

Evaluación del desgaste de la banda transportadora en las minas de níquel de Moa y Nicaro

Roberto Johan Sierra Pérez¹
Aristides Alejandro Legrá Lobaina¹
Lorenzo Velazquez²

rsierra@ismm.edu.cu
alegra@ismm.edu.cu
lvelazquez@ecg.moa.minbas.cu

Resumen

Las bandas transportadoras en las minas de níquel de las empresas Ernesto Che Guevara, de Moa y Rene Ramos Latour, de Nicaro, sufren desgaste y destrucción paulatina por la acción de los impactos de la mena al caer, y por el desplazamiento de estas partículas sobre la banda. Para evaluar el desgaste de la banda se experimentó, dejando caer sobre ella, desde diferentes alturas, partículas de diversos tamaños y formas, variando la velocidad de movimiento de la banda, con el fin de establecer el desplazamiento de las partículas de forma experimental y teórica en función de la velocidad de movimiento. Esto permite determinar la longitud del área de suministro del transportador y la resistencia al movimiento en esa zona. Como resultado se obtuvo un modelo teórico que permite evaluar la variación de la velocidad de deformación de la banda al verter el mineral desde alturas diferentes. Se concluye que el desgaste de la banda en los puntos de carga puede reducirse disminuyendo la altura de caída y se recomienda emplear velocidades de banda mayores de 3 m/s independientemente del tamaño y forma de las partículas.

Palabras clave

Banda transportadora, deformación, desgaste, Moa, punto de carga.

Evaluation of conveying belt wear at the ore bodies of Moa and Nicaro

Abstract

In the mines of the nickel producing plants Ernesto Che Guevara of Moa and René Ramos Latour of Nicaro, the existing conveying belts are highly worn out and gradually deteriorating due to the impact of the ore being fed and transported over the conveying belt. To evaluate the wear rate of the conveying belt, various test works were completed; which included discharge of particles of different sizes and shapes on the belts at different altitudes and velocities in order to establish the displacement of particles both on theoretical and trial bases according to the displacement velocity. This will allow the determination of the length of the conveyor feed chute and the resistance to displacement in the area. These trials yielded a theoretical model which allows calculating the rate at which conveyor belts bend as a result of the ore being fed at different altitudes. It was concluded that the belt wear at the loading point can be mitigated by decreasing the discharge altitude. Therefore, it is recommended to operate at velocities higher than 3 m/s, regardless of the particle size and shapes.

Key words

Conveying belt, deformation, wear, Moa, loading point.

INTRODUCCIÓN

En las minas ferroniquelíferas de Moa (ECG) y Nicaro (RRL) se utilizan bandas transportadoras para el acarreo de la mena hacia los depósitos de homogenización y las plantas de preparación mecánica. En las condiciones de operación de la ECG se ha establecido un tiempo promedio de duración de las bandas de 4 120 h (Rodríguez, 2006). El tiempo de vida útil de la banda depende de factores como la forma de suministro, la altura de caída del mineral, la dirección de movimiento de la partícula al chocar con la banda, la forma y dureza de las partículas y la velocidad de movimiento de la banda (Tarasob 1980,1985; Shubin, 1986; Oriol & Aguilar, 1993, Vasilieb & Nicolaiev 2003, Lauhoff, 2005 y Vasilieb *et al.*, 2008). El suministro de mena a la banda debe ser constante y uniforme para garantizar un coeficiente de llenado total, máxima productividad y mínimos consumos energéticos.

La mena se pone en contacto con la banda fundamentalmente en dos zonas: la zona de suministro y la de reposo relativo de las partículas (Sierra, 2005). Para garantizar el funcionamiento óptimo del transportador de banda, la operación de carga de los materiales a granel tiene que cumplir ciertas condiciones como:

1. El material debe ser suministrado centradamente en la banda y fluir uniformemente.
2. El efecto de los impactos de las partículas al caer sobre la banda y los apoyos de rodillos amortiguadores debe reducirse al mínimo.
3. No debe producirse estancamiento ni derrame del material en la zona de alimentación.
4. El llenado no debe hacerse a todo el ancho de la banda.

Durante el proceso de suministro de mena laterítica a la banda transportadora desde determinada altura, las partículas adquieren cierta energía cinética como resultado de la transformación de su energía potencial inicial (Rodríguez, 2006). La banda posee una dirección de movimiento, una energía cinética y características elásticas, al igual que las partículas. Tanto la banda como las partículas de mena se deforman, aunque la banda lo hace en mayor medida, apareciendo grietas y rajaduras al ser vencido su límite de elasticidad y penetrar en su estructura las partículas por hendidura.

Las partículas que al chocar con la banda no superan el límite de elasticidad, retroceden produciendo un salto. 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. El mayor desgaste de la banda tiene lugar en la zona de suministro debido al deslizamiento del material sobre ella y a los choques producidos durante la caída libre de las partículas de gran tamaño. El deslizamiento de la mena sobre la banda es resultado de la diferencia de velocidades entre las partículas alimentadas y la banda. A mayor diferencia de velocidades entre banda y mena, mayor es el desgaste de la primera y surge una resistencia concentrada que aumenta la fuerza de tracción del transportador.

