

# Requerimientos tecnológicos del transportador de laterita hacia el molino de bolas, de la Empresa Productora de Níquel Comandante Ernesto Guevara

Javier Muñoz  
Ernesto Rodríguez  
Mario Morera

Recibido: Abril del 2008  
Aprobado: Mayo del 2008

## Resumen / Abstract

Se describe el flujo productivo existente en la Empresa Productora del Níquel Comandante Ernesto Guevara, hasta la etapa de la molienda seca, con énfasis en los detalles técnicos de mayor relevancia en el proceso. Se analiza la influencia de la cantidad de mineral en el sistema sobre el comportamiento energético de la molienda. Finalmente se determinan los requerimientos tecnológicos impuestos por el transportador de laterita 215 - TR - 201 al accionamiento eléctrico, en función de las características y las necesidades del proceso.

Palabras clave: Requerimientos tecnológicos, níquel, transportador de laterita, molino de bolas, ventilador de recirculación, consumo energético

*In the paper, the productive flow existing in the nickel producer enterprise Commandant Ernesto Guevara was described until the stage of dry milling, with an emphasis on the technical details of greater relevancy in the process. There was analyzed the influence of the amount of mineral in the system over the energy consumption performance of the milling. Finally it were identified the technological requirements imposed by the 215 - TR - 201 laterite carrier to the electric drive, according to the characteristics and needs of the process.*

*Key words: Technological requirements, nickel laterite, conveyor belt balls mill, recirculation ventilator, energy consumption*

## INTRODUCCIÓN

La Empresa Productora de Níquel Comandante Ernesto Guevara comenzó a construirse en el año 1977 con la firma del acuerdo entre los gobiernos de Cuba y de la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas. Tras nueve años de intensa labor, el 27 de enero de 1986, comienzan a ser obtenidos los resultados de la primera producción de prueba en la naciente industria, y durante 1988 estabilizó su producción. Pocos años después se inicia el llamado

*período especial* para la nación cubana, etapa en que la falta de recursos económicos y financieros incidió en gran medida en el desempeño de la empresa. En 1996 comienza la recuperación de esta industria, gracias a la voluntad política de la dirección del país y al encomiable esfuerzo realizado por los trabajadores de la fábrica y en 1999 se consigue la mayor producción de la historia 30 010 t en el año, cifra que superó la capacidad de diseño.<sup>1</sup>

En la actualidad, el personal técnico altamente calificado de la empresa, trabaja intensamente en el perfeccionamiento y la modernización de la fábrica. Este es el marco en que pretende insertarse este estudio, como tarea inicial para el mejoramiento de los procesos de la etapa de molienda seca a partir del empleo de accionamientos eléctricos más robustos, baratos y eficientes desde el punto de vista energético. El uso de tales accionamientos posibilitaría el aumento de la productividad, el incremento del ahorro de energía y de cuantiosos recursos financieros.

La empresa está dotada de un esquema tecnológico de carbonato amoniacal del mineral reducido, también conocido como proceso caron, que conlleva la elaboración de la mezcla de los minerales lateríticos y serpentínicos, proceso que es gran consumidor de energía. El producto final de la fábrica es sínter y sulfuro de níquel más cobalto, producto altamente cotizado en el mercado mundial, en la actualidad.

### BREVE DESCRIPCIÓN DEL FLUJO DE LA PLANTA HASTA LA ETAPA DE MOLIENDA SECA

Una vez que se ha tomado el mineral de las minas y ha sido triturado en la planta de trituración primaria, puede ser suministrado por dos vías a la planta de preparación de mineral, que es donde se inicia el proceso productivo de la fábrica: directamente por dos transportadores de enlace que constituyen el sistema de alimentación de trabajo, o a través de grúas gantry que son utilizadas mayormente como reserva y poseen dos capacidades de trabajo: 660 t/h al remontar y 690 t/h al alimentar a las correas.

Los transportadores de enlace alimentan a las correas transportadoras, en lo adelante correas, que se encargan de llevar el mineral homogenizado hasta el depósito de mineral interior o al depósito de emergencia, ambos en el edificio de los secaderos. La capacidad de estas correas es de 750 t/h.

