



Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Dr. "Antonio Núñez Jiménez"
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia - Química

PARÁMETROS TECNOLÓGICOS DE LA PLANTA DE PREPARACIÓN MINERAL DE CIENO CARBONATADO

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero en Metalurgia y Materiales

Francisco Luis Peña Betancourt

Moa

2014



Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Dr. "Antonio Núñez Jiménez"
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia - Química

PARÁMETROS TECNOLÓGICOS DE LA PLANTA DE PREPARACIÓN MINERAL DE CIENO CARBONATADO

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero en Metalurgia y Materiales

Autor: Francisco Luis Peña Betancourt

Tutores: Ing. Mónica Hernández Rodríguez

Ing. Luis Enrique González Driggs

Moa

2014

PENSAMIENTO

Pensamiento

El Hombre Bueno Siempre es Dichoso.

José Julián Martí Pérez

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos

Agradecimiento, más que una palabra, es el acto humano de eterno reconocimiento, a quienes con sus modestos aportes me han permitido ganar un peldaño más en la escala de la vida.

A mis tutores que me han ayudado incondicionalmente, Mónica Hernández Rodríguez y a Luis Enrique González Driggs, para realizar este trabajo de diploma.

- ❖ *A PADRE, amigo, hermano, ejemplo y compañero de equipo por haber estado siempre en su pensamiento y el en el mío, por haberme dado el apoyo incondicional y por darme la familia tan hermosa que tengo.*
- ❖ *A mi MADRE por estar siempre mi lado y apoyarme en todo.*
- ❖ *A mi hermano Anthony Ganesh Persaud, por estar siempre a mi lado.*
- ❖ *Al profesor Julio Ramos Ruiz por ayudarme cuando todas las puertas se me cerraron, y mucha gente me dio la espalda.*
- ❖ *A mis amigos Richelmy Mora Rodríguez, Daniel Aguilar Fong, Osmar Reyes, Yannelis Favier, Héctor Esparraguera, Redel Aguilar, Esbiel Velázquez, Alexis Gómez, Emilio García y Lilianne Mateo por amistad incondicional.*
- ❖ *A todos mis amigos del ISMMM por su transparente amistad.*
- ❖ *A las familias Díaz Matos y Regalado Martínez por darme tan buenos momentos, y a pesar de todo apoyarme.*
- ❖ *A mis hermanos, que siempre ha estado pendiente de mí y su gran ayuda.*
- ❖ *A mis cuñados.*
- ❖ *Al departamento de Metalurgia – Química por formarme profesionalmente.*

“A cada uno de ustedes vaya mi más sincero agradecimiento”

DEDICATORIA

Dedicatoria

A mi Padre,

A mi Madre,

A las personas que realmente me quieren y me estiman,

*A la memoria de mis tíos que no están conmigo físicamente Rosa Cristina
Betancourt Ortiz, Héctor Valentín Peña Peña por transmitir y significar, amor y
fortaleza de espíritu.*

RESUMEN

RESUMEN

En la presente investigación se realiza una evaluación tecnológica del proceso de beneficios de cienos carbonatados para lo cual primeramente se realizó una caracterización química y granulométrica del material determinándose que el cieno carbonatado está constituido fundamentalmente por partículas menores de 0,3 mm cuyo porcentaje representa 78,39% en el peso de la muestra, en las cuales el contenido de carbonato de calcio es superior al 80% excepto para las clases 0,83 + 0,30 y -0,30 + 0,15, en las cuales el valor obtenido es un 64,14 y 77,76% respectivamente. Para estas determinaciones se emplearon los siguientes métodos de análisis: tamizado por vía seca, HORIBA y análisis volumétrico por neutralización. Se efectuó un análisis estadístico de la eficiencia de la planta durante el 2013 que reveló medidas de variabilidad elevadas siendo la desviación estándar de un 10,4905, lo que refleja que el proceso no está operando bajo control, mientras que para las capacidades de producción actual, los parámetros tecnológicos requeridos por el proceso son: áreas de cribado entre 21,25 y 22,57 m², tiempos de retención en la lavadora de paletas entre 4 y 6 min y relación líquido – sólido entre 9 y 5 ton_{agua}/ton_{Sól} en el proceso para asegurar una pulpa entre un 10 y un 18 % de sólidos.

Palabras clave: cribado, parámetros tecnológicos, cieno carbonatado.

ABSTRAC

ABSTRAC

In the present investigation, a technological evaluation was carried out on the beneficial processes of carbonated silts that which initially carried out a chemical and grain characterization of the material. Its determined that the carbonated silt is constituted fundamentally by particles with less than 0,3 mm whose percent represent 78.39 % of the total weight of the sample, of which the content of calcium carbonate is greater than 80 % except for the classes 0,83+0,3 and -0,3+0,15 in which the obtained value is 64,14 and 77,76 % respectively. For determining these, the following analysis methods were applied: dry sieving, HORIBA and volumetric analysis by neutralization. A statistical analysis on the plant efficiency was carried out during 2013 that elevated variability measures being the standard deviation of 10,4905, which reflects that the process is not operating under control. While for the actual production capacity, the required technological parameters by the process are sieving area between 12,75 and 22,57 m², retention time in the washing palettes between 4 and 6 minutes and solid-liquid between 9 and 5 ton_{agua}/ton_{Sól} in the process to assure a mixture of 10 to 18 % of solids.

Key words: Sieving, technological parameters, silted carbonate.

ÍNDICE

Índice

Introducción.....	2
1 Marco teórico conceptual y estado del arte	6
1.1 Antecedentes de la investigación	6
1.2 Ubicación y caracterización del área del yacimiento	10
1.3 Descripción del flujo tecnológico	12
1.3.1 Planta de Coral	12
1.3.2 Características de los equipos principales	14
1.4 Procesos de trituración y molienda	15
Conclusiones parciales	17
2. Materiales y métodos	18
2.1 Toma y preparación de muestras.....	18
2.2 Caracterización de la muestra.....	18
2.2.1 Determinación del por ciento de sólidos y humedad de la pulpa	19
2.2.1.1 Determinación del por ciento de sólido	19
2.2.2 Análisis granulométrico.....	20
2.2.2.2 Procedimiento HORIBA	20
2.2.3 Determinación del contenido de carbonato por clases de tamaño	21
2.3 Características del grosor de la pulpa de cienos carbonatados	22
2.3.1 Ecuación según las características del grosor	24
2.4 Granos fáciles, difíciles y entorpecedores en el proceso de cribado.....	24
2.5 Análisis estadístico de la eficiencia	25
2.6 Determinación de los parámetros tecnológicos del proceso	25

2.7 Otros parámetros tecnológicos.....	29
Conclusiones Parciales	30
3 Análisis de los resultados.....	31
3.1 Resultado del porcentaje de sólido y la humedad	31
3.2 Resultados del análisis granulométrico	31
3.2.1 Resultados del análisis granulométrico por vía seca	31
3.2.2 Resultado del analizador HORIBA.....	32
3.2.3 Resultado del contenido de carbonato de calcio	33
3.3 Características de grosor	35
3.4 Determinación de granos fáciles, difíciles y entorpecedores	37
3.5 Análisis estadístico de la eficiencia.	38
3.6 Parámetros tecnológicos del proceso para el régimen de producción actual....	43
3.6.1Cálculo del área de trabajo del tamiz.....	43
3.6.2 Determinación de la relación líquido sólido.....	44
3.6.3 Determinación del tiempo de retención en la lavadora de paletas.....	45
3.7 Valoración económica y ambiental.....	46
Conclusiones parciales	47
Conclusiones.....	48
Recomendaciones.....	49
Bibliografía	50
Anexos	53

Introducción

El níquel a partir de la década de los 90 se convierte en uno de los principales rubros de exportación, representado por la Industria Cubana del Níquel con más de 60 años de creada, la cual se encuentra enfrascada en un proceso de ampliación de sus capacidades y modernización de su tecnología, lo que permitirá incrementar su aporte a la economía nacional.

En la resolución económica del V Congreso del Partido Comunista de Cuba (1997) se plantea que para la recuperación y desarrollo de la economía cubana es necesario intensificar el desarrollo de la Industria Minero Metalúrgica. Para lograr esto se requiere que paralelamente al crecimiento progresivo de la producción se perfeccionen los parámetros y regímenes de trabajo de las instalaciones y el equipamiento tecnológico, para explotar de una forma más racional y eficiente las grandes reservas de recursos minerales existentes en los yacimientos niquelíferos de la región oriental de Cuba.

En la actualidad, Cuba representa el cuarto lugar en la exportación de níquel superado por países desarrollados como Canadá, Nueva Zelanda y Estados Unidos.

Los yacimientos lateríticos constituyen la materia prima para su obtención y aunque en nuestro país se concentran reservas importantes, las producciones mundiales de estos elementos nos obligan a incrementar el control del proceso metalúrgico para poder competir en el mercado internacional con productos de alta calidad.

