

CURSO POSGRADO

Patrocinados por el Instituto Superior Minero Metalúrgico

- **Fragmentación de rocas con explosivos**
Duración: 60 horas
Cuota de inscripción: 1 600 USD
- **Mineralogía de las cortezas de Intemperismo**
Duración: 40 horas
Cuota de inscripción: 1 500 USD
- **Lixiviación carbonato-amoniaca de minerales lateríticos**
Duración: 40 horas
Cuota de inscripción: 1 500 USD
- **Metodología del análisis geológico regional**
Duración: 60 horas
Cuota de inscripción: 1 500 USD
- **Mecánica de rocas**
Duración: 50 horas
Cuota de inscripción: 1 400 USD
- **Ingeniería geoambiental. Geología aplicada a la ingeniería del medio ambiente y los recursos naturales**
Duración: 80 horas
Cuota de inscripción: 2 000 USD

Estos cursos, a solicitud de los interesados, podrán ser impartidos en el extranjero.

Para más información dirijase a:

Dr. Rafael Guardado Lacaba
Vicerrector de Investigaciones y Educación de Posgrado
Instituto Superior Minero Metalúrgico
Las Coloradas, Moa, Holguín, Cuba.
Teléfonos: 6-6678 6-4476
Télex: 021-397
Fax: (537) 33 5302 (UNI)

CONTROL DE LA CARGA INTERIOR DEL MOLINO A TRAVES DE TERCEROS PARAMETROS

Ing. Alfredo Coello Velázquez*
Dr. Secundino Marrero Ramírez*
Ing. Alberto Hernández Flores

* Instituto Superior Minero Metalúrgico

RESUMEN: Se realiza un estudio de los distintos métodos de control de la masa interna del molino y la carga de bolas en la molienda de minerales lateríticos a través de terceros parámetros, tales como, potencia de consumo del motor, intensidad de corriente y nivel de ruido emitido por el molino durante su funcionamiento.

Se realizan dos series de ensayos variando la carga de bolas desde 10 hasta 40 % con una acumulación constante y variando la carga del mineral, manteniendo constante la carga de bolas. Se establece que la utilización del método electroacústico es totalmente factible para el control de la acumulación, mientras que la carga de bolas se puede controlar mediante la potencia del motor. Con esto se logra la utilización al máximo del circuito instalado y una mayor eficiencia.

ABSTRACT: One study of different control methods of the internal mass of the mill and the charge of balls in the milling of lateritic minerals is done through third parameters, such as: power of the engine consumption, intensity of current and level of noise emitted by the mill during its functioning.

Two series of essays are done varying the charges of balls. It is established that the use of the electroacoustic method is totally feasible for the control of the accumulation, while the charges of balls can be controlled by means of the engine power. With this is obtained the maximum use of the installed circuit and a major efficiency.

INTRODUCCION

En el tratamiento de minerales, la molienda ocupa un lugar sustancialmente importante; como operación de preparación tiene como objetivos la liberación del componente útil, propio de los procesos de enriquecimiento de minerales y en innumerables ocasiones el aumento de la superficie específica del mineral (industrias metalúrgica, química y del cemento). La calidad de su producción depende, obviamente, de un gran número de parámetros tecnológicos, el control de los cuales, por lo general, se realiza a través de terceros parámetros.

Independientemente de la tendencia mundial a la inclusión de microprocesadores en los sistemas de control y regulación de los procesos tecnológicos, sería válido señalar la existencia de una eficaz operación con la carencia de un control sistemático (entiéndase continuo) de los parámetros fundamentales que inciden directamente en el proceso.

Para el caso particular de los circuitos cerrados de molienda, se ha demostrado la gran importancia que tiene el control de la masa del material en el interior del molino (carga de bolas + acumulación del mineral).

La carga de bolas ejerce una gran influencia en los índices cualitativos y cuantitativos de la molienda y más aún en los índices energéticos del molino. Muchos autores estiman que la carga de bolas óptima es de 50 % [1,2,3,4], aunque este parámetro, una vez establecido, se regula compensando la pérdida (en masa) de bolas periódicamente de acuerdo con las regularidades del desgaste de las mismas.