Los secaderos se alimentan a través de unos desviadores que se encuentran justamente sobre las tolvas de los mismos. La alimentación al depósito interior se realiza mediante los desviadores de mineral que se encuentran situados sobre tres correas colocadas entre los secaderos.

El mineral almacenado en el depósito interior, se usará cuando se interrumpa el suministro de la materia prima a los secaderos por cualquier tipo de avería surgida en el proceso previo a esta etapa. La capacidad de este almacén interior permite a la Planta trabajar durante cuatro días. Este depósito posee, para la manipulación del material, dos grúas de puente de 350 t/h de capacidad que alimentarán los secaderos en cualquiera de los casos expuestos anteriormente.

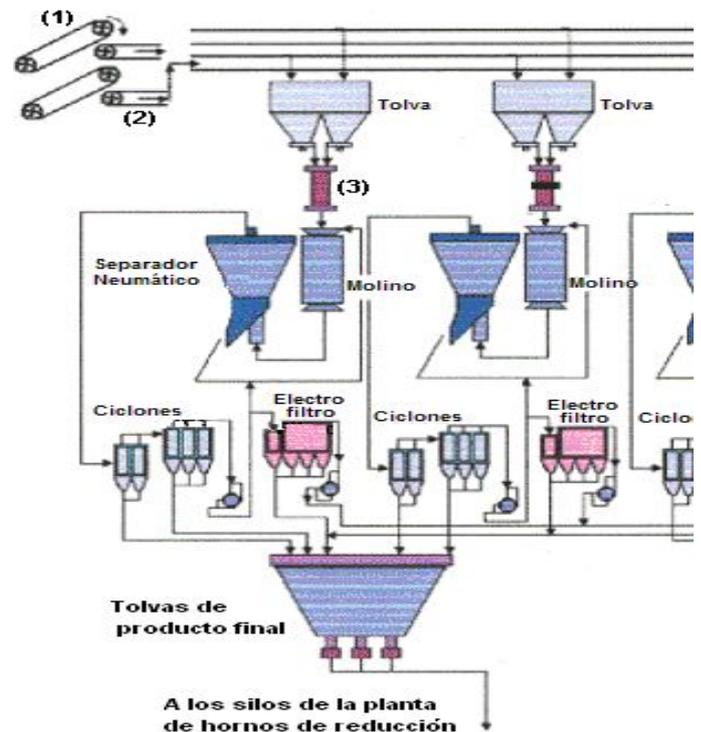
El mineral llegará a los secaderos pasando a través de alimentadores de esteras, cuyas capacidades varían entre 90 y 120 t/h, y transportadores de bandas de 125 t/h de capacidad cada uno. El tambor secador posee una longitud igual a 48 m y un diámetro 4,5 m.

El mineral después de secado pasa a través de un seleccionador mediante el cual se rechazan las rocas de más de 10 mm. Las correas que transportan el mineral caliente salido de los secaderos se denominan correas calientes 215-TR-11 y 215-TR-11A y su capacidad es de 490 t/h (ver correa 1 en la figura 1).

En las correas calientes se encuentran instaladas las básculas (romanas) encargadas del pesaje del mineral seco. Este mineral ya seco y beneficiado, es descargado en las correas 215-TR-12 y 215-TR-12A (ver correa 2) en el recorrido hacia los molinos de bolas.

Las correas transportadoras 215-TR-12 y 12A poseen una capacidad de 490 t/h y descargan su contenido en cuatro tolvas de almacenamiento donde están ubicados los alimentadores de disco que trabajan a velocidad constante y donde el volumen de mineral a alimentar se regula por la posición de una chaveta.

Estos alimentadores de disco descargan el mineral en las correas transportadoras 215 - TR - 201 a la 204, identificadas también como TR 13-1 a 13-4 (ver correas 3), las que lo transportan hasta el molino de bolas para el proceso de molienda seca.