Existen actualmente en nuestro país dos fábricas niquelíferas, la empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”, la cual produce sulfuros de níquel y cobalto y la entidad “Ernesto Che Guevara”, que obtiene como producto final principal sínter de níquel.

La empresa mixta cubana -canadiense, “Comandante Pedro Sotto Alba”, Moa Nickel S.A, líder en cuanto a su rendimiento en el mundo, utiliza un proceso hidrometalúrgico, mediante la tecnología de lixiviación ácida a presión, 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 esta alcance el pH óptimo que garantice una adecuada precipitación de sulfuros de níquel y cobalto.

Esta es la única planta en el mundo de tecnología ácida que utiliza este material en el proceso de neutralización, ya que el resto de las plantas, como es el caso de Murrin – Murrin, Cawse y Bulong utilizan calizas beneficiadas más un producto llamado calcreta resultado de la molienda de restos fósiles recientes.

El cieno carbonatado es extraído de una de las minas más grandes del mundo, situada al oeste de cayo grande de Moa, el cual es sometido a un proceso de beneficio, en la planta de preparación de pulpa de coral en la zona portuaria, 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 el porcentaje de sólidos en la pulpa enviada al proceso de neutralización.

Representa un objetivo esencial que el beneficio de este material se realice de forma eficaz y eficiente no solo por las implicaciones económicas directas en el proceso como el consumo energético y de recursos humanos para su procesamiento, sino también por los daños ecológicos causados por su extracción como la destrucción de los arrecifes coralinos.

Sin embargo actualmente la eficiencia de esta planta 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 incrementado las producciones de sulfuros de níquel y cobalto ocasionando que también se eleve el consumo de pulpa de cieno carbonatado para el proceso, ocasionando una mayor explotación de esta planta. A la par de esto también se han introducido variaciones tecnológicas sin realizarse un estudio profundo de las mismas y se han presentado algunos problemas tecnológicos como sobrecarga del paño inferior de la zaranda de clasificación del producto final.

Esta **situación problemática** origina como **problema científico**:

La no existencia de una evaluación tecnológica de la planta de beneficio de cienos carbonatados para los regímenes de producción actuales de la empresa Comandante Pedro Soto Alba, que permita reevaluar los parámetros tecnológicos del proceso.

Objeto de estudio:

Planta de beneficio de cienos carbonatados.

Campo de acción:

Parámetros tecnológicos de la planta de beneficio de cienos carbonatados.

Objetivo general:

Determinar los parámetros tecnológicos de la planta de beneficio de cienos carbonatados para las actuales capacidades de producción de la empresa Comandante Pedro Soto Alba.

Objetivos específicos:

- 1 Caracterizar granulométrica y químicamente la pulpa de cieno carbonatado.
- 2 Determinar los parámetros tecnológicos de la planta de beneficio de cienos carbonatados para las actuales capacidades de producción de la empresa Comandante Pedro Soto Alba.

Hipótesis:

Si se realiza una evaluación tecnológica de la planta de beneficios de cienos carbonatados, se podrán establecer los parámetros tecnológicos para las actuales capacidades de producción de la empresa Comandante Pedro Soto Alba.

Tareas:

1. Definición de los antecedentes de la investigación.
2. Caracterización granulométrica y química del cieno carbonatado.
3. Determinación de las características de grosor del material.
4. Análisis estadístico de la eficiencia de la planta para el año 2013.
5. Evaluación tecnológica del proceso.
6. Determinación de los parámetros tecnológicos para las actuales capacidades de producción.

1 Marco teórico conceptual y estado del arte

A continuación se expone un análisis de los distintos aspectos relacionados con el proceso de beneficios de cienos carbonatados, con la finalidad de disponer de los elementos básicos y de las tendencias actuales que resulten esenciales para el desarrollo de la investigación.

1.1 Antecedentes de la investigación

El antecedente más lejano acerca de este yacimiento se remonta a la década del 50, con el proceso de dragado por parte de los norteamericanos; la información al respecto debió atesorarse en los archivos del entonces servicio geológico norteamericano, donde es obvio que se debió haber realizado una valoración geólogo – económica que permitiera tomar la decisión de crear y emplazar una tecnología de tal magnitud y complejidad, (hasta décadas recientes única en su tipo en el mundo) y que hasta la actualidad se haya sostenido una explotación continuada del yacimiento de cienos carbonatados.

Los primeros estudios de los que hay referencia, se remontan a Correa, 1957 quien realizó un estudio sobre extracciones experimentales de fangos carbonatados al Oeste de Cayo Moa Grande, para la evaluación y uso posterior del mismo.

En la década de los 60 se inicia la extracción de los cienos carbonatados (denominados en esa época “coral” o “fangos coralinos”). En 1964 el Centro Coordinador para el Desarrollo del Norte de Oriente, solicitó al I.C.R.M. (Instituto Cubano de Recursos Minerales) la realización de estudios de localización y ubicación de las reservas de “coral”, para después tomar decisiones respecto a la tecnología a adoptar en el proceso de refinación del níquel.

Posteriormente Nedved, 1966 presentó el informe final de los trabajos de búsquedas de fangos coralinos, donde se tomaron diferentes muestras evaluándose en las mismas el contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) y granulométricamente por las mallas 20, 48, 100, 200 mesh.

Se reportan en la literatura (Castillo, 1988) problemas con la extracción y utilización de la materia prima, recomendando el empleo de la fracción gruesa (fracción retenida en

la malla de 20 mesh) constituidos por conchas de moluscos, algas calcáreas y restos de corales teniendo en cuenta su perspectivas por contenidos de carbonato de calcio.

En los trabajos realizados por Nápoles, 1992 se evaluó la materia prima para contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) y granulométricamente en las clases de tamaño +20, -20 +100, -100 +325 y -325 mesh y se calcularon las reservas del material en categoría industrial.

La principal deficiencia en la ejecución de estos trabajos radica en que no se contó con los recursos técnicos analíticos y de posicionamiento adecuados, que garantizarán el desarrollo confiable de las labores de extracción y de los trabajos realizados en correspondencia con la exigencia de las escalas de los mismos.

Con posteridad especialistas de CEPRONIQUEL, 1997 recalcularon las reservas del material carbonatado sobre la base de la información de GEOMAR, 1992 obteniendo reservas muy inferiores a las reportadas por esta última.

En trabajos realizados por Campos, 2001 se refleja el carácter terrígeno de los sedimentos que conforman el depósito, además de la composición química y mineralógica donde se establece la exclusión de los sedimentos terrígenos los cuales proceden de la formación de las rocas de la asociación ofiolítica y de la corteza de interperismos laterítico vinculados a la misma.

Años después Caballero, 2008 realizó un estudio sobre la caracterización de las pulpas de cieno carbonatado para su perfeccionamiento en el hidrotransporte, con el objetivo de describir el comportamiento reológico de las muestras tomadas y el modelo matemático que lo describe, se comprueba que el parámetro que más influencia presenta sobre el comportamiento reológico es el porcentaje de sólido, no siendo así para la temperatura y el pH en los rangos estudiados. Se realiza un análisis granulométrico de las pulpas obteniéndose un predominio mayoritario de las partículas finas inferiores a 0,046 mm siendo el 70% en peso de las muestras de las cuales el 50% corresponden a partículas de 0,038 mm, para lo cual se determinó un modelo de distribución diferencial másica tomando como propiedad de separación el tamaño de partícula.

También se comprobó que las pulpas de cieno carbonatado poseen un comportamiento pseudoplástico para un por ciento de sólidos de un 38 %, sin embargo para valores entre 41 y 45 % se ajustan a un plástico de Bingham. Pero es necesario definir el comportamiento reológico del material para otros por ciento de sólidos superiores con el objetivo de establecer los límites de dicho comportamiento y realizar estudios sobre la adición del floculante en las propiedades superficiales de las partículas de cienos carbonatados y su influencia en la reología del sistema.

También Jiménez, 2010 caracterizó esta pulpa y evaluó la instalación existente para su transferencia hasta la planta de neutralización. En la caracterización que realizó se demostró que más del 70% de las partículas son inferiores a 0,044 mm y que el comportamiento reológico de la pulpa se corresponde con el de flujo plástico de Bingham.

Posteriormente Suárez, 2010 realizó un estudio cinético de la molienda del rechazo del cieno carbonatado, para llevar a cabo este estudio se realizaron diferentes pruebas, tanto análisis granulométrico como químico con el objetivo de determinar si podría ser utilizado en el proceso.

