

Análisis del proceso de beneficio del cieno carbonatado

Benefit analysis of the process of carbonate mud

Ing. Mónica Hernández Rodríguez^I, Ing. Francisco Peña Betancourt^I, Ing. Luis Enrique Gonzáles Griggs^{II}

I: Instituto Superior Metalúrgico Antonio Nuñez Jiménez.
mhernandezr@ismm.edu.cu

II: Empresa Comandante Pedro Sotto Alba

RESUMEN

En la presente investigación se realiza una evaluación tecnológica del proceso de beneficio del cieno carbonatado, para lo cual primeramente se efectuó una caracterización química y granulométrica del material mediante el análisis de tamizado por vía seca, utilizando el siguiente juego de tamices: 1,98; 1,4; 1; 0,83; 0,30; 0,15; 0,074 y 0,045 mm, también fue utilizada la técnica de difracción láser HORIBA para determinar la frecuencia y el área superficial de las partículas que componen la pulpa del cieno carbonatado. El análisis químico del material se realizó mediante el método volumétrico por neutralización para precisar el contenido del carbonato de calcio en el mismo. Los resultados obtenidos muestran que el cieno carbonato está conformado principalmente por partículas menores de 0,3 mm cuyo porcentaje en peso de la muestra es del 78,39 %, en las cuales el contenido de carbonato es mayor del 80 % excepto para las clases -0,83+0,3 mm y -0,3+0,15 mm. También el 78,40 % del material es de cribado fácil, sin embargo, para las actuales capacidades de producción la planta está subdiseñada requiriéndose áreas de cribado de 22,57 m² para los máximos regímenes de operación.

Palabra claves: procesos de beneficio de materiales, proceso de cribado, cieno carbonatado.

ABSTRACT

In the present investigation is carried out a technological evaluation of the calcium carbonated benefit process, firstly was made a chemical and granulometric characterization of the material using dry screening analysis using the following combination sieve: 1,98; 1,4; 1; 0,83; 0,30; 0,15; 0,074 y 0,045mm, the technique of diffraction laser HORIBA was also used to determine the frequency and the superficial area of the particles that compose the surrly of calcium carbonated. The chemical analysis of the material was carried out using volumetric analysis by neutralization for determinate the content of calcium carbonate. The results obtained show that the calcium carbonated is conformed mainly by particles smaller than 0,3 mm whose percentage in weight is 78,39 %, in which the carbonate content is bigger than 80% except for the classes -0,83+0,3 mm and -0,3+0,15 mm. The 78,40 % of material is easy screening, but, for the current production capacities the plant is subdesigned being required screening areas of 22,57 m² for the maximum production capacities.

Keywords: process of materials benefit, screening process, calcium carbonated.

INTRODUCCION

En Cuba las principales industrias metalúrgicas se ubican en el noreste de la provincia de Holguín, dedicadas a la extracción de níquel y cobalto de las menas lateríticas, las tecnologías existentes son Carbonato Amoniacal o proceso Caron en la entidad "Comandante Ernesto Che Guevara" y la Ácida a Presión en la empresa "Comandante Pedro Soto Alba". En esta última se obtienen sulfuros mixtos de níquel y cobalto para lo cual cuenta con cinco plantas principales: preparación y espesadores de pulpa, lixiviación y lavado, neutralización, precipitación de sulfuros y secado.

En la Planta de Neutralización se emplea una pulpa cienos carbonatados rica en carbonato de calcio (CaCO_3) para neutralizar el ácido libre en exceso que contiene la pulpa lixiviada, de manera tal que este alcance el pH óptimo que garantice una adecuada precipitación de los sulfuros de níquel y cobalto. Este material es extraído de los arrecifes coralinos situados al oeste de Cayo grande, Moa, el cual es sometido a un proceso de beneficio en la Planta de Preparación de Pulpa de Coral ubicada en la zona portuaria, el esquema del proceso está conformado principalmente por una lavadora de paletas y una zaranda de clasificación, donde las partículas menores de 20 mesh (0,83 mm) conforman el producto final que posteriormente es sometido a procesos de lavado y espesamiento para elevar su porcentaje de sólidos antes de ser enviada al proceso de neutralización.

Representa un objetivo esencial que el beneficio de este material se realice de forma eficaz y eficiente por las implicaciones económicas directas en el proceso como el consumo energético y de recursos humanos para su procesamiento.

