para su reparación.

$$K_{res} = 1.30$$

Cins y Const.; Costos correspondiente a los trabajos construcción e instalación.

Determinación de los gastos de explotación

$$G_E = C_{sal} + C_{amrt} + C_{mat.aux.} + C_{eng} + C_{rep}$$

Csal; Gastos de salario del personal de servicio

$$C_{sal} = \sum X \cdot J \cdot Z \cdot K_s$$

X; Número de obreros de una clasificación dada

J; Coeficiente de pago por jornada

Z; Número de jornada de trabajo al año.

Ks; Coeficiente que considera el pago de la prima, antigüedad y otros.

$$K_s = (8-10)\%$$

$$C_{sal} = 1057536 \$/\text{año}$$

Camrt; Gasto de descuento de amortización.

$$C_{amrt} = \sum_i^n \frac{C_{pa} \cdot am \cdot K_{res}}{180}$$

Cpa; Costo de los equipos que tienen amortización

am; norma anual de descuento de amortización

$am=(9-20)\%$ al año.

Cmat.aux.; costo de los materiales auxiliares. Estos incluyen engrase(5% del costo de energía eléctrica consumida), instrumentos, ropas(10% de energía), otros materiales y pieza el 1% de Cp.

Ceng., Costo de la energía eléctrica consumida

$Ceng=AE \cdot Q$

Crep; Gastos por concepto de reparaciones. Se toman en el rango del 20 % del costo del transportador al año.

Determinación de los gastos reducidos mínimos.

$Gr=En \cdot G_I + G_E/Q$

En; Coeficiente normativo ramal de la eficiencia económica.

En=12% para la industria productora de medios de producción o que generan fondos exportables (Portuondo;1983).

En la tabla 5.5 se muestran los resultados del cálculo.

	VARIANTE 1	VARIANTE 2	VARIANTE 3
Gr	121106.03	119924.49	108184.59
G _I	974807.68	974807.68	883489.32
G _E /Q.	4129.114	2947.576	2165.883

La realización del cálculo de los gastos reducidos mínimos se ha mantenido invariable los gastos por concepto de salario. Se observa que su variación (disminución) esta determinado fundamentalmente por el consumo de energía eléctrica. Que las pérdidas están determinadas por el uso excesivo de motores con potencia instalada superior a la real necesario.

4.3 Conclusiones

El análisis económico refleja el nivel de perdidas por concepto de energía y además se puede apreciar que es ventajoso la aplicación de los resultados de esta investigación en los transportadores de banda utilizados en la planta de preparación de mineral

Conclusiones:

- Se puede garantizar la productividad de la planta de preparación de minerales con transportadores de un ancho de banda menor que los instalados actualmente que son los del proyecto inicial.
- La utilización de transportadores de banda sobredimensionados no solo aumenta las pérdidas, sino que también disminuyen las pérdidas, el rendimiento del motor y se empeora el factor de potencia.
- La productividad real de la planta está en el orden del 70% con respecto a la productividad del pasaporte del transportador.
- La constante subutilización de la banda permite la aparición de vibraciones que influyen en la linealidad de la banda.
- Se logró actualizar, perfeccionar y ajustar de acuerdo a las condiciones reales la metodología de cálculo de los transportadores de banda. Se obtuvo el algoritmo de cálculo y un programa en Delphi 6.
- El programa BANDAC.EXE se puede utilizar para la proyección, diseño y comprobación de los parámetros tecnológicos fundamentales de los transportadores de banda durante la explotación. Además, es aplicable a transportadores de banda con cualquier perfil vertical de la traza y puede ser ejecutado en cualquier máquina con Sistema Operativo Windows.
- La utilización del programa hace más dinámico el cálculo y más preciso la determinación de los parámetros tecnológicos de los transportadores.
- La disminución de la altura de caída vertical de la carga o su tendencia a ser alimentada a una velocidad en igual sentido que el movimiento de la banda disminuye considerablemente la resistencia al movimiento en la zona de alimentación e incrementa el tiempo de vida útil de la banda.

Recomendaciones

- Disminuir la altura de alimentación del mineral sobre la banda.
- Utilizar bandas con ancho acorde a la productividad máxima de la planta de preparación de mineral y motores con potencia en correspondencia con la real necesaria en el transportador.
- Utilizar la metodología de cálculo obtenida para la explotación y proyección de estos sistemas de transporte.

Bibliografía

- ◆ Alonzo Daniel. Transportadores Convencionales. [Http://www.geocites.com/ingenieriadlplata](http://www.geocites.com/ingenieriadlplata). Mayo 2002.
- ◆ Bandas para Transportadores. Esbelt. España. Catalogo. 1990.
- ◆ Bandas Transportadoras. Firestone. Hispania. S.A. Catálogo
- ◆ Belt. Conveyor. Scale Handbook. RTI. USA. Catalog 10.050, 1992
- ◆ Canillo Nabor. Fundamento de la Mecánica de los Suelos. Teoría y Aplicaciones. Tomo I y II. ENPES. 1990, original 1963.
- ◆ Castro J. S., Ganboa P. J. Valoración de la Utilización del Sistema de Transportadores Yamnigüey. I S M M, Fac. Electromecánica. Trabajo de Diploma, 1990.
- ◆ Cautín M.O. Estudio de la eficiencia de Accionamiento de Bombas de Hidrotransporte de Suspensiones no Newtonianas. Trabajo de diploma. I S M M. Año 2004. Tutores: Alberto Turro, Luis Rojas Purón.
- ◆ Creme G W., Noa P B. Determinación del Material Transportado a Partir de la Potencia. I S M M. Fac. Electromecánica, 1991.
- ◆ Garcell regalado Yoannia. Perfeccionamiento Científico y Metodológico de Asignatura Equipos de Transporte Industrial e Izaje. Trabajo de Diploma. Tutores Ing. Roberto Sierra Pérez, Lic. Lía Reyes Oliveros. Año 2003. I.S.M.M.
- ◆ La Fuerza Instalada: Ideal para instalaciones de Transporte Mediante Cintas. Rema tip Top. Alemania. Catálogo, 1990.
- ◆ Lanber J. Alternative Weighing. Tecnology for belt . Conveying systems. B.S.H. Volumen 1o, Nro 3, Germany, 1990.
- ◆ López R Z. Estudio de las Posibilidades de Transportación en los Transportadores Bandas Instalados. I S M M. Fac. de Electromecánica. Trabajo de Diploma, 1991.
- ◆ Loyola Fernández Roberto. Estandarización del Sistema de Transporte por Transportadores de Banda en el Taller 01 de la ECECG. Trabajo de Diploma. Tutor Ing. Roberto Sierra Pérez. Año 2002. I.S.M.M.
- ◆ Low profile conveying systems. Dorner FMG. Corporation. USA. Catalog 410C, 1991.

- ◆ Low profile extended alloy belt conveying . Dorner FMG. Corporation. USA. Catolog 210C, 1992.
- ◆ Mac Queen, D. Special report: Conveyors.—Part 1- In Rock Products. Vol. 96, No 6, Junio 1993. Chicago. A Maclean Hunter publication
- ◆ Matushev L. G., Sumin V. M. Dispositivos de las Fábricas de Enriquecimiento. Edit. Nedra. Libro. 1979.
- ◆ Matos S. Y. Diagnóstico Energético de la planta de Preparación de Mineral de E C ECG. Responsable Reynaldo Laborde B. Trabajo de Diploma. I S M M. Año 2004.
- ◆ Martínez Escanaverino J., Martínez P F.. Teoría y Práctica del Rozamiento. La Habana, ISPJAE, 1986.
- ◆ Masso Vasquez F Mecánica Teórica T I y II. Santiago de Cuba , Oriente, 1982
- ◆ Méndez G. O. Automatización de Metodología de cálculo para los Transportadores de Banda. Trabajo de Diploma. Tutor Ing. Roberto Sierra Pérez, lic. Manuel Lorez Vidal. Año 2002. I.S.M.M
- ◆ Milian L Y. Análisis de la Eficiencia de Energética de la Planta de Preparación de Mineral en la E C ECG. Trabajo de Diploma. I S M M. Año 2000.
- ◆ Mosqueda Peña A., Eynos R A R. Metro contador Multipropósito Para Transportadores de Banda. ISMM. Fac. Electromecánica, 1993.
- ◆ Nüsslin H J. Precise Volumetric Measurement in Belt Conveyors Using a Laser Scanner 1991. Germany. Catolog.
- ◆ Otaño Noguel J. Elemento de Física de las Rocas. Edit. Pueblo y educación. MES, 1981. Libro.
- ◆ Oriol G. J.M. Aguilar P.F. Máquinas de Transporte Continuo. T I. Ed. Pueblo y Educación. 1995. Libro.
- ◆ Oriol G. J.M. Conferencia de Máquinas Transportadoras. Cuba. Edit. Félix Varela. Manual. 1993.
- ◆ Pereda H. S., Polanco A. R. Transporte Minero. La Habana. Edit. Félix Varela. 1999. Libro.
- ◆ Portuondo Pichardo Fernando. Economía de Empresas Industriales. Editorial Pueblo y Educación. 1983.

8♦Potapob N. G. Máquinas de Transporte. Niedra. Libro. 1980

♦ Quesada Cruz C., Argüelles S I. Estudio de la Explotación Actual del Transportador Yamanigüey 114-CO-8. ISMM. Fac. Electromecánica. Trabajo de Diploma, 1990.

♦ Quesada Fajardo W F. Coeficiente Constructivo en Transportadores de Banda. Revista Minería y Geología, Vol X, No 3, 1993.

♦ Rubio Labrada I. Dificultades en la Explotación del Transportador 114-CO-8 de la Emp. Pedro Sotto Alba. ISMM: Fac. Electromecánica. Trabajo de Diploma, 1995.

♦ Sierra Pérez Roberto. Análisis de la explotación de los equipos de transportación de grava y arena en la industria de materiales de construcción de Moa. Revista Minería y Geología. 1987

♦ Shubin V. S., Pedre C. Diseño de Máquinas Industriales T.II y T.III. La Habana. Edit.Pueblo y Educación. Libro. 1986.