Para realizar el estudio cinético se establece un sistema de molienda mediante un molino de bolas por vía seca, que permita establecer el tiempo de molienda en que las partículas de clase de tamaño 0,83 mm alcanzan más del 80%. Los tiempos de moliendas establecidos son 5, 10, 15, 20, 25 y 30 minutos. La caracterización del material de rechazo se realizó a través de un análisis químico para los tiempos de molienda 25 y 30 minutos obteniendo un predominio del elemento calcio y un elevado valor del carbonato de calcio contenido en dicho material.

En ese mismo año Tamayo, 2010 trabajó en la determinación del índice de Bond para el cieno carbonatado de Cayo Moa con el fin de resolver una de las problemáticas existente en la planta de coral del Puerto de Moa la cual es el no aprovechamiento de las fracciones gruesas (rechazo) de este material. La investigación se realizó en el laboratorio de beneficio de minerales del Instituto Superior Minero Metalúrgico, el cual no posee instalaciones para estos fines, por lo que fue necesario utilizar un molino de bola de 185 mm de diámetro y 240 mm longitud. En este se determinó el consumo específico de energía a escala de laboratorio para la clase menor de 6,3 mm mediante

el ensayo de Bond, determinándose que el índice operacional para el material es de 14,74kWh/t.

Pérez et. al., 2010 estudiaron muestras de laterita ferruginosa, cieno carbonatado, yeso y sulfuro de níquel y cobalto, asociadas al proceso de lixiviación ácida a presión para la extracción de sulfuros de Ni y Co, con el propósito de caracterizarlas mineralógica y reológicamente. Se emplearon técnicas de difracción de rayos-X, análisis térmico diferencial, espectroscopía infrarrojo y fluorescencia de rayos-X. Los resultados evidenciaron que la laterita es una mezcla de minerales de hierro, donde la goethita es la fase mineralógica principal, con maghemita, hematita, gibbsita y serpentina como secundarias. El cieno es carbonatado, en forma de calcita y aragonito; el material de yeso se identifica como bassanita y el sulfuro de níquel y cobalto está constituido básicamente por millerita. La laterita, el cieno y el yeso están formados fundamentalmente por partículas finas (menores de 0,045 mm), lo que explica sus comportamientos reológicos, ajustables al modelo de Bulkley – Herschel. Por el contrario, el sulfuro de níquel y cobalto tiene una distribución de tamaño próxima a un material monodisperso, ajustándose bien al modelo de Newton. El modelo de Pérez describe adecuadamente la distribución de tamaño acumulativa de las partículas las lateritas, del cieno carbonatado y del yeso.

Ramírez, 2012 estudia la obtención de una pulpa de cienos carbonatados con no más de un 14% de la fracción de +0,15mm, sin afectar el contenido de sólidos que se alimenta al primer sedimentador mediante la técnica de hidrociclones. Se realizaron corridas a nivel de laboratorio para determinar la influencia del contenido de sólidos y de la presión de bombeo, determinándose que el contenido de sólidos en el rango estudiado no es un parámetro influyente en el proceso. También se comprobó que con una presión de alimentación de 0,68 atm se obtiene en el reboso del hidrociclón una pulpa con las especificaciones requeridas del proceso industrial. Sin embargo es necesario realizar un mayor número de corridas y a otras escalas, realizando una valoración económica más profunda para su introducción en el proceso industrial.

Góngora, 2013 analizó la inclusión de un hidrociclón en el esquema tecnológico actual de la planta de beneficios de cienos carbonatados, cuyo objetivo fue determinar experimentalmente el nivel de eficiencia de separación de las arenas que se puede

lograr mediante esta técnica. Se realizó una evaluación a escala piloto del trabajo del equipo en la clasificación de las partículas más gruesas presentes en la pulpa de cienos carbonatados (- 0,84+ 0,15 mm).

Toirac, 2013 realizó una investigación donde propone un diseño preliminar de un sistema de recuperación y aprovechamiento de los cienos carbonatados que forma parte del material de rechazo y el material almacenado en los diferentes depósitos, con el objetivo de aprovechar el 100% de cieno carbonatado, se basó en una búsqueda bibliográfica de los diferentes esquemas de trituración y molienda. También se relacionaron las propiedades físicas – mecánica y química de los mismos, además se determinaron los parámetros de reducción de tamaño del rechazo provenientes del fondo marino y almacenados en los diferentes depósitos. Se realizó una valoración económica de la variante propuesta, la cual mostró índice de rentabilidad positivos, además del impacto ambiental que se logrará incrementar la vida útil en la minería de los cienos carbonatados.

Al año siguiente Breff, 2014 trabajó se estudió la inclusión de un circuito de clasificación (hidrociclón) y una unidad de molienda en el esquema tecnológico de la planta de beneficios de cienos carbonatados. Este esquema permitirá recuperar el 100 % de los cienos carbonatados minados y alimentará una pulpa con las especificaciones requeridas a la planta de neutralización.

1.2 Ubicación y caracterización del área del yacimiento

En la bahía de Cayo Moa se localiza el depósito de cienos carbonatados, que se explota para ser utilizado en el proceso industrial de la empresa antes mencionada, en la neutralización de las soluciones ácidas obtenidas en el proceso de lixiviación. El área de la concesión minera de la Moa Nickel S.A (MNSA) abarca una extensión de 8,05 km², y comprende la franja costera, desde punta Cabagán por el Oeste, hasta las proximidades del canal del puerto de Moa por el Este y desde la línea de la costa de la región emergida adyacente por el sur; hasta las cercanías a cayo Moa por el Norte, localizándose entre los vértices de coordenadas Lambert y geográficas.



Figura 1.2.1. Ubicación del yacimiento.

La bahía de Cayo Moa constituye una amplia zona marítima situada en la región oriental de la costa norte de la Isla de Cuba, limitada al norte por una barra de arrecifes que bordea un amplio bajo a menos de 2 m de profundidad, donde se encuentra enclavado Cayo Moa. La entrada a la bahía de Cayo Moa se realiza por quebrados que cortan los arrecifes. El del este, de mayor profundidad se asocia al canal principal, que da acceso a los buques de gran porte que atracan en el puerto de Moa; el canal del oeste, de poca profundidad, es accesible para embarcaciones menores con conocimiento de la zona.

El canal este es la principal vía de comunicación con la zona exterior. A través de él se incorporan a la bahía no sólo los flujos encargados de renovar las aguas de la bahía, sino también conecta con el exterior el grueso de las sustancias contaminantes y azolves que se descargan a través del río Moa (Suárez, 2010).

1.3 Descripción del flujo tecnológico

A continuación se presenta el flujo tecnológico de la planta de preparación de pulpa de coral, la cual se puede dividir en dos unidades, planta de beneficio del cieno carbonatado y planta de coral.

1.3.1 Planta de Coral

El objetivo de esta planta es formar una pulpa de cieno carbonatado con un por ciento de sólidos entre 40 y 45 % y para mantener un suministro estable a la planta de neutralización. En la tabla 1.3.1 se relacionan los requisitos que debe cumplir la pulpa de cienos carbonatados para que sea alimentada al proceso.

Tabla 1.3.1 Características de la pulpa de cieno carbonatado

Parámetros	Diseño
Densidad (kg/m ³)	1320 – 1340
% de Sólido	40 – 45
% de Arena	≤17
Cloruro (ppm)	500 – 600
Carbonato de calcio %	≥87
Composición granulométrica(-325 mesh) %	≤76
Ph	8 – 9

Los cienos carbonatados son minados por medio de dragas (grúas con jaibas) y se transporta en patanas hasta el área de la planta de beneficio (planta de coral), situada en un lugar aledaño al puerto de Moa. En las figuras 1.3.1 y 1.3.2 se muestran el esquema tecnológico de esta planta y una foto panorámica de la llamada torre de preparación, que incluye la criba fija, la lavadora de paletas y la zaranda de doble paño.

