

MOMENTO DE INERCIA DE LOS TRANSPORTADORES DE BANDA PARA EL MINERAL LATERITICO

Roberto Johan Sierra Pérez. *Departamento de Ingeniería Mecánica Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr Antonio Núñez Jiménez”*. Holguín. Cuba. E-mail: rsierra@ismm.edu.cu

Arístides Alejandro Legra Lobaina. *Departamento de Ingeniería Matemática Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr Antonio Núñez Jiménez”*. Holguín. Cuba. E-mail: alegra@ismm.edu.cu

Isnel Rodríguez González. *Departamento de Ingeniería Mecánica Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr Antonio Núñez Jiménez”*. Holguín. Cuba. E-mail: irgonzalez@ismm.edu.cu

Héctor Laurencio Alfonso. *Departamento de Ingeniería Mecánica Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr Antonio Núñez Jiménez”*. Holguín. Cuba. E-mail: hlaurencio@ismm.edu.cu

Resumen

En el presente trabajo se establece un procedimiento para la determinación del momento de inercia desarrollado por los elementos componentes que se mueven y que se desplazan por un transportador de banda para el mineral laterítico cubano. Se obtiene el momento de inercia del transportador reducido a un elemento; en este caso al árbol del motor de accionamiento. Se hace de una valoración del comportamiento del momento de inercia para el transportador TR-2 de la Empresa Ernesto Che Guevara. Se determina la variación en función de la productividad y de las propiedades físico mecánica del mineral laterítico cubano.

Palabras clave

Momento de inercia, transportador de banda, mineral laterítico

Abstract

In this paper is settled down a procedure for the determination of the moment of inertia developed by the component elements that move and that it moves for a conveyor belt for the Cuban lateritic mineral. The moment of inertia is obtained through the reduction to an element of the transporter; in this case to the shaft of the motor of working. A valuation of the behaviour of the moment of inertia is made for the

transporter TR-2 of the Enterprise Ernesto Che Guevara. The variation in function of the productivity and the physical-mechanical properties of the Cuban lateritic mineral is determined.

Keywords: Moment of inertia, conveyor belt, lateritic mineral

1. Introducción

El momento de inercia es un parámetro característico de los procesos transitorios que aparecen en las máquinas y equipos que se mueven y/o sus elementos. Existen dificultades con la explotación y selección de los transportadores de banda para el acarreo del mineral laterítico cubano, constan de grandes pérdidas de energía y subutilización de la capacidad de carga y de la potencia de accionamiento; por la sobredimensión de sus elementos y agregados principales. Para la selección del accionamiento es importante conocer los elementos que determinan con exactitud el momento de inercia. Su valor establece la duración de los procesos de variación de la velocidad y determina el momento de arranque del accionamiento (como es el arranque y el frenado), e influye en la productividad de la instalación. En la práctica intervienen muchos factores en el valor del

momento de inercia, que a su vez son variables continuamente; propiedades de los minerales, llenado correcto de los puntos de carga. Además, es importante la selección de materiales para los elementos de los transportadores que cumplan con los parámetros mecánicos y disminuyan su masa, las dimensiones y la cantidad de los que están sujetos a acciones dinámicas.

En esta investigación se pretende; establecer un procedimiento para determinar el momento de inercia de un transportador de banda y valorar la influencia de los factores que lo originan durante el acarreo del mineral laterítico cubano.

2. IDENTIFICACION DEL MOMENTO DE INERCIA EN UN TRANSPORTADOR DE BANDA

Los transportadores de banda son máquinas que se caracterizan por tener un régimen de trabajo continuo con velocidad constante; aunque cuando se utilizan como alimentadores su velocidad puede ser variable, en función de la productividad necesaria para el proceso tecnológico. Los principales elementos de los transportadores son motor eléctrico de accionamiento, reductor de velocidad de uno, dos, tres escalones, acoplamiento rígido; flexible e hidráulico, tambor motriz encargado de transmitir el esfuerzo a la banda por fricción, rodillos de apoyo por donde se desplaza la banda y tambores de retorno; de desvío y de tensión.

Los motores más empleados para el accionamiento de los transportadores son los motores asíncronos trifásicos con el rotor cortocircuitado. Para motores con varios mecanismos de propulsión se emplean motores de mayor deslizamiento o motores con anillo de contacto y con resistencia complementaria. En los conductores del tipo pesado, suelen emplearse motores de alto momento de impulsión.

Los transportadores requieren de un alto torque en el momento de arranque debido a la inercia del órgano de tracción y de las partes rotativas: rodillos, tambores, engranes y a la fricción estática de estos, especialmente si ha estado parado un largo tiempo y están cargados. Hay una variación del torque o momento que demanda el transportador desde el reposo hasta una cierta velocidad de operación normal del órgano de tracción, propulsado por la tambora motriz, a través de la reducción de velocidad que sea necesaria, el torque normal se alcanza cuando el transportador tiene de un 10 a un 20% de su velocidad normal (Oriol, 1995).