Sin embargo, actualmente la eficiencia de cribado presenta una gran variabilidad y no se comporta de forma estable alejándose en la mayoría de los casos de la eficiencia de diseño (90 %), por otra parte también se ha incrementado las

producciones de sulfuros de níquel y cobalto obligando a una sobreexplotación de la planta, y a operar bajo regímenes tecnológicos para los cuáles no fue diseñada.

Trabajos investigativos antecedentes se enmarcan fundamentalmente en la recuperación de las fracciones más gruesas del proceso lo que ayudaría al aprovechamiento racional e integral de los recursos naturales. Algunos autores [5,6] proponen la introducción de una unidad de molienda para el aprovechamiento del rechazo del material, siendo esta una de las principales problemáticas existentes por la acumulación de residuos todavía utilizables.

En el primer caso se realiza un estudio cinético de proceso, donde para tiempos de 25 y 30 min se alcanza el 80 % de la fracción mayoritaria de las partículas con clase de tamaño menor de 0,83 mm que pueden ser incorporados al proceso y en el segundo se determina a escala de laboratorio el consumo de energía necesaria mediante el ensayo de Bond para partículas con granulometría inferior a 6,3 mm.

En otras investigaciones [2-4] también proponen un circuito de clasificación (hidrociclón) para alimentar al proceso una pulpa con las especificaciones de calidad requerida. Este esquema permitirá el aprovechamiento total del cieno carbonatado y demuestra la elevada eficiencia y ventaja de esta tecnología pues se obtienen eficiencias de separación superior al 96 % de las partículas más gruesas (-0,84+0,15) que debe ser menor del 10 % en la pulpa enviada al proceso de neutralización.

Por lo antes expuesto, el objetivo del presente trabajo es realizar una evaluación tecnológica del proceso de beneficio del cieno carbonatado, que permita establecer el área de cribado necesaria para las actuales capacidades de producción y determinar la influencia de las características granulométricas del material en el proceso.

FUNDAMENTACION TEORICA

Características granulométricas

Las características granulométricas de un material pueden determinarse a partir del trazado de las curvas acumulativas del mismo. Para ello en el eje de las abscisas se marca la dimensión de los orificios de la criba, mientras que en las ordenadas los por cientos acumulativos del cernido o el retenido [1].

Si en el eje de las ordenadas se dan las salidas del material con un grosor mayor que los diámetros dados, entonces la característica está trazada "por más d" y corresponde al material retenido en el tamiz, en el caso contrario donde se expresa la salida del material más fino que los diámetros de los orificios se corresponde a la característica del cernido o sea "por menos d". Ambas curvas se reflejan como un espejo una a la otra y siendo trazadas en el mismo gráfico cruzan en el punto que corresponde con el 50 % de la salida del material [1].

Estas curvas pueden ser trazadas también en coordenadas logarítmicas y permiten establecer la regularidad de la distribución por grosor de los granos del material y establecer ecuaciones que la describan [1].

Granos fáciles, difíciles y entorpecedores en el proceso de cribado

La efectividad del cribado depende de numerosos factores, entre los que se encuentran las condiciones de trabajo, como amplitud y frecuencia de las oscilaciones de la criba, estratificación de las partículas, probabilidad del paso del material a través de los orificios del tamiz, su humedad, pero también depende en gran medida de las características granulométricas del mismo. Los granos pueden clasificarse según su facilidad de cribado en fáciles, difíciles y entorpecedores, así mientras menos sea el contenido de granos difíciles y entorpecedores en el proceso, tanto más fácil es el cribado y tanto más alta en otras condiciones iguales su efectividad [1]. Los granos cuyos diámetros son menores que tres cuarto del diámetro de los agujeros del tamiz, pasan fácilmente entre los espacios de los granos gruesos del material sobre el tamiz y según logran la superficie de este caen rápidamente por los agujeros. Estos granos se denominan por su cribado "fáciles" [1].

Los granos más gruesos de tres cuarto de los agujeros del tamiz pasan con dificultad entre los espacios de los granos gruesos, esta dificultad crece progresivamente a medida que se aproxima el diámetro de los granos al de los agujeros del tamiz. Estos granos se denominan "difíciles". Mientras que los granos próximos en diámetro a la magnitud de los agujeros del tamiz, pero más grandes en menos de uno y medias veces, se denominan "entorpecedores" [1].

