

# INFLUENCIA DE LOS PROCESOS DE CARGA DEL MINERAL LATERÍTICO EN LOS TRANSPORTADORES DE BANDA

M. Sc. Ing. Roberto Johan Sierra Pérez  
[rsierra@ismm.edu.cu](mailto:rsierra@ismm.edu.cu)

M. Sc. Mario Feliú Rosado  
[mfeliu@ismm.edu.cu](mailto:mfeliu@ismm.edu.cu)

## Resumen

El proceso de carga del mineral laterítico en los transportadores de banda en la Empresa Ernesto Che Guevara presenta irregularidades durante la explotación de estos transportadores, provocan el desgaste de la banda y su destrucción paulatina. En este trabajo se determina la resistencia en los puntos de carga considerando el tamaño de los pedazos, la forma y la altura de caída. Esto permite determinar la longitud del punto de carga en función de la velocidad y del desplazamiento de las partículas sobre la banda de forma teórica y experimentalmente para los minerales lateríticos.

## Summary

The process of load of the mineral laterítico in the band transporters in the Company Ernesto Che Guevara presents irregularities during the exploitation of these transporters, they cause the waste of the band and his gradual destruction. In this work the resistance is determined in the load points considering the size of the pieces, the form and the fall height. This allows to determine the longitude of the load point in function of the speed and of the displacement of the particles on the band in a theoretical way and experimentally for the mineral lateríticos.

**Palabras clave:** transportador de banda, alimentación, longitud de carga, resistencia punto de carga.

**Words key:** band transporter, feeding, load longitude, resistance load point.

## 1. INTRODUCCION

El transporte constituye uno de los principales eslabones del proceso tecnológico en las plantas metalúrgicas. Estos deben crear una corriente de carga de determinada potencia y dirección. Especial importancia tiene el transporte de mineral laterítico por medio de los transportadores de banda en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (ECECG).

En la industria cubana del níquel, cuyo desarrollo va en ascenso, en los últimos años se han presentados algunos problemas relacionados con los niveles de utilización de la capacidad de carga, los consumos energéticos; (Loyola, 2002; Sierra, 2006) y la influencia de la altura y dirección de la carga en los puntos de carga; (Rodríguez, 2006). La realización de nuevas inversiones para incrementar 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; (Méndez, 2002).

En esta empresa están instalados más de 34 transportadores de banda que acarrear el mineral con una productividad promedio de 800t/h desde la descarga de los camiones VOLVO A40D procedente de la mina hasta los secaderos de mineral y de este hasta los hornos de reducción.

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; Sierra, 2005.

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 y de dos formas fundamentales (Oriol, 1985):

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

En ambos casos 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.

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.

Considerando lo expresado anteriormente, el propósito de este trabajo es determinar la longitud racional de la zona de carga del mineral laterítico considerando el tamaño y la forma de la partícula para diferentes alturas de caída en función de la velocidad de movimiento de la banda de manera experimental y teórica.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

El proceso de alimentación del material laterítico sobre la banda fue estudiado por (Toll; 1993, Rodríguez; 2006), considerando inicialmente que la banda este totalmente libre del material. Al caer el material desde cierta altura, las partículas adquieren cierta energía cinética en virtud de la altura de caída libre y producto de la transformación de la energía potencial en energía cinética; (Masso, 1982). 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 le sigue otra que caerá en un intervalo de tiempo  $dt$  posterior. Esta segunda capa no cae completamente sobre la primera y 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 por comportarse esta como una pared contenedora y 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.

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.

La obtención de las expresiones que rigen esta resistencia y su vinculación con la velocidad de transportación para poder establecer los criterios de selección fue determinada por Sierra; 2005 para los minerales laterítico.

La expresión que rige la magnitud de la fuerza de resistencia por el cambio de dirección de la velocidad de movimiento de la banda ( $v_2$ ) y la velocidad de movimiento de la carga ( $v_1$ ) en el mismo sentido que la banda (signo -) y contrario (signo +) es; en m/s:

$$w_{z\alpha} = \frac{Q \cdot [v_2^2 \pm v_1^2]}{2 \cdot 3,6 \cdot g \cdot [v_2 \pm v_1]} \quad [\text{N}] \quad (1)$$

Donde,  $Q$ ; es la productividad del transportador en t/h.

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 ( $q_{z\alpha}$ ) 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.

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.

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.

$$w_{za} = \frac{k \cdot f_r \cdot Q \cdot l_{za}}{2 \cdot 3,6 \cdot v} \quad [N] \quad (2)$$

La magnitud del coeficiente de proporcionalidad  $k$  da la medida de cuanto se diferencia la partícula irregular de la forma cúbica., el coeficiente de proporcionalidad es la razón entre el volumen real de la partícula y el del cubo imaginario.

De la expresiones (2) 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 porque 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, y teóricamente se determina por:

$$l_d = \frac{v \cdot [v^2 \pm v_0^2]}{g \cdot [v \pm v_0]} \quad (3)$$

Esta expresión se obtiene sin tener en consideración el coeficiente de forma, las guarderas laterales y el coeficiente de fricción.

Si el material se alimenta verticalmente, entonces la expresión (3) se simplifica y se utilizara para mostrar su veracidad con los datos experimentales. 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. Tabla 3

El mineral laterítico utilizado como materia prima para obtener Ni más Co se caracteriza por las siguientes propiedades:

Peso volumétrico: 1,21t/m<sup>3</sup>

Humedad: 36.5%

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

Granulometría menor de 700 mm

Angulo del talud dinámico 36°

Cuando los experimentos se realizan directamente en el objeto funcionando se presentan dificultades inevitables, que al realizar las mediciones se puede afectar el flujo de producción o problemas para la obtención del resultado experimental de las variables deseadas.

Como instalaciones experimentales se emplearon los transportadores de banda escala Industrial utilizado en el flujo tecnológico de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. 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.

Con el objetivo de mostrar la veracidad de las expresiones obtenidas se utilizará la ecuación 3 por ser la más sencilla para  $V_0 = 0$ . 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.