El motor propulsor ideal sería aquel que con un deslizamiento mínimo a plena carga, tuviera el mayor factor de potencia y la mayor eficiencia con el torque necesario para el arranque, variando este hasta que se estabilizara en su valor normal y aún así tendría el defecto de una aceleración muy rápida, que crearía tensiones dinámicas las que pudieran dañar el órgano de tracción. Durante el cálculo y selección de los distintos elementos del transportador, hay que considerar el esfuerzo dinámico adicional de las fuerzas que surgen en cada uno de ellos, independientemente de la de resistencia estática.

La potencia requerida por el transportador se garantiza desde el motor eléctrico (Vasiliev et al, 2006) por:

$$N_{tm} = N_m \cdot \eta_{Total} ; \text{kw} \quad (1)$$

$$N_{tm} = \frac{W_0 \cdot v}{1000} \cdot k_r ; \text{kw} \quad (2)$$

$$W_0 = (S_e - S_s) + (0,055) \cdot (S_e + S_s) ; \text{N} \quad (3)$$

$$W_{arr} = [W_0 - (q_c + q_b) \cdot H] \cdot k_a + (q_c + q_b) \cdot H \quad (4)$$

$$v = \frac{\Pi \cdot D_t \cdot n_t}{30} ; \text{m/s} \quad (5)$$

$$n_t = \frac{n_m}{i} ; \text{min}^{-1} \quad (6)$$

Donde

N_m ; potencia del motor; en kW

N_{tm} ; potencia en el tambor motriz; en kW

η_{Total} ; rendimiento total de la transmisión

W_0 ; esfuerzo de tracción; en N

S_e y S_s ; tensión de entrada y salida en el tambor motriz; en N

W_{arr} ; esfuerzo de tracción estático durante el arranque; en N

H ; diferencia de altura entre los extremos del transportador; en m

K_a ; coeficiente de corrección por las resistencias estáticas de fricción durante el arranque

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

k_r ; coeficiente de reserva del accionamiento

n_t ; velocidad de rotación del tambor; min^{-1}

n_m ; velocidad de rotación del motor; min^{-1}

D_t ; diámetro del tambor motriz; en m

i ; relación de transmisión del accionamiento

q_c ; Peso lineal de la carga; N/m

q_b ; Peso lineal de la banda; N/m

A base de la igualdad de las potencias:

$$N_m = M_m \cdot \omega_m = M_t \cdot \omega_t \cdot \frac{1}{\eta_t}; \text{ kW} \quad (7)$$

$$M_m = M_t \cdot \frac{\omega_t}{\omega_m} \cdot \frac{1}{\eta_t} = M_t \cdot \frac{1}{i} \cdot \frac{1}{\eta_t}; \text{ N.m} \quad (8)$$

$$M_m = M_t \cdot \frac{1}{i_1 \cdot i_2 \cdots i_n} \cdot \frac{1}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdots \eta_n}; \text{ N.m} \quad (9)$$

Donde:

M_m ; momento torsor del motor; en N.m
 M_t ; momento torsor del tambor motriz; en N.m
 ω_m ; velocidad angular del motor; en rad/s
 ω_t ; velocidad angular del tambor motriz; en rad/s

Se entiende por diagrama de carga a la relación de la carga con respecto al tiempo:

$$M_t = f(t) \quad (9.1)$$

Cuando el movimiento es estacionario

$$M_m = M_t; \quad (9.2)$$

Aquí la variación de la velocidad $\omega=0$. Cuando el accionamiento del transportador pasa de un régimen estacionario a otro, se denomina régimen **transitorio** (Ivanov, 1984), en este caso varía la velocidad, el momento y la corriente del motor de accionamiento del transportador. La inercia en un transportador de banda es una medida de la resistencia al movimiento; que surge cuando hay inicio de movimiento y variación del movimiento (aceleración o frenado). Las causas son la variación de la carga al alterarse la alimentación del mineral al transportador, la humedad, la masa volumétrica, la composición granulométrica del mineral laterítico, la regulación de la velocidad de la banda, el arranque, frenado e inversión del movimiento de la misma; como es el caso del transportador TR-3 de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, que es reversible. Para aumentar la productividad y la fiabilidad del transportador es necesario no sólo elegir el valor óptimo de la velocidad nominal; sino también; reducir la duración de los periodos transitorios del accionamiento del transportador. Durante dicho periodo hay un considerable consumo de energía, lo que se acentúa en los transportadores con el arranque y las paradas frecuentes. El momento de arranque del motor no debe ser menor que el momento de arranque estático.

Para la valoración de este trabajo se han utilizado los resultados teóricos y experimentales realizados anteriormente en (Sierra; 2005, 2006, 2007, 2008) las investigaciones anteriores relacionadas con la determinación experimental de las propiedades físico

mecánica del mineral laterítico y su interrelación con los transportadores de banda en la industria cubana del níquel.