Esquema de la sección de molienda en la Empresa Comandante Ernesto Guevara. <sup>2</sup>

Las tablas 1 y 2 recogen los datos técnicos más importantes de los cuatro molinos de bolas que conforman la etapa de molienda seca y de los motores que los accionan.

Las correas o transportadores 215 - TR - 201 a la 204 operan a velocidad constante y son accionadas por un motor de inducción. En las tablas 3 y 4 se presentan los datos de dichas correas, de los motores que las operan y de los reductores que se emplean.

Tabla 1 Datos de los molinos de bolas <sup>3</sup>	
(215 - ML - 201 - 204)	
Capacidad (t/h)	120
Carga de bolas (t)	54
Diámetro (mm)	3 200
Largo (mm)	5 700

Tabla 2 Datos del motor sincrónico de los molinos de bolas <sup>3</sup>	
Tensión nominal (kV)	10
Corriente nominal del estator (A)	54,6
Corriente nominal del rotor (A)	215
Potencia nominal (kW)	800
Velocidad nominal (rpm)	720

Tabla 3 Datos del transportador <sup>3</sup>	
(215 - TR - 201 - 204)	
Capacidad (t/h)	160
velocidad nominal (m/s)	1,15
Largo (mm)	13 500
Ancho (mm)	1 000
Peso (kg)	1 600

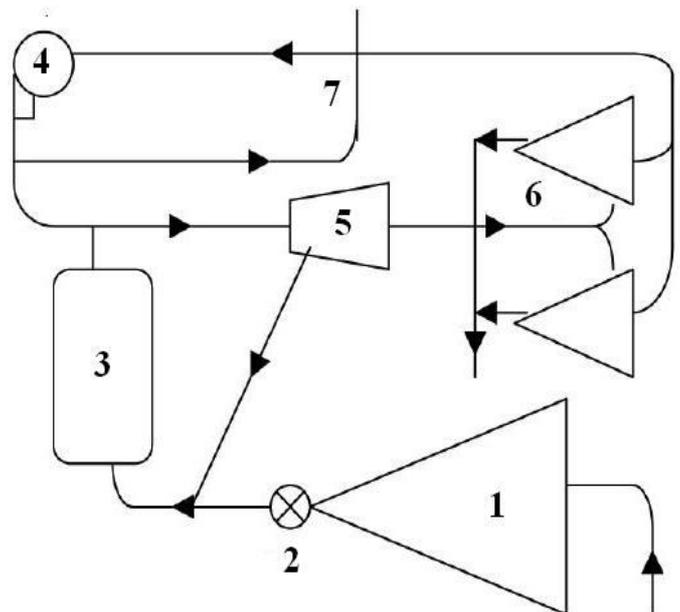
Tabla 4 Motor de inducción de las correas TR13-1a 13-4 y del reductor acoplado <sup>3</sup>	
Datos del motor	
Potencia nominal (kW)	17
Velocidad nominal (rpm)	1 750
Reductor (2-650-40-5)	
Relación de transformación	40

Una vez que ha sido molido, el mineral es barrido y succionado por un separador neumático de diámetro 4,25 m que lo clasifica atendiendo a su granulometría. De esta forma, el que tenga las dimensiones de producto final pasa al sistema de colección primaria o ciclones y el que no posee las dimensiones adecuadas es rechazado y pasa al molino para ser procesado nuevamente. El mineral que presenta la granulometría adecuada pasa a las tolvas de producto final, y después a los silos de la planta de hornos de reducción.<sup>3</sup>

### COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE LA ETAPA DE MOLIENDA

El estudio "Productividad y eficiencia energética en el proceso de molienda del mineral laterítico" de Laborde,<sup>4</sup> Coello y otros, presenta los resultados de un análisis energético practicado a tres unidades de molienda seca existentes en una planta niquelífera del norte de la provincia de Holguín, Cuba. El análisis se realizó a partir de mediciones de potencia demandada y energía consumida, obtenidas en las condiciones concretas de explotación de las tres unidades de molienda seca, cuyos componentes se observan en de la figura 2.