Es necesario aclarar que el concepto de granos fáciles, difíciles y entorpecedores está íntimamente relacionado con la probabilidad del paso de los mismos a través de los agujeros del tamiz y su forma, por tanto, para la determinación de los mismos fue considerado que el material posee una forma geométrica del tipo esférica y que durante el proceso de cribado caen perpendicularmente al plano del tamiz y pasan a través de ellos sin dificultad cuando no rozan los alambres que lo conforman, es decir, cuando la caída se proyecta hacia el centro del agujero.

METODOS Y TECNICAS EMPLEADAS

Análisis granulométrico

La caracterización granulométrica del material se realizó mediante el análisis de tamices por vía seca previamente seleccionado el juego de tamices siguientes: 1,98; 1,4; 1; 0,83; 0,30; 0,15; 0,074 y 0,045mm. A partir de estos las clases de tamaño determinadas fueron: +1,98mm; -1,98+1,4mm; -1,4+1mm; -1+0,83mm; -0,83+0,30mm; -0,30+0,15mm; -0,15+0,074mm; -0,074+0,045mm y -0,045mm.

El material obtenido en cada clase fue pesado individualmente para determinar posteriormente las características acumulativas del cernido y del retenido.

Análisis por HORIBA

El HORIBA es un analizador de la distribución de tamaño de partículas por difracción láser de gran precisión y exactitud propio para la determinación granulométrica de partículas de menor tamaño hasta 600 μm . Por esta vía fue determinada el área superficial de las partículas que componen la pulpa de cieno carbonatado y la frecuencia de las mismas.

Análisis volumétrico por neutralización

Para la determinación del contenido de carbonato en las diferentes clases de tamaño se empleó el método volumétrico por neutralización.

El procedimiento establece la determinación del por ciento de carbonato neutralizando la porción de ensayo con ácido clorhídrico para lo cual se añade este en exceso y es valorado con una solución de hidróxido de sodio utilizando una mezcla de indicadores (rojo metilo y bromo cresol) para identificar el punto final de la valoración [7].

El contenido de carbonato puede calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$\%CaCO_3 = \frac{c_1(HCl) \cdot V_1(HCl) - c_2(NaOH) \cdot V_2(NaOH)}{m} \cdot 5 \quad (1)$$

donde

c_1 : concentración del ácido clorhídrico en mol/L

c_2 : concentración del hidróxido de sodio en mol/L

V_1 : volumen de ácido clorhídrico en mL

V_2 : volumen de hidróxido de sodio en mL

m : masa de la porción de ensayo en gramos

Análisis estadístico de la eficiencia de cribado

Para el análisis estadístico de la eficiencia de cribado durante el 2013 se empleó el software *STAGRAPHS Centurion* con el propósito de realizar una caracterización de los datos, determinar si estos se distribuyen normalmente y establecer los principales estadígrafos de la muestra.

Determinación del área de cribado

El rendimiento masivo de una criba según el material inicial se determina por la fórmula empírica siguiente [1]:

$$Q = F \cdot q \cdot \rho \cdot k \cdot l \cdot m \cdot n \cdot o \cdot p \dots\dots\dots (2)$$

donde

F: área activa del tamiz, m²

q: rendimiento medio en 1m² de la superficie del tamiz, m³/h

ρ: densidad del material, T/m³

K, l, m, n, o, p: coeficientes de corrección

El área activa del tamiz se determina a través de la siguiente ecuación

$$F = 0,85B \cdot L \dots\dots\dots (3)$$

donde

B y L son el ancho y el largo de la caja en m

El rendimiento de una criba de dos tamices se determina por los tamices superior e inferior. El área de trabajo efectiva del tamiz inferior se toma igual a 0,7F, en vista de su utilización incompleta.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Resultados de la caracterización granulométrica del material

En la tabla 1 se relacionan los porcentajes en peso de la muestra obtenidos para las nueve clases de tamaño seleccionadas mediante el análisis granulométrico por vía seca, también se evidencian los porcentajes acumulativos del material cernido y retenido. Es posible observar que las partículas predominantes en el material son las comprendidas en las clases de -0,075+0,045mm; -0,15+0,075mm y -0,30+0,15mm con un 36,41; 24,64 y 11,97 % respectivamente. El material con características de calidad para ser alimentado al proceso (-0,83mm) suma un total de 78,69 % y solamente el 5,04 % es mayor de 1,98mm.