Tabla 1. Datos técnicos de los transportadores utilizados en las mediciones

Transportador	TR-2	TR-5	TR-7	TR-15
Longitud; m	133,50	222,40	195,50	110,00
Ancho Banda; m	1,60	1,40	1,60	1,60
Productividad	1800 t/h	750 t/h	750 t/h	1800 t/h
Velocidad; m/s	2,08	1,87	1,97	2,45

#### 4. RESULTADOS

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 (0.5m, 1.0m y 3.0m) sobre el transportador con velocidad constante de la banda, midiendo previamente la altura de caída y conociendo el tamaño de la muestra, se realizó la medición 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 2.

De los resultados obtenidos se observa que el recorrido promedio de las muestras tomadas de mineral laterítico con respecto a la banda, oscila por lo general entre 0,5477 y 0,9000m, con valores mínimos de 0,290m y máximos de 1,632m, independientemente de la altura de caída y que no dependen en gran medida del tamaño de las partículas.

Para determinar el modelo que describe el desplazamiento de las partículas del mineral laterítico sobre la banda (variable dependiente), obtenido a partir de los resultados de las mediciones experimentales plasmado en la tabla 3, se consideran las variables independientes; diámetro de las partículas de mineral laterítico alimentadas al transportador, velocidad de movimiento de la banda y la altura de caída de los pedazos de mineral laterítico sobre la banda en movimiento.

Como la probabilidad de la variable diámetro de las partículas de mineral laterítico alimentadas al transportador es igual 0,4838 mayor que 0,05 no es significativa, por tanto se elimina del modelo.

En Sierra,2006; se hace un análisis de las regularidades del comportamiento de la granulometría con respeto a la humedad del mineral laterítico, que en este caso no se analiza por las razones anteriores. Entonces el modelo queda

$$L_p = 688,84 \cdot V + 0,192 \cdot H - 1118,87; \text{ en mm} \quad (4)$$

Donde

$L_p$ ; es el desplazamiento de los pedazos de mineral laterítico al caer sobre la banda hasta su reposo relativo; en mm

$V$ ; es la velocidad de movimiento de la banda; en m/s

$H$ ; es la altura de caída de los pedazos de mineral laterítico sobre la banda en movimiento; en mm

Las oscilaciones en las magnitudes medidas son provocadas por la irregularidad de las partículas y las características elásticas de la banda. La media del recorrido de la partícula con relación a la banda fue de 0,72 m. A modo de verificación se emplea la expresión (3) para los datos del transportador, de donde se obtiene que  $l_d=0,62$  m. Comparando los resultados obtenidos experimentalmente y teóricamente se concluye que no obstante la influencia de las características elásticas, no incluidas en las expresiones anteriores, para  $V_0=0$ , los resultados son cercanos y por tanto ello prueba la veracidad de estas expresiones, figura 1

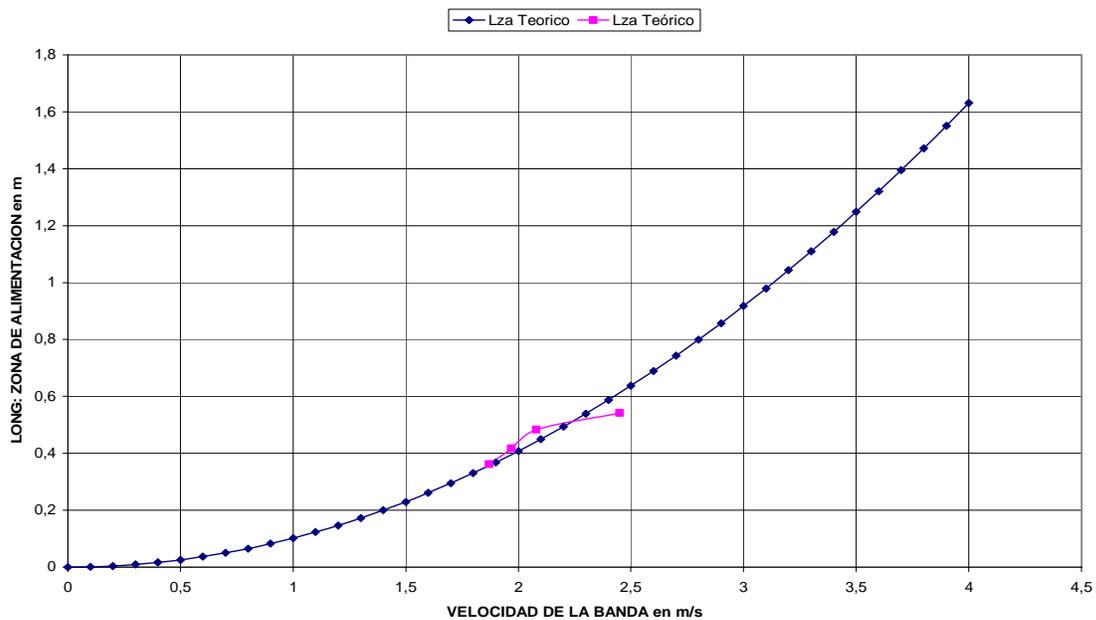


Figura 1 Variación de la longitud de desplazamiento de las partículas en la zona de alimentación en función de la velocidad de la banda, teórica y experimentalmente.

En la tabla 2 se muestran los valores experimentales promedio de desplazamiento  $L_{za}$  y la velocidad  $V$  de cada transportador.

Tabla 2 Valores experimentales promedio de desplazamiento

Transportador	TR-5	TR-7	TR-2	TR-15
Velocidad; m/s	1,87	1,97	2,08	2,45
$L_{za}$ ; m	0,5477	0,5898	0,6731	0,9000

El procesamiento estadístico de los resultados 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 la media aritmética, la desviación media, la varianza muestral, el criterio de la t de student para una probabilidad de  $t_{0,95}$  mediante la comparación de la t observada con  $t_d$  de la tabla.

En todos los casos se confirma que t es menor que  $t_d$  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 validez de los valores experimentales con el modelo teórico se desarrolla a través del error relativo cuyo valor máximo obtenido es de  $E=3,24\%$ ; que esta por debajo del 5%.