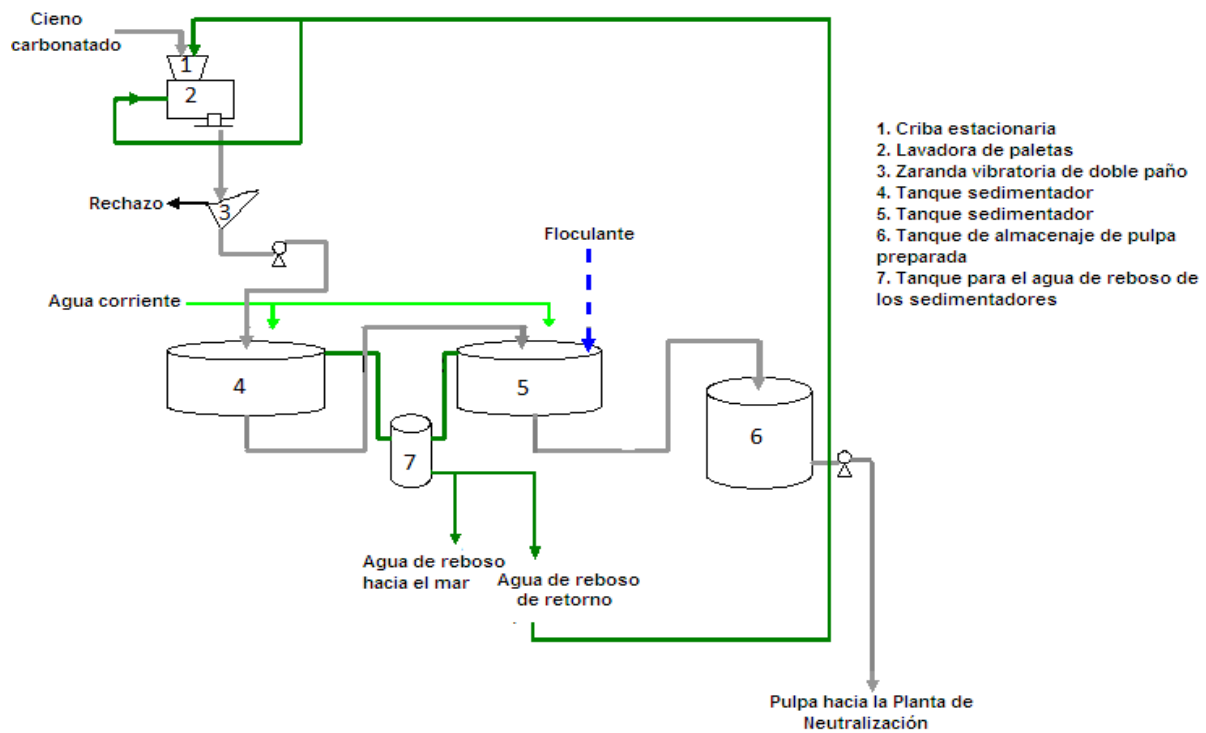


Figura.1.3.1. Esquema tecnológico de la Planta de Coral.



Figura 1.3.2. Vista panorámica de la Torre de Preparación

Cuando llegan las patanas al área de la planta, éstas descargan el material en un depósito destinado para este fin. Desde el mismo, por medio de grúas, el material es alimentado a una criba estacionaria, que posee raíles situados paralelamente a 152,4 mm de separación, donde se le inyecta agua de reboso procedente de los sedimentadores de pulpa de la propia planta.

Las partículas que pasan a través de los raíles caen por gravedad a una lavadora de paletas y, desde ésta, a una zaranda vibratoria de doble malla (la superior con orificios de 6,35 mm y la inferior de 0,83 mm). En esta zaranda se inyecta agua atomizada a una presión de 206,8 – 275,8 kPa, procedente también del reboso de los sedimentadores de la planta.

Las partículas que pasan por la malla de 0,83 mm forman la pulpa producto con aproximadamente 10 - 18% de sólidos, que cae en un pozo de almacenaje. Desde este pozo la pulpa se bombea al primer sedimentador, el cual también recibe agua corriente para el lavado de los cienos carbonatados.

Cuando la concentración de cloruros es inferior a 700 ppm (0,7 mg/L) la pulpa se transfiere al segundo sedimentador junto con otra inyección de agua cruda a contra corriente y una dosis de floculante. Aquí continúa el lavado y el espesamiento. Cuando la pulpa alcanza 40 - 45 % de sólidos, se transfiere a un tanque agitado más pequeño, desde donde se bombea a la planta de neutralización.

1.3.2 Características de los equipos principales

En el proceso del tratamiento del cieno carbonatado son utilizados dos equipos principales, una lavadora de paletas para la reducción del tamaño de las partículas, y posteriormente un zaranda de doble paño con el objetivo de clasificar el producto final.

Lavadora de paletas (264 - LW - 1)

Tiene la función de desbaratar las pelotas de cieno carbonatado y formar con el agua la pulpa de coral, esto se logra mediante dos ejes con paletas que al girar van transportando el coral hacia la descarga de la misma. La lavadora tiene 7,31m de largo por 2,43m de ancho, los ejes son movidos por un reductor acoplado a un motor a

través de poleas y correas, tiene una capacidad de 64,5 ton/h de cieno carbonatado seco, lográndose en la descarga una pulpa con 20% de sólido.

Zaranda (264 - SN - 1)

Tiene la función de tamizar una pulpa con 20% de sólido, para esto cuenta con dos mallas, una superior con una abertura de 6,35 mm y la inferior es de 0,83 mm, para el tamizado se utiliza agua a presión (206,82 – 275,76kPa) suministrada por spray, como resultado de la operación se obtiene una pulpa de coral entre 10 y 18% de sólido y un rechazo que constituye aproximadamente el 10% del coral seco procesado, la capacidad de este equipo es 64,5 ton/h de sólido seco.

1.4 Procesos de trituración y molienda

La trituración y la molienda son procesos de disminución de las dimensiones de los trozos (granos) de los minerales mediante la destrucción de los mismos por la acción de fuerzas exteriores que superan las fuerzas interiores de cohesión, las que unen entre si las partículas del cuerpo sólido. En esencia los procesos de trituración y la molienda no se diferencian, comúnmente se considera que de la trituración se obtiene un producto preferentemente grueso, y la molienda más fina de 5 mm. Para la trituración se emplean trituradoras y para la molienda molinos.

La trituración y la molienda en las fábricas de enriquecimiento sirven de operaciones preparatorias antes del enriquecimiento y tienen como destino la separación (apertura) de los granos de distintos minerales contenidos en las rocas, fuertemente entremezclados y químicamente afines. Cuanto más se abren (se liberan uno de otro) los minerales en la trituración y en la molienda, tanto más exitoso resultará el posterior enriquecimiento de los minerales.

A veces los minerales componedores de los trozos de roca poseen distintas propiedades físico-mecánicas. Después de la trituración o la molienda tales rocas quedan en condiciones especialmente dadas, unos minerales más duros y consistentes se presentarán en formas de trozos gruesos, otros frágiles y menos duros, en trozos de dimensión significativamente menor. La diseminación posterior del producto triturado permite separar unos minerales de otros, o sea, realizar un enriquecimiento más o

menos perfecto del mineral. La trituración o la molienda tienen en este caso el significado de una operación enriquecedora y se denomina trituración selectiva.

El grosor de los granos hasta el que hay que triturar o moler el material inicial antes del enriquecimiento, se establece por la dimensión de esparcimiento de los minerales y según el proceso adoptado para el enriquecimiento del mineral dado. Este grosor se determina por vía experimental.

Conclusiones parciales

- El mayor número de investigaciones relacionadas con el cieno carbonatado se enfoca en su caracterización, tanto granulométrica, química o reológica y en la recuperación del rechazo para su incorporación al proceso, coincidiendo en que la mayor parte de las partículas de la pulpa de este material está formada por partículas finas, menores de 0,045 mm.
- En los estudios realizados sobre los cienos carbonatados y sus pulpas no se han efectuado evaluaciones tecnológicas para las actuales condiciones de operación del proceso.

2. Materiales y métodos

Los conocimientos sobre las características granulométricas y químicas del cieno carbonatado para su utilización industrialmente en la empresa “Pedro Soto Alba”. Moa Nickel SA, contribuyen a la selección de métodos adecuados de evaluación y toma de decisiones en la solución de problemas asociados al aprovechamiento de dicho material.

Para el desarrollo de toda investigación se necesita de herramientas para poder arribar a buenos resultados. La correcta selección de los métodos y materiales empleados validan los resultados obtenidos, y es por eso que resulta indispensable una correcta toma de muestra, así como la aplicación de los métodos adecuados para la determinación de las propiedades granulométricas y químicas.

2.1 Toma y preparación de muestras

La toma de muestra para su caracterización posterior se realizó de forma puntal en día de operaciones normal de la planta en el cual se encontraba explotándose el sector minero central. Se escogió como punto de muestreo el material de salida de la lavadora de paletas que alimenta la zaranda de clasificación del producto final, para lo cual se empleó una bolsa de 30 litros de capacidad tomándose aproximadamente un litro de pulpa de cieno carbonatado.

2.2 Caracterización de la muestra

A continuación se presenta la metodología para la caracterización granulométrica y química de la muestra, para lo cual es necesario determinar también el por ciento de sólidos y de humedad de la misma, para la realización de estos análisis se utilizaron los siguientes equipos y materiales.

Equipos y materiales:

Recipiente metálico de 800 mL de capacidad.

Probeta graduada con capacidad para 500 mL.

Balanza con precisión de ± 0.1 g.

Estufa.

2.2.1 Determinación del por ciento de sólidos y humedad de la pulpa

2.2.1.1 Determinación del por ciento de sólido

Para la determinación del porcentaje de sólidos de la muestra y su humedad se siguieron los procedimientos que serán descritos a continuación.