Tabla 1
Características granulométricas

Clases de Tamaño (mm)	Porcentaje en peso de la muestra	Sumaria por más (%)	Sumaria por menos (%)
+1,98	5,04	5,04	100
-1,98+1,4	3,01	8,05	94,97
-1,4+1	2,18	10,22	91,96
-1+0,83	11,09	21,31	89,78
-0,83+0,30	0,30	21,61	78,69
-0,30+0,15	11,97	33,58	78,39
-0,15+0,075	24,64	58,22	66,42
-0,075+0,045	36,41	94,63	41,78
-0,045	5,37	100	5,37

Resultados del analizador HORIBA

El área superficial de las partículas contenidas en la pulpa de cieno carbonatado obtenida a partir del analizador HORIBA es de $21\,540\text{ cm}^2/\text{cm}^3$ valor elevado y que se corresponde con tamaños de partículas muy finas lo que corrobora los resultados obtenidos durante el análisis granulométrico por vía seca. Con el empleo de esta técnica analítica también se determinó la frecuencia de partículas que se muestra en la figura 1 y a partir de la cual es posible establecer que el mayor número de estas se localiza en el rango de $0,1\text{mm}$ ($100\mu\text{m}$) a $0,01\text{mm}$ ($10\mu\text{m}$). También se evidencia un incremento sustancial en las partículas menores de $0,045\text{ mm}$ que difiere de los resultados alcanzados en la determinación granulométrica por vía seca en la cual en esta clase de tamaño solo se encuentra el 5,37 % de la muestra, estas discrepancias pueden ser originadas por las pérdidas de material durante el cribado y la menor exactitud con que cuenta este último método (análisis granulométrico por vía seca).

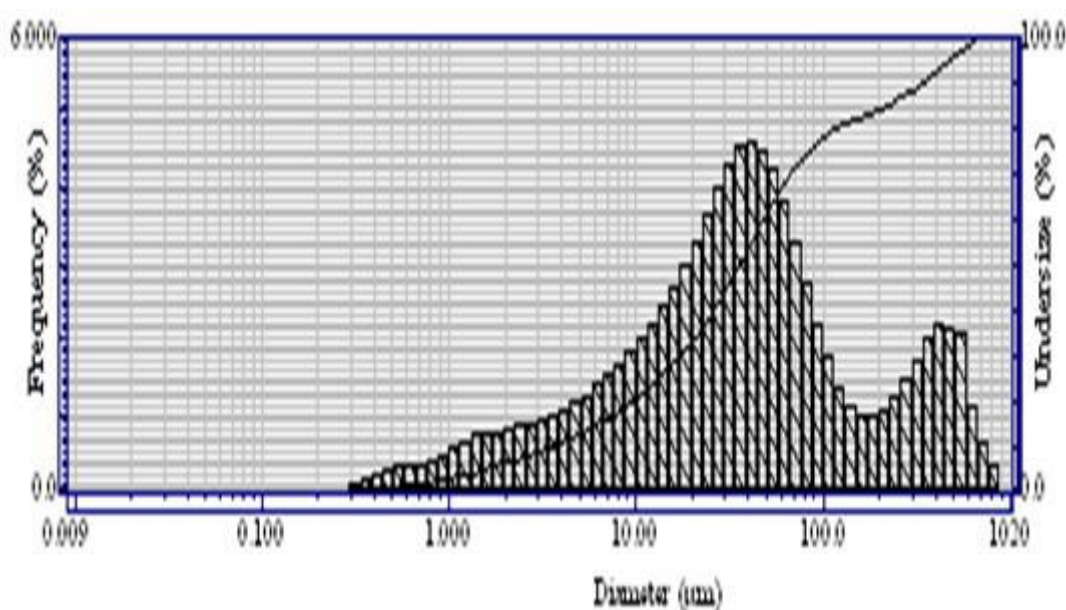


Figura 1. Frecuencia de partículas

Resultados del análisis químico del material

El contenido de carbonato en el material es fundamental para garantizar una adecuada neutralización del ácido libre en exceso, por lo que la exigencia requerida es que este sea mayor del 80 %. En la tabla 2 se relacionan los porcentajes de carbonato en las distintas clases de tamaño, observándose que el contenido de este es mayor del requerido en todos los casos excepto para las clases $-0,83+0,3\text{mm}$ y $-0,30+0,15\text{mm}$ en las cuales el valor obtenido fue de un 64,14 % y 77,76 % respectivamente. Sin embargo en la pulpa que se alimenta al proceso, la media del porcentaje de carbonato es de un 78,24 %, valor por debajo del demandado, mientras que en el material que es rechazado durante la clasificación granulométrica ($+0,83\text{mm}$) y que es acumulado actualmente en depósitos, se encuentran los mayores porcentajes de carbonatos superior en todos los casos al 83 %, llegando a alcanzar para la clase $-1,98+1,4\text{mm}$ el valor máximo de 87,02 %, el valor medio para estas fracciones es de un 85,40 %.