Por su parte, la acumulación, que es función de la productividad acumulada y la carga circulante, sin ser exactamente una suma de estas últimas, define no sólo las características del producto final, sino también el desarrollo del proceso en su aspecto cualitativo y cuantitativo, y en menor grado influye en los índices energéticos del molino (al menos para los minerales lateríticos).

La productividad del producto final en los circuitos cerrados de molienda es función de la acumulación (M) estrictamente definida por un polinomio de segundo grado, o sea, $Q_f = a_0 + a_1 M + a_2 M^2$ (ver figura 1).

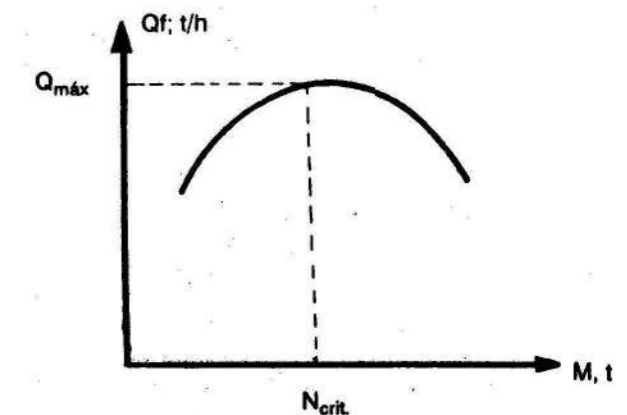


FIGURA 1. Dependencia funcional entre la productividad del producto final y la acumulación (M, t)

A juzgar por el comportamiento de la curva para lograr maximizar la productividad es imprescindible mantener estable la acumulación en los niveles cercanos al valor crítico y sobre todo en el ala izquierda de la parábola, puesto que trabajar en el ala derecha conlleva no sólo a la disminución de la productividad final, sino también, expone al molino a su embuchamiento.

El control de la acumulación, así como el de la carga de bolas se realiza a través de la medición de la potencia consumida por el motor del molino, la intensidad de la corriente o el nivel de ruido emitido durante el trabajo del mismo, este último, ampliamente utilizado por los operadores de gran experiencia (al oído), aunque obviamente car-

gado de un alto grado de subjetividad. En la cátedra de enriquecimiento de minerales del Instituto de Minas de Leningrado se ha experimentado un novedoso método que consiste en la medición de la presión del aceite en los cojinetes de fricción (de apoyo) del molino con gran éxito. Realmente el método ideal para la medición de estos parámetros sería mediante el pesaje directo en el molino, sin embargo, las características constructivas del molino, hasta hoy, no lo permiten.

El objetivo de este trabajo es estudiar la posibilidad de establecimiento de un sistema de control de la carga de bolas y la acumulación a través de la potencia, intensidad de la corriente y el nivel de ruido.

METODOLOGIA DEL TRABAJO

En aras de simular el proceso estacionario, se realizaron pruebas batch en un molino con dimensiones 0,44 x 0,48 m con mineral laterítico del yacimiento Punta Gorda, triturado hasta un tamaño menor que 22,4 mm.

Después de homogenizada y cuarteada por el método de anillo y el cono (metodología que aparece descrita en los trabajos [3] y [5]), la muestra se sometió a la molienda por espacio de 15 minutos; se realizaron dos series de ensayos:

- variando la carga de bolas desde 10 hasta 40 %, manteniendo constante la acumulación (11,5 kg);
- variando la carga del mineral (acumulación), manteniendo constante la carga de bolas (30 %).

Para ambas series se realizó la medición de la potencia y la intensidad de corriente con ayuda de una maleta tipo K-506. En el caso de la medición del nivel de ruido se utilizó un amplificador (ideado para los efectos del experimento), un voltímetro registrador de corriente directa y un micrófono unidireccional.