El porcentaje de sólidos de la muestra se determinó por vía seca:

1. Se toma un beaker de 500 ml. donde se vierte 400 ml de la muestra.
2. Posteriormente se pesa la muestra.
3. Se pasa la muestra a través de la malla de 325 mesh.
4. Se le adiciona agua hasta que salga limpia.
5. Se transfiere a un platillo para ponerlo dentro de la estufa
6. Se pone a secar en la estufa a una temperatura de 80 ° C hasta alcanzar peso constante.

Al obtener la muestra seca, se procede a pesarla determinándose el porcentaje de sólido en la muestra, según la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Sólido} = \frac{m_{(\text{sólido seco})}}{m_{(\text{total})}} \quad (2.1)$$

Donde.

$m_{(\text{sólido seco})}$: masa de la muestra después de ser secada en la estufa, g.

$m_{(\text{total})}$: masa de la muestra antes de ser secada en la estufa, g.

Por tanto la humedad se determina por la siguiente ecuación.

$$\% \text{ humedad} = 100 - \% \text{ sólido} \quad (2.2)$$

2.2.2 Análisis granulométrico

El análisis granulométrico puede realizarse por tamizado (vía seca o húmeda), o por sedimentación cuando el tamaño de las partículas es muy pequeño. Si bien un análisis granulométrico es suficiente para minerales, cuando se trata de arcillas y limos, turbas y margas se debe completar el estudio con ensayos que definan la plasticidad del material.

2.2.2.1 Análisis granulométrico por vía seca

La caracterización granulométrica inicial del material se realizó mediante el análisis de tamices por vía seca, previamente seleccionado el juego de tamices mediante la serie de Taylor $\sqrt{2}$: 1,98; 1,4; 1; 0,83; 0,30; 0,15; 0,074; 0,045mm. Donde las fracciones determinadas a partir de los diámetros de los orificios de los tamices seleccionados fueron: +1,98; -1,98+1,4; -1,4+1; -1+0,83; -0,83+0,3; -0,3+0,15; -0,15+0,074;-0,074 +0,045 y -0,045mm.

El material obtenido por cada clase de tamaño espesado de forma independiente para determinar posteriormente las características acumulativas del cernido y del retenido. En la tabla 2.2.2.1 se muestran el diámetro de los orificios del juego de tamices empleados.

Tabla 2.2.2.1: Tamices utilizados y aberturas de las mallas

No	D _{mallas} (mm)	No	D _{mallas} (mm)
1	1,98	5	0,300
2	1,4	6	0,150
3	1	7	0,074
4	0,83	8	0,045

2.2.2.2 Procedimiento HORIBA

El analizador de distribución de tamaño de partículas por difracción láser posee un amplio rango de medición de tamaño de partículas: 0,1 a 600 μm . también cuenta con varias ventajas rápido análisis cuyo diseño óptico y algoritmo altamente refinados

proporcionan resultados de las mediciones en 20 segundos, con una precisión y exactitud de primera clase. Otros factores a su favor es tiempo de medición, potente software y facilidad de uso.

Para la determinación de las clases de tamaño menores de 0,30 mm por ser esta técnica es adecuada para determinar las partículas de menor tamaño se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se pesan aproximadamente 35 g de pulpa de Cieno Carbonatado
2. Se transfiere a un beaker de 1000 ml
3. Agitar por espacio de 5 minutos con el agitador con el objetivo de homogenizar la muestra
4. Con una pipeta se toma alrededor de 2 ml y se vierte en el equipo, 2 – 5 minutos.
5. Todos los datos quedan registrados en la máquina y se obtienen las curvas de cernido y retenido.

Características del analizador de partículas para el coral.

- | | |
|---------------------------|---------|
| • Revolución de la bomba | 1 F |
| • Revolución del agitador | 2 F |
| • Índice de Refracción | 118 -10 |

Este análisis permitirá obtener la distribución sumaria por clases en las muestras analizadas y el tamaño de partículas predominantes en la muestra, brindando también resultados del área superficial de la misma.

2.2.3 Determinación del contenido de carbonato por clases de tamaño

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

Este procedimiento establece la determinación del porcentaje de carbonato de calcio neutralizando la porción de ensayo con ácido clorhídrico, para lo cual se añade este en exceso, el cual es determinado por valoración con solución de hidróxido de sodio, utilizando mezcla de indicadores (rojo de metilo y bromo cresol) para determinar el punto final de la valoración. Para su realización se efectúan los siguientes pasos:

Se pesan 1 g ± 0.0002 g de la muestra de ensayo y se transfiere a un beaker con capacidad de 250 ml.

1. Se añade lentamente, mientras se agita 25 ml de solución de ácido clorhídrico 1 N. Se deja reaccionar hasta que cese el desprendimiento de CO_2 .
2. Se lavan las paredes del beaker con un chorro fino de agua. Se filtra a través de un papel de filtración medio – rápida, y se lava no menos de 5 veces con agua caliente.
3. Se recibe el filtrado en un erlenmeyer de 300 ml de capacidad.
4. Se añaden 3 gotas de solución indicadora y valore con la solución de hidróxido de sodio 0,5 N hasta que una gota cambie el color de rojo a verde.

Por vía empírica se calcula por la siguiente formula:

$$\%_{\text{CaCO}_3} = \frac{N_{1(\text{HCl})} \cdot V_{1(\text{HCl})} - N_{2(\text{NaOH})} \cdot V_{2(\text{NaOH})}}{\text{masa}} \cdot 5 \quad (2.2.3)$$

Donde:

V_1 : Solución de ácido clorhídrico consumido, ml.

V_2 : Hidróxido de sodio en la contra valoración consumido, ml.

N_1 : Normalidad de la solución de ácido clorhídrico.

N_2 : Normalidad de la solución de hidróxido de sodio.

m: Masa de la porción de ensayo, expresada en g.

2.3 Características del grosor de la pulpa de cienos carbonatados

Se denomina características de grosor a la representación gráfica de la composición granulométrica de un material. Para trazar una característica individual, en el eje de las abscisas se marca la dimensión de los orificios de la criba, utilizada durante el análisis, y en el eje de las ordenadas, la salida de las siguientes clases en tanto por ciento.

Si por el eje de las abscisas se dan las salidas del material con un grosor mayor que los diámetros dados, entonces la característica está trazada por "por más d" y si dan la salida del material más fino que el diámetro dado, por menos "por menos d". Las dos

curvas de la caracterización que refleja como un espejo una a otra y siendo trazadas en un mismo gráfico, cruzan en un mismo que corresponde a la salida de material igual, igual al 50%. Como por ejemplo de trazado se dan en la figura 2.3.1. La salida de cualquier clase ($-d_1 + d_2$) se determinan por las características sumaria conforme a las diferencia de las ordenadas, trazadas en los diámetros (d_1 y d_2)

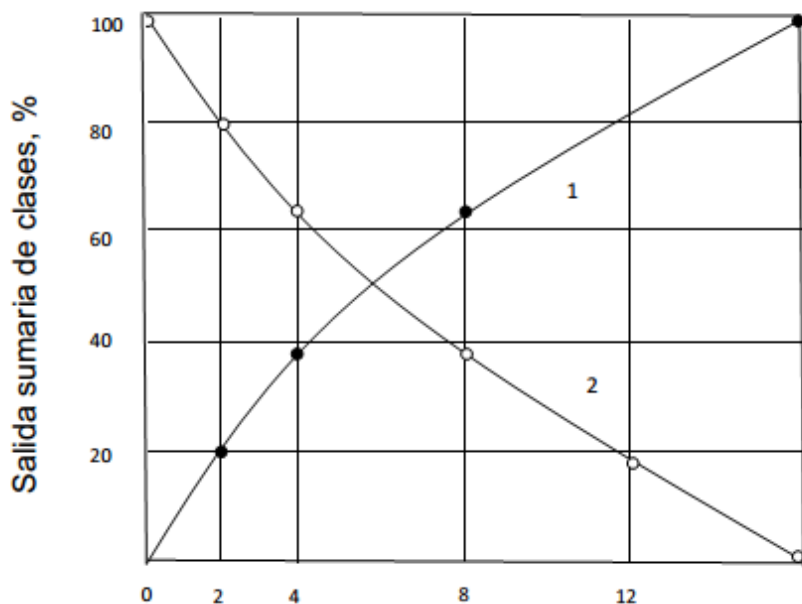


Fig 2.3.1: Característica de grosor: 1, "Por menos"; 2, "por más".

Por la forma de característica sumaria se puede determinar la salida de cualquier clase de grosor. Por las características individuales tales determinaciones no se puede hacer, ya que por ella es imposible determinar exactamente solo la salida de las clases, obtenida durante el análisis de cribas. Las clases con otros intervalos de grosor se determinan solamente mediante la interpolación, admitiendo una variación de salida dentro de una clase conforme a la ley que la línea recta.