En la ECG la altura de caída de la mena sobre la banda en la zona de suministro alcanza por proyecto los 14 m, pero se desconoce qué efectos produce esto sobre la banda. Este trabajo tiene el propósito de evaluar el desgaste de la banda durante el suministro de las menas lateríticas al transportador para establecer los parámetros operacionales adecuados que minimicen el desgaste y aumenten la vida útil de los transportadores.

MATERIALES Y MÉTODOS

El desplazamiento de las partículas sobre la banda se determina en esta investigación de forma experimental. Para ello se evalúan partículas con diferentes tamaños y desde alturas diferentes se dejan caer sobre la banda con distintas velocidades y se registran los desplazamientos de dicha partículas sobre la banda hasta su reposo relativo.

Para determinar el modelo que describe el desplazamiento de las partículas de la mena laterítica sobre la banda (variable dependiente), obtenido a partir de los resultados de las mediciones experimentales, se consideran las variables independientes; diámetro de las partículas de mena laterítica suministrada, velocidad de movimiento de la banda y la altura de caída de las partículas de mena sobre la banda.

Los huecos formados en la banda se midieron con un pie de rey y la deformación por flexión de la banda se obtuvo por la diferencia de

cuerpos en estado plástico debajo de la banda entre dos rodillos en el punto de carga en el transportador TR-1A de la ECG.

Los valores de los desplazamientos de las partículas de mena sobre la banda se utilizan para determinar la longitud de las guarderas en los puntos de suministro. De este análisis se tiene que la resistencia total en la zona de carga está provocada por el cambio de dirección y asimilación de la energía cinética por parte de la mena suministrada. Durante este proceso actúa el coeficiente de rozamiento del mineral con la banda y las guarderas (Vasilieb *et al.*, 2008). Las expresiones que rigen esta resistencia y su vinculación con la velocidad de transportación para menas lateríticas han sido establecidas por Sierra (2005), de manera que la velocidad de movimiento de la banda es v_2 y la velocidad de movimiento de la carga v_1 ; cuando ocurre en el mismo sentido que la banda (signo -) y si en sentido contrario (signo +). La expresión es la siguiente:

$$W_{ZA} = \frac{Q \cdot [v_2^2 \pm v_1^2]}{2 \cdot 3,6 \cdot g \cdot [v_2 \pm v_1]} \quad (1)$$

Donde,

Q; productividad del transportador; t/h.

W_{ZA} : resistencia al movimiento de la banda en zona de alimentación; N

Se deduce que el peso lineal del mineral en la zona de alimentación (q_{za}) es igual a la mitad del peso lineal de la carga (q_c) en la rama de trabajo del transportador, debido al incremento de la cantidad de material desde un valor igual a cero hasta la magnitud del peso lineal de la mena en la zona en que se alcanza la carga máxima.

La mena contenida en la zona de suministro ofrece resistencia a su movimiento al ponerse en contacto con la banda y con las guarderas, provocando el desgaste por fricción (f_r) de estos elementos. Aparecen dos fuerzas de resistencias: una sobre la banda y otra sobre las guarderas.

$$W_{ZA} = \frac{k \cdot f_r \cdot Q \cdot l_{za}}{2 \cdot 3,6 \cdot v} \quad (2)$$

Donde,

k; coeficiente de proporcionalidad

f_i : coeficiente de fricción entre el mineral laterítico con la banda y la guardera.

l_{ZA} : longitud de la zona de alimentación del mineral sobre la banda, m.

v_i : velocidad de movimiento de la banda, m/s.

La magnitud del coeficiente de proporcionalidad k da la medida de cuánto se diferencia la partícula irregular real de la partícula de forma cúbica (Sierra 2005).

De las expresiones (1) y (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 (l_{ZA}) no es una zona arbitraria, ni tiene 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, y se determina según la expresión (Sierra, 2005):

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

Esta expresión se obtiene sin considerar el coeficiente de forma, las guarderas laterales ni el coeficiente de fricción y constituye la longitud máxima de la zona de suministro en el transportador. Si la mena se suministra verticalmente, entonces la expresión (3) se simplifica y se utilizará para mostrar su veracidad con los datos experimentales. El comportamiento de las partículas se establece en virtud del desplazamiento de estas sobre la banda, desde el contacto hasta que adquieran el estado de reposo relativo, siendo alimentadas desde diferentes alturas.

Los experimentos se realizaron en los transportadores de banda a escala industrial del flujo tecnológico de la ECG. 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, y desiguales diámetros y alturas de suministro, en varios transportadores con distinta velocidad de movimiento de la banda.

Para evaluar la influencia de la forma y tamaño de las partículas sobre el desgaste de la banda se tomaron muestras de mena de distintos tamaños y formas diferentes (redondeadas, aplanadas y cuadradas), las cuales se dejaron caer desde alturas: 0, 5 m; 1, 0 m y 3, 0 m sobre el transportador con velocidad constante de la banda (TR-2, TR-5, TR-7 y TR-15; Tabla 1).

Tabla 1. Datos técnicos de los transportadores utilizados en las mediciones (Sierra, 2005)

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 t/h	1800	750	750	1800
Velocidad; m/s	2,08	1,87	1,97	2,45

RESULTADOS

El recorrido promedio de los pedazos de mena laterítica con respecto a la banda osciló entre 0,457 y 0,850 m, con valores mínimos de 0,290 m y máximos de 1,632 m, independientemente de la altura de caída sin incidir en gran medida del tamaño de las partículas.