Se determinan las propiedades físico mecánica del mineral laterítico (Sierra, 2006), trasegado por el transportador TR-2 en la Empresa comandante Ernesto Che Guevara. Las propiedades y su interrelación con la masa volumétrica (γ), el tamaño de las partículas, la humedad, ángulo del talud dinámico (ϕ_d).

Tabla 1. Datos de instalación del transportador TR-2

No	Descripción	Cantidad	Masa kg	Radio mm
1	Rodillo de apoyo carga	348	70	108
2	Tambor motriz	1	4930	650
3	Tambor de cola	1	3355	500
4	Rodillo de apoyo vacío	43	62	108
5	Rodillo amortiguador	10	175	108
6	Rodillo centralizador	5	198	108
7	Rodillo centralizador	3	160	108
8	Tambor de tensado	1	4200	500
9	Tambor deflector	2	3100	500

Tabla 2. Parámetros tecnológicos de diseño

No	Transportador	Q (t/h)	B (mm)	V (m/s)
1	TR-2	1800	1600	2.08
	γ (t/m ³)	Nm	Humedad	L (m)
	1.4	320	36.5	133.5

Durante la impulsión y el frenado del transportador; es decir; en los periodos de transición de su movimiento, surgen en el órgano de tracción, además de la carga estáticas, fuerzas dinámicas dependientes de las masas en movimiento y de las aceleraciones en esos periodos. En el periodo de impulsión, el motor garantiza el trabajo complementario que comunica energía cinética a la masa: en el periodo de frenado la energía cinética de las masas en movimiento es absorbida, de una forma u otra. Si se aumenta la potencia del motor, entonces; la habilidad para

acelerar mejorará. Además, la potencia del motor en la habilidad de aceleración, influyen otros factores: la masa de la banda y la carga, valor del coeficiente de fricción, diámetro del tambor motriz, de las ruedas de la transmisión, eficiencia del sistema de transmisión, la relación de transmisión y el coeficiente de cohesión entre la banda y el tambor. Cuando comparamos transportadores similares, los que poseen mayor valor potencia específica (N_e) tienen mejor habilidad de aceleración, siempre que los factores mencionados anteriormente sean similares. Una de las causas de las pérdidas de energía en el accionamiento de los transportadores de banda es el empeoramiento del factor de potencia al utilizar motores con potencia superior a la necesaria durante un periodo de trabajo prolongado (Svietlana 1980). Durante el arranque se necesita una potencia elevada; determinada por el momento dinámico de resistencia que tiene que vencer; que depende de la aceleración y el momento de inercia (I). La determinación precisa del momento de inercia, conlleva a seleccionar motores de accionamiento no sobredimensionados y a disminuir las pérdidas energéticas y los gastos de inversión

La ecuación general del accionamiento (Ivanov, 1984) es:

$$M = M_t + I \cdot \frac{d\varpi}{dt}; \text{ N.m; para el régimen transitorio} \quad (10)$$

Para régimen estacionario $\frac{d\varpi}{dt} = 0$

$$\text{por tanto } M = M_t \quad (11)$$

Si se considera, que la masa de la carga y los momentos de inercia son constante y por ende la de los elementos del accionamiento del transportador

$$M - M_{res} = I \cdot \frac{d\varpi}{dt} \text{ N.m} \quad (12)$$

La ecuación 12 establece que el momento de rotación desarrollado por el motor se equilibra por el momento de resistencia (W_{res}) en su árbol y por el momento de inercia I o momento dinámico ($I \cdot \frac{d\varpi}{dt}$).

Se aprecia de las ecuaciones anteriores la importancia que tiene el momento de inercia desarrollado por todos los elementos que se mueven y mueve el transportador, mientras menor se haga el momento de inercia, menor será la duración del proceso transitorio y se incrementará la eficacia en la explotación. La reducción de los momentos de inercia a un eje de rotación esta basado en que la magnitud del margen sumario de energía cinética de las partes que se mueven del accionamiento a un eje queda invariable. En presencia de partes giratoria que poseen los

momentos de inercia I_m (motor), I_1, I_2, \dots, I_n (elementos del accionamiento) y las velocidades $\omega_m, \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$; se puede sustituir su acción dinámica (Figura 1) por la acción del momento de inercia reducido I ; por ejemplo a la velocidad de rotación del motor, se puede escribir

$$\frac{I \cdot \omega_m^2}{2} = \frac{I_m \cdot \omega_m^2}{2} + \frac{I_1 \cdot \omega_1^2}{2} + \frac{I_2 \cdot \omega_2^2}{2} + \dots + \frac{I_n \cdot \omega_n^2}{2} \quad (13)$$

Obteniendo:

$$I = I_m + I_1 \cdot \left(\frac{\omega_1}{\omega_m}\right)^2 + I_2 \cdot \left(\frac{\omega_2}{\omega_m}\right)^2 + \dots + I_n \cdot \left(\frac{\omega_n}{\omega_m}\right)^2 \quad ; \text{kg.m}^2 \quad (14)$$