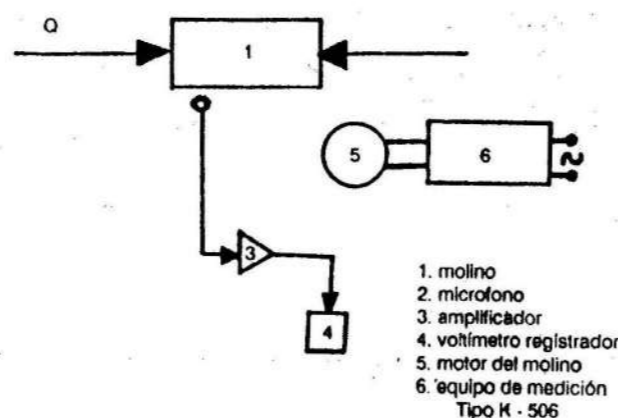


FIGURA 2. Esquema de medición del nivel de llenado.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados reflejados en la Tabla 1 muestran, de forma evidente, que tanto la potencia, la intensidad de la corriente, como el nivel de ruido, sufren un incremento notable al aumentar la carga de bolas.

Tabla 1. Resultados promedios de la primera serie de ensayos

No.	φ , %	N, kW	I, A	S, V
1	10	10,93	3,83	0,83
2	20	14,47	4,52	0,9
3	30	16,48	4,59	1,47
4	40	18,11	5,24	-
N, kW		0,219	0,102	0,033
V, %		1,83	2,39	2,91
r		0,98	0,46	0,999
X		$\pm 0,32$	$\pm 0,14$	$\pm 0,04$

S - nivel de ruido (V); N - potencia (kW); φ - carga de bolas (%)

Al aumentar la carga de bolas en un 10 %, la potencia consumida por el motor del molino varía ascendentemente en 2,56 % kW como promedio, la intensidad de la corriente en 0,59 A y el nivel de ruido en 0,21 V. Estas variaciones

son totalmente factibles de registrar en los respectivos instrumentos.

La elaboración estadística de los resultados asevera aún más lo planteado anteriormente, el error de las mediciones se mantiene en rangos permisibles (1,8 y 2,9 %).

Por razones obvias, el mayor error corresponde a la variable en cuanto al nivel de ruido, por estar expuesta a factores externos susceptibles para la instrumentación; sin embargo, le corresponde a esta última el mayor valor de la relación de correlación ($\eta_s = 0,999$), significando esto que el grado de dependencia funcional entre el nivel de ruido y la carga de bolas es prácticamente perfecta, no ocurriendo así para la variable intensidad de corriente, cuya dependencia funcional es sumamente baja ($\eta_I = 0,46$) con respecto a la potencia consumida por el motor ($\eta_N = 0,98$) y el primero. De hecho, la medición, o más exactamente el control de la carga de bolas a través de la medición de la corriente en el motor del molino es mucho menos confiable que el control de este parámetro a través de la potencia y el nivel de ruido. En las Figs. 3, 4 y 5 se pueden apreciar las dependencias funcionales de las variables estudiadas (N, I y S) y la carga de bolas.

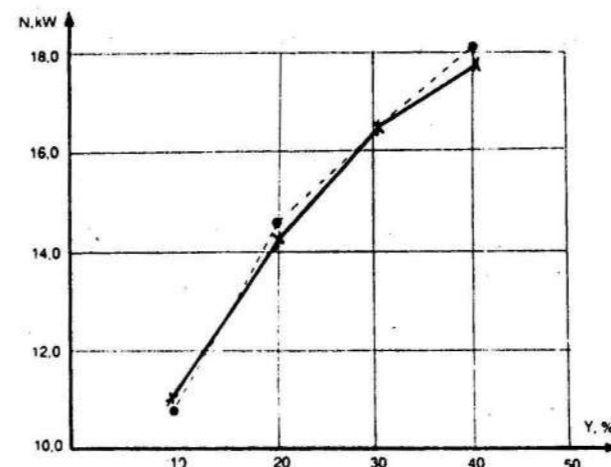


FIGURA 3. Dependencia entre la potencia y la carga de bolas
--- datos empíricos experimentales
— datos estimados por modelo
 $N = 6,72 + 0,47 Y - 4,77 \cdot 10^{-3} Y^2$