♦ Spibacoski A. O., Potapob M. G. Máquinas y Complejos de Transporte en las Labores Minera. Libro. Editorial Niedra. 1983.

♦ Spibakoski A. O.,Dimitriev B G. Teoría de los Transportadores de Banda. Moscu. Nauta, 1982.

♦ Toll Macias P P. Estudio del Movimiento Dinámico de las Cargas a Granel, Sobre el Organo Portador en los Transportadores de Banda. ISMM. Fac. Electromecánica, 1993.

♦ Valdés V F . Exceso de Consumo por Motores Eléctricos Sobredimensionados. Energía. La Habana.2 (3). 1986.

♦ Zelenkii O. B., Petrob A. C. Manual para Proyectos de Transportadores de Banda. Niedra. Moscú 1986. En ruso.

♦ [http\\www.intralox.com](http://www.intralox.com)

♦ [http\\www.cintasa.es](http://www.cintasa.es)

♦ [http\\www.tracsa.com/productos/transportadoras.htm](http://www.tracsa.com/productos/transportadoras.htm)

♦ Transportadores de banda\\www.borgigroup.it/transportadoresdebanda

Anexo 1 Tabla 1.1 Parámetros de pasaporte de los transportadores de banda en la Planta de Preparación de Minerales

No	Transportador	Q(t/h)	B(mm)	V(m/s)	γ (t/m ³)	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

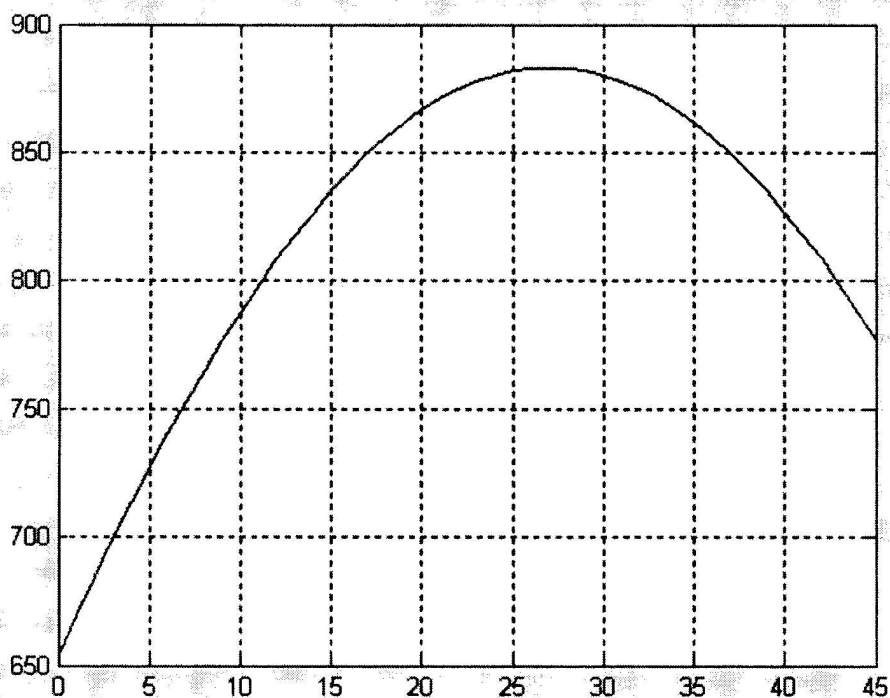


Fig 2.5 Variación del coeficiente constructivo K2 en función del ángulo de apoyo de los rodillos laterales para apoyo de dos rodillos.

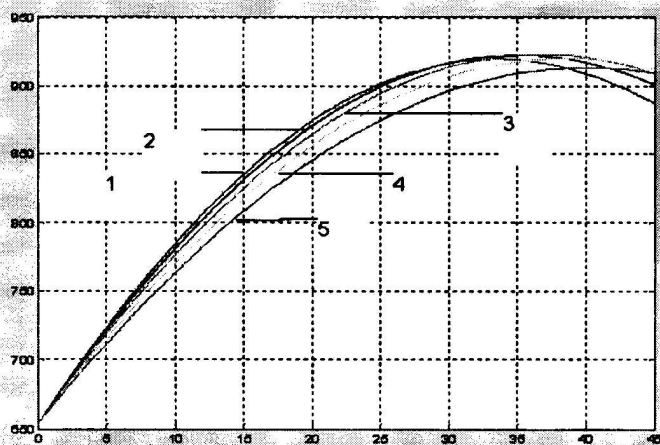


Fig 2.6 Variación del coeficiente constructivo en función del ángulo de inclinación de los rodillos laterales para bandas de 800 mm y las siguientes longitudes del rodillo central:

- 1- Longitud del rodillo central $l = 0,20 B$
- 2- Longitud del rodillo central $l = 0,25 B$
- 3- Longitud del rodillo central $l = 0,30 B$
- 4- Longitud del rodillo central $l = 0,35 B$
- 5- Longitud del rodillo central $l = 0,40 B$

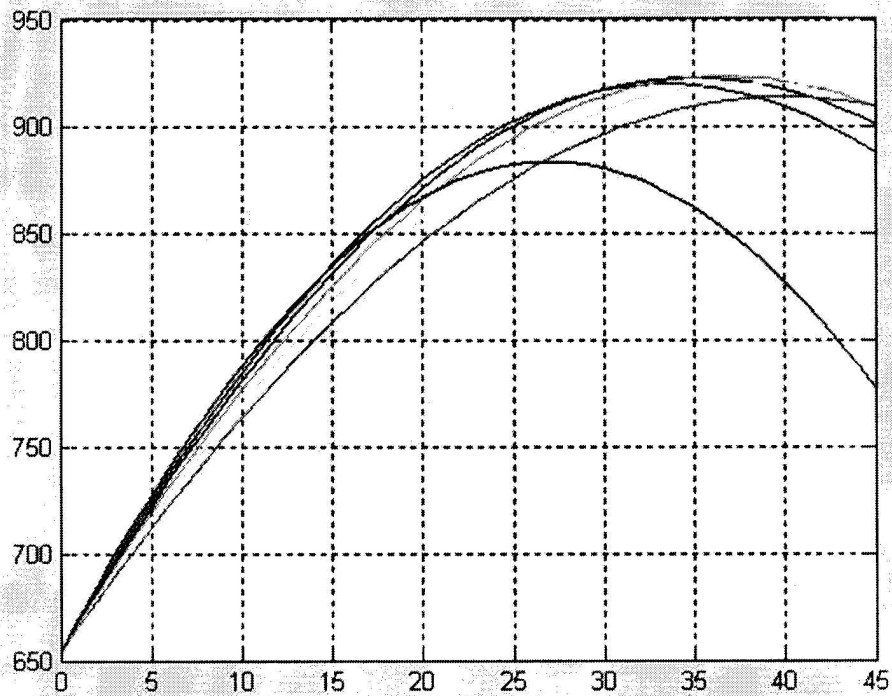


Fig 2.7 Variación para la identificación de las zonas de utilización de las artesas de dos y tres rodillos.