A la ecuación anterior le añadimos la reducción de las masas en movimiento lineal (banda más mineral laterítico y mecanismos que se desplazan), y del balance energético tenemos

$$\frac{W_0 \cdot v}{\eta_t} = M_{res} \cdot \omega_m \Rightarrow \quad ; \text{N.m} \quad (15)$$

$$M_{res} = \frac{W_0 \cdot v}{\omega_m \cdot \eta_t}$$

$$\text{Con } W_0 = \frac{M_{res} \cdot \omega_m \cdot \eta_t}{v}; \text{ N}$$

La reducción de las masas; de la igualdad de la energía cinética

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{I \cdot \omega_m^2}{2} \Rightarrow \quad ; \text{kg.m}^2 \quad (16)$$

$$I = \left(m \cdot \frac{v}{\omega_m}\right)^2$$

entonces; de la ecuación (14)

$$I = I_m + I1 \cdot \left(\frac{\omega_1}{\omega_m}\right)^2 + I2 \cdot \left(\frac{\omega_2}{\omega_m}\right)^2 + \dots \quad (17)$$

$$\dots + I_n \cdot \left(\frac{\omega_n}{\omega_m}\right)^2 + m \left(\frac{v}{\omega_m}\right)^2$$

$$I = I_m + \frac{I_1}{i_1^2} + \frac{I_2}{i_1^2 \cdot i_2^2} + \dots \quad (18)$$

$$+ \frac{I_n}{i_1^2 \cdot i_2^2 \cdot \dots \cdot i_n^2} + m \cdot \left(\frac{v}{\omega_m}\right)^2; \text{kg.m}^2. \quad (18)$$

$$m = K_e \cdot (m_b + m_c); \text{kg} \quad (19)$$

Siendo:

m_b ; es la masa de la banda; en kg

m_c ; es la masa de la carga del mineral laterítico sobre la banda; en kg

K_e ; coeficiente que tiene en cuenta el alargamiento elástico de la banda, como resultado de la cual no toda la masa de la banda se pone en movimiento simultáneamente; disminuyen las fuerzas dinámicas. Para bandas de capas $K_e=0,5$ a $0,7$ y para bandas de goma cable $K_e=0,85$ a $0,95$. Los valores más altos se toman para transportadores cortos.

Si consideramos en las ecuaciones anteriores a I_m , $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$, $i_1, i_2, i_3, \dots, i_n$, ω_m , v y m_b como constante y a m_c como variable; que depende de la humedad, el tamaño de las partículas, la masa volumétrica y el ángulo del talud del mineral laterítico transportado, entonces se obtiene el momento de inercia reducido al árbol del motor en función de la variación de la carga de mineral sobre la banda.

$$m_b = \frac{2 \cdot L \cdot q_b}{g}; \text{kg} \quad (20)$$

L ; longitud del transportador; en m

q_b ; peso lineal de la banda; en N/m

g ; aceleración de la gravedad; en m/s^2 .

$$m_c = \frac{L \cdot q_c}{g}; \text{kg} \quad (21)$$

También se puede calcular la masa de la carga sobre la banda por la siguiente expresión

$$m_c = F \cdot L \cdot \gamma \cdot 1000; \text{kg} \quad (22)$$

Donde:

F ; es el área de la sección transversal del material sobre la banda, en m^2 .

γ ; masa volumétrica del mineral laterítico, en t/m^3 .

q_c ; es el peso lineal de la carga (mineral laterítico) sobre la banda: N/m.

El área de la sección transversal para apoyos de rodillos planos (un rodillo) F1, acanalada de dos rodillos F2 y de tres rodillos F3; se determinan (Sierra, 2005) por:

$$F_1 = 0,25 \cdot b^2 \cdot \tan \varphi_d \quad \text{m}^2 \quad (23)$$

$$F_2 = 0,25 \cdot b^2 \cdot ((\cos^2 \alpha \cdot \tan \varphi_d) + 0,50 \cdot \text{sen}(2\alpha)) \quad \text{m}^2 \quad (24)$$

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

m^2

Siendo:

b ; es el ancho de la banda ocupado por el mineral laterítico; en m

l ; longitud del rodillo de apoyo central; en m

φ_d ; ángulo del talud dinámico del mineral laterítico; en grados

α ; ángulo de inclinación de los rodillos laterales; en grados.

RESULTADOS

Para el transportador TR-2 de la Empresa Ernesto Che Guevara, que tiene como accionamiento figura 1, se obtiene

$$I = I_m + I_{ac1} \cdot \left(\frac{\omega_{ac1}}{\omega_m}\right)^2 + I_{e1} \cdot \left(\frac{\omega_{e1}}{\omega_m}\right)^2$$

$$+ I_{e2} \cdot \left(\frac{\omega_{e2}}{\omega_m}\right)^2 + I_{e3} \cdot \left(\frac{\omega_{e3}}{\omega_m}\right)^2 + I_{e4} \cdot \left(\frac{\omega_{e4}}{\omega_m}\right)^2$$

$$+ I_{ac2} \cdot \left(\frac{\omega_{ac2}}{\omega_m}\right)^2 + I_t \cdot \left(\frac{\omega_t}{\omega_m}\right)^2 \quad (26)$$

$$+ n_r \cdot I_r \cdot \left(\frac{\omega_r}{\omega_m}\right)^2 + n_{tc} \cdot I_{tc} \cdot \left(\frac{\omega_{tc}}{\omega_m}\right)^2$$

$$+ k_e \cdot m_b \cdot \left(\frac{v}{\omega_m}\right)^2 + k_e \cdot m_c \cdot \left(\frac{v}{\omega_m}\right)^2$$