Estas curvas también se pueden trazar en coordenadas logarítmicas y permiten establecer la regularidad de distribución por grosor de los granos dentro del material y establecer ecuaciones que las describan.

2.3.1 Ecuación según las características del grosor

Si la característica sumaria logarítmica por menos es rectilíneas, la composición granulométrica de este material se puede expresar por la siguiente fórmula:

$$\log y = k \log x + \log A \quad (2.3.1)$$

Donde:

Y, Salida de las clases más fina que el tamaño de los orificios de la criba (por menos).

K, el coeficiente igual a la tangente del ángulo de inclinación de la recta.

X, la dimensión de los orificios de la criba.

Log A, el segmento cortado por la recta del eje de las coordenadas

Pasando a los antilogaritmos se tiene:

$$y = Ax^k \quad (2.3.2)$$

La ecuación 2.3.2, correspondiente a las características sumarias trazadas "por menos x", es conocida bajo el nombre de Golden-Andrev.

2.4 Granos fáciles, difíciles y entorpecedores en el proceso de cribado

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 cae rápidamente por los agujeros. Estos granos se denominan, por su cribado "fáciles". Los granos más gruesos de tres cuartos de los agujeros del tamiz pasan con trabajo en los espacios entre los granos gruesos y a través de los agujeros de cedazo. Esta dificultad de paso crece progresivamente a medida que se aproxima el diámetro de los granos a la dimensión de los agujeros del tamiz. Estos granos se denominan "difíciles".

Los granos cuyos diámetros son menores que 1,5 de la dimensión de los agujeros del tamiz, no ejercen gran influencia en el desplazamiento de los granos "fáciles" y "difíciles" hacia la superficie del tamiz pero la capa inferior del material sobre el cedazo, que se constituye de grano de diámetro menor de 1,5 de la dimensión de los agujeros del tamiz, dificulta la penetración hacia la superficie de los granos "difíciles" próximos a

ellos en magnitud. Además, los granos próximos en diámetro a la magnitud de los agujeros del tamiz, pero más grandes, se atracan fácilmente en los agujeros del tamiz, en menos de uno y medias veces, se denominan "entorpecedores".

Cuanto menos granos "difíciles" y "entorpecedores" hay en el material inicial, tanto más fácil en el cribado y tanto más alta, con otras condiciones iguales, la efectividad del cribado. En la figura 2.4.1 se muestra la característica del grosor de los materiales fáciles y difíciles de cribar en tamices con dimensión de los agujeros 1.

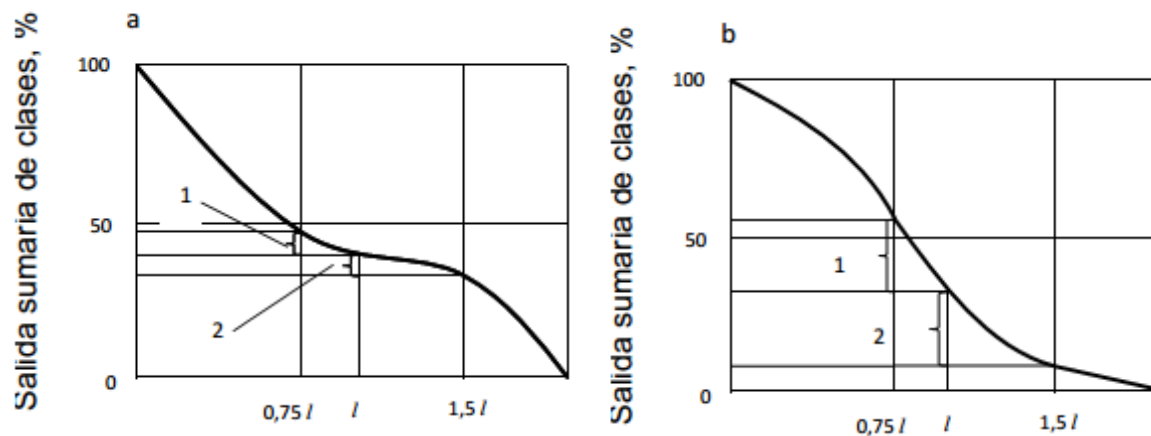


Figura 2.4.1: Características del grosor: a, del material de cribado fácil; b, del material de cribado difícil; 1: salida del material de los granos "difíciles", 2: salida del material de los granos "entorpecedores".

2.5 Análisis estadístico de la eficiencia

Para el análisis estadístico de la eficiencia de la planta durante el año 2013 se empleó el software estadístico STAGRAPHICS Centurion, con el propósito de realizar su caracterización. Primeramente determinar si los datos se distribuyen normalmente, lo cual se determina a través del sesgo y la curtosis que presentan, para posteriormente determinar el valor más probable (media) y otros estadísticos como la mediana, varianza, desviación estándar y los valores máximos y mínimos de la muestra.

2.6 Determinación de los parámetros tecnológicos del proceso

Las propiedades físicas del material a cribar ejercen influencia decisiva en el proceso del cribado. A cada material le es propia una cribacidad. Por eso el rendimiento de la

criba se puede determinar fielmente solo en base de las experiencias previas de cribado del material dado en experiencia análogas.

Como base para el cálculo se toma el rendimiento de la criba según el material inicial o según el material bajo la rejilla, en metros cúbicos por hora (m^3/h) del área de tamiz para las dimensiones dadas de los agujeros. Las condiciones concretas de cribado se tienen en cuenta con la introducción de una serie de coeficientes, que dependen de la característica del grosor del material inicial, de la efectividad del cribado, de la forma de los de cribado, de la forma de las partículas, de los métodos de cribado (húmedo o seco):

El rendimiento, masivo de la criba según el material inicial se determina por la formula empírica siguiente:

$$Q = F \cdot q \cdot \delta \cdot k \cdot l \cdot m \cdot n \cdot o \cdot p \quad (2.6.1)$$

Donde:

F: el área activa del tamiz, m^2 ;

q: el rendimiento medio en $1 m^2$ de la superficie del tamiz, m^3/h ;

δ : la masa de amontonamiento del material cribado, t/m^3

k, l, m, n, o, p, son coeficientes de corrección.

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

$$F = 0,85 \cdot B \cdot L, m^2 \quad (2.6.2)$$

Donde:

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

El rendimiento de la cribas con dos tamices se calcula 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.

Las cargas específicas tabla 2.6.1 se refieren a las mallas que tienen coeficientes de selección activa de 50% para los minerales.

Tabla 2.6.1 Rendimiento medio de las cribas vibratorias en un 1m² de área activa del tamiz.

Agujeros del tamiz , mm	0,5	0,8	1	2	3	6	10	13	16	20
Rendimiento medio, m ³ /h	3	3,5	4	5,5	7,5	13	19	22	24,5	28
Agujeros del tamiz, mm	25	30	40	50	60	70	80	100	150	200
Rendimiento medio, m ³ /h	31	33,5	37	42	46	50	55	63	90	100

La corrección a la forma de los agujeros K_{aguj} de la superficie de trabajo es:

Tabla 2.6.2 Tabla de corrección de la forma de los agujeros.

Cuadrados	1	
Circulares	0,8	
Rectangulares	2:1	1,15
	3:1	1,2
	4:1	1,25

2.7 Otros parámetros tecnológicos

Para determinar la relación líquido – sólido necesario en el proceso primeramente se termina la cantidad de agua a partir de la siguiente ecuación:

$$\%Sól = \frac{m_{Coral}}{m_{Coral} + m_{agua}} \cdot 100 \quad (2.6.3)$$

Luego la relación líquido – sólido se calcula según:

$$Liq - Sól = \frac{m_{agua}}{m_{Coral}} \cdot \quad (2.6.4)$$

El tiempo de retención en la lavadora de paletas para lograr el desmenuzamiento del material se determina a través de la siguiente expresión:

$$T_{Retención} = \frac{Q}{V} \quad (2.6.5)$$

Donde Q es el flujo volumétrico en m³/h y V el volumen de la lavadora que se determina de la forma siguiente:

$$V = L \cdot a \cdot h \quad (2.6.6)$$

Donde: L, a, y h son las dimensiones (largo, ancho y altura) de la misma.

Conclusiones Parciales

- Los métodos y técnicas experimentales utilizadas para el análisis están fundamentados a partir de la necesidad de conocer las características granulométricas y químicas contenidas en los cienos carbonatados.
- A partir de las características de grosor del material y de la determinación del área necesaria para el cribado del mismo se puede realizar una evaluación tecnológica del proceso y determinar los parámetros tecnológicos del mismo.

3 Análisis de los resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la caracterización de la muestra y los parámetros tecnológicos del proceso de beneficio del ceno carbonatado.