La variable diámetro de la partícula se excluyó del modelo al no ser significativa, ya que la *t* de Student calculada resultó ser menor que la tabulada. El modelo queda entonces como:

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

Donde:

L_p ; desplazamiento de los pedazos de mena laterítica al caer sobre la banda hasta su reposo relativo; mm

V ; velocidad de movimiento de la banda; m/s

H ; altura de caída de los pedazos sobre la banda en movimiento; mm

Los resultados incluyen las oscilaciones en las magnitudes medidas 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 0,60 m. A modo de verificación se empleó la expresión (3) para los datos del transportador, de donde se obtiene que $l_d = 0,453$ m. Según Tarasob (1980) y Shubin (1986), las propiedades elásticas de la banda incrementan de un 18 a un 29 % el desplazamiento de las partículas en el punto de carga. Los valores mínimos corresponden a las velocidades pequeñas de la banda. Comparando los resultados obtenidos experimentalmente y de forma teórica se concluye que no obstante la influencia de las características elásticas, no incluidas en las expresiones anteriores, para $V_0 = 0$, los resultados son similares y por tanto ello prueba la veracidad de estas expresiones (Figura 1).

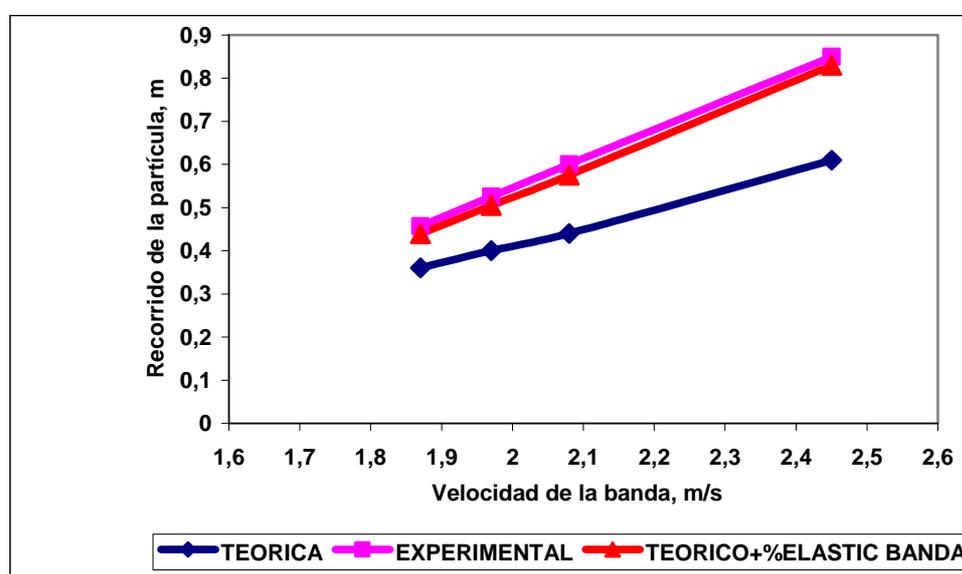


Figura 1 Variación de la longitud de desplazamiento de las partículas en la zona de alimentación en función de la velocidad de la banda.

En la Tabla 2 se muestran los valores experimentales promedio de desplazamiento L_{za} y la velocidad V de cada transportador. El procesamiento estadístico de los resultados se efectúa mediante los errores admisibles de los valores de las variables. La validez de los valores experimentales con el modelo teórico se obtiene a través del error relativo cuyo valor máximo está por debajo del 5 %.

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	0,457	0,526	0,600	0,850
$L_{TEO+%elastiic\ banda}$	0,439	0,505	0,575	0,830
Error	3,940	0,399	4,160	2,350

La Figura 2 representa el desplazamiento de las partículas de mena después del choque con la banda en función de la velocidad del movimiento de ésta para diferentes alturas de caída; es decir; de 500, 1 000 y 3 000 mm. El desplazamiento de las partículas sobre la banda se incrementó a medida que lo hizo la velocidad de movimiento de la banda, que se hace mayor en el orden en que se incrementa la altura de caída de la mena.