Tabla 2
Contenido de carbonato en el material

Clases de Tamaño (mm)	Contenido de carbonato (%)
+1,98	85,27
-1,98+1,4	87,02
-1,4+1	83,27
-1+0,83	86,02
-0,83+0,30	64,14
-0,30+0,15	77,76
-0,15+0,075	81,52
-0,075+0,045	85,02
-0,045	82,78

Características granulométricas del cieno carbonatado

Las curvas de las características granulométricas del cieno carbonatado (figura 2) fueron confeccionadas a partir de los resultados evidenciados en la tabla 1, que relaciona los porcentajes acumulativos del material cernido y retenido para los diferentes juegos de tamices empleados en el análisis.

Las curvas características “por más” (retenido) y “por menos” (cernido) se reflejan una a la otra como un espejo confirmando que se cruzan en el punto donde corresponde la salida igual al 50 %. La curva correspondiente al retenido es cóncava, indicando que en el material prevalecen granos finos, hecho en correspondencia con los resultados del análisis granulométrico por vía seca y el analizador HORIBA.

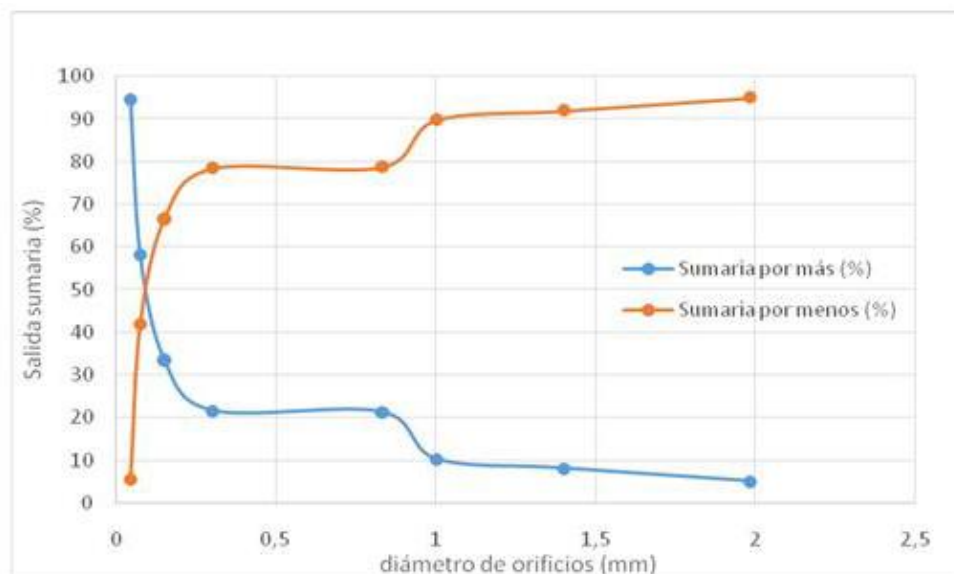


Figura 2. Curva característica de grosor del cieno carbonatado

En la figura 3 se muestra la curva logarítmica sumaria por menos, los datos lograron el mejor ajuste mediante una línea de tendencia polinómica de grado cuatro, alcanzándose un coeficiente de regresión de 0,993. La misma permite estimar el número de granos más finos que el tamaño de los orificios de la criba para cualquier clase comprendida en el rango estudiado.