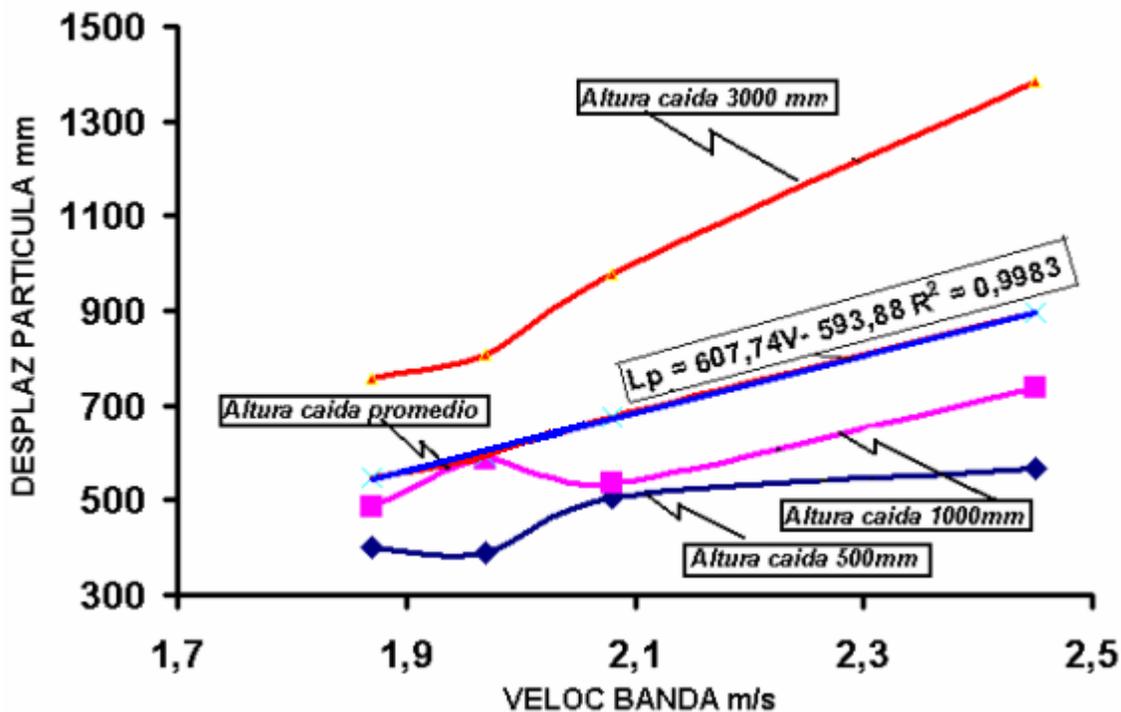


Figura 2 Desplazamiento de las partículas de mineral laterítico al caer desde distintas altura sobre la banda, en función de la velocidad de movimiento de esta última

La gráfica de la figura 2 representa el desplazamiento de las partículas del mineral laterítico al caer sobre la banda en función de la velocidad del movimiento de la banda para diferentes alturas de caída; es decir; de 500mm, 1000mm y 3000mm, en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Se aprecia, que el desplazamiento de las partículas sobre la banda se incrementa a medida que aumenta la velocidad de movimiento de esta última y que se hace mayor en el orden que se incrementa la altura de caída del mineral. En consecuencia con estos resultados se induce, que el desgaste de la banda se intensifica con el aumento de la altura de caída del mineral sobre la banda, aumenta la superficie de contacto y la longitud de deslizamiento del mineral sobre la banda, así como, el impacto y la presión del mineral contra la banda y los rodillos de apoyo en la zona de carga. Además, como la forma de las partículas es irregular, presentan muchas aristas que intensifican el desprendimiento de pequeñas porciones de la banda por hendidura y fatiga, en este caso, se incrementan para el mineral serpentinitico por tener mayor dureza.

Este problema se observa en el taller de preparación de mineral de la ECECG en los transportadores de banda donde la altura de alimentación varía desde 2m hasta más de 12m. Esto se pone de manifiesto en los siguientes transportadores, donde la frecuencia de avería es alta en comparación con otros transportadores. En los transportadores TR- 1A y TR- 1B, la altura de caída del mineral es de 14 m, trae como consecuencia rajaduras de la banda, separación de pequeñas partículas de la banda, destrucción de los apoyos de rodillos en el punto de carga; es decir; desajuste de los rodamientos y soportes, desmontaje, destrucción, avería y afloje de las guarderas, así como, grandes vibraciones y ruidos fuertes por encima de los 70 dB  
El comportamiento del desplazamiento de las partículas sobre la banda al caer desde diferentes alturas en función de la velocidad es un modelo lineal

$$Despl = 607,74 \cdot v - 593 ; \text{ mm} \quad (5)$$

donde,  $v$  es la velocidad de movimiento de la banda

Se observa, que para el movimiento a baja velocidad de la banda hasta 1,87m/s a 2,0 m/s el desplazamiento de las partículas sobre la banda es más desordenado teniendo fluctuaciones la distancia recorrida y su dirección. A partir de 2,0 m/s el movimiento es más ordenado en dirección y la longitud recorrida de las partículas aumenta de forma lineal con respecto a la velocidad de movimiento de la banda y la pendiente del modelo es mayor con el aumento de la altura de caída del mineral sobre la banda. El fundamento teórico se debe a que con el aumento de la velocidad de la banda la resultante ( fuerza o cantidad de movimiento) de la banda sobre las partículas es mayor. El choque de las partículas sobre la banda se comporta como una percusión. La dirección de movimiento de la carga en este caso es perpendicular al movimiento de la banda y la banda se considera como un cuerpo de gran masa.

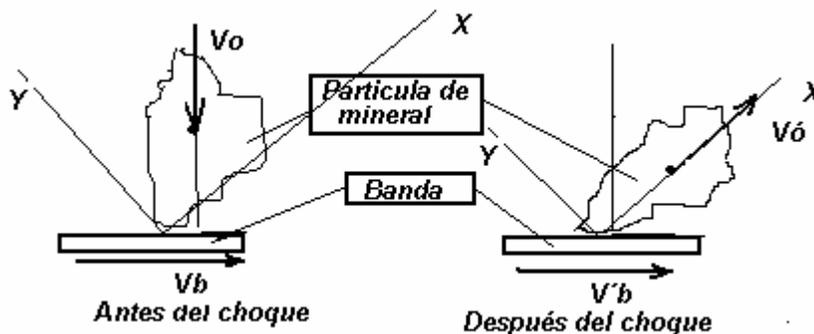


Figura 3. Comportamiento de una partícula de mineral laterítico durante el choque con la banda

Cuando la partícula choca con la banda, esta última se deforma durante un periodo y necesita otro periodo de recuperación. El módulo del periodo de la recuperación es menor que el modulo del periodo de la percusión. La relación de ambos módulos se denomina coeficiente de restitución y se puede expresar en función de las velocidades relativas antes y después del choque, según su línea de choque. La fuerza aplicada por la partícula sobre la banda varia de modo continuo, proporcionalmente a la deformación de la banda desde un valor inicial nulo hasta un valor admisible  $F = K \cdot X$ . (6)

Donde  $K$ ; es el coeficiente de rigidez de la banda o razón de la deformación, en N/m  
 $X$ ; es el valor de deformación de la banda, en m.