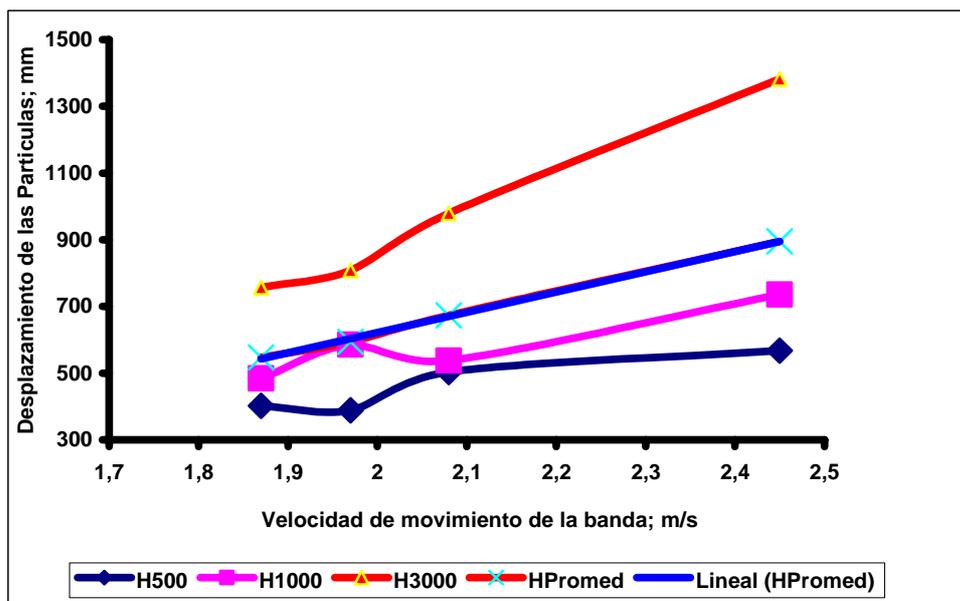


Figura 2 Desplazamiento de las partículas sobre la banda a distintas alturas, en función de la velocidad de movimiento de la banda.

El desgaste de la banda se intensifica con el aumento de la altura de caída de la mena, aumentando la superficie de contacto y la longitud de deslizamiento de las partículas de mena y el impacto y la presión de la mena contra la banda y los rodillos de apoyo en la zona de carga. La forma de las partículas es irregular, con muchas aristas que provocan el desprendimiento por hendidura y fatiga de pequeñas porciones de la banda, siendo más intenso para el caso de la mena serpentinitica por tener ésta mayor dureza.

Este problema tiene lugar en los transportadores del taller de preparación de la mena de la ECG, con altura de caída de la mena de hasta 14 m (TR- 1A y TR- 1B) y los transportadores CO2, CO3, CO4 Y CO5 en la mina de Pinares de Mayarí, donde la altura de alimentación varía desde 2 hasta más de 12 m. En ellos la frecuencia de avería es alta en comparación con otros transportadores. Este proceso de suministro de la mena lateritica trae como resultado rajaduras y

separación de pequeñas partículas de la banda, destrucción de los apoyos de rodillos en el punto de carga, y por tanto, desajuste de los rodamientos y soportes, desmontaje, destrucción, avería y aflojamiento de las guarderas, así como mayores vibraciones y ruidos por encima de los 70 dB.

Se observó que para el movimiento de la banda a bajas velocidades, entre 1,87 y 2,0 m/s, el desplazamiento de los pedazos sobre la banda se vuelve más desordenado, con fluctuaciones de la distancia recorrida y su dirección. A partir de 2,0 m/s el movimiento es más ordenado, en dirección, y la longitud recorrida por 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 está en que con el aumento de la velocidad de la banda, su resultante (fuerza o cantidad de movimiento) 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 esta última se considera como un cuerpo de gran masa, al no permitir su desplazamiento vertical y tener gran longitud.

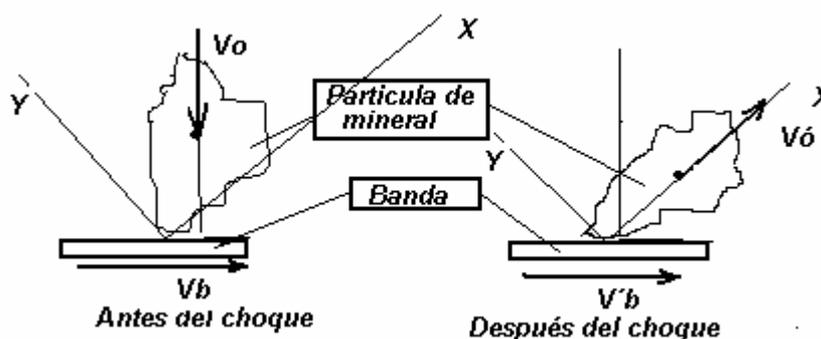


Figura 3. Comportamiento de una partícula de mineral laterítico durante el choque con la banda.

La partícula al chocar con la banda (Figura 3) la deforma durante un periodo y requiere otro periodo de recuperación. El módulo de este último periodo es menor que el módulo 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 (F) varía de modo continuo,

proporcionalmente a la deformación de la banda desde un valor inicial nulo hasta un valor admisible:

$$F = K_r \cdot X . \quad (5)$$

Donde,

K_r ; es el coeficiente de rigidez de la banda o razón de la deformación, en N/m

X ; valor de deformación de la banda, 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, 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 cortantes, el tiempo de vida útil de la banda disminuye considerablemente (Figura 4).

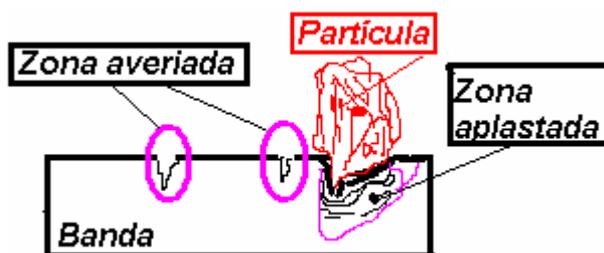


Figura 4. Esquema de las averías y deformaciones de la banda durante la alimentación de los pedazos de mena laterítica.