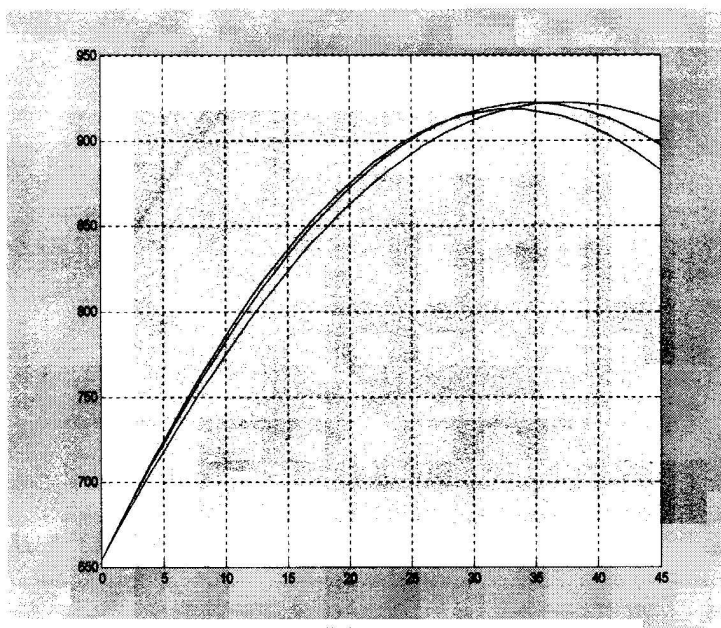


Fig 2.8 Variación del coeficiente k_3 para $B=500$ mm

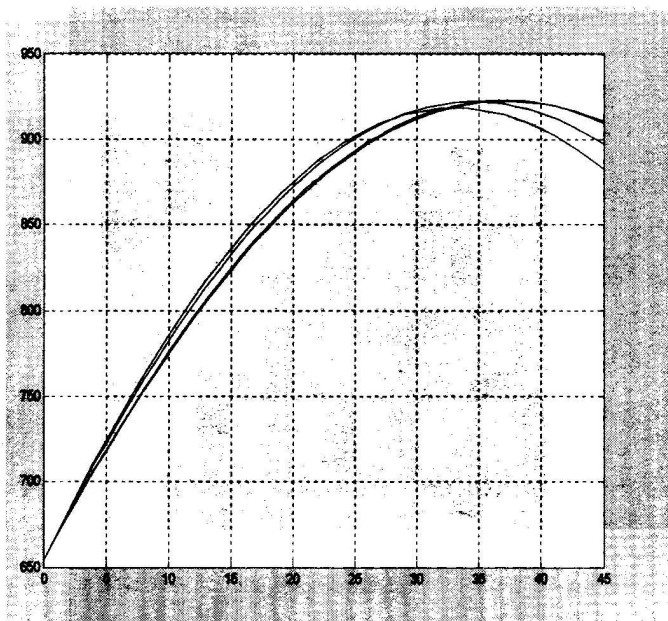


Fig 2.9 Variación coeficiente k_3 para $B=650$ mm

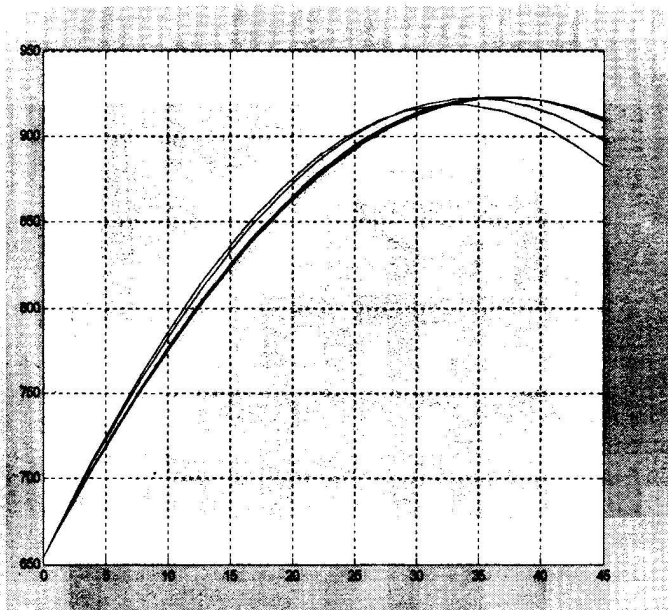


Fig 2.10 Variación coeficiente k_3 para $B=800$ mm

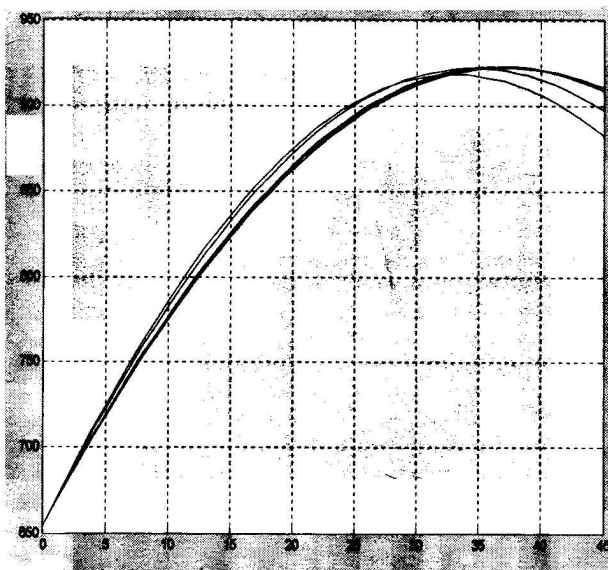


Fig 2.11 Variación coeficiente K_3 para $B=1000$

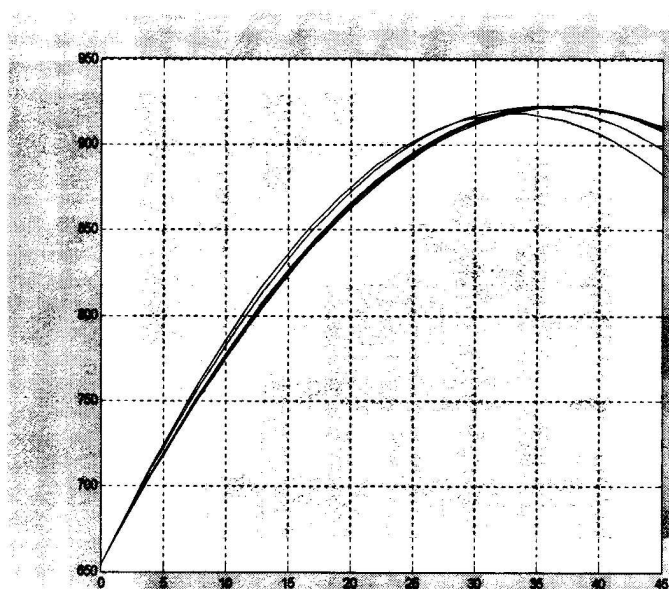


Fig 2.12 Variación coeficiente k_3 para $B=1200$ mm

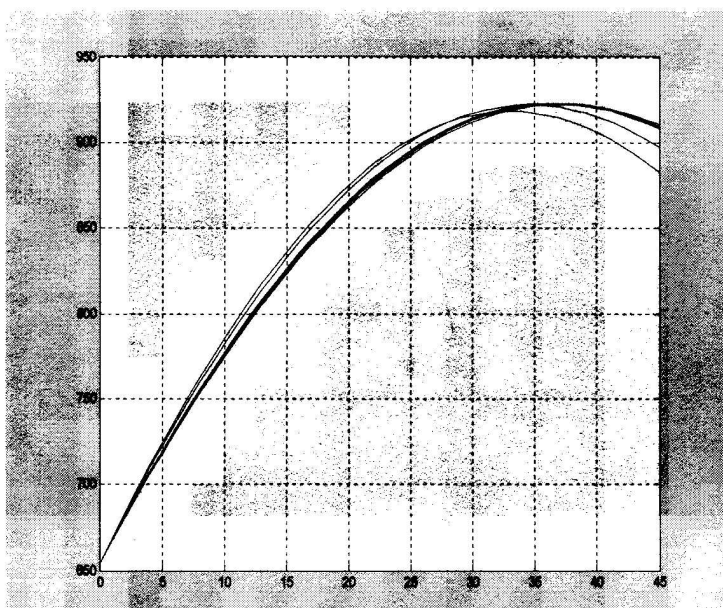


Fig 2.13 Variación del coeficiente K_3 para $B = 1400$

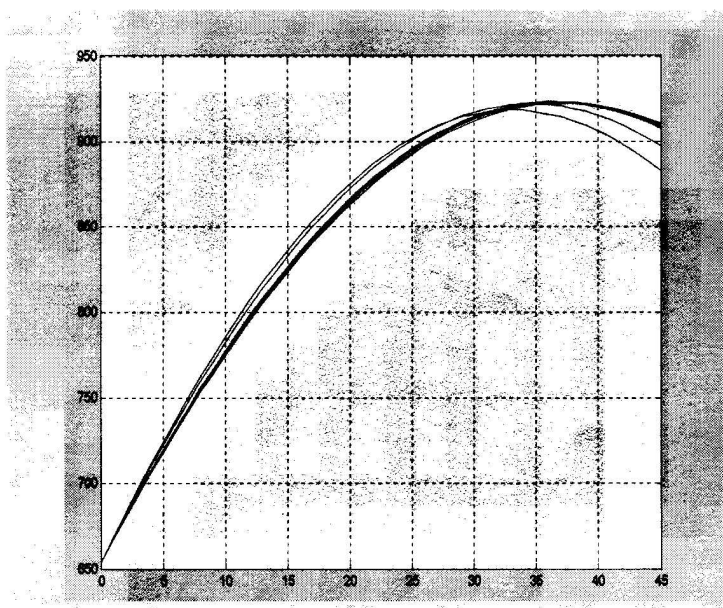


Fig 2.14 Variación del coeficiente k_3 para $b = 1600$ mm

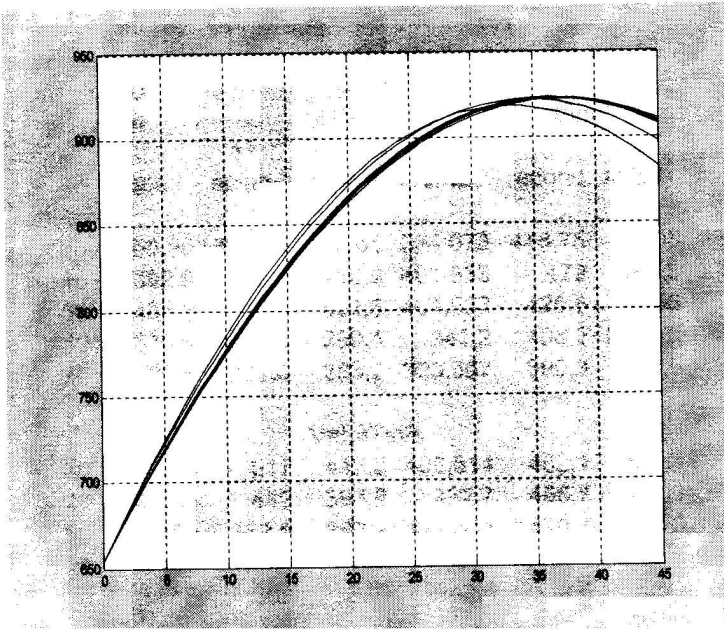


Fig 2.15 Variación coeficiente k_3 para $B = 1800$ mm

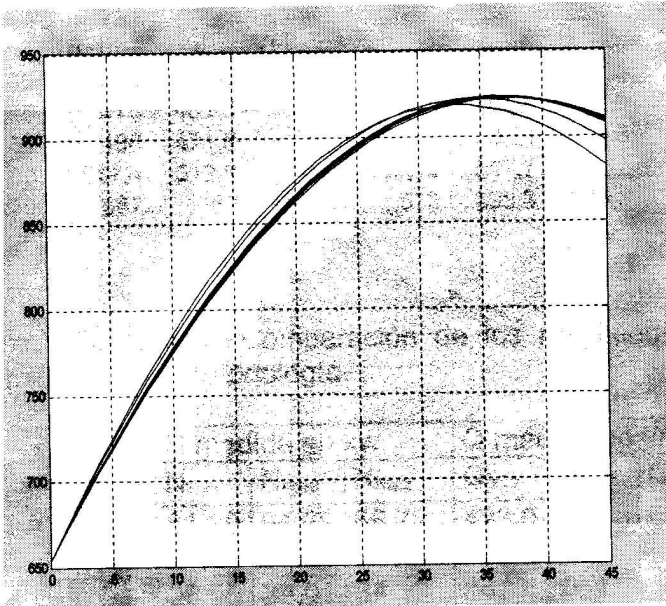


Fig 2.16 Variación coeficiente k_3 para $B = 2000$ mm

TABLA 3.3 PROMEDIO DE LOS DESPLAZAMIENTO EN LOS PUNTOS DE CARGA

TR----5 v=1,87m/s

altura de caída

 200
mm

400 mm

600 mm

a1

a2

a3

redond aplan cuadr promed

redond aplan cuadr promed

redond aplan cuadr promed

Tamaño

30	250,95	330,62	420,65	334,073	448,75	408	282,14	379,63	256	395,9	214	288,63
40	392,9	209,3	436,9	401,533	479	189,3	272,35	313,55	353,9	235	412,5	333,8
50	485,1	298	421,5	401,533	428,5	455	490	457,833	411,2	406,8	252,7	356,89
60	376,6	347,6	299,4	341,2	408,2	261,25	280,8	316,75	376,2	451,8	253,2	360,4
70	325,8	361,6	283,3	323,567	390,3	445,9	369,5	401,9	447,3	393,1	405,5	415,3