Si la energía con que llega la partícula a la banda, que depende de la altura y la masa supera el valor de la energía potencial elástica de la banda, entonces, se produce la ruptura y desprendimiento de partículas del material de la banda. Si a este fenómeno se le añade la forma irregular de las partículas con aristas cortante, entonces, el tiempo de vida útil de la banda disminuye considerablemente (Figura 4). Este fenómeno está presente en la alimentación del mineral laterítico sobre los transportadores de banda en la ECECG.

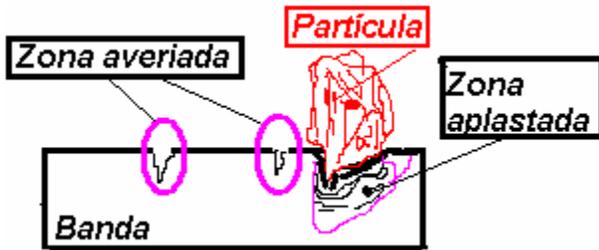


Figura 4 Averías y deformaciones de la banda durante la alimentación de los pedazos de mineral laterítico

Como la banda es elástica y las partículas de mineral de serpentina tiene aristas cortantes y penetran en la banda, sobre la partícula actúa una fuerza elástica opuesta  $F = K \cdot X$ , durante un intervalo de tiempo  $\Delta t$  que está en contacto con la banda (choque). La componente vertical del ímpetu o cantidad de movimiento y por consiguiente, la componente vertical de la velocidad ( $V_o$ ) de la partícula varía según la línea de choque definida ( $V_o \cdot x$ ), bajo un ángulo  $\theta$ . Figura 5

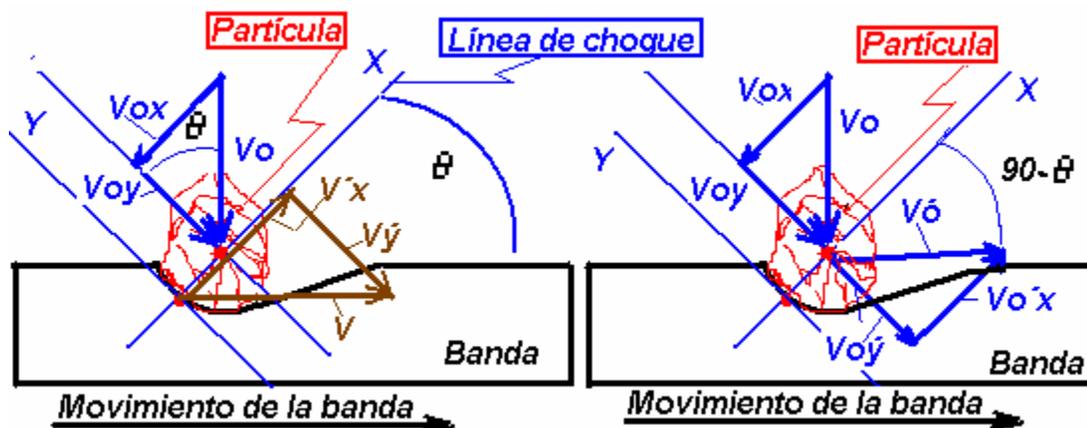


Figura 5. Deformación de la banda durante el impacto de los pedazos de mineral de serpentina desde alturas considerables

Como la masa del transportador se puede considerar infinita a todos los efectos, no se conserva el ímpetu. Empleando el coeficiente de restitución ( $e$ )

$$Vo'x - V'x = e(Vx - Vox) \quad (7)$$

$$Vox = Vo \cdot \text{Sen}\theta \quad (8)$$

$$Voy = Vo \cdot \text{Cos}\theta \quad (9)$$

$$Vo = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (10)$$

$$Vo'x = Vox - \frac{2 \cdot \Delta X \cdot \text{Cos}\theta}{\Delta t} \quad (11)$$

$$V'x = V \cdot \text{Cos}\theta \quad (12)$$

$$V'y = V \cdot \text{Sen}\theta \quad (13)$$

$$Vo'y = Voy - \frac{2 \cdot \Delta X \cdot \text{Sen}\theta}{\Delta t} \quad (14)$$

sustituyendo en (7) nos queda

$$\frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{(e+1)}{2} \cdot \left( Vo - \frac{V}{\text{Tan}\theta} \right) \quad (15)$$

donde

$Vo$ ; es la velocidad de caída de la partícula desde una altura  $H$ ; en m/s

$V$ ; es la velocidad de movimiento de la banda; en m/s

$\Delta X$ ; es la deformación de la banda durante el impacto del pedazo de mineral; en m

$$\Delta X = \Delta Xd + \Delta Xf \quad (16)$$

$\Delta Xd$ ; es la deformación, hendidura o aplastamiento de la banda por el impacto de los pedazos de mineral al caer, en m

$\Delta Xf$ ; es la flexión de la banda cuando los pedazos caen entre dos apoyos de rodillos; en m

$\Delta t$ ; es el tiempo durante se realiza el choque; en seg.