Como la banda es elástica y las partículas de mena serpentinitica tienen aristas cortantes y penetran la banda, sobre la partícula actúa una fuerza elástica opuesta $F = K_r \cdot X$, durante un intervalo de tiempo Δt que esta en contacto con la banda (choque). La componente vertical del ímpetu o cantidad de movimiento y la componente vertical de la velocidad (V_0) de la partícula varían según la línea de choque definida ($V_0 \cdot x$), bajo un ángulo θ (Figura 5).

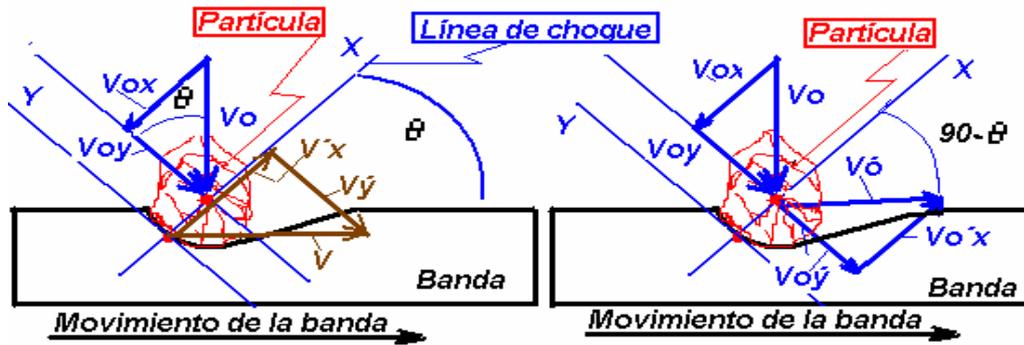


Figura 5. Esquema de la deformación de la banda durante el impacto de los pedazos de mena serpentinitica desde alturas considerables.

Como la masa del transportador se puede considerar extremadamente grande a todos los efectos, no se conserva el ímpetu. Empleando el coeficiente de restitución (e) y la Figura 5, se tiene:

$$Vo'x - V'x = e(Vx - Vox) \quad (6)$$

$$Vox = Vo \cdot \text{Sen} \theta \quad (7)$$

$$Voy = Vo \cdot \text{Cos} \theta \quad (8)$$

$$Vo = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (9)$$

$$Vo'x = Vox - \frac{2 \cdot \Delta X \cdot \text{Cos} \theta}{\Delta t} \quad (10)$$

$$V'x = V \cdot \text{Cos} \theta \quad (11)$$

$$Vy = V \cdot \text{Sen} \theta \quad (12)$$

$$Vo'y = Voy - \frac{2 \cdot \Delta X \cdot \text{Sen} \theta}{\Delta t} \quad (13)$$

sustituyendo en (6), queda:

$$\frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{(e+1)}{2} \cdot \left(Vo - \frac{V}{\text{Tan} \theta} \right) \quad (14)$$

Donde:

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

V ; velocidad de movimiento de la banda; m/s

ΔX ; deformación de la banda durante el impacto del pedazo de mineral; m

$$\Delta X = \Delta Xd + \Delta Xf \quad (15)$$

Donde:

ΔX_d ; deformación, hendidura o aplastamiento de la banda por el impacto de los pedazos de la mena al caer; m

ΔX_f ; flexión de la banda cuando los pedazos caen entre dos apoyos de rodillos; m

Δt ; tiempo durante se realiza el choque; seg.

La expresión (14) representa el modelo teórico para determinar la velocidad media de deformación y restitución de la banda por el choque con los pedazos de mena suministrada desde diferentes altura. Representa la energía potencial elástica durante la colisión y las pérdidas de energía mecánica de deformación.

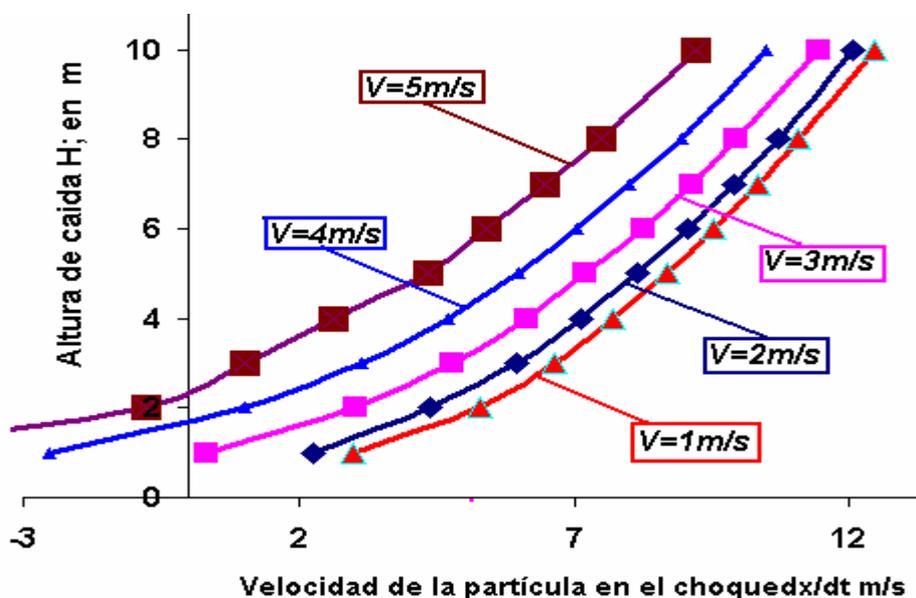


Figura 6. Variación de la velocidad de deformación de la banda por aplastamiento y flexión para distintos valores de velocidad de la banda en función de la altura de caída del pedazo de la mena laterítica.