Los datos técnicos más importantes de las tres unidades que se investigaron se presentan en la tabla 5.



Esquema típico de una unidad de molienda, para el procesamiento seco de la laterita: 1. tolva de mineral; 2. alimentador; 3. molino de bolas; 4. ventilador de recirculación; 5. separador; 6. ciclones; 7. sistema de tuberías.<sup>4</sup>

Tabla 5 Datos técnicos de los molinos y los ventiladores de recirculación estudiados <sup>4</sup>	
Molino de bolas MB 3 040 . 1 670	
Productividad nominal (t/h)	47
Motor de inducción trifásico	
Potencia nominal (kW)	294
Ventilador de recirculación centrífugo	
Gasto nominal (m <sup>3</sup> /min)	1 313
Motor de inducción trifásico	
Potencia nominal (kW)	150

En dicho artículo se plantea que "El proceso de molienda del mineral laterítico ocupa el primer orden como consumidor energético entre el resto de los procesos a que es sometido el mineral" y que "Entre los equipos que forman parte de una unidad de molienda, en un esquema típico para el proceso de la laterita, son fundamentales el molino de bolas y el ventilador de recirculación, tanto desde el punto de vista operacional como energético. Cualquier estudio que se realice en este último sentido, no debe circunscribirse a uno de los elementos en particular, sino que es necesario el análisis del comportamiento tanto del molino como del ventilador, vistos en su conjunto como unidad".<sup>4</sup>

Explica además el comportamiento de las potencias demandadas por los molinos en dependencia del grado de llenado en bolas  $\phi$ , y concluye que este es el factor determinante en los niveles de la demanda. La tabla 6 muestra las potencias máximas y mínimas para diferentes grados de llenados en bolas, demandadas por el molino de la unidad de molienda 3 y sus agregados. Siendo  $N$  el número de mediciones de potencias realizadas para cada grado de llenado, resulta evidente que en la medida que aumenta el grado de llenado, aumentan también los valores de las potencias máximas y mínimas registradas.

Tabla 6 Potencias máximas y mínimas de un molino de bolas para diferentes grados de llenado en bolas <sup>4</sup>				
$\phi$	0,20	0,27	0,38	0,44
$N$	30	61	65	30
$P_{\text{máx.}}$ (kW)	136	150	216	245
$P_{\text{mín.}}$ (kW)	120	136	196	228

El mencionado artículo plantea que "para un molino que trabaja con  $\phi = 0,38$ , esto representa una carga de bolas de 28 toneladas y que la cantidad máxima de mineral observada durante un ciclo de alimentación fue de 0,4 toneladas con una permanencia de 40s.<sup>4</sup> "Esta masa de mineral representa solo el 1,4 % de la masa de bolas luego su influencia no es cuantitativamente preponderante en los niveles de potencia demandada por el molino.

El estudio aborda también el análisis de una particularidad energética del proceso de molienda seca, que consiste en que la demanda de potencia de las unidades es menor en presencia del mineral y aumenta en ausencia del mismo, situación que produce la aparición de picos en las potencias demandadas por los molinos de bolas y los ventiladores de recirculación. El fenómeno descrito incide en la eficiencia de las unidades y en su productividad.

La tabla 7 muestra las mediciones de potencia tomadas<sup>4</sup> durante el trabajo de las unidades de molienda 1 y 3, para las que se mantuvo el grado de llenado de bolas constante y donde  $P_o$  es la potencia demandada por el molino, el ventilador o la unidad en ausencia de mineral y  $P_{\text{PROM}}$  es la potencia promedio.

Tabla 7 Comportamiento de las potencias promedio y en vacío de dos unidades de molienda <sup>4</sup>			
Unidad de molienda 1			
$\phi = 0,41$			
	Molino	Ventilador	Unidad
$P_o$	260	170	430
$P_{\text{PROM}}$	229	137	366
Unidad de molienda # 3			
$\phi = 0,44$			
	Molino	Ventilador	Unidad
$P_o$	265	150	415
$P_{\text{PROM}}$	235	116	351

Si se analizan los valores de la tabla 7 se constata que los valores de potencia demandada en vacío son superiores a los valores promedio observados en condiciones de carga. Si se comparan los valores de las tablas 6 y 7 se observa que los valores de potencia demandada en vacío sobrepasan también y en una cantidad nada despreciable, a los valores de potencia máxima recogidos en la tabla 6.