TR---7
V=1,97m/s

30	448,3	517	442,5	406,514	462,1	458,3	385	435,133	431,3	340	450	407,1
40	462,5	442	393,6	432,7	458,7	478,3	440	459	510	492,5	522,5	508,33
50	380	362,5	282,5	372,843	410,7	393,3	455	419,667	412,8	365	392,5	390,1
60	407		405	406	436	462,5	410	436,167	462	450	470	460,67
70	347,5	300	380	342,5	336,6		395	365,8	460	410	387,5	419,17

TR----2
v=2,08m/s

30	442,5	466,7		454,6	431,7	375,2		403,45	465		466,5	465,75
40	443,1	415		429,05	405,3	400,8		403,05			475,3	475,3
50	463,3	462,5		462,9	425	435		430	478,3		483	480,65
60	492			492	540,3	542		541,15	546,4			546,4
70	510,2	488,6		499,4	575	520,3		547,65	623,9		614	618,95

TR-15
V=2,45m/s

30	456,2	435		445,6	445	438		442,867	461	445,8		453,4
40	476	451,3		463,65	491,4	498,9		495,15	488,7			488,7
50	498	471,8		484,9	533	514,5		584,85	545,6	438		491,8
60	547,4	512,9		530,15	587,7	582		584,85	599	590		594,5
70	687	669		678	695,3	678,3		686,8	738	723,4		730,7

Anexo Tabla 3. 2 Comparación de los resultados de la medición con los obtenidos por la metodología.

Transportador	N medida en kw			Q medida en t/h			Ncal.p/Qmedida		
	N _{min}	N _{med}	N _{max}	Q _{min}	Q _{med}	Q _{max}	N _{cmin}	N _{cmed}	N _{cmax}
TR-6A	61,29	64,39	66,72	423,0	471,5	510,0	63.12	66.72	68.70
TR-7	21,41	59,54	106,57	102,8	302,6	536,5	31.90	71.71	106.9
TR-11	28,55	32,01	34,40	142,4	163,2	172,5	30.02	34.05	35.93
TR-12	35,27	41,17	47,55	148,7	181,2	202,3	35.39	41.57	47.69
TR-15	24,82	38,49	41,83	232,5	850,5	1013.5	25.84	38.90	53.30

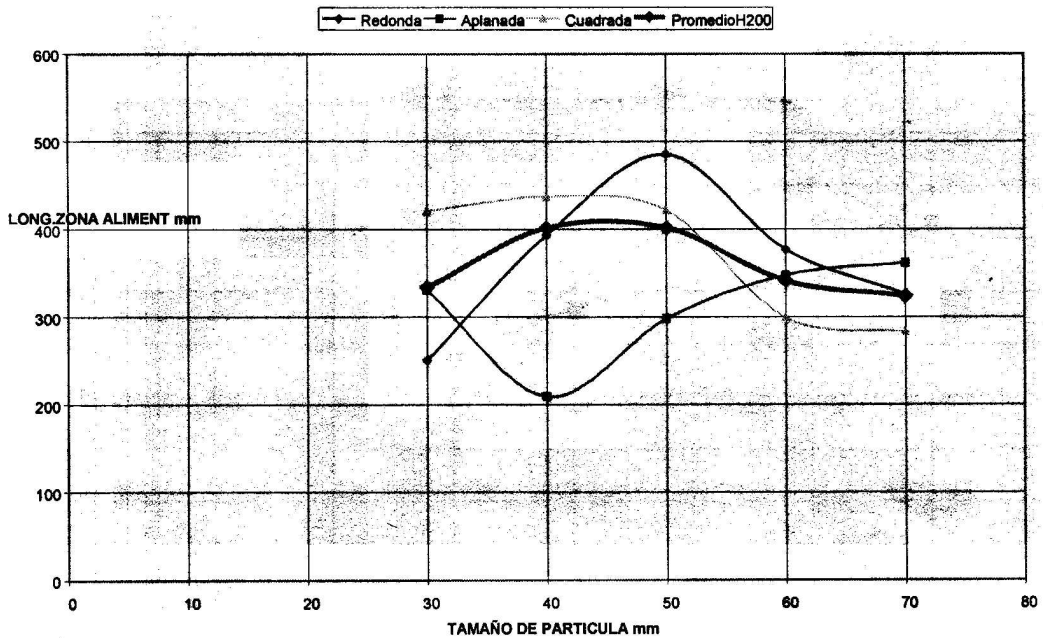


Fig. 3,7 Comportamiento del desplazamiento de las partículas en la zona de alimentación en función del tamaño, para una altura de caída de 200mm y velocidad de la banda 1,87 m/s

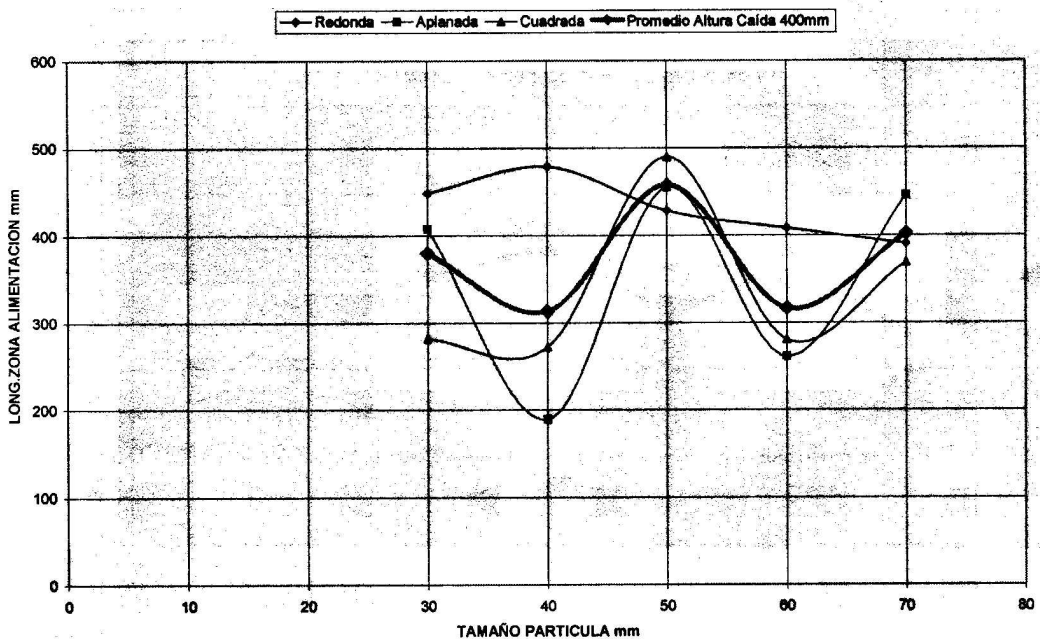


Fig. 3,8 Comportamiento del desplazamiento de las partículas en la zona de alimentación en función del tamaño, para una altura de caída de 400mm y velocidad de la banda 1,87 m/s

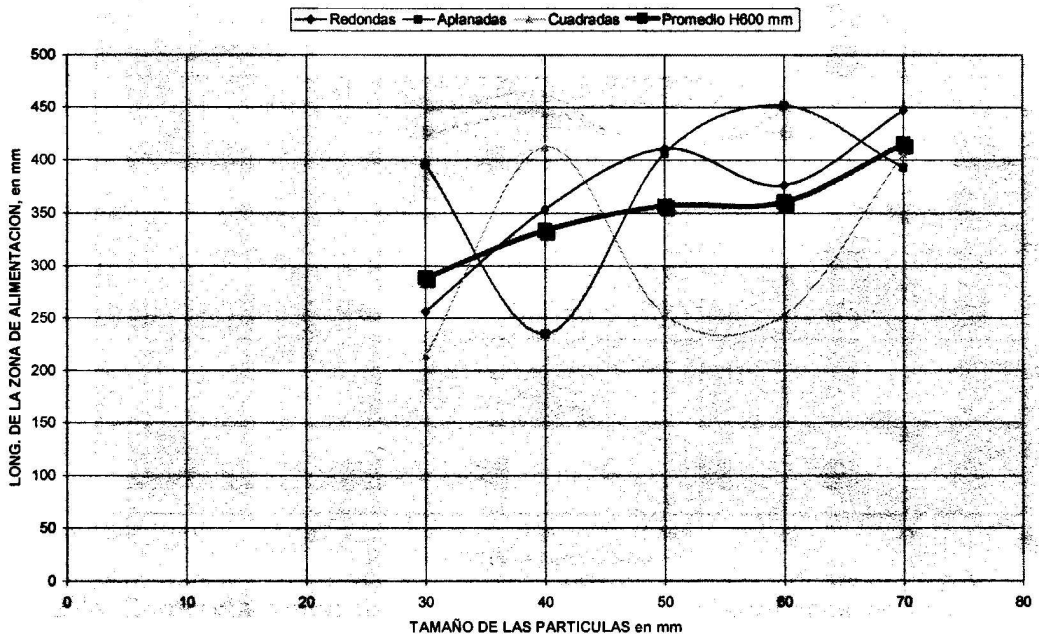


Fig. 3,9 Comportamiento del desplazamiento de las partículas en la zona de alimentación en función del tamaño, para una altura de caída de 600mm y velocidad de la banda 1,87 m/s