La expresión (15) obtenida representa el modelo teórico para determinar la velocidad media de deformación y restitución de la banda por el choque de ella con los pedazos de material alimentado desde diferentes altura. Representa la energía potencial elástica durante la colisión, las pérdida de energía mecánica de deformación

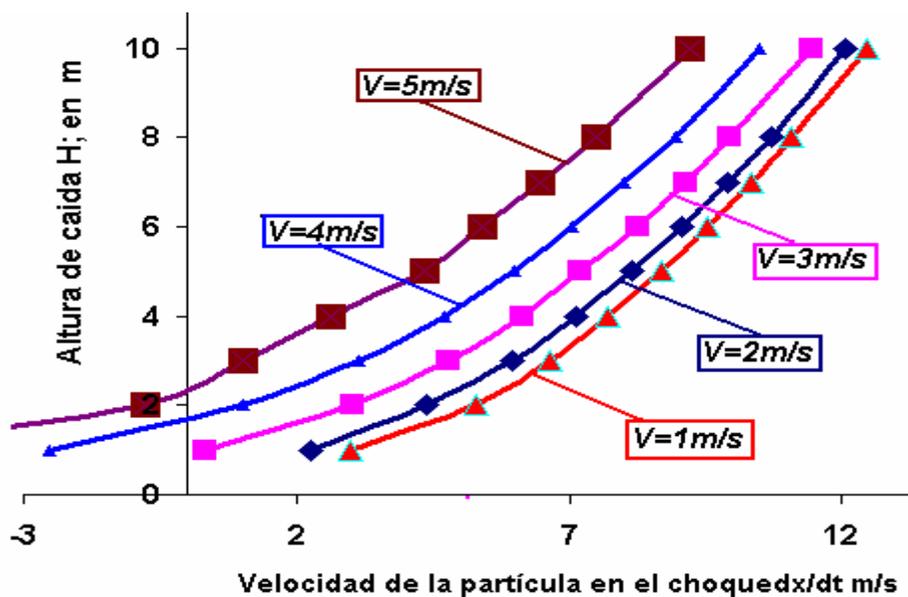


Figura 6 Variación de la velocidad de deformación de la banda por aplastamiento y flexión para distintas valores de velocidad de la banda en función del la altura de caída del pedazo de mineral laterítico.

De la figura 6 se observa que a medida que aumenta la velocidad de movimiento de la banda para una misma altura disminuye la velocidad de deformación de la banda, incluso para determinados valores el material se desplaza en sentido contrario al movimiento de la banda en el punto de carga.

$$\Delta Xd = \Delta Xsd + \sqrt{\Delta Xsd^2 + 2 \cdot H \cdot \Delta Xsd} \quad (17)$$

$$\Delta Xf = \Delta Xsf + \sqrt{\Delta Xsf^2 + 2 \cdot H \cdot \Delta Xsf} \quad (18)$$

donde

$\Delta Xsd$ ; deformación estática, hendidura o aplastamiento de la banda provocada por el peso de los pedazos de mineral sobre la banda, en m

$\Delta Xsf$ ; flexión estática provocada por el peso de los pedazos de mineral sobre la banda entre dos rodillos, en m

$$\Delta Xsd = \frac{((qc + qb) \cdot Xb)}{E \cdot (0,7 \cdot B)} \quad (19)$$

$$\Delta Xsf = \frac{((qc + qb) \cdot lr^4)}{48 \cdot E \cdot \left( \frac{1}{12} \cdot \left[ \frac{qb}{g} \cdot lr \cdot (lr^2 + Xb^2) \right] \right)} \quad (20)$$

donde:

qc; peso lineal de la carga; en N/m, qb; peso lineal de la banda; en N/m, Xb; espesor de la banda; en m, B; ancho de la banda; en m, E; módulo de elasticidad de la banda, en N/m<sup>2</sup>, Lr; distancia entre dos rodillos en los puntos de carga; en m

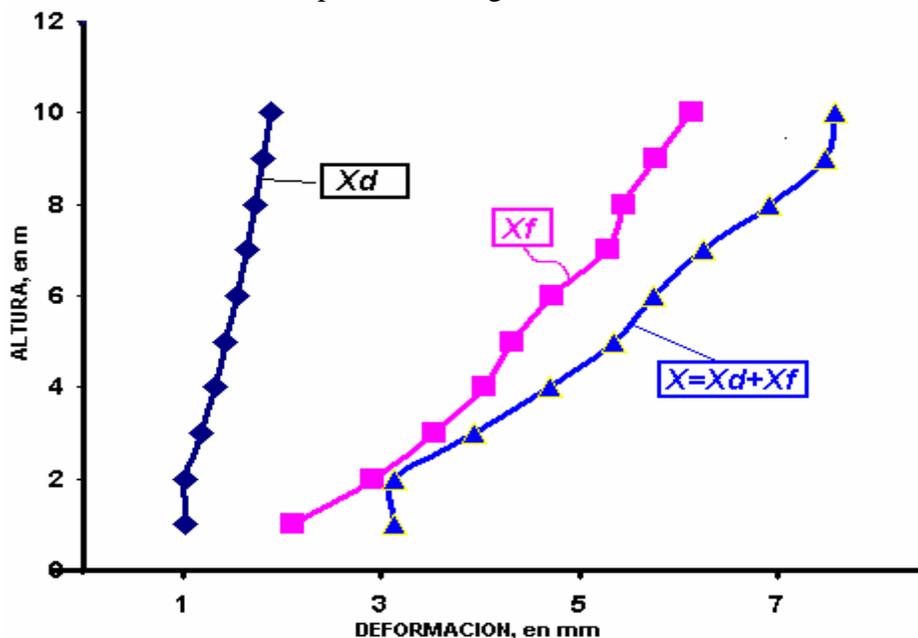


Figura 7 Variación de la deformación de la banda en función de la altura de caída del pedazo de mineral laterítico

De la figura 7 se observa que la deformación de la banda por aplastamiento es mucho menor que la deformaron por flexión. En ambos caso se incrementan con el aumento de la altura de caída del pedazo de mineral laterítico. Las observaciones reales de las hendiduras, huecos en la banda por las partes desprendida originada por los impactos de los pedazos de mineral durante la alimentación en los transportadores de la planta de preparación de mineral oscila entre 1,0 y 6,5mm, que coincide con aproximación del 90% de los valores teóricos, mostrados en la gráfica.

El valor teórico del ángulo  $\theta$  se puede calcular por

$$\tan\theta = \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot H}}{2 \cdot V} \quad (21)$$

donde H; es la altura de caída del mineral sobre la banda en los puntos de alimentación. En la práctica este ángulo puede variar por otras factores reales. Si el centro de masa de la partícula no coincide con su línea de choque con la banda, entonces, la partícula gira según el sentido en que este su centro de masa con respecto a la línea de choque, como se puede apreciar en la figura 3. Y puede suceder en el mismo sentido de movimiento de la banda o contrario. Cuando es contrario al movimiento de la banda, el efecto negativo sobre la banda es mayor. Mientras mayor es el ángulo  $\theta$ ; menor es el efecto negativo sobre la banda. De estas irregularidades depende también el desplazamiento de las partículas de mineral sobre la banda, cuyos valores experimentales están en la tabla 3.