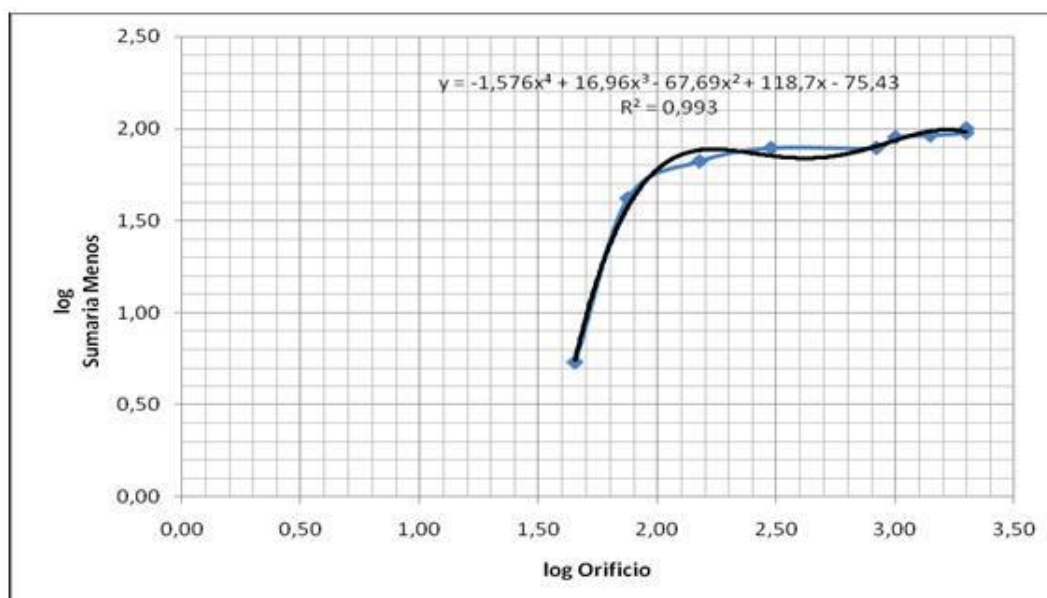


Figura 3. Curva logarítmica de la característica sumaria “por menos”

Análisis de los granos fáciles, difíciles y entorpecedores en el proceso

A partir de la ecuación polinómica que describe la característica logarítmica sumaria por menos se determinaron los porcentajes de los granos fáciles, difíciles y entorpecedores en el proceso de cribado del cieno carbonatado para la malla de clasificación del producto final. Estos resultados se recogen en la tabla 3 observándose que el material es de cribado fácil pues el 78,40 % de los granos son menores de 0,62 mm, dimensión correspondiente a tres cuartos de los agujeros del tamiz empleado (0,83 mm), el 0,29 % son difíciles pues su tamaño es mayor de tres cuartos y menor que el diámetro del tamiz, localizándose en la clase de tamaño de $-0,83+0,62$ mm y solamente el 1,90 % dificultan el proceso pues su dimensión es mayor en menos de uno y media veces que el diámetro del tamiz (clase de tamaño $-1,83+1,33$ mm); en este caso no se cumple la condición de balance (suma de las clases 100 %) pues en la determinación de los granos fáciles, difíciles y entorpecedores según la definición obtenida de la literatura [1] no se recogen todas las clases de tamaño existentes, en este caso las correspondientes a las partículas comprendidas en los rangos $+1,33$ mm y $-1,83+0,83$ mm.

Tabla 3
Granos fáciles, difíciles y entorpecedores

Granos	Clase de tamaño (mm)	Por ciento de granos en el material (%)
Fáciles	- 0,62	78,40
Difíciles	-0,83 + 0,62	0,29
Entorpecedores	-1,83 + 1,33	1,90

A partir de los resultados obtenidos es posible establecer que esta variable no influye negativamente en el actual comportamiento de la eficiencia de cribado del cieno carbonatado.

Análisis estadístico de la eficiencia de cribado

La eficiencia de cribado del cieno carbonatado es determinada en la planta industrial a partir del flujo de pulpa de coral alimentado al proceso, el rechazo obtenido y la fracción -0,83 mm contenida tanto en el rechazo como en el material inicial a partir de la siguiente expresión:

$$E_{cribado} = 100 - \left[\frac{R \cdot \nu}{\alpha} \right] \dots\dots\dots (4)$$

donde

$E_{cribado}$: eficiencia de cribado, %

R: por ciento de rechazo, %

ν : fracción de tamaño menor de 0,83 mm contenida en el rechazo, %

α : fracción de tamaño menor de 0,83 mm contenida en el alimentado, %

El análisis estadístico del comportamiento de la eficiencia de cribado durante el 2013 reveló a partir de los datos procesados (47 en total pues no es determinada periódicamente) provienen de una distribución normal al localizarse el sesgo y la curtosis estandarizada en el rango de -2 a 2, pudiéndose afirmar que el valor más probable de la eficiencia es de un 79,658 %. En la tabla 4 se relacionan los valores de eficiencia alcanzados durante este período y en la tabla 5 los principales estadígrafos que posibilitan la caracterización de los datos.