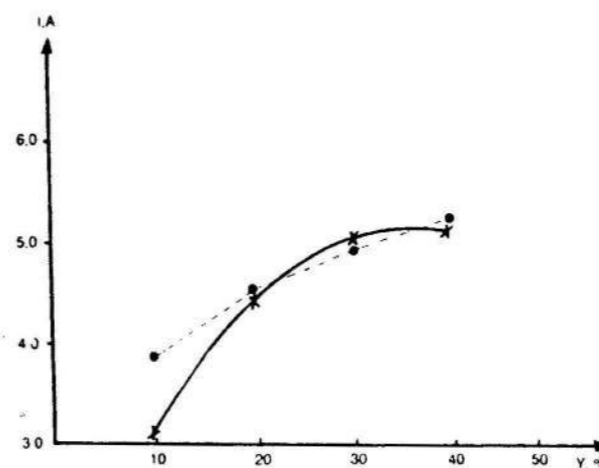


FIGURA 4. Dependencia entre la potencia y la carga de bolas
--- datos empíricos experimentales
— datos estimados por modelo
 $I = 3,045 + 0,0897 Y - 8,5 \cdot 10^{-4} Y^2$

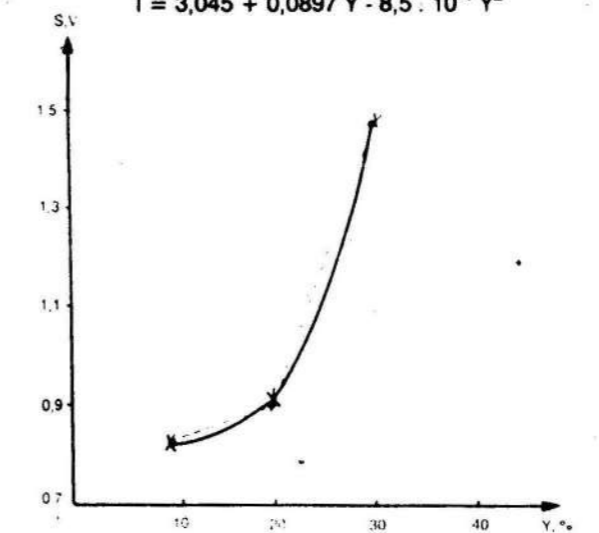


FIGURA 5. Dependencia entre la potencia y la carga de bolas
--- datos empíricos experimentales
— datos estimados por modelo
 $S = 1,259 + 0,0679 Y - 2,499 \cdot 10^{-3} Y^2$

Su estudio comparativo permitió establecer la factibilidad de estos métodos de control de la carga de bolas y asumir como método más confiable en función de una señal acústica y en un menor grado de potencia.

Tabla 2. Resultados promedio de la segunda serie de ensayos ($\varphi = 30$ %)

No.	M, kW	N, W	WA	S, V
1	11,507	168	18 38	1,47
2	16,507	177	17 27	1,08
3	21,507	174	14 32	0,90
4	26,507	182	12 1	0,83
-		0,72	17257	0,072
V		0	1 33	6,7
-		0,6	16	0,998
X				

Los resultados de esta experimentación muestran que, efectivamente, la carga de mineral en el interior del molino (acumulación, M) sí influye en las variables estudiadas. Al variar la acumulación en 5 kg a potencia constante un incremento en 0,41 kW, por otra parte el nivel de ruido disminuye en 0,26 V. Esto último tiene su explicación en el ensordecimiento del choque metálico de las bolas al aumentar la cantidad de mineral en el interior del molino, lo cual provoca la disminución de la posibilidad de choque entre las bolas. La intensidad de corriente experimenta una leve variación, sin que pueda definirse el tipo de regularidad que describe; ello que imposibilita su uso como método de control.

Las dependencias entre las variables estudiadas y la carga de mineral (acumulación) se reflejan en las siguientes ilustraciones:

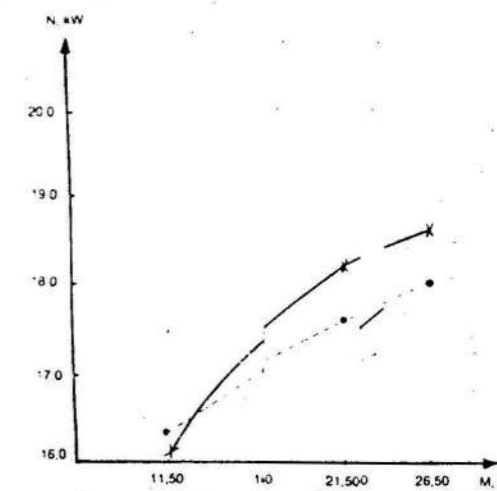


FIGURA 6. Dependencia entre la potencia y la carga de bolas
--- datos empíricos experimentales
— datos estimados por modelo
 $N = 14,507 + 1,199 Y - 21,614 \cdot 10^{-3} Y^2$