3.1 Resultado del por ciento de sólido y la humedad

Durante la determinación del por ciento de sólidos y la humedad de la muestra por secado se obtuvo un peso de pulpa de 565,1 g y de sólido seco 86,39 g, por tanto a partir de la ecuación 2.1 y 2.2 se obtienen los siguientes resultados:

$$\% \text{ Sólido} = \frac{86,39}{565,1} \cdot 100$$

$$\% \text{ Sólido} = 15,29 \%$$

Por tanto la humedad es:

$$\% \text{ humedad} = 100 - 15,29$$

$$\% \text{ humedad} = 84,71\%$$

Estos resultados demuestran que la muestra cuenta con los requisitos para continuar la investigación pues el rango establecido para el por ciento de sólidos es de 10 - 20%, por lo tanto esta es representativa del proceso en cuestión. A partir de estos resultados se prosigue con el análisis por tamizado de la muestra.

3.2 Resultados del análisis granulométrico

A continuación se muestran los resultados del análisis granulométrico tanto tamizado por vía seca como con el analizador de HORIBA.

3.2.1 Resultados del análisis granulométrico por vía seca

En la tabla 3.2.1 se muestran los porcentajes obtenidos para cada clase de tamaño donde se evidencia que la clase predominante son la partículas comprendidas en las clases: -0,075 + 0,045, -0,15 + 0,075 y -0,30 + 0,15, con un 36,405, 24,644, y 11,969% en peso respectivamente. El material con características de calidad para ser alimentado al proceso (-0,83 mm) suma un total de 78,69% y solamente el 5,035% es mayor de 1,98 mm.

Tabla 3.2.1.1 Porcentaje en peso de la muestra para diferentes clases de tamaño.

Clases de tamaño (mm)	Peso de la muestra (g)	Porcentaje del peso de la muestra (%)
+1,98	4,35	5,035
-1,98 + 1,4	2,6	3,010
-1,4 + 1	1,88	2,176
-1 + 0,83	9,58	11,089
-0,83 + 0,30	0,26	0,301
-0,30 + 0,15	10,34	11,969
-0,15 + 0,075	21,29	24,644
-0,075 + 0,045	31,45	36,405
-0,045	4,64	5,371
Total	86,39	100

3.2.2 Resultado del analizador HORIBA

Mediante el empleo del analizador HORIBA se determinó en porciento de la muestra para los tamaño de partícula igual o menor de 0,3 mm, por ser este equipo adecuado para el análisis de partículas muy pequeñas en el rango de los micrones.

Se pudo corroborar los resultados obtenidos por el análisis granulométrico por vía seca, observándose que los resultados son bastante similares y que no hubo para estos tamaños de partículas grandes desviaciones que a veces son provocadas por los errores humanos durante la pesada y pérdida del material durante el cribado.

Tabla 3.2.2.1 Porcentaje en peso de la muestra para diferentes clases de tamaño por HORIBA

Diámetro de partícula	% de tamaño de partícula
0,30 mm (300 µm)	0,330
0,15 mm (150 µm)	13,388
0,075 mm (75 µm)	22,545
0,045mm (45 µm)	36,575

Los resultados corroboran que el material es muy fino, lo cual se evidencia también por el área superficial determinada, siendo esta de $21540 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$. En el gráfico 3.2.2.1 de frecuencia de partículas se observa que el mayor número de partículas se localiza en el rango de 0,1 mm (100 μm) a 0,01 mm (10 μm).

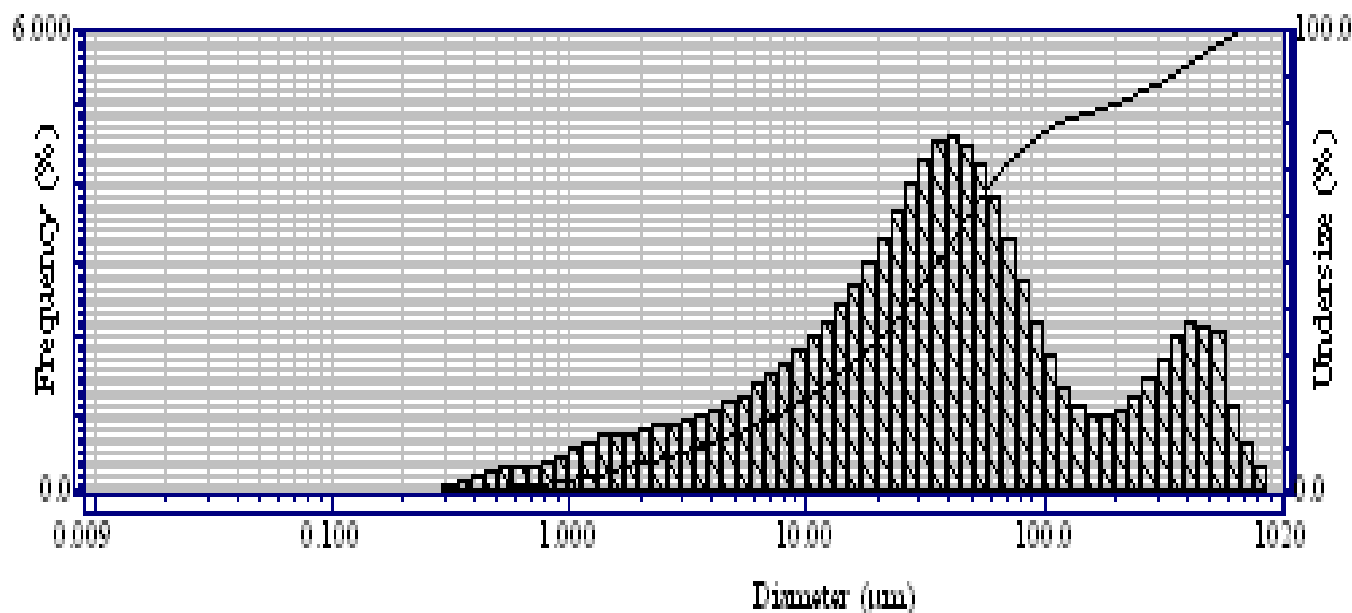


Gráfico 3.2.2.1 Frecuencia de partículas.

3.2.3 Resultado del contenido de carbonato de calcio

Como se puede apreciar en esta tabla 3.2.2.1 en la mayoría de las clases de tamaño el porcentaje de carbonato de calcio es superior al 80% (exigencia requerida en el proceso) excepto para las clases $-0,83 + 0,30$ y $-0,30 + 0,15$ en las cuales el valor obtenido es un 64,14 y 77,76% respectivamente. Sin embargo a pesar de esto en la figura 3.2.2.1 se observa que cinco de estas clases poseen porcentos de carbonato de calcio entre un 80 y un 85% y dos entre un 86 y un 87%. Por otra parte del material que se alimenta al proceso (menores de 0,83 mm) el promedio del carbonato alimentado es de un 78,24% valor por debajo del requerido.

Tabla 3.2.2.1.Contenido de carbonato por clase de tamaño.

Clases de tamaño (mm)	Carbonato de Calcio (%)
+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

Histograma

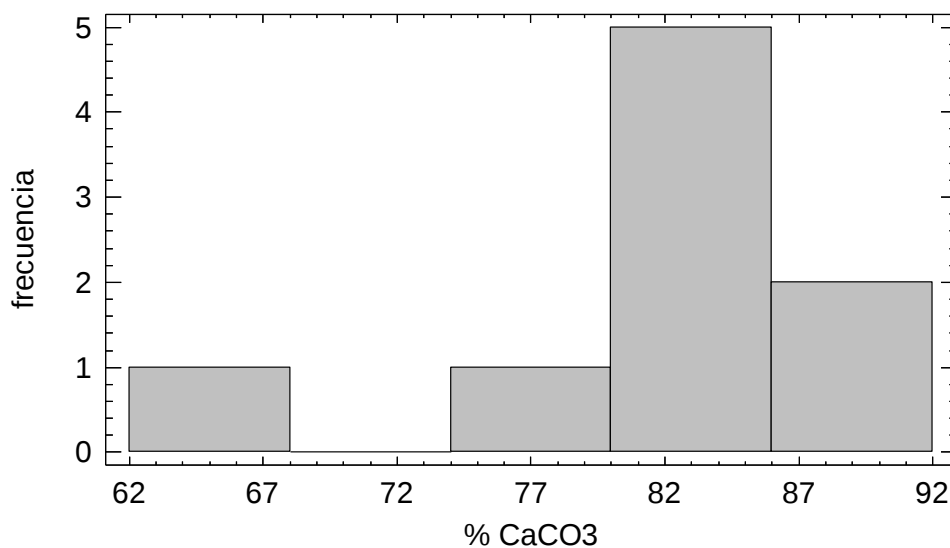


Fig 3.2.21 Contenido de Carbonato de calcio en las diferentes clases de tamaño

3.3 Características de grosor

En la tabla 3.3.1 se muestra los resultados de los porcentajes acumulativos para el retenido y el cernido de la muestra en las diferentes clases de tamaño que se utilizó para la construcción de las curvas de las características de grosor (figura 3.3.1).