Como la única variación es la carga de mineral laterítico sobre la banda (m_c), entonces de la ecuación

(26) obtenemos una constante que denominaremos K_I para el transportador TR-2 como

$$\begin{aligned}
 K_I = & I_m + I_{ac1} \cdot \left(\frac{\omega_{ac1}}{\omega_m} \right)^2 + I_{e1} \cdot \left(\frac{\omega_{e1}}{\omega_m} \right)^2 \\
 & + I_{e2} \cdot \left(\frac{\omega_{e2}}{\omega_m} \right)^2 + I_{e3} \cdot \left(\frac{\omega_{e3}}{\omega_m} \right)^2 + \\
 & + I_{e4} \cdot \left(\frac{\omega_{e4}}{\omega_m} \right)^2 + I_{ac2} \cdot \left(\frac{\omega_{ac2}}{\omega_m} \right)^2 + \\
 & + I_t \cdot \left(\frac{\omega_t}{\omega_m} \right)^2 + n_r \cdot I_r \cdot \left(\frac{\omega_r}{\omega_m} \right)^2 + \\
 & + n_{ic} \cdot I_{ic} \cdot \left(\frac{\omega_{ic}}{\omega_m} \right)^2 + k_e \cdot m_b \cdot \left(\frac{v}{\omega_m} \right)^2
 \end{aligned} \quad (27)$$

Se obtiene la ecuación

$$I = K_I + k_e \cdot m_c \cdot \left(\frac{v}{\omega_m} \right)^2 ; \text{kg.m}^2 \quad (28)$$

con la que se puede determinar el valor del momento de inercia reducido al árbol del motor en función de la variación de la carga (m_c) para cualquier transportador.

Donde:

$\omega_{ac1}, \omega_{ac2}$; velocidad angular de los acoplamientos 1 y 2 respectivamente; en rad/s

$\omega_{e1}, \omega_{e2}, \omega_{e3}, \omega_{e4}$; velocidad angular de las ruedas dentadas 1, 2, 3 y 4 del reductor de velocidad del accionamiento; en rad/s.

ω_r, ω_{ic} ; velocidad angular de los rodillos y tambores de cambio de dirección; en rad/s.

$I_{ac1}, I_{ac2}, I_{e1}, I_{e2}, I_{e3}, I_{e4}, I_t, I_r, I_{ic}$; son los momentos de inercia del acoplamiento 1, 2, del engrane 1, 2, 3 y 4 del reductor de velocidad de dos escalones, del tambor motriz, de los tambores de retorno y desvío, y de los rodillos de apoyo; en kg.m^2 .

Se puede apreciar que el momento de inercia reducido al árbol del motor tiene en cuenta las masas en movimiento traslacional (masa de banda, del mineral, mecanismo que se desplazan) y movimiento rotacional (rodillos de apoyo, tambores, rotor del motor, piñones, acoplamientos).

Como la masa del mineral sobre el transportador no es constante por los factores mencionados, podemos plantear:

$$d_{mc} = 1000 \cdot L \cdot \gamma \cdot dF ; \text{en kg} \quad (29)$$

por otro lado

$$dQ = [3600 \cdot v \cdot \gamma] \cdot dF ; \text{t/h} \quad (30)$$

de (27) y (28) se obtiene:

$$d_{mc} = \left(\frac{L}{3,6 \cdot v} \right) \cdot dQ ; \text{en kg} \quad (31)$$

$$m_c = \int_{Q_1}^{Q_2} \left(\frac{L}{3,6 \cdot v} \right) \cdot dQ ; \text{kg} \quad (32)$$

Si en la ecuación (27) se sustituyen los valores de sus parámetros para el transportador TR-2 de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, se obtiene que $K_I=46,613$.

Sustituyendo en la ecuación (28) las ecuaciones (31) y (32) se obtiene una ecuación lineal del momento de inercia reducido al árbol del motor en función de la productividad del mineral laterítico que tenga el transportador TR-2 de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

$$I = 46,613 + 0,0027 \cdot Q ; \text{en kg.m}^2 \quad (33)$$

De los valores determinados de los momentos de inercia (K_I); desarrollado por el transportador TR-2 se observa; que los elementos que tienen mayor momento de inercia con movimiento rotacional son el tambor motriz ($1041,5 \text{ kg.m}^2$), tambor de tensado (525 kg.m^2), tambor de cola ($419,4 \text{ kg.m}^2$), los tambores deflectores ($387,5 \text{ kg.m}^2$ cada uno) y con movimiento trasnacional la masa de la banda con valor de 24196 kg . Independientemente de los valores de cada

momento de inercia de los elementos o partes componentes del trabajo del transportador se observa que en la medida que se aumenta el valor de la relación de transmisión, el valor del momento de inercia reducido al árbol del motor disminuye. Este aspecto es de vital importancia para la selección del motor de accionamiento y de los parámetros mecánicos de cada pieza o agregado del transportador.