La causa fundamental de la disminución de la cantidad de masa laterítica en el interior del molino es la formación de arcos de resistencia en el interior de las tolvas de alimentación, lo que provoca un régimen de trabajo irregular del alimentador. Otra causa consiste en que la respuesta del sistema de control automático del alimentador de disco de las unidades de molienda no es lo suficientemente rápida, permitiendo períodos de tiempo frecuentes en los cuales el molino queda prácticamente sin mineral.

Al analizar el sistema del ventilador de recirculación en la figura 2, se observa que cuando se produce un aumento en la cantidad de mineral descargado por el molino de bolas, se incrementa la resistencia del sistema aerodinámico ( $H$ ) y su curva  $H$  vs.  $Q$ ; en la figura 3, sufre cambios, variando de la forma A hacia la B. En este caso el gasto  $Q_v$  del ventilador de recirculación disminuye y por consiguiente disminuye la potencia demandada por este, según se deduce de la expresión:<sup>4</sup>

$$P = \left( p_t \cdot Q_v / N_v \cdot N_r \right) \cdot 1000$$

donde:

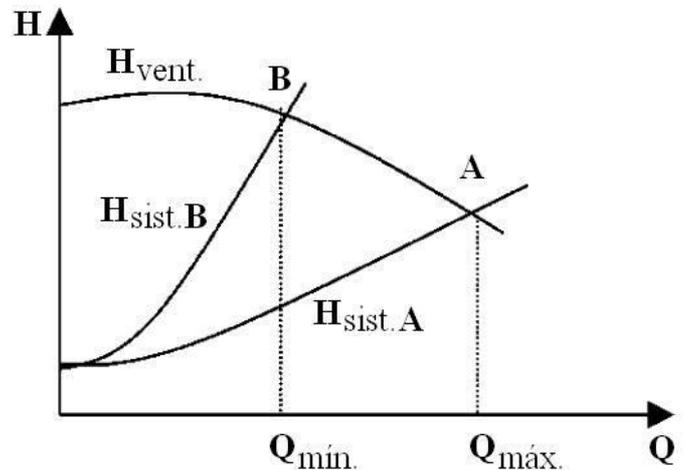
$p_t$ : Presión total expresada en Pa

$Q_v$ : Gasto del ventilador en  $m^3/s$

$N_v$ : Rendimiento del ventilador expresado en por unidad.

$N_r$ : Rendimiento de la transmisión expresado en por unidad.

En el caso contrario en el que la cantidad de mineral descargado por el molino decrece, ocurre también el decremento de la resistencia del sistema aerodinámico y el punto de operación se desplaza hacia A, en la característica conjunta del ventilador y del sistema. Esto implica un aumento del gasto  $Q_v$  al que corresponde un aumento de la potencia demandada por el ventilador según la expresión (1). Es decir, el mineral actúa como una válvula de regulación del gasto del ventilador, obteniéndose el máximo gasto y la mayor potencia demandada para el caso en que no exista mineral en el sistema aerodinámico.