Las figuras 8, 9, 10 y 11 representan el desplazamiento de las partículas de mineral laterítico en función de la composición granulométrica para alturas de caída del mineral de 500mm y distintas velocidades, altura de 1000mm y distintas velocidades e ídem para 3000mm. En todos los casos observamos que para partículas hasta 100mm, al caer desde diferentes alturas el movimiento de desplazamiento sobre la banda es mas desordenado. Por encima de estos de tamaño de partículas el desplazamiento de las partículas sobre la banda tiene una pendiente mas suave el modelo estadístico que describe su proceso. Es importante disminuir la altura de caída del mineral sobre la banda durante el llenado para la carga con partículas de hasta 100mm por su moviendo irregular en magnitud y dirección, así como, para mayores de 100mm ya que entonces se incrementa el impacto sobre la banda por tener mayor masa.

La figura 11 representa el comportamiento del desplazamiento de las partículas de mineral laterítico al caer sobre la banda en movimiento con velocidad constante en función del tamaño de las mismas, para diferentes alturas de caída. Se observa que mientras mayor es el diámetro de las partículas mayor es el desplazamiento sobre la banda. Las partículas de 0 a 100 mm presentan un incremento del desplazamiento sobre la banda, mayor que las partículas mayores de 100mm, como muestra el gráfico fig. 11 y descrito por un modelo logarítmico. El desgaste de la banda se incrementa con el aumento del desplazamiento, sin embargo, a partir de 100 mm de tamaño de las partículas, el desplazamiento no se incrementa, pero hay que considerar que el efecto que producen contra la banda y los rodillos y las guarderas, es mucho mayor

$$Despl = 135,75 \cdot [Ln(a)] + 89,544, \text{ en mm} \quad (22)$$

donde a; es tamaño de las partículas en mm

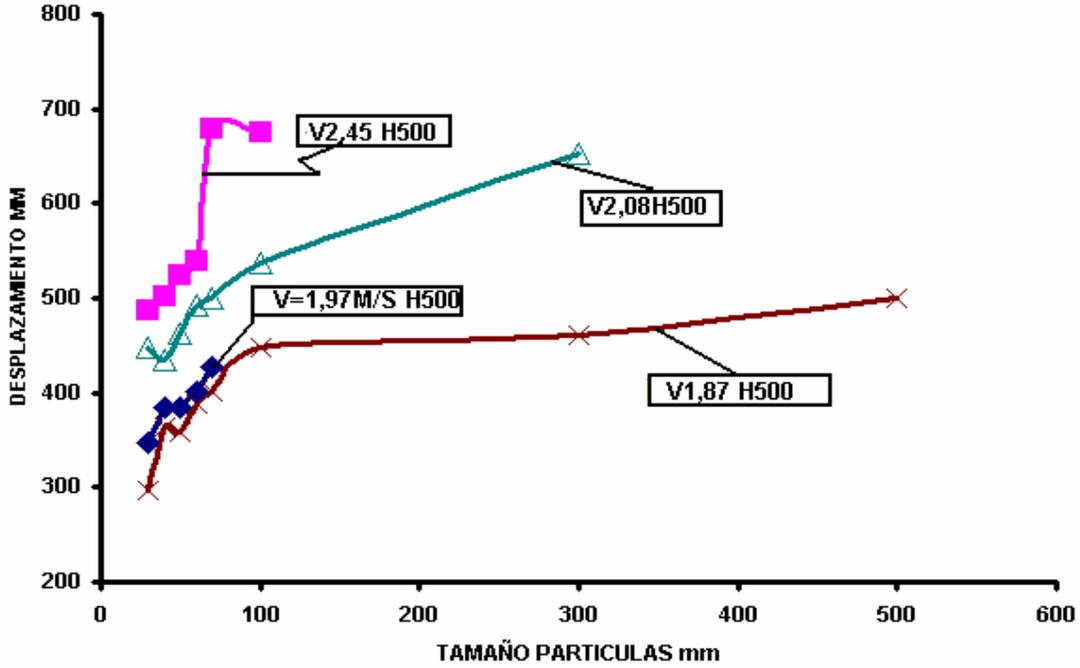


Figura 8 Desplazamiento de las partículas de mineral laterítico al caer desde una altura de 500mm, para diferentes valores velocidades del movimiento de la banda en función del tamaño de las partículas.

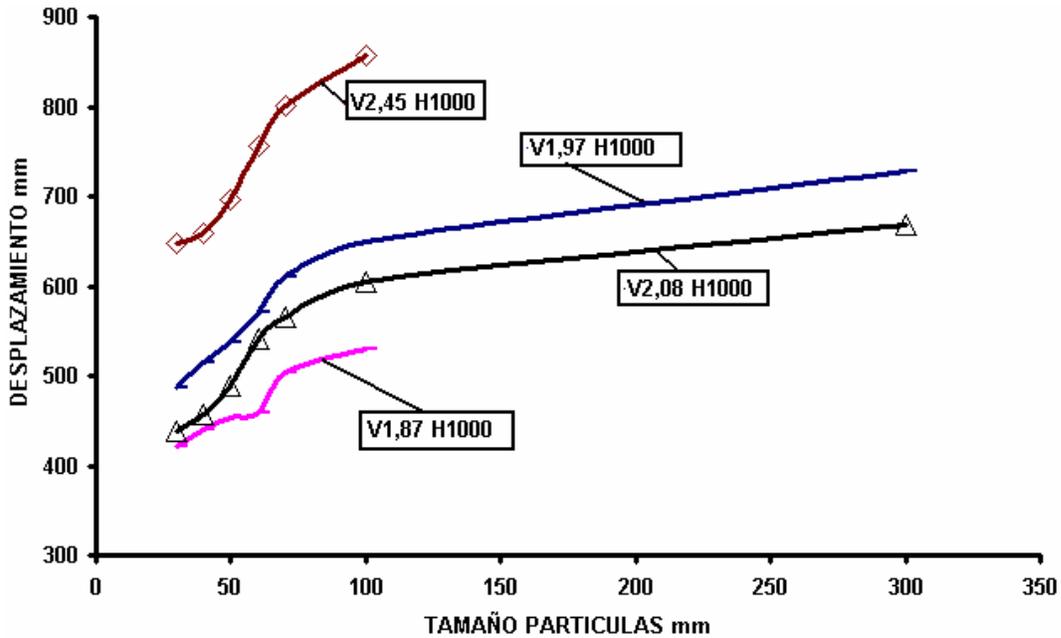


Figura 9 Desplazamiento de las partículas de mineral laterítico al caer desde una altura de 1000mm, para diferentes valores velocidades del movimiento de la banda en función del tamaño de las partículas.