Sustituyendo la ecuación (33) en la ecuación (10) se puede determinar el momento máximo y el tiempo de arranque del accionamiento del transportador en función de de las propiedades físico mecánica del mineral laterítico

Utilizando la ecuación (27) y (32) se obtiene la variación del momento de inercia reducido al árbol del motor para distintas productividades del mineral laterítico, como se muestra en la figura 4.

Según Sierra (2006):

$$\gamma = 0,0312 \cdot H + 0,2147 ; \text{t/m}^3 \quad (34)$$

Siendo:

H; la humedad del mineral laterítico; en %

Con la ecuación (22), (25) y (34) obtenemos la variación del momento de inercia reducido al árbol del motor según los valores de la masa volumétrica obtenidos por la variación de la humedad. De la ecuación (25) y los datos del transportador Tr.2 se obtiene $F_3 = 0,2003 \text{ m}^2$. Para: $\varphi_d = 34,4^\circ$ mineral laterítico; $\alpha = 30^\circ$.

De la figura 2 observamos como es la proporción de incremento del momento de inercia reducido a árbol del motor con el incremento de la productividad desarrollada por el transportador TR-2 para el mineral laterítico cubano.

El incremento o disminución del momento de inercia reducido al árbol del motor relacionado con el aumento o disminución del número de secciones transversales de rodillos apoyo según el perfil longitudinal del transportador, tiene la misma proporción de incremento o disminución (igual pendiente de la gráfica) según la figura 3 independientemente de los valores de productividad. En la figura también se ve que según se incrementa la productividad; se incrementa el valor del momento de inercia reducido al árbol del motor.

El coeficiente de llenado del área de la sección transversal del transportador ocupada por el mineral laterítico tiene valor significativo tanto para el incremento de la productividad y para la disminución de las pérdidas de energía del motor de accionamiento durante un tiempo de trabajo prolongado. Sin embargo, de la figura 4 se observa que en la medida que se aumenta la masa volumétrica del mineral laterítico, se hace eficiente (óptimo) el llenado del área de la sección transversal del transportador ocupada por el mineral laterítico (sistema de alimentación del transportador) se incrementa el momento de inercia reducido al árbol del motor y en la medida que se incrementa el coeficiente de llenado las proporciones de incremento son mayores (mayor pendiente de los gráficos). Se deriva de aquí, que la alimentación del mineral a la banda debe realizarse de forma gradual y de lograr uniformidad en el llenado del área de la sección transversal del transportador ocupada por el mineral laterítico.

CONCLUSIONES

1. El valor del momento de inercia del transportador crece con el incremento de la cantidad de secciones transversales de apoyos de rodillos en la rama cargada del perfil del transportador.

2. Los mayores valores de las pérdidas de energía provocadas por los momentos de inercia; que surgen durante la explotación de los transportadores de banda para el mineral laterítico están dados por la aceleración de la banda (7,69%), de los rodillos de apoyo 84,49) y en la transmisión; acoplamiento reductor (33,25%) y en el mineral laterítico sobre la banda, que constituye el mayor por ciento y depende de la productividad desarrollada.
3. Para cualquier coeficiente de llenado del área de las secciones transversales del transportador a medida que aumenta el valor de la masa volumétrica se incrementa el valor del momento de inercia reducido al árbol del motor. Para valores de coeficiente de llenado altos (mayor del 70%); el incremento del momento de inercia del transportador según el incremento del valor de la masa volumétrica es mucho mayor que para valores del coeficiente de llenado del área de las secciones transversales del transportador menores del 40%.
4. Se establece un procedimiento para determinar el momento de inercia reducido al árbol del motor de un transportador de banda; para cualquier transportador con un accionamiento semejante al transportador TR-2 y se obtiene una ecuación lineal de momento de inercia (I) en función de la productividad (Q); según las propiedades físico mecánica del mineral laterítico.