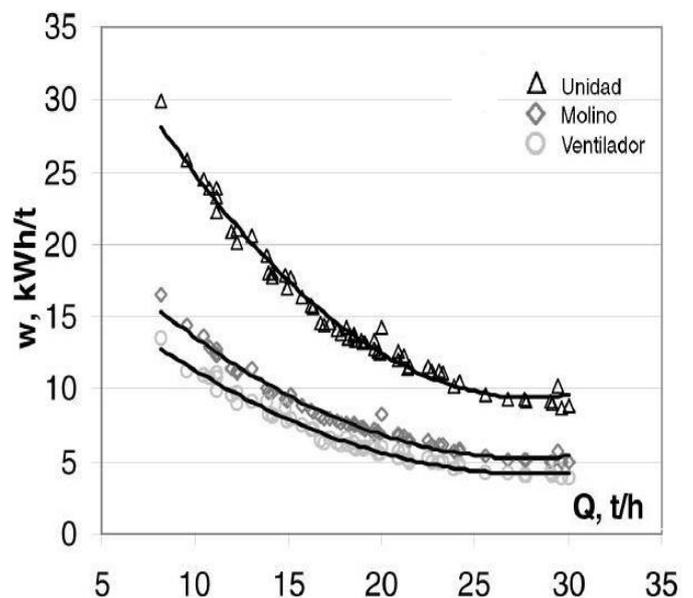


Características conjuntas  $H$  vs.  $Q$  para el ventilador de recirculación y el sistema aerodinámico en los momentos de máximo y mínimo contenido de mineral en la descarga del molino.<sup>4</sup>

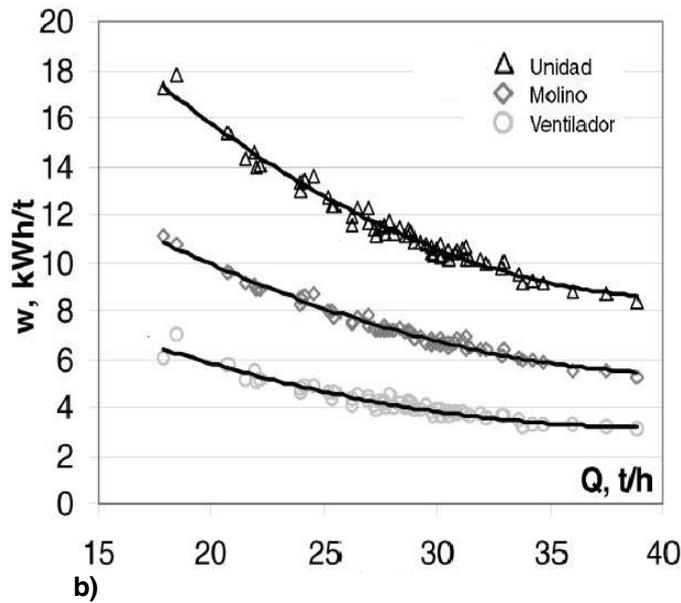
3

Como criterio de medida de la eficiencia energética, Laborde y Coello utilizaron el concepto de consumo específico de energía ( $w$ ), entendiéndose como tal a la energía consumida para el procesamiento de una tonelada de mineral en una hora. En la referencia 4 se obtiene la relación que existe entre la productividad de una unidad de molienda ( $Q$ ) y su consumo específico de energía, resultado que se presenta en la figura 4.

Al observar ambas figuras (figura 4a) y b) se concluye que las unidades de molienda presentan mejores índices energéticos en la medida en que crece la productividad, por lo que mantener altos los niveles de productividad resulta decisivo en interés de lograr ahorros sustanciales en el consumo eléctrico.



a)



Comportamiento del consumo específico de energía de una de las unidades de molienda y sus agregados: a) Grado de llenado con bolas de 0,27; b) Grado de llenado con bolas de 0,38.<sup>4</sup>

3

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en la referencia 4 y la información obtenida en la 3, se llega a las siguientes conclusiones:

- Las ausencias ocasionales de mineral en un sistema de molienda seca de material laterítico originan picos crecientes en las potencias que demandan el molino y el ventilador de recirculación. Esto produce una variación apreciable de la energía consumida por la unidad de molienda entre una hora y otra,<sup>4</sup> fenómeno que va en detrimento de los índices de consumo energético de la planta. Por esta razón se impone la necesidad de incidir controladamente en el suministro de mineral al molino de bolas, de forma tal, que al ocurrir la formación de arcos de resistencia dentro de la tolva, sea posible aumentar las velocidades del alimentador de discos y de la estera transportadora 215 - TR - 201 y mantener el gasto continuo. En el caso en que aumente la cantidad de mineral que entrega la tolva por encima de la permisible, las velocidades del alimentador y la estera deben disminuir. Este sistema de control automático que existe en la planta y que fue objeto de estudio,<sup>4</sup> se basa en utilizar la corriente del ventilador de recirculación que tiende a aumentar cuando disminuye la cantidad de laterita que se procesa y viceversa.