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 la mena se desplaza en sentido contrario al movimiento de la banda en el punto de carga.

$$\Delta X_d = \Delta X_{sd} + \sqrt{\Delta X_{sd}^2 + 2 \cdot H \cdot \Delta X_{sd}} \tag{16}$$

$$\Delta X_f = \Delta X_{sf} + \sqrt{\Delta X_{sf} + 2 \cdot H \cdot \Delta X_{sf}} \quad (17)$$

Donde:

ΔX_{sd} ; deformación estática, hendidura o aplastamiento de la banda provocada por el peso de las partículas de la mena sobre la banda; m
 ΔX_{sf} ; flexión estática provocada por el peso de los pedazos de mineral sobre la banda entre dos rodillos; m

$$\Delta X_{sd} = \frac{((qc + qb) \cdot Xb)}{E \cdot (0,7 \cdot B)} \quad (18)$$

$$\Delta X_{sf} = \frac{((qc + qb) \cdot lr^4)}{48 \cdot E \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot \left[\frac{qb}{g} \cdot lr \cdot (lr^2 + Xb^2) \right] \right)} \quad (19)$$

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/m²,

Lr ; distancia entre dos rodillos en los puntos de carga; en m

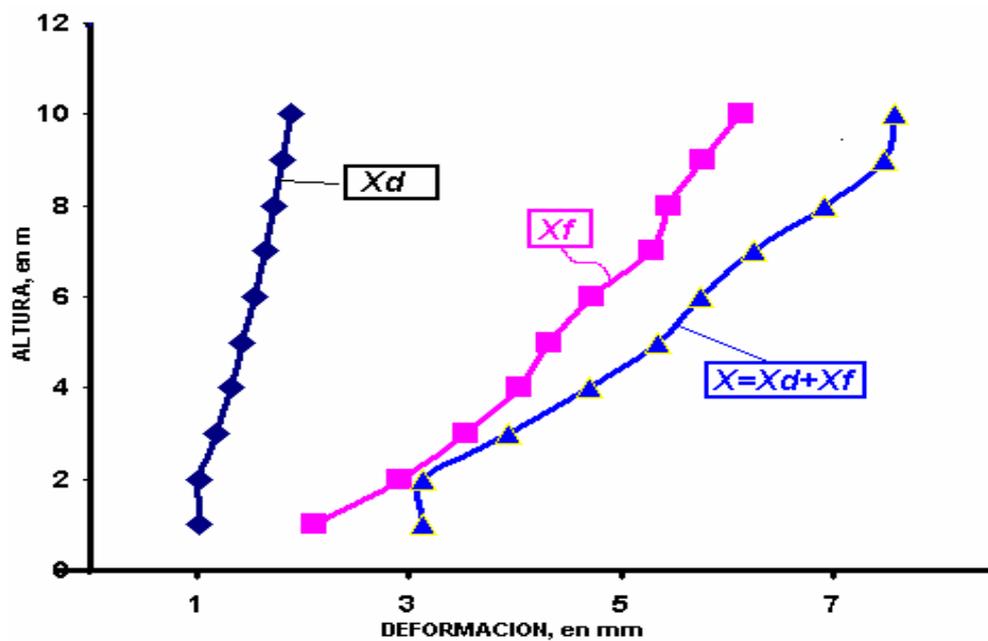


Figura 7. Variación de la deformación de la banda en función de la altura de caída de las partículas de la mena laterítica.

La Figura 7 indica que la deformación de la banda por aplastamiento es mucho menor que la deformación por flexión. Ambas deformaciones se incrementan con el aumento de la altura de caída de las partículas de mena. Las observaciones reales de las hendiduras y huecos en la banda, originados por los impactos de las partículas de mena durante el suministro en los transportadores, en la planta de preparación del mineral oscilan entre 1,0 y 6,5 mm, coincidiendo con el 90 %, aproximadamente, de los valores teóricos mostrados en la gráfica.

Según la Figura 5, se puede obtener la expresión del valor teórico del ángulo θ (ecuación 2) para diferentes alturas de caída del mineral y de la velocidad de la banda.

$$\text{Tan}\theta = 0,707 \cdot \frac{\sqrt{g \cdot H}}{V} \quad (20)$$

Donde,

H ; es la altura de caída del mineral sobre la banda en los puntos de alimentación, m.

En la práctica, este ángulo puede variar por otros factores. Si el centro de masa de la partícula no coincide con su línea de choque contra la banda, la partícula gira según el sentido en que este su centro de masa con respecto a la línea de choque, Figura 3. Esto puede suceder en el mismo sentido de movimiento de la banda o en sentido contrario. Cuando es en sentido contrario, el efecto negativo sobre la banda es mayor, mientras mayor es el ángulo θ menor es el efecto negativo sobre la banda. De estas irregularidades depende también el desplazamiento de las partículas de mena sobre la banda.