También se relacionan otras medidas de tendencia central como la mediana cuyo valor es 81,222 y se encuentra bastante próximo al promedio estimado. Es necesario destacar que no existe moda pues ningún valor se repite y que las medidas de variabilidad son elevadas, siendo la desviación estándar de 10,49 lo que refleja que el proceso no es estable y que los valores de eficiencia obtenidos están bastante dispersados. Esta situación es posible reflejarla a través de las gráficos 1 y 2 que muestran el diagrama de dispersión y el de secuencias cronológicas del proceso.

Tabla 4
Eficiencia de cribado durante el 2013

Fecha	Eficiencia de cribado (%)	Fecha	Eficiencia de cribado (%)
14/02/2013	95,70	24/07/2013	84,05
19/02/2013	95,65	28/07/2013	74,42
23/02/2013	94,52	08/08/2013	91,56
05/03/2013	56,10	12/08/2013	81,22
13/03/2013	60,84	27/08/2013	73,72
25/03/2013	70,92	02/09/2013	83,43
28/03/2013	74,06	05/09/2013	77,93
01/04/2013	65,26	18/09/2013	80,66
09/04/2013	91,55	24/09/2013	79,35
11/04/2013	72,08	09/10/2013	56,06
20/04/2013	84,42	14/10/2013	79,01
08/05/2013	92,56	23/10/2013	78,83
09/05/2013	84,20	28/10/2013	73,10
16/05/2013	67,89	06/11/2013	70,87
23/05/2013	94,15	12/11/2013	85,99
30/05/2013	87,27	21/11/2013	87,36
09/06/2013	91,17	29/11/2013	81,33
11/06/2013	73,32	12/12/2013	84,00
20/06/2013	93,73	13/12/2013	85,14
27/06/2013	64,47	19/12/2013	84,99
01/07/2013	84,07	24/12/2013	81,13
08/07/2013	75,48	27/12/2013	84,61
17/07/2013	74,01	29/12/2013	83,86
23/07/2013	57,92		

Tabla 5
Resumen estadístico de la eficiencia de cribado para el 2013

Recuento	47	Cuartil inferior	73,318
Promedio	79,658	Cuartil superior	85,987
Mediana	81,222	Sesgo estandarizado	-1,532
Moda	-----	Curtosis estandarizada	-0,286
Varianza	110,05	Mínimo	56,062
Desviación estándar	10,490	Máximo	95,702
Coeficiente de variación	13,17%	Rango	39,64

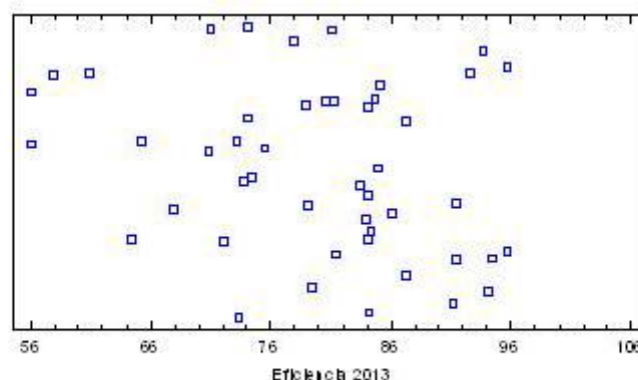


Gráfico 1. Dispersión de los datos de la eficiencia de cribado

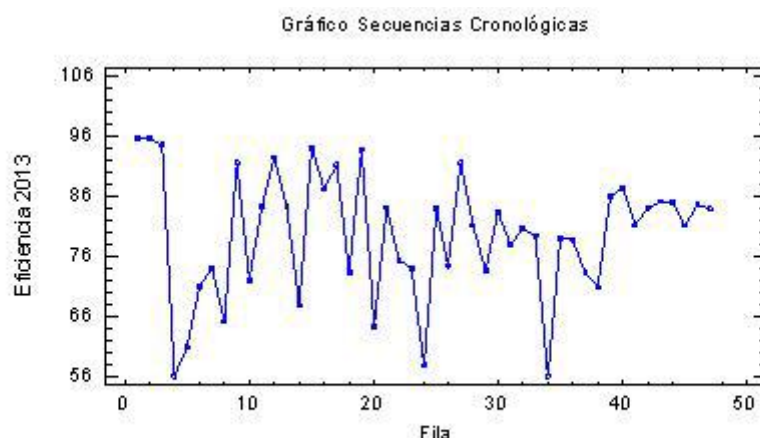


Gráfico 2. Secuencias cronológicas de la eficiencia de cribado

Área de cribado necesaria para los actuales regímenes de operación

El área necesaria para el cribado del material se determinó para los regímenes de operación mínimo, medio y máximo de la planta, los cuáles son 108, 126 y 180 T/h respectivamente, teniendo en cuenta además que la eficiencia del tamiz superior es de un 85%.