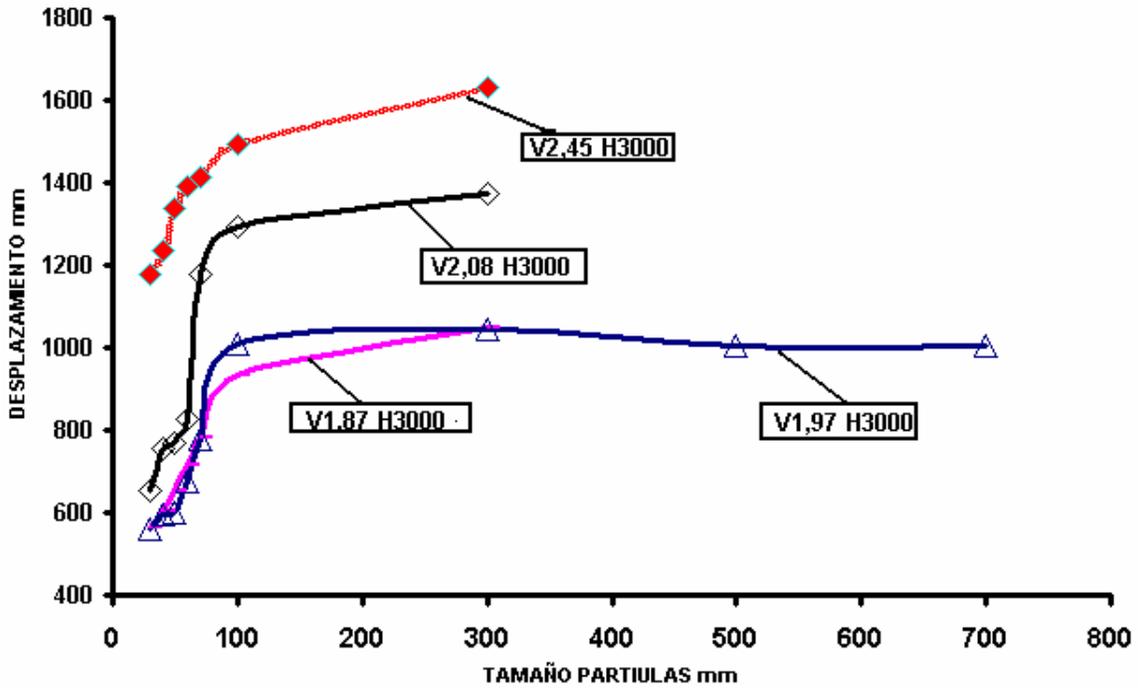


Figura 10 Desplazamiento de las partículas de mineral laterítico al caer desde una altura de 3000mm, para diferentes valores velocidades del movimiento de la banda en función del tamaño de las partículas.

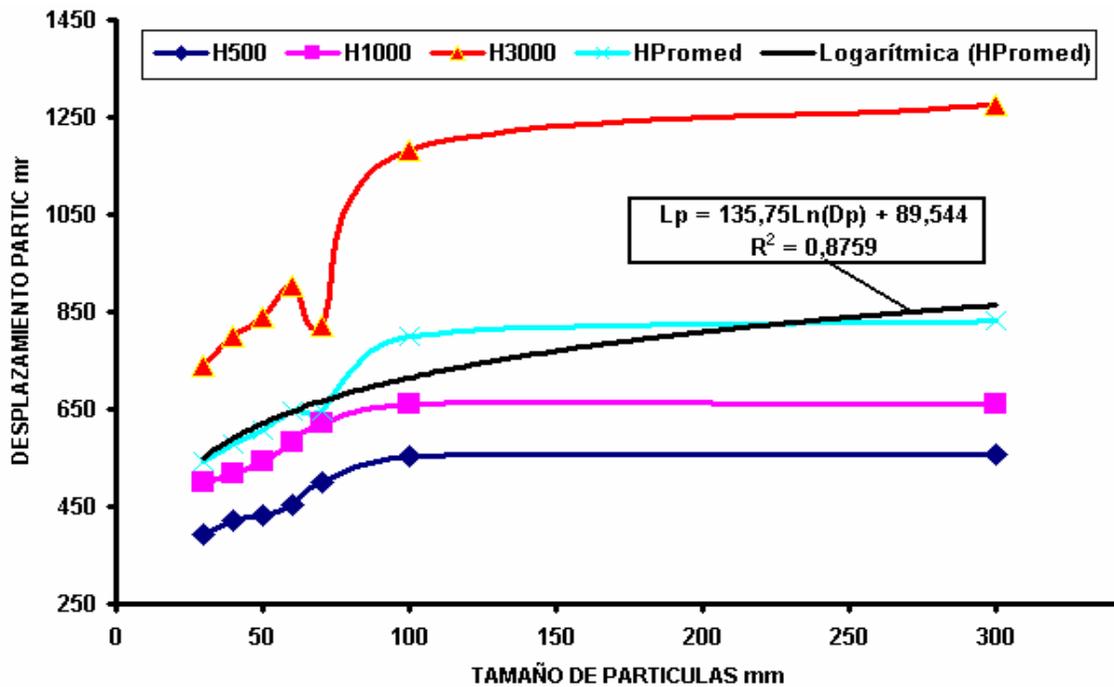


Figura 11 Desplazamiento promedio de las partículas de mineral laterítico al caer desde diferentes altura, para diferentes valores velocidades del movimiento de la banda en función del tamaño de las partículas.