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 500, 1 000 y 3 000 mm y distintas velocidades. En todos los casos se observa que para partículas de hasta 100 mm, al caer desde diferentes alturas, el movimiento de desplazamiento sobre la banda es más desordenado. Por encima de estos tamaños el modelo estadístico que describe el desplazamiento de las partículas sobre la banda tiene una pendiente

más suave. Es importante disminuir la altura de caída durante el llenado para cargas con tamaños de partículas de hasta 100 mm por su moviendo irregular en magnitud y dirección. Para cargas con tamaños de partículas mayores de 100 mm se incrementa el impacto sobre la banda por tener mayor masa, por lo que es también recomendable disminuir la altura de caída.

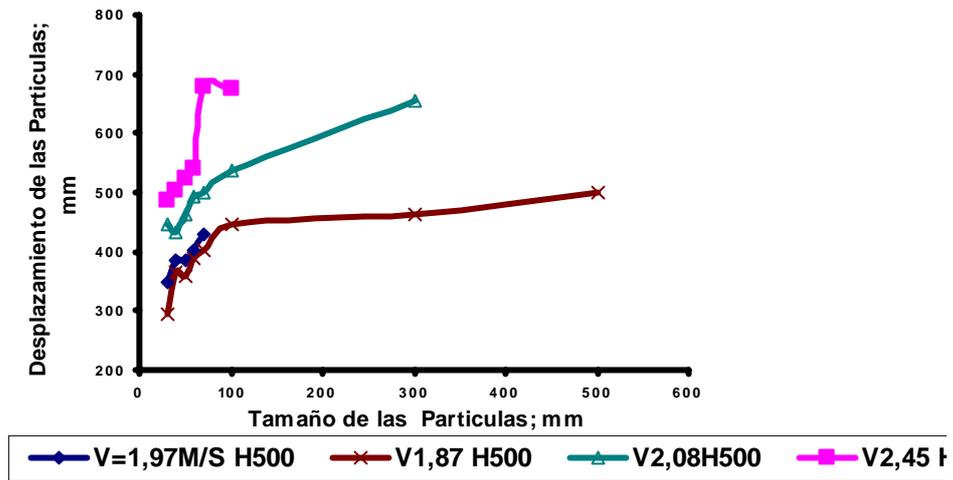


Figura 8. Comportamiento del desplazamiento de las partículas para altura de caída de 500mm y diferentes velocidades del movimiento de la banda.

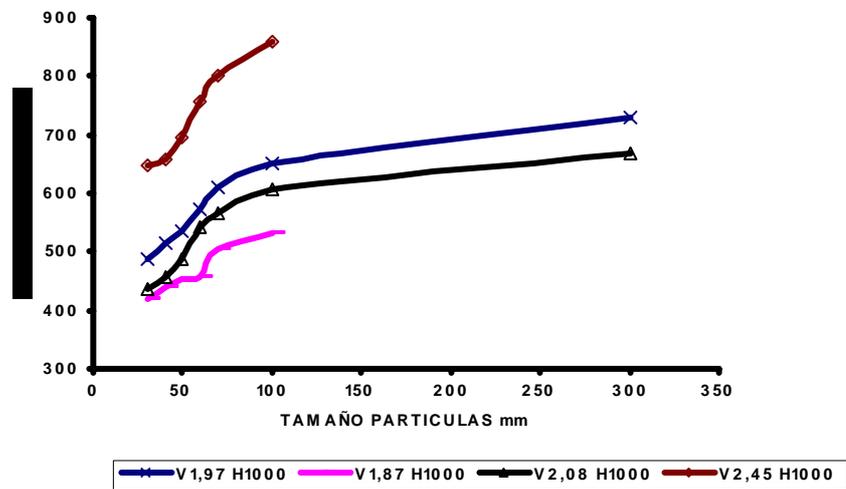


Figura 9. Comportamiento del desplazamiento de las partículas para altura de caída de 1 000 mm y diferentes velocidades del movimiento de la banda.

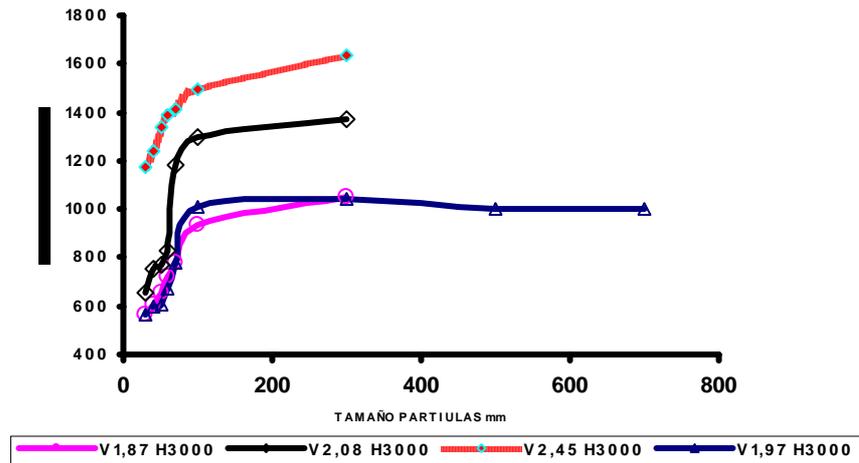


Figura 10. Comportamiento del desplazamiento de las partículas para altura de caída de 3 000 mm y diferentes velocidades del movimiento de la banda.