El área de cribado actual, determinada a partir de la expresión 3 es de $7,05\text{m}^2$, el rendimiento medio en 1m^2 de superficie para el tamiz inferior obtenido de la literatura [1] es de $3,5\text{ m}^3/\text{h}$, mientras que la densidad del material es de $1,3\text{ T/m}^3$. Los coeficientes de corrección [1] se muestran en la tabla 6 y el área de cribado necesaria en la tabla 7.

Tabla 6
Coeficientes de corrección

Coeficientes	k	l	m	n	o	p
Valores	1,80	0,97	1	1	0,75	1,25

Tabla 7
 Área de cribado necesaria para los diferentes regímenes de operación

Productividad (T/h)	108	126	180
Área de cribado (m ²)	13,54	15,80	22,57

Se evidencia que en cualquier régimen que se encuentre operando la planta el área de cribado está subdimensionada, necesitándose prácticamente el doble o más de la actualmente instalada, esta situación influye negativamente en la eficiencia de proceso, la calidad de la operación y origina un sobre explotamiento del equipamiento provocando pérdidas de material y sobrecarga de los paños de la zaranda de clasificación del producto final.

CONCLUSIONES

1. El cieno carbonato está conformado principalmente por partículas menores de 0,3 mm cuyo porcentaje en peso de la muestra es del 78,39 %, en las cuales el contenido de carbonato es mayor del 80% excepto para las clases -0,83+0,3 mm y -0,3+0,15 mm.
2. El 78,40 % del material es de cribado fácil, el 0,29 % son difíciles y solamente el 1,90 % dificultan el proceso, por lo que esta variable no influye negativamente en el actual comportamiento de la eficiencia de cribado del cieno carbonatado.
3. Las medidas de variabilidad en la eficiencia de cribado del material durante el 2013 son elevadas, siendo la desviación estándar de 10,49 lo que refleja que el proceso no es estable y que los valores de eficiencia obtenidos están bastante dispersados.
4. En cualquier régimen en que se encuentre operando la planta el área de cribado está subdimensionada, requiriéndose valores de 22,57 m² para los máximos regímenes de operación.

NOMENCLATURA

B: ancho de la caja
c1: concentración del ácido clorhídrico
c2: concentración del hidróxido de sodio
F: área activa del tamiz
V1: volumen de ácido clorhídrico
V2: volumen de hidróxido de sodio
K, l, m, n, o, p: coeficientes de corrección
L: largo de la caja
m: masa de la porción de ensayo
q: rendimiento medio en 1m² de la superficie del tamiz
p: densidad del material
K, l, m, n, o, p: coeficientes de corrección

BIBLIOGRAFIA

1. ANDRÉIEV S. E., PEROV V. A., ZVERIEVICH V. V. "Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales". Editorial Pueblo y Educación. 1 edición cubana, p 320. 1987.
2. BREFF A. A. "Propuesta tecnológica para lograr el máximo aprovechamiento de los cienos carbonatados en la empresa Comandante Pedro Sotto Alba". Tesis presentada en opción al grado científico de máster en Ingeniería de Procesos Químicos. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, 2014.
3. GÓNGORA F. N. "Evaluación del trabajo de un hidrociclón para la clasificación de la pulpa de cienos carbonatados". Trabajo de diploma. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, 2013.
4. RAMÍREZ J. Y. "Disminución del contenido de arena de la pulpa de cieno carbonatado mediante la técnica de hidrociclones". Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa, 2012.
5. SUÁREZ J.E. "Cinética de la molienda del rechazo del Cieno Carbonatado de la Empresa Pedro Sotto Alba". Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa, 2010.
6. TAMAYO J.L. "Determinación del índice de Bond para el cieno carbonatado de Cayo Moa". Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa, 2012.
7. Pedro Sotto Alba, Moa Nickel S. A. Laboratorio Analítico. "Pulpas de coral y yeso. Carbonato de calcio. Determinación por el método volumétrico." Norma NEIB 01-16-07, 2011.

Recibido: Septiembre 2015

Aprobado: Diciembre 2015

Ing. Mónica Hernández Rodríguez¹. Instituto Superior Metalúrgico Antonio Nuñez Jiménez. mhernandezr@ismm.edu.cu