BIBLIOGRAFIA

1. **Vasiliev K A, Nikolaiev A K y Cazonob K G.** Máquinas de Cargas y Transporte de las Plantas de Beneficio de Minerales. San-Peterburgo. HAYKA. 2006. ISBN 5-02-025092-9. 359 Páginas.
2. **Vasiliev K A, Nikolaieb A K.** Máquinas de transporte. Sant Peterburgo. ISBN 5-94211-216. 2003. Libro
3. **Oriol G. J.M. Aguilar P.F.** Máquinas de Transporte Continuo. T I. Ed. Pueblo y Educación.1995. Libro
4. **Sierra Pérez Roberto Johan.** Perfeccionamiento de la Metodología de Cálculo de los Transportadores de Banda. **Tesis de M Sc. Tutor** Dr Rafael Pérez Barreto. ISMM Moa. Holguín. Cuba. 2005
5. **Sierra Pérez Roberto Johan, Nikolaiev Constantinovich Alexander,** Problemas de la explotación de los transportadores en las Plantas Niquelíferas de la República de Cuba”. Revista Equipos Minero y Electromecánicos. Nro 1. Rusia. 2008

6. **Sierra Pérez Roberto Johan.** Influencia de las propiedades del mineral laterítico en los Transportadores de Banda durante el acarreo de mineral. **Evento Internacional SIEEM.** Camaguey. Cuba, 2007
7. **Sierra Pérez R J.** Estudio de las Propiedades Físico- Mecánica del Mineral Laterítico Influyente en los Transportadores de Banda.

Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo. ISSN 1900-771X. Volumen II, Número 1. Sogamoso, Octubre 17, de 2006

8. **Svietlana Maliuk Petrovna.** Factor de Potencia en la Producción. Editorial Oriente Santiago de Cuba. 1980.
9. **Ivanov Smolienki A V.** Máquinas Eléctricas. Ed. Mir, Moscú, 1984, Tomo 2.

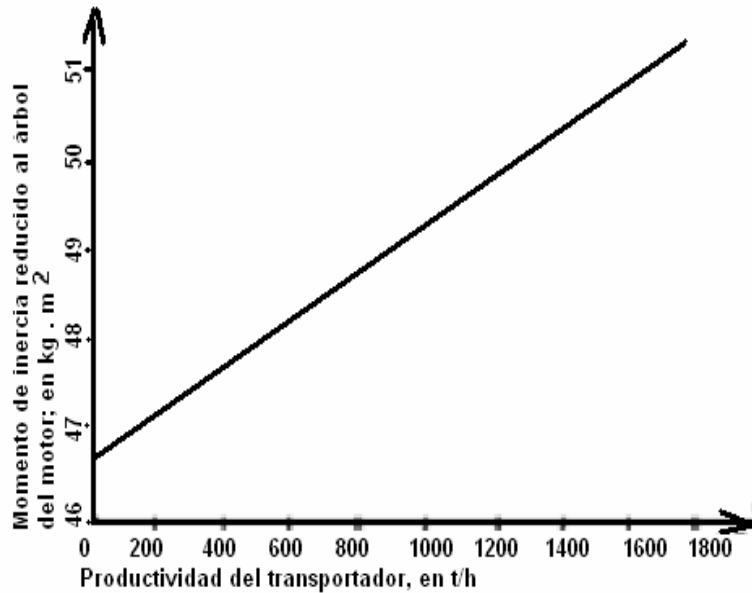
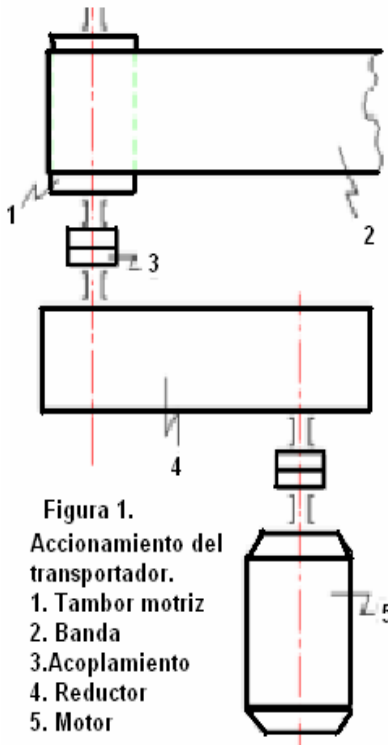


Figura2. Variación del momento de inercia del transportador TR-2 reducido al árbol del motor en función de la productividad del mineral laterítico.

Figura 1. Momento de inercia del transportador TR-2, reducido al árbol del motor en función de la productividad