## 5. CONCLUSIONES

- 1- El desgaste de la banda en los puntos de carga se puede reducir disminuyendo la diferencia de velocidades entre el movimiento de la banda y el desplazamiento de las partículas del mineral laterítico sobre la banda. A medida que se aumenta la velocidad del movimiento de la banda se incrementa la longitud de desplazamiento ( $L_p$ ) de las partículas del mineral laterítico sobre la banda, provocando el desgaste acelerado de la banda.
- 2- El impacto de los pedazos de mineral laterítico sobre la banda; que depende de la altura de caída, del tamaño y la forma de estos, incrementan la destrucción de la banda para alturas mayores de 600 mm, cuyos valores reales coinciden con los valores teóricos con un error menor del 5%..
- 3- El desplazamiento de las partículas de mineral laterítico sobre la banda depende de la forma para velocidades menores de 2m/s, mientras que para velocidades mayores todas las partículas independientemente de la forma tienen comportamientos similares
- 4- Se obtiene un modelo teórico que permite determinar y evaluar la variación de la velocidad de deformación de la banda cuando se alimenta la carga desde diferentes alturas
- 5- El desgaste de la banda se incrementa con el aumento del desplazamiento, sin embargo a partir de 100 mm de tamaño de las partículas, el desplazamiento no se incrementa, pero hay que considerar que el efecto que producen contra la banda y los rodillos y las guarderas, es mucho mayor.
- 6- La deformación de la banda por aplastamiento es mucho menor que la deformaron por flexión. En ambos caso se incrementan con el aumento de la altura de caída del pedazo de mineral laterítico sobre la banda.

TABLA 3 PROMEDIO DE LOS DESPLAZAMIENTO DE LAS PARTICULAS DE MINERAL LATERITICO SOBRE LOS TRANSPORTADORES EN LOS PUNTOS DE CARGA												
TRANSPORTADOR TR-5 $V=1,87m/s$												
Tamaño	Altura de caída de las partículas de mineral laterítico sobre la banda											
	500mm				1000 mm				>3000mm			
	a1				a2				a3			
	redon	aplan	cuadr	promed	redon	aplan	cuadr	promed	redon	aplan	cuadr	promed
30	343	311	367	296	462,1	387	413	420,7	678	567	450	565
40	367	332	393,6	364,2	476	402	440	439,333	698	589	522,5	603,17
50	380	362,5	389	358,34	498	408	455	453,667	785	594	579	652,67
60	407	354	405	388,667	488	423	463	458	820	645	687	717,33
70	455	367	380	400,667	589	445	480	504,667	890	676	776	780,67
100	489	421	431	447	612	478	501	530,33	927	887	987	933,67
300	523	456	405	461,333	639		530	584,5	1012	999	1129	1046,7
500	590		411	500,5								
				402,088				484,46				757,02
TRANSPORTADOR TR-7 $V=1,97 m/s$												
30	290	330,62	420,65	347,09	541	412	509	487,333	678	395,9	612	561,97
40	395	322	436,9	384,633	567	434	545	515,333	701	456	634	597
50	400	334	421,5	385,167	593	441	576	536,667	743	406,8	656	601,93
60	421	347,6	434	400,867	621	501	593	571,667	892	468	665	675
70	465	361,6	456	427,533	700	512	621	611	956	589	789	778
100					773	530	646	649,667	1008	890	1129	1009
300							728	728	1106	909	1122	1045,7
500									990	934	1089	1004,3
700									987	1034	991	1004
				389,058				585,6				808,54
TRANSPORTADOR TR-2 $V=2,08m/s$												
30	442,5	466,7	434	447,733	500	375,2		437,6	789	709	466,5	654,83
40	443,1	415	444	434,033	513	400,8		456,9	798	718	756	757,33
50	463,3	462,5	456	462,9	525	435	504	488	797	745	767	769,67
60	492			492	540,3	542	523	541,15	845		809	827
70	510,2	488,6		499,4	575	520,3	600	565,1	1231		1127	1179
100	567	500	545	537,333	592		619	605,5	1356		1234	1295
300	672	623	666	653,667	668			668	1400		1345	1372,5
				503,867				537,46				979,33
TRANSPORTADOR TR-15 $V=2,45m/s$												
30	501	435	523	486,333	675	590	678	647,667	1345	1009		1177
40	523	451,3	532	502,1	689	607	680	658,667	1350	1123		1236,5
50	534	471,8	567	524,267	734	623	730	695,667	1434	1238		1336
60	547,4	512,9	556	538,767	789	690	790	756,333	1467	1311		1389
70	687	669		678	898	703		800,5	1485	1345		1415
100	656	678	690	674,667	930	823	820	857,667	1609	1378		1493,5
300	768								1809	1456		1632,5
				567,356				736,08				1382,8

## 6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- ◆ Loyola Fernández Roberto. Estandarización del Sistema de Transporte por Transportadores de Banda en el Taller 01 de la ECECG. Trabajo de Diploma. Tutor M Sc Ing. Roberto Sierra Pérez. I.S.M.M. .Holguín. Cuba. Año 2002
- ◆ Masso Vásquez 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 M Sc Ing. Roberto Sierra Pérez, lic. Manuel Lorez Vidal. I.S.M.M. Holguín. Cuba Año 2002.
- ◆ Oriol G. J.M. Aguilar P.F. Máquinas de Transporte Continuo. T I. Ed. Pueblo y Educación. Cuba. 1995. Libro.
- ◆ Rodríguez Andro Luis. Influencia de la alimentación del mineral laterítico sobre los transportadores de banda en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Trabajo de Diploma. ISMM. Tutor Roberto Sierra Pérez. 2006.
- ◆ Sierra Pérez R. Problemas de los transportadores de banda para la industria del níquel en Cuba. Revista equipos mineros y electromecánicos. No 11, 2006. Rusia.
- ◆ Sierra Pérez R. Estudio de las propiedades físico mecánicas del mineral laterítico influyente en los transportadores de banda. Revista “Ingeniería, Investigación y Desarrollo”. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Vol 2 No 1, Julio 2006
- ◆ 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. Cuba. 1987
- ◆ Sierra Pérez Roberto. Metodología de Cálculo de los Transportadores de Banda para el Mineral Laterítico .Tesis de Maestría. ISMM. Moa. Holguín. Cuba. 2005.
- ◆ 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, Cuba. Trabajo de Diploma. 1993.