Analizando los valores de la relación de correlación de las diferentes variables puede establecerse que para el control de la acumulación es totalmente factible la utilización del método electro-acústico (medición del nivel de ruido), por cuanto la dependencia funcional es sumamente alta (casi perfecta, $\eta_s = 0,998$); sin embargo, a juzgar por el valor de la relación de correlación entre la potencia consumida por el motor y la acumulación ($\eta_N = 0,46$), el grado de dependencia entre ambos parámetros es sumamente bajo, lo cual imposibilita el control de la acumulación a través de la potencia.

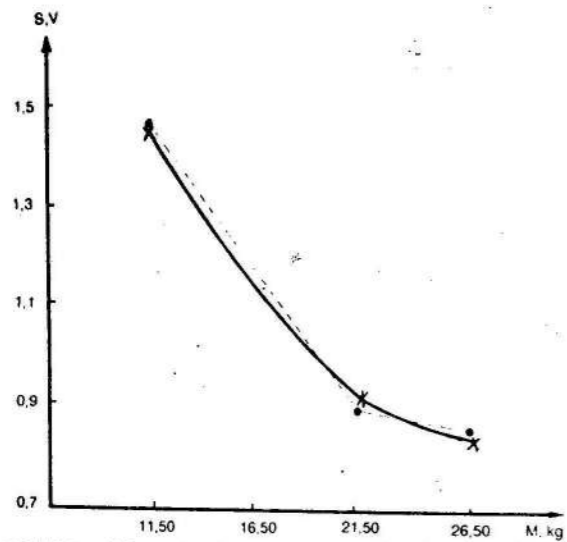


FIGURA 7. Dependencia entre la potencia y la carga de bolas
 --- datos empíricos experimentales
 — datos estimados por modelo
 $S = 3,201 \cdot 10^{-3} M^2 - 0,1636 M + 2,934$

Generalizando los resultados del trabajo, puede establecerse que es totalmente factible el control tanto de la carga de bolas como de la carga de mineral, mediante la combinación del método electro-acústico y la medición de la potencia. En detalle, el control de la carga de bolas se realizaría a través de la potencia y la acumulación de mineral por medio de la señal acústica. En virtud de esto se propone el siguiente esquema:

La implantación del sistema de control propuesto permitiría no sólo la maximización de la capacidad del circuito instalado, sino también un uso más racional de la instalación, brindando mayores posibilidades para su operación eficiente.

Simbología:

- N: Potencia consumida por el motor, kW
- S: Nivel de ruido, V
- I: Intensidad de la corriente, A
- φ : Carga de bolas, %
- M: Acumulación de mineral, kg
- σ : Desviación media cuadrática
- V: Coeficiente de variación, %
- η : Relación de correlación