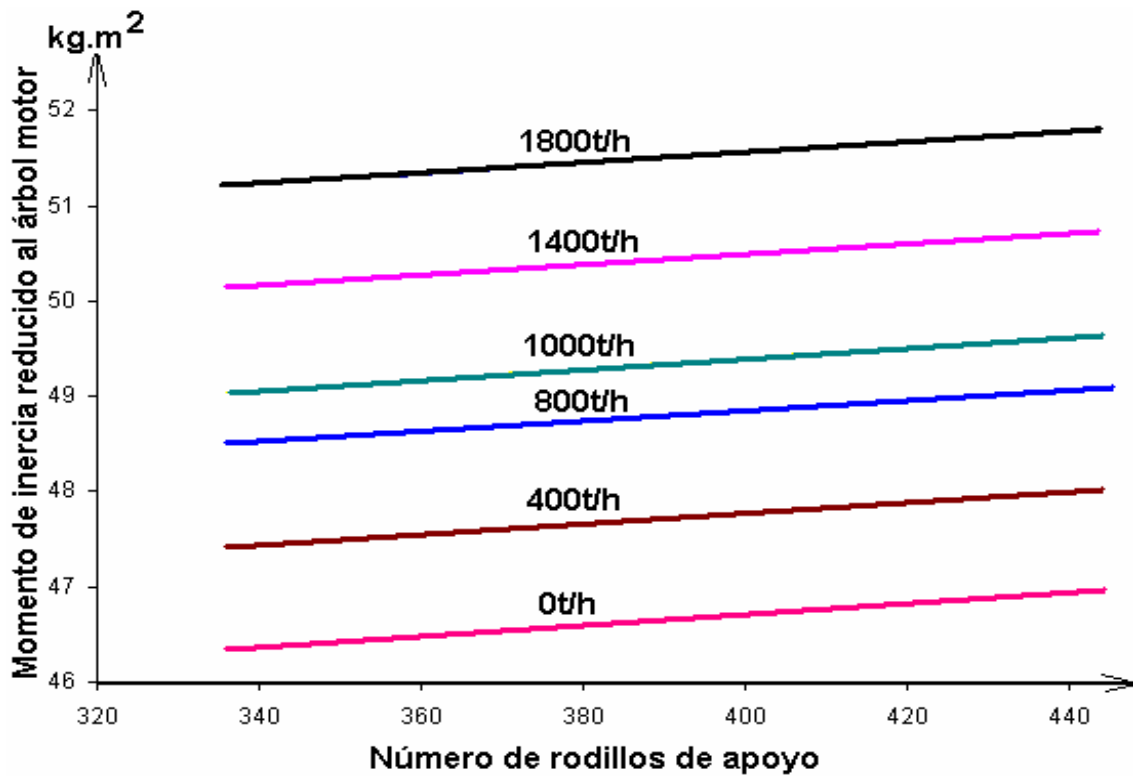


Figura 3. Comportamiento del momento de inercia del transportador TR-2 Vs. cantidad de rodillos de apoyo, para distintas productividades.

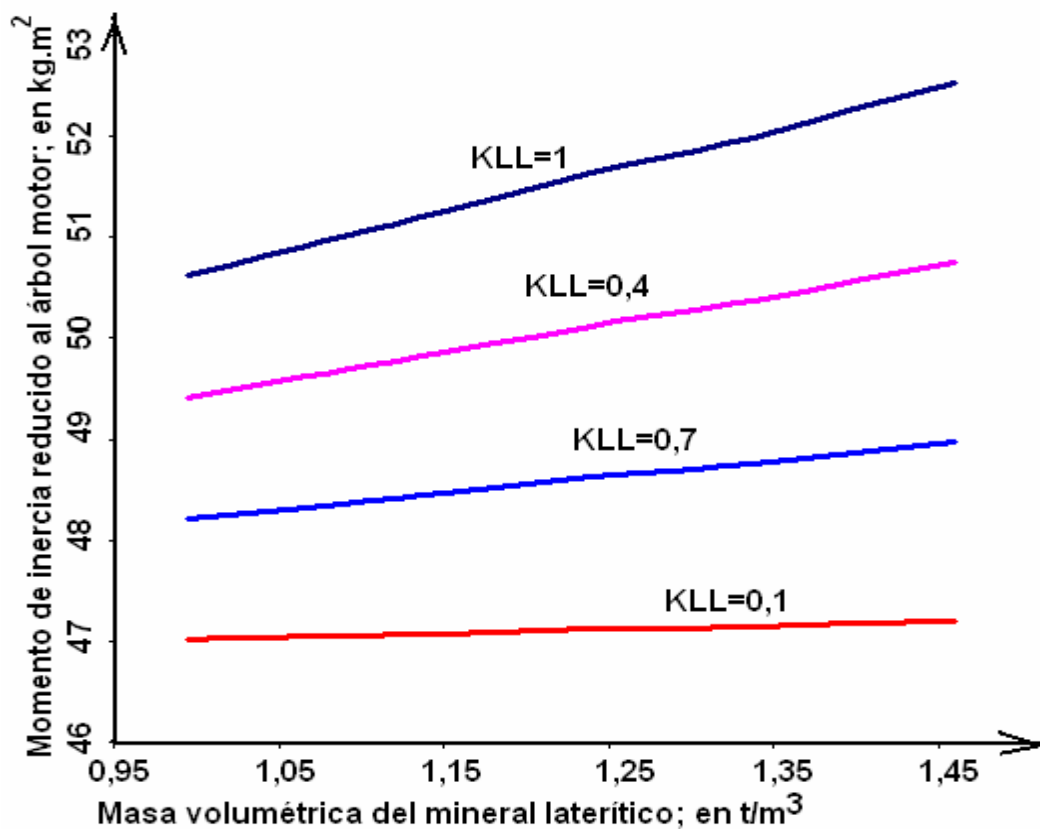


Figura 4. Variación del momento de inercia del transportador, reducido al árbol del motor, en función de la masa volumétrica para diferentes % de humedad y distintos llenados del área de la sección transversal con mineral laterítico