Tabla 3.3.1 Característica sumarias del material

Acumulativo por clases de tamaño en el análisis de tamiz			
Clases de tamaño	% en peso de la muestra	Acumulativo Retenido	Acumulativo Cernido
+1,98	5,035	5,035	100
-1,98 + 1,4	3,010	8,045	94,965
-1,4 + 1	2,176	10,221	91,955
-1 + 0,83	11,089	21,310	89,779
-0,83 + 0,30	0,301	21,611	78,690
-0,30 + 0,15	11,969	33,580	78,389
-0,15 + 0,075	24,644	58,224	66,420
-0,075 + 0,045	36,405	94,629	41,776
-0,045	5,371	100,000	5,371

En la figura 3.3.1 se muestra la curva característica del análisis de tamiz que se trazó con los datos de acumulativo del retenido y cernido, en función del diámetro de las mallas, donde el eje de las abscisas marca la dimensión de los orificios, y las ordenadas marca las salidas respectivas por clase de tamaño.

Como se puede apreciar las dos curvas características se refleja unas a otra como un espejo esto confirma que se cruzan el punto donde corresponde la salida, igual al 50%. La curva por más (retenido) es cóncava lo cual indica que en el material prevalecen granos finos, hecho ya corroborado durante el análisis de los resultados de la caracterización granulométrica por vía seca.

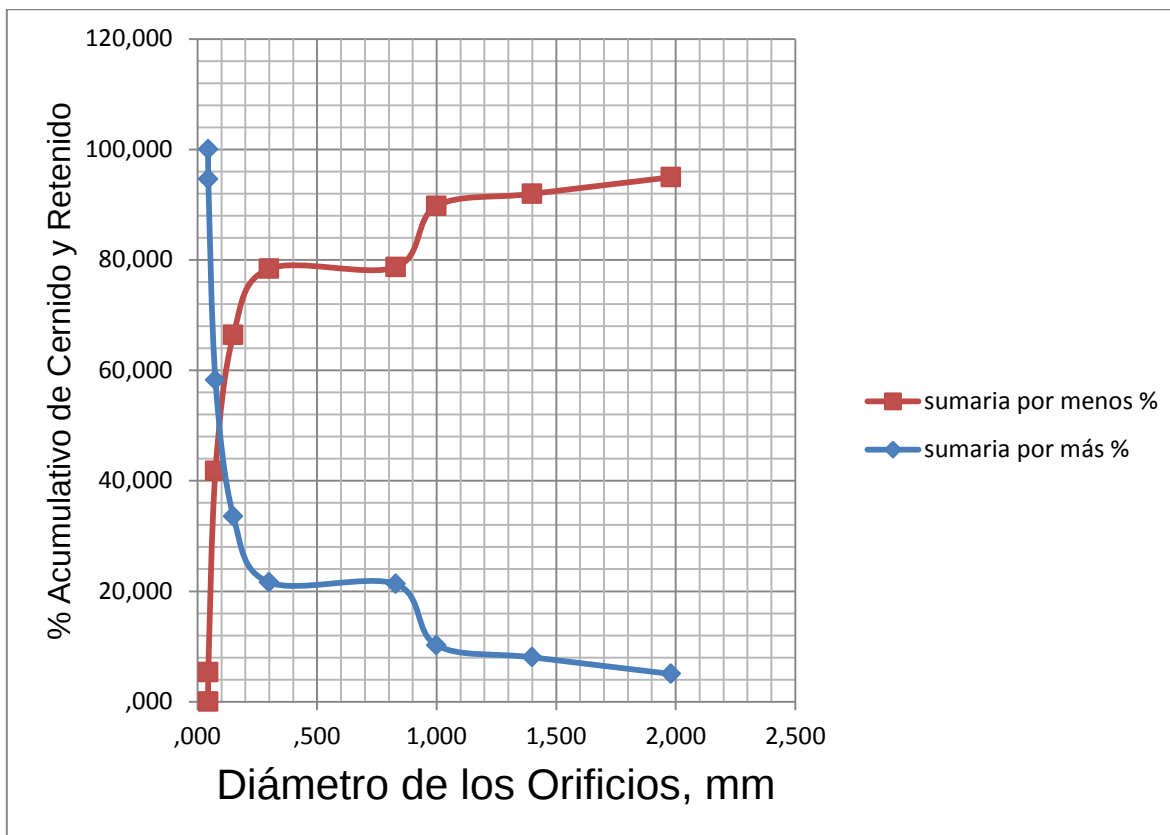


Figura 3.3.1 Curva característica del análisis de tamiz.

Al trazar la curva logarítmica sumaria por menos se evidencia que no es rectilínea por lo tanto no puede ser descrita por la ecuación de Goden - Andreev, sino por una función polinómica de grado cuatro con un coeficiente de regresión de 0,9932.

$$y = -1.5764x^4 + 16.966x^3 - 67.698x^2 + 118.75x - 75.439 \quad (3.3.1)$$

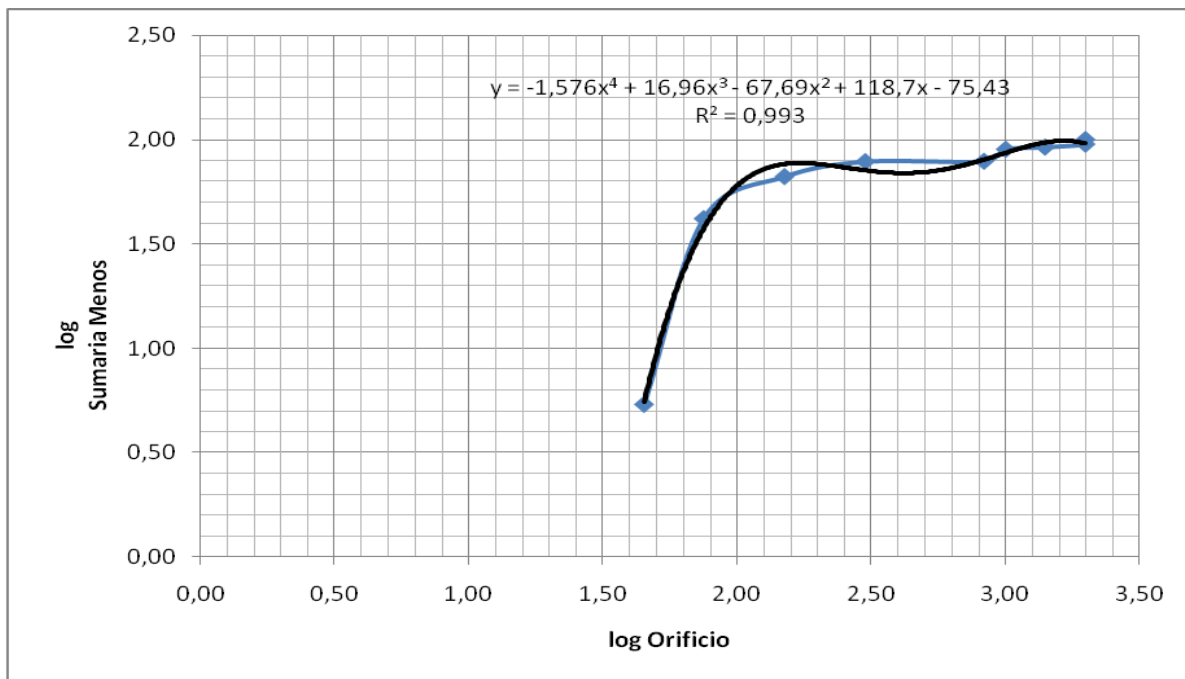


Figura 3.3.2 Curva logarítmica de la característica sumaria “por menos”.

3.4 Determinación de granos fáciles, difíciles y entorpecedores

Para determinar el contenido de granos fáciles menores, difíciles y entorpecedores en el tamiz inferior que determina el producto final que va a ser alimentado al proceso (0,83 mm), se empleó la ecuación de regresión obtenida de la característica logarítmica por menos del material (ecuación 3.3.1).

Donde:

- Granos fáciles, son los menores de 0,62 mm.
- Granos difíciles los menores del 1,25 mm y mayores de 0,62 mm.
- Granos entorpecedores los menores de 1,83 mm y mayores de 1,33 mm.

Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la siguiente tabla 3.4.1., donde se evidencia que el 78,40% de los granos que intervienen en el proceso de cribado son fáciles y que solamente el 1,90% entorpecen el proceso valor muy pequeño comparado con el resultado anterior.

Tabla 3.4.1 Porcentaje de granos fáciles, difíciles y entorpecedores

Granos	Rango	% de granos
Fáciles	Menores de 0,62 mm	78,40
Difíciles	1,25 