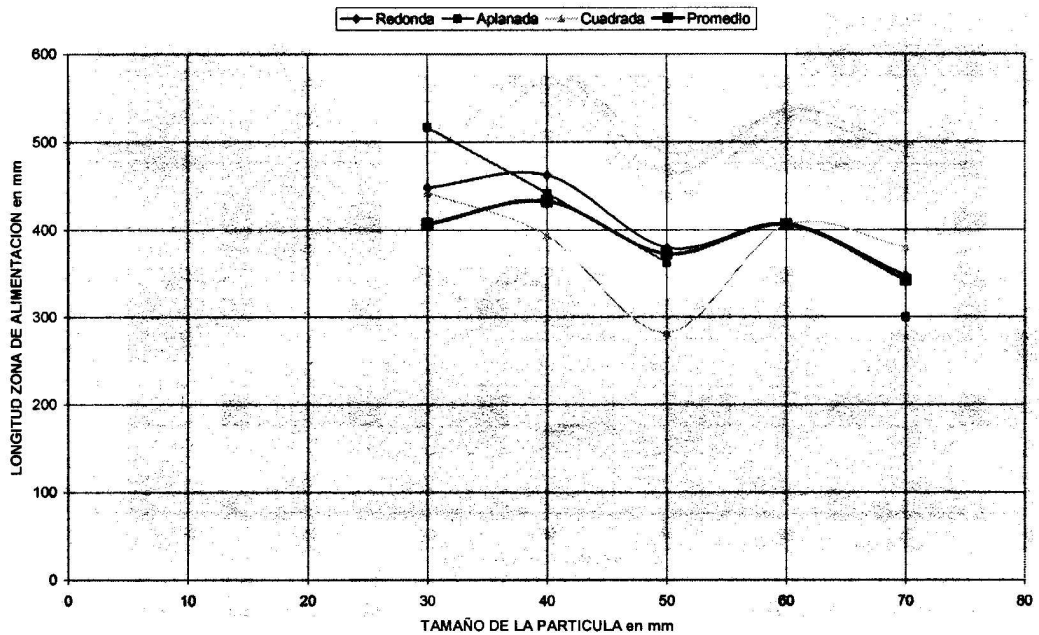


Fig. 3,10 Comportamiento del desplazamiento de las partículas en la zona de alimentación en función del tamaño, para una altura de caída de 200mm y velocidad de la banda 1,97 m/s (TR-7)

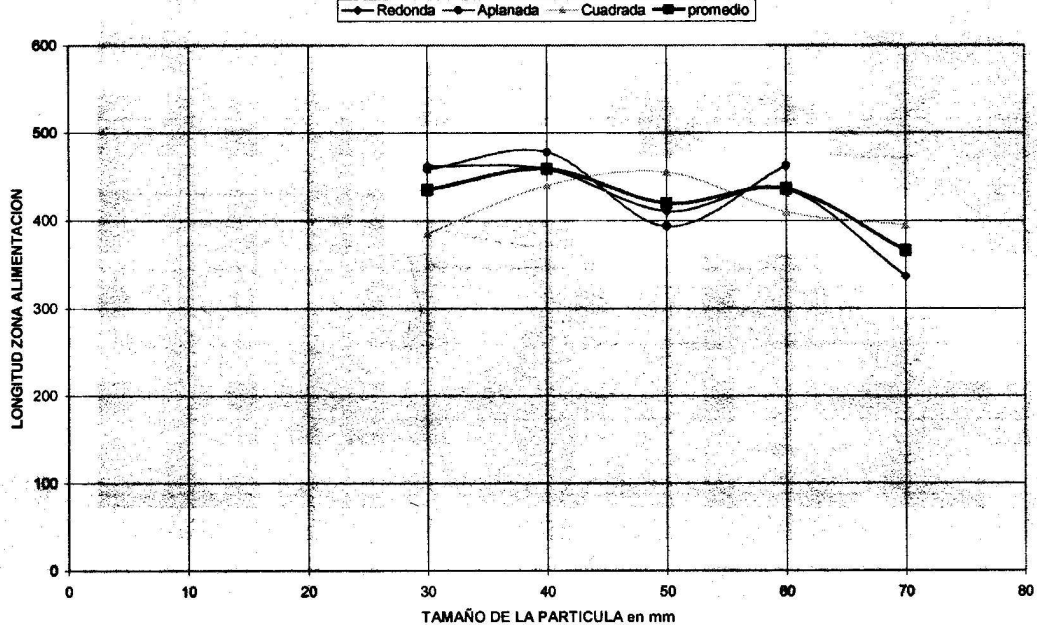


Fig. 3,11 Comportamiento del desplazamiento de las partículas en la zona de alimentación en función del tamaño, para una altura de caída de 400mm y velocidad de la banda 1,97 m/s (TR-7)

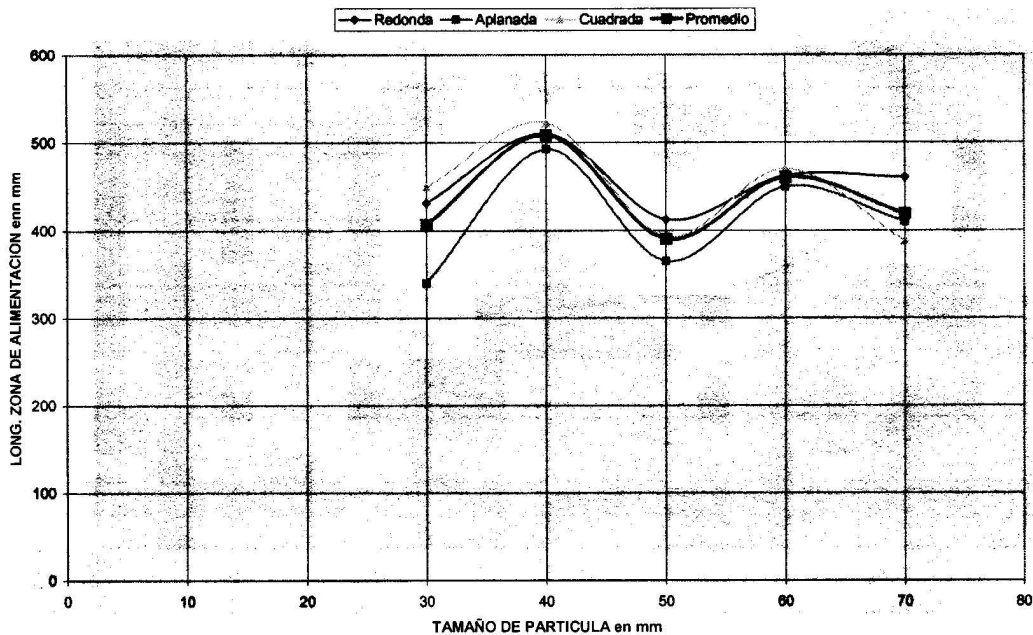


Fig. 3,12 Comportamiento del desplazamiento de las partículas en la zona de alimentación en función del tamaño, para una altura de caída de 600mm y velocidad de la banda 1,97 m/s (TR-7)

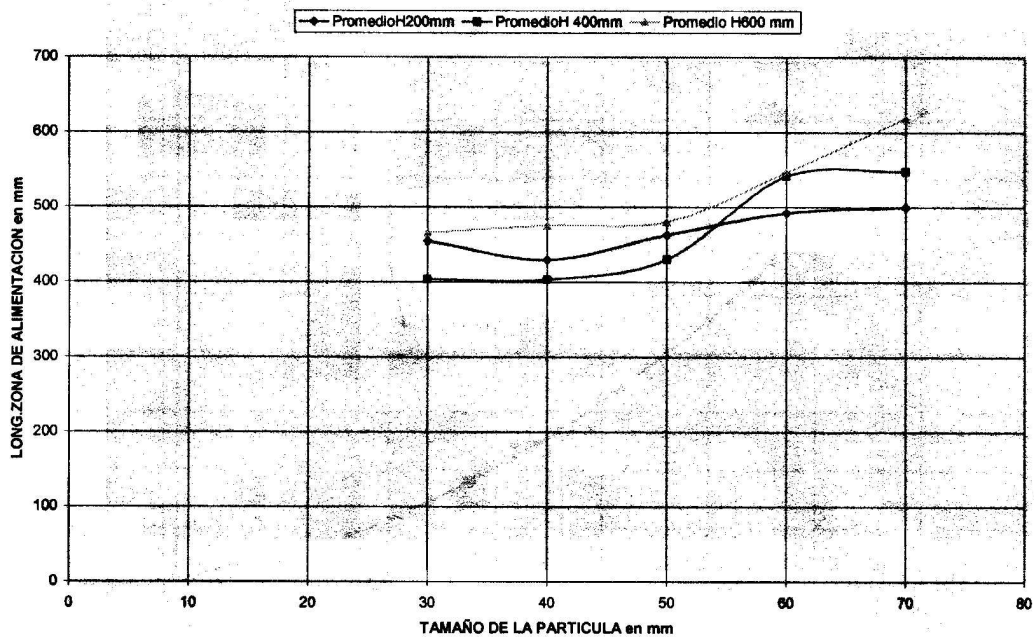


Fig. 3,13 Comportamiento del desplazamiento promedio de las partículas en la zona de alimentación en función del tamaño, para altura de caída de 200, 400 y 600 mm y velocidad de la banda 2,08 m/s (TR-2)