- El funcionamiento del alimentador y la estera transportadora 215 - TR - 201, con sus respectivos sistemas de control automático, influyen también en

el comportamiento de la productividad. Según se aprecia en la figura 4 un aumento de la productividad ocasiona decrementos notables de los consumos específicos lo que favorece a la planta productora de níquel en todos los sentidos.

- Los requerimientos tecnológicos que el transportador alimentador (215 - TR - 201) impone a su accionamiento eléctrico se cumplen si:

- El accionamiento eléctrico a emplear es capaz de trabajar en *condiciones ambientales agresivas y de alta contaminación*.
- El accionamiento eléctrico presenta un *elevado rendimiento* en un amplio intervalo de velocidades en función de disminuir el consumo de energía.
- El accionamiento eléctrico presenta una *alta capacidad de sobrecarga*, lo cual se explica a partir de las condiciones de trabajo del transportador.
- El accionamiento eléctrico opera en *régimen continuo*, lo que se explica a partir de las condiciones de trabajo del transportador.
- El accionamiento eléctrico es *no reversible*.
- El accionamiento eléctrico es de *velocidad variable*, como vía para garantizar que el gasto de mineral en la etapa de molienda seca sea constante.
- La característica mecánica estática de carga del transportador es a *potencia constante* lo que se deduce partiendo de la necesidad de mantener el gasto de mineral constante a la entrada del molino.
- La variación de la velocidad de la carga se realiza en un *diapasón de 10:1*, lo cual se obtiene a partir de las condiciones de explotación del transportador.
- El motor garantiza un *excelente comportamiento de emergencia*, teniendo en cuenta la importancia del proceso productivo.
- El motor requiere de *muy poco mantenimiento* y se caracteriza por su *robustez*.
- El motor presenta una *proporción potencia/peso* notable, garantizando mejoras en el proceso transitorio.
- Los *datos nominales* del motor del accionamiento eléctrico son:
  - 1750 rpm.
  - 17 kW.

- Los requerimientos tecnológicos que los transportadores alimentadores 215-TR-202 AL 204 imponen a sus accionamientos eléctricos son similares a los descritos en C.

## REFERENCIAS

- Fábrica Ernesto Che Guevara (Breve reseña histórica), Moa. <http://www.ismm.edu.cu/Efemerides/>

Fabrica%20Ernesto%20Che%20Guevara/  
Fabrica%20Ernesto%20Che%20Guevara.php, 2005.

**2. Laborde Brown, R.:** "Modelación y simulación del proceso de molienda del mineral laterítico, con composición sustancial variable," Tesis presentada en opción al grado de doctor en Ciencias Técnicas, ISMMM, Moa, Cuba, 2005.

**3. Carballo del Campo, O.:** "Manual de operaciones de la Unidad Básica de Producción, Preparación de Mineral", Ministerio de la Industria Básica, Grupo Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, Moa, Cuba, febrero 8, 2007.

**4. Laborde Brown, R.:** "Productividad y eficiencia energética en el proceso de molienda del mineral laterítico., *Revista Minería y Geología*, Vol. XVII, p. 4, Cuba, 2000.

## **AUTORES**

### **Javier Muñoz Álvarez**

Ingeniero Electricista, Máster en Ingeniería Eléctrica, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergéticas (CIPEL), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Ciudad de La Habana, Cuba  
e-mail:javierm@electrica.cujae.edu.cu

### **Ernesto F. Rodríguez Borges**

Ingeniero Electricista, Empresa Comandante Ernesto Guevara, Moa, Cuba

### **Mario Morera Hernández**

Ingeniero Electricista, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular, CIPEL, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba  
e-mail:marmor@electrica.cujae.edu.cu