La Figura 11 representa el comportamiento del desplazamiento de la mena al caer sobre la banda en movimiento con velocidad constante en función del tamaño las partículas, 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 con diámetros de 0 a 100 mm presentan un incremento del desplazamiento sobre la banda mayor que las partículas mayores de 100 mm y es 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:

$$Despl = 135,75 \cdot [Ln(a)] + 89,544 \quad (21)$$

Donde:

a ; tamaño de las partículas, mm

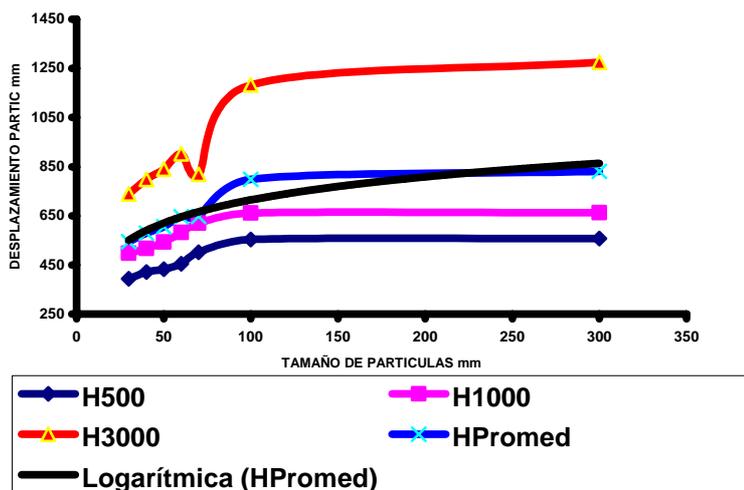


Figura 11. Desplazamiento promedio de las partículas de mena al caer desde diferentes alturas en función del tamaño de las partículas, para diferentes valores velocidades del movimiento de la banda.

CONCLUSIONES

Durante el acarreo de menas lateríticas, el desgaste de la banda en los puntos de carga se puede reducir disminuyendo la altura de caída. En los puntos de carga se producen en la banda aplastamientos y oquedades de 1,0 a 6,5 mm de profundidad cuando las partículas de mena chocan contra ella; estas oquedades dependen del tamaño y forma de las partículas y de la altura de caída. El incremento del desprendimiento de pequeñas porciones de la banda por hendidura y fatiga favorece la aparición de grietas y rajaduras.

Se obtuvo el modelo teórico para determinar la velocidad media de deformación y restitución de la banda por el choque con las partículas de mena desde diferentes alturas, lo que permite recomendar una velocidad de la banda mayor de 3 m/s independientemente del tamaño y forma de sus partículas.

REFERENCIAS

- LAUHOFF H. 2005 [en línea]. *Control de Velocidad en Correas Transportadoras - ¿Realmente Ahorra Energía?. Bulk Solids Handling* 25 (6) Disponible en www.synergy-eng.com/spanish/pdf/
- ORIOLO J.M & AGUILAR P.F. 1985. *Máquinas de Transporte Continuo*. T I. Editorial Pueblo y Educación. La Habana. 235 p.

- RODRÍGUEZ ANDRO LUIS. 2006. Influencia de la alimentación del mineral laterítico sobre los transportadores de banda en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. [ISMM-Moa] Trabajo de Diploma. 96 p.
- SIERRA PÉREZ, ROBERTO. 2005. Metodología de Cálculo de los Transportadores de Banda para el Mineral Laterítico ISMM. Moa (Tesis de Maestría) 100 p.
- SIERRA PÉREZ R J; LEGRA LOVAINA A. A.; DONATIEN CARBONEL A & MATOS, L. 2009. [en línea]. Características físico mecánica del mineral laterítico acarreado por transportador banda en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. *Minería y Geología*. 25 (3). Disponible en: www.ismm.edu.cu/revistamg
- SHUBIN V. S. & PEDRE C. 1986. *Diseño de Máquinas Industriales* T. III. La Habana. Editorial Pueblo y Educación. 364 p.
- TARASOB U. D. 1980. Construcción y cálculo de las máquinas y complejos de transporte. Naúka. Leningrado, 225 p.
- VASILIEB K.A. & NIKOLAIEB A. K. 2003. *Máquinas de Transporte*. Naúka. Sant-Peterburgo. 358 p.
- VASILIEB K. A., NIKOLAIEB A. K. & CAZONOB K. G. *Máquinas de Cargas y Transporte de las Plantas de Beneficio de Minerales*. Naúka. Sant-Peterburgo. 80 p.
- VASILIEB, K.A.. SIERRA PÉREZ, R. J. & NIKOLAEIV, C. A. 2008. Problemas de la explotación de los transportadores en las Plantas Niquelíferas de la República de Cuba. *Equipos Mineros y Electromecánicos*. 1. Disponible en: <http://novtex.ru/gormash> (en ruso).