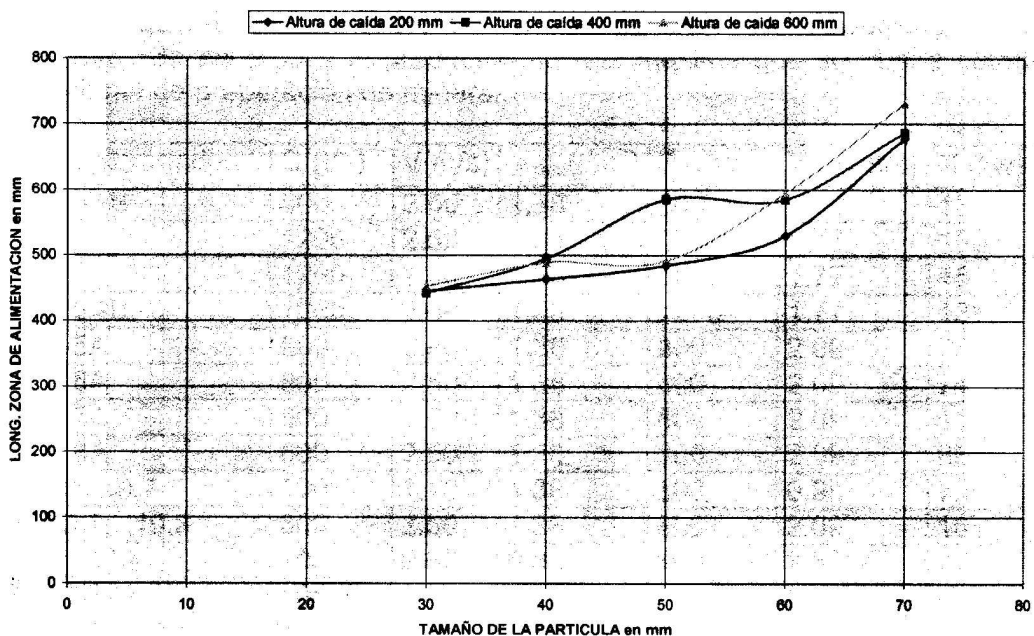


Fig. 3,14 Comportamiento del desplazamiento promedio de las partículas en la zona de alimentación en función del tamaño, para altura de caída de 200, 400 y 600 mm y velocidad de la banda 2,45 m/s (TR-15)

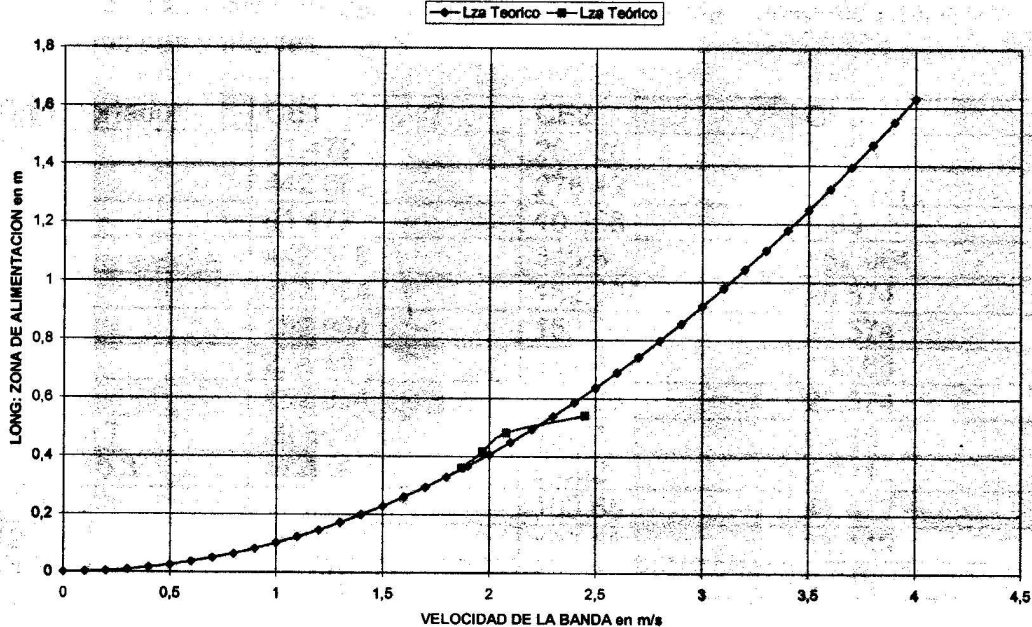


Fig. 3.15 Variación de la longitud de desplazamiento de las partículas en la zona de alimentación en fusión de la velocidad de la banda.

Anexo: Tabla 4.1 Parámetros tecnológicos de los transportadores de banda propuestos de acuerdo a la productividad real máxima que se puede obtener en la planta de preparación de mineral.

No	Transportador	Q (t/h)	V(m/s)	$\gamma_{\text{real}}(\text{t/m}^3)$	B (mm)	$V_{\text{real}}(\text{m/s})$	N (kw)
1	1A-1B	600	2.50	1,38	800	2.09	15
2	2	1200	2.50	1.38	1200	1.77	150
3	3	1200	2.50	1.38	1200	1.77	15
4	4A-4B	1200	2.50	1.38	1200	1.77	135
5	5-5A	600	2.50	1.38	800	2.09	74
6	6-6A	600	2.50	1.38	800	2.09	74
7	7-7A	600	2.50	1.38	800	2.09	117
8	8-8A	600	2.50	1.38	800	2.09	85
9	9,1...9,7	100	1.15	1.38	500	0.98	7.5
10	10,1...10,3	600	2.50	1.38	800	2.09	10
11	11-11A	400	2.50	0.80	800	2.37	77
12	12-12A	400	2.50	0.80	800	2.37	90
13	13,1...13,4	100	1.15	0.80	650	0.98	7.5
14	14 y15	1200	2.50	1.38	1200	1.77	55

TABLA 4.3Comparación de los costos de la energía consumida teniendo en cuenta las tres variantes

Transportador	CE1	CE2	CE3
1A-1B	41.472	20.736	7.603
2	442.368	276.42	182.477
3	41.472	10.368	5.53
4A-4B	442.368	345.6	152.064
5-5A	152.064	152.064	25.574
6-6A	152.064	152.064	25.574
7-7A	276.48	182.477	103.68
8-8A	152.064	103.68	25.574
9.1.....9.7	23.501	2.074	0.346
10.1...10.3	17.316	5.602	2.241
11-11A	152.064	103.68	41.472
12-12A	152.064	103.68	51.149
13.1...13.4	20.736	1.037	0.249
14	152.064	41.472	20.736
15	152.064	41.472	20.736
TOTAL	2370.16	1342.736	663.003

Tabla 4.4

Costos	Variante1	Variante2	Variante3
Banda	348145.60	348145.60	158727.70
Accionamiento	89549.375	89549.375	34790.00
Tambor motriz	24365.46	24365.46	11553.20
Otros tambores	22550.00	22550.00	15000.00
Rodillos	119461.00	119461.00	95461.00
TOTAL	604071.43	604071.43	315531.90

Figura 2.2 Un solo rodillo de apoyo Banda plana.

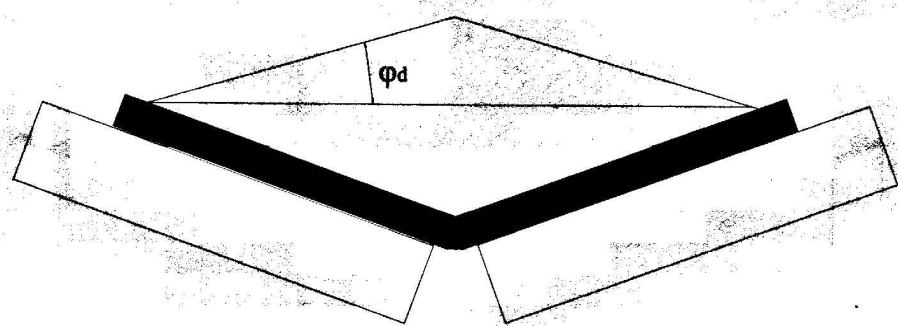
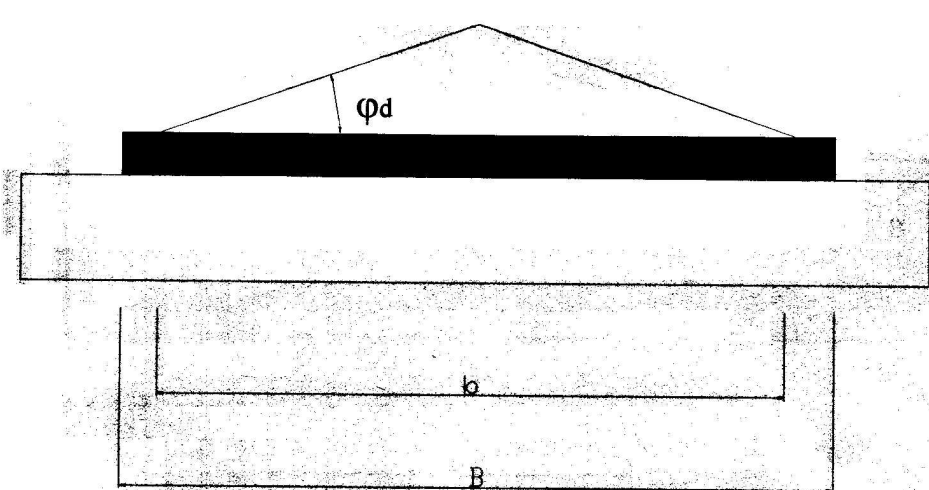