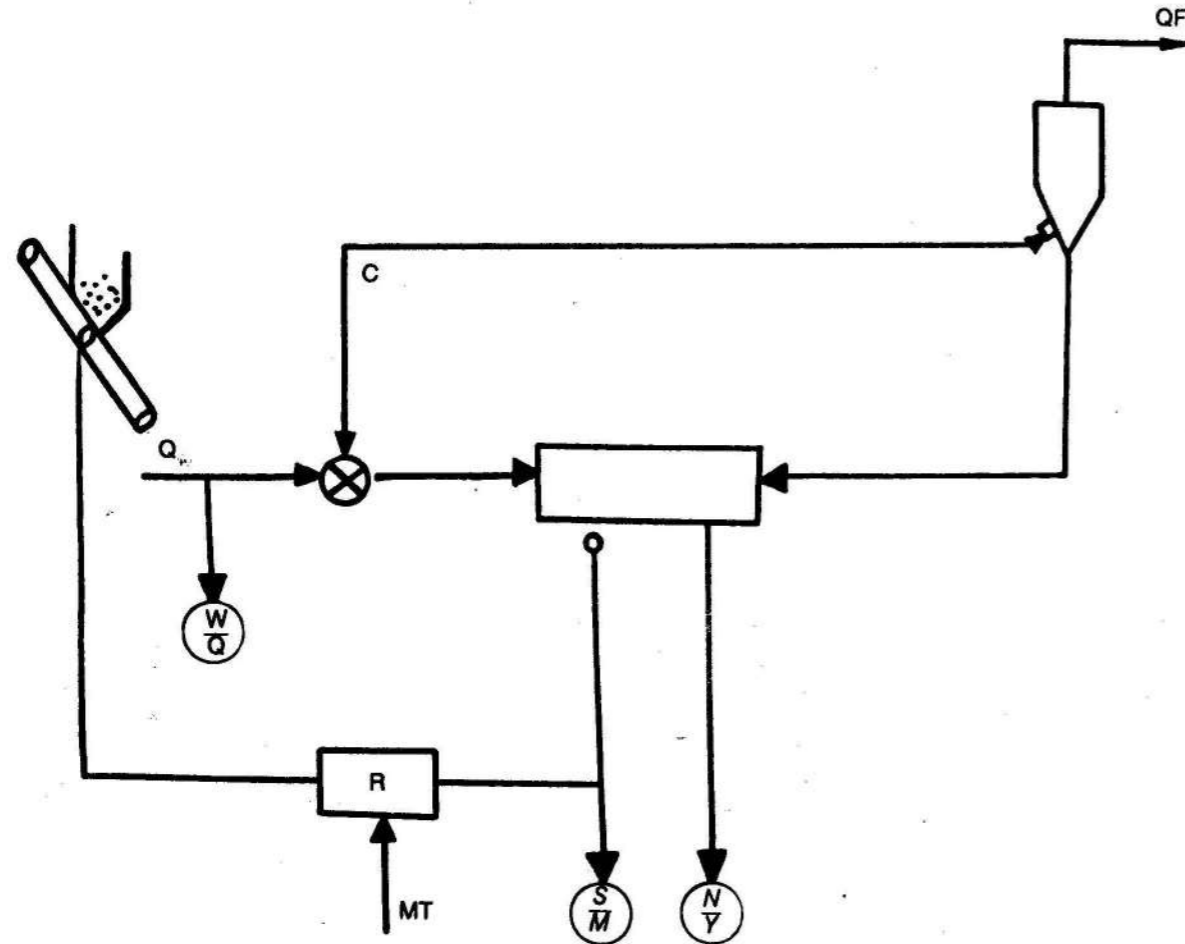


FIGURA 8. Sistema de control automático de la molienda.

REFERENCIAS

1. ANDREEV, S.E. y otros: *Dravlenie izmielchenie y grajochenie polieznij iskapaemij*. Moskva, Nedra, 1980.
2. ANDREW L. MULAR y otros: *Mineral Processing Plant Design*. 2nd. Edition AIME, New York, Mular Bhappu Editors, 1980.
3. BAGDANOV, O.G.: *Espravochnik abogachenia rug*. Moskva, Nedra, 1988.
4. JAN, G.A.: *Oprovovanie control tejnologicheskij procesov*. Moskva, Nedra, 1979.
5. O.H. TIJONOV: *Automatizacia praiz vobsvennij procesov na abagatitelnij fabricaj*. Moskva, Nedra, 1983.
6. RAZUMOV, K.A y B.A. FONOV: *Proektivabanie avagatitelnij fabric*. 4o ind. Moskva, Nedra, 1988.
7. SERGO, E.D.: *Aprovavanie. Control tejnologicheskij procesov abogachenia*. Kiev, Visha Skola, 1979.

ecimetal

EMPRESA COMERCIAL PARA LA
INDUSTRIA METALURGICA Y
METAL-MECANICA



Dedicada a la atención de las ramas del desarrollo metal-mecánico y geológico-minero; ECIMETAL es una institución que brinda sus servicios en la realización de proyectos, estudios, suministros de equipos y materiales, así como asistencia técnica para la instalación de plantas industriales, líneas tecnológicas, completamiento de plantas y entrenamiento de personal.



Empresa ECIMETAL: Habana, Cuba Apto. 6124, Telex 51-1555