Figura 2.3 Artesa de dos rodillos

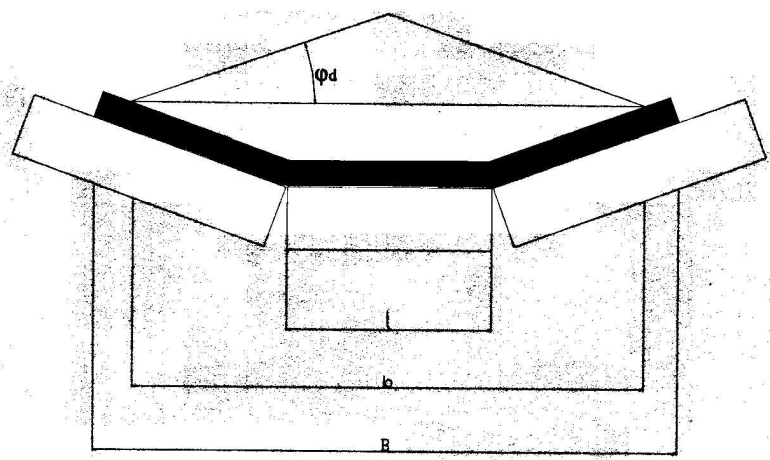


Figura 2.4 Artesa de tres rodillos

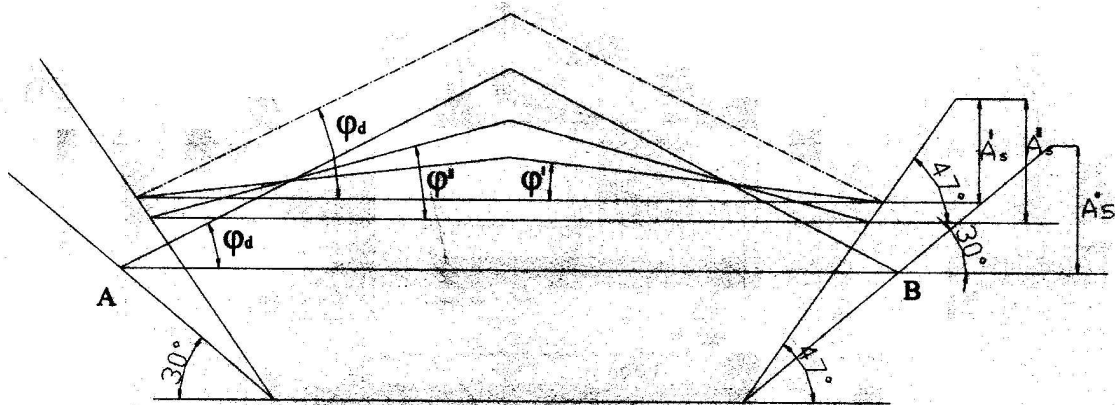


Figura 2.1 b

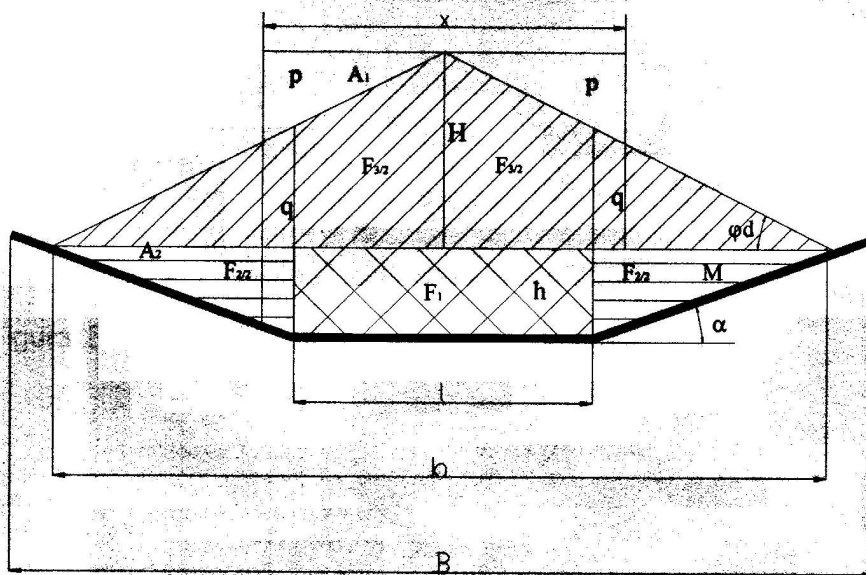


Figura2,1 a

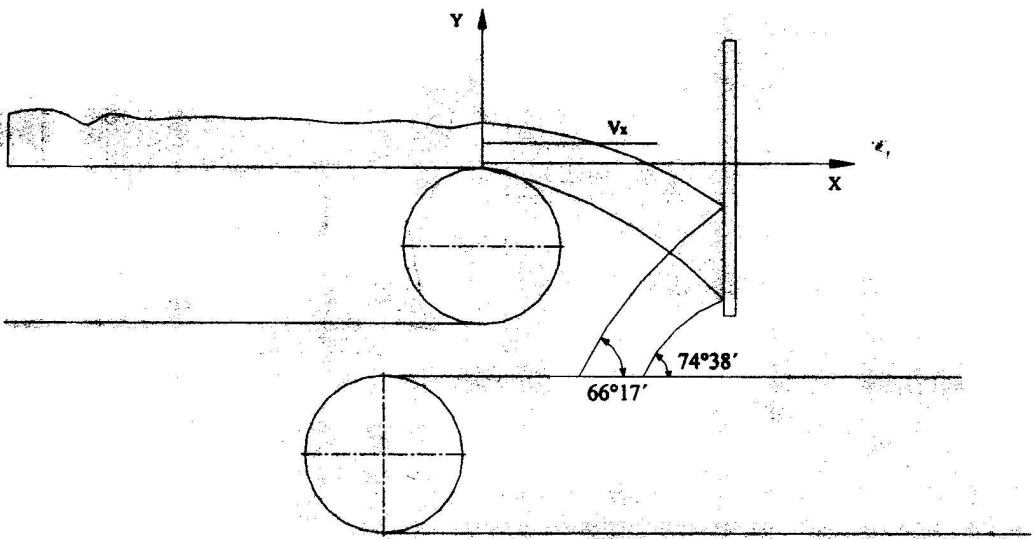


Figura 2.17

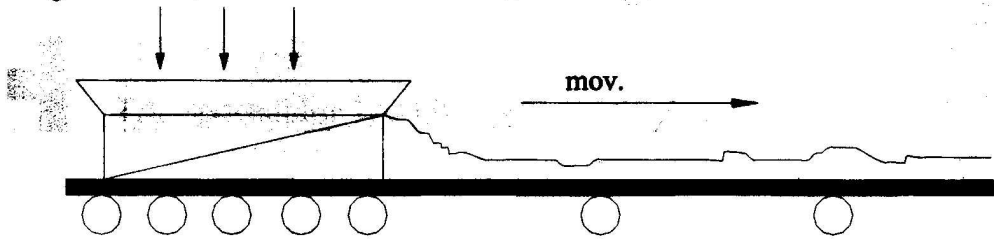


Figura 2.18

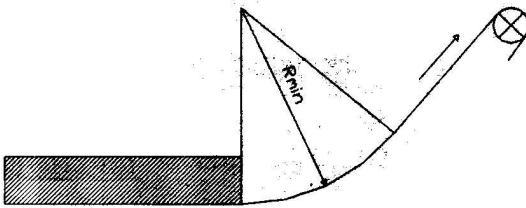


Figura 2.19

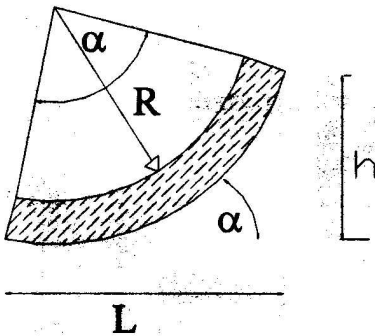


Figura 2.21

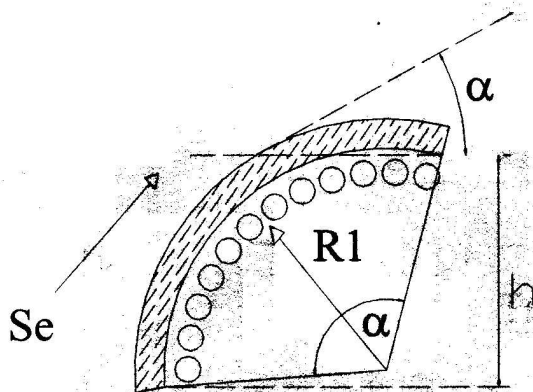
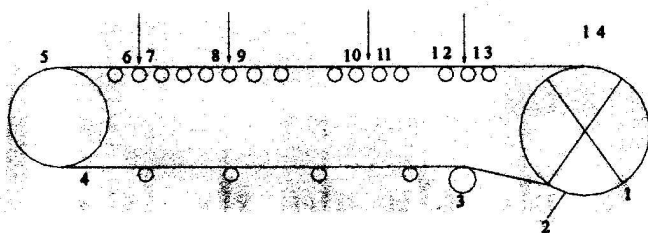


Figura 2.20

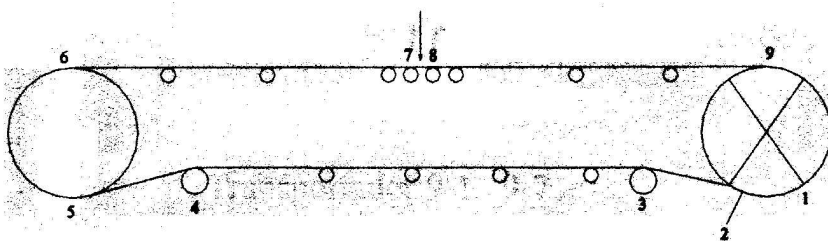


Figura 2.22

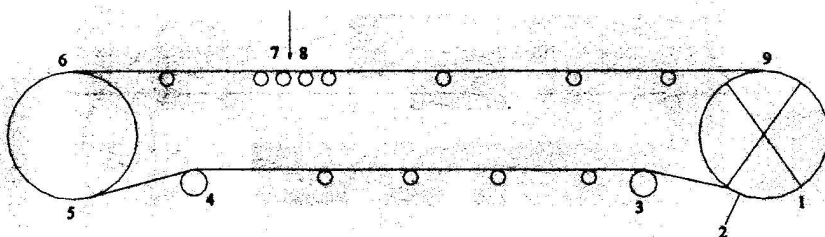
Transportador 1A-1B

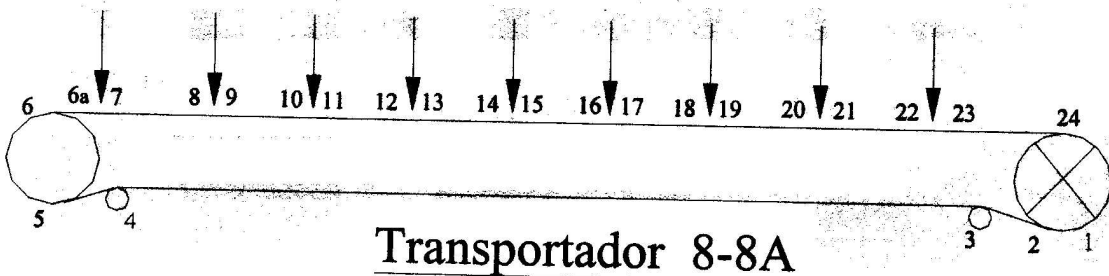
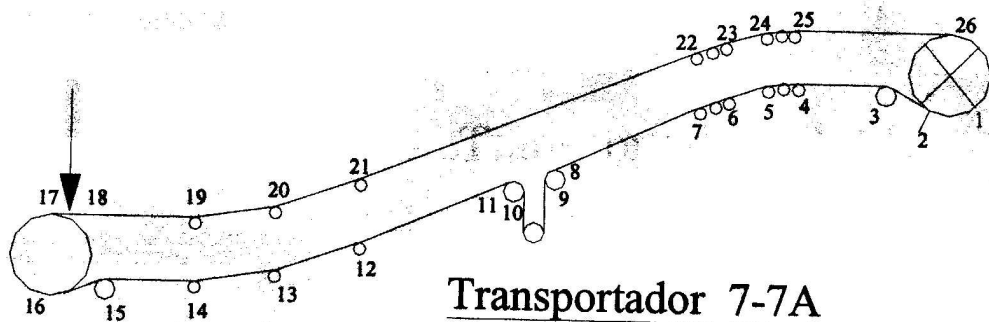
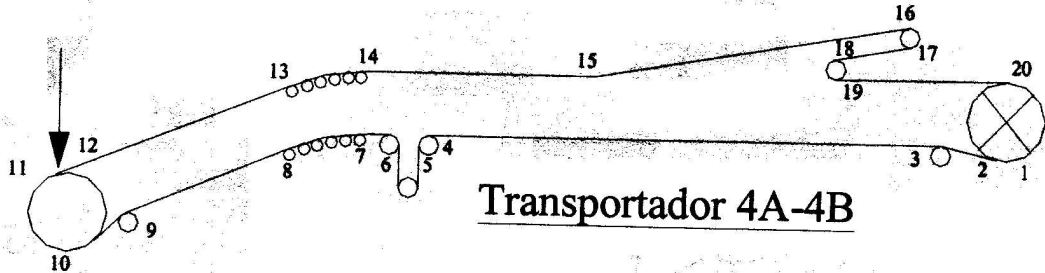


Transportador 3

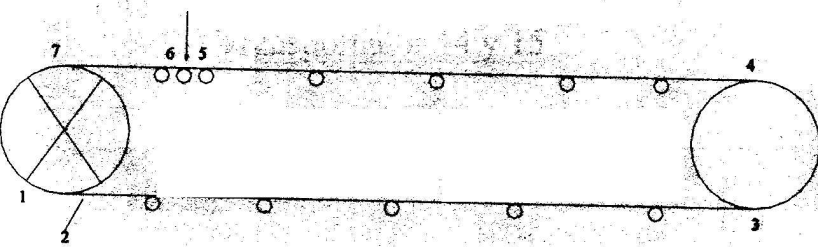


Transportador 5-5A y 6-6A

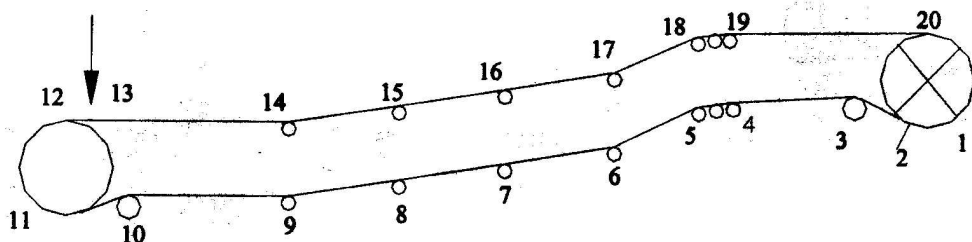
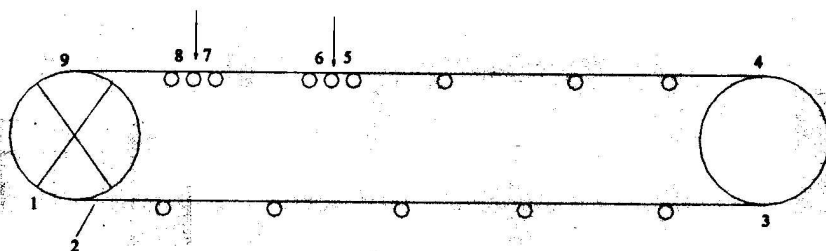




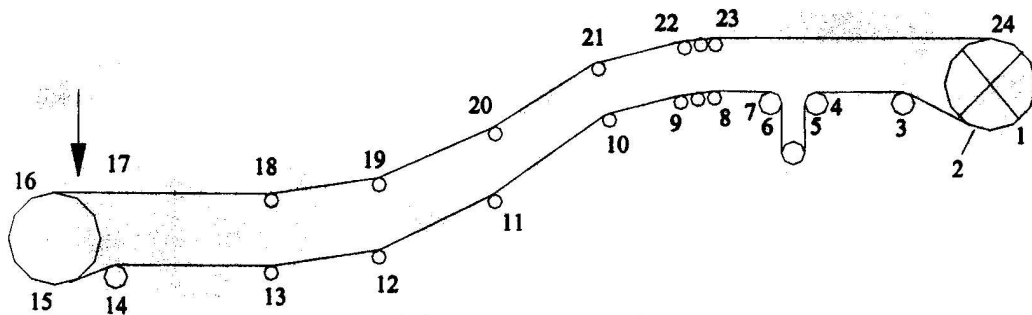
Transportador 9-1...9-7



Transportador 10-1...10-3

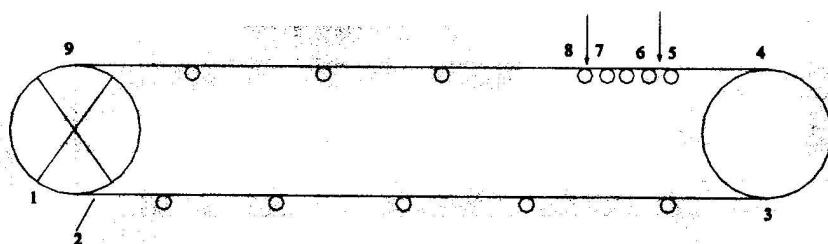


Transportador 11-11A

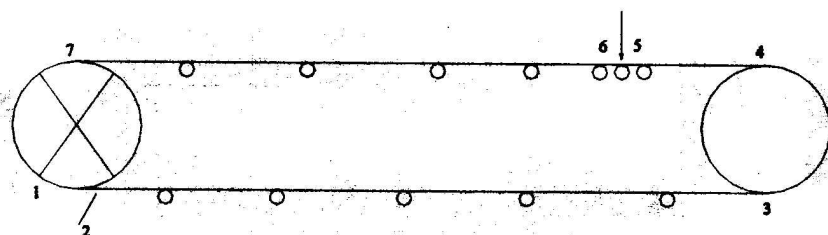


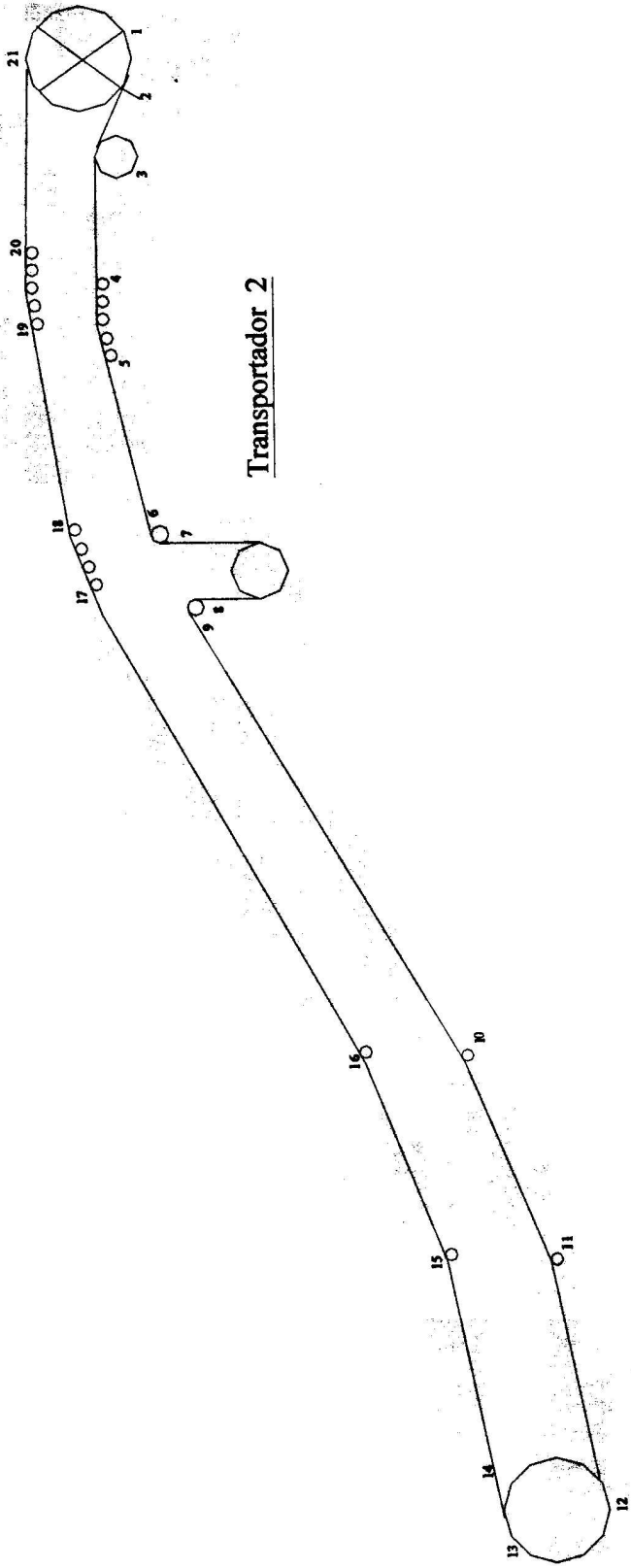
Transportador 12-12A

Transportador 13-1...13-4



Transportador 14 y 15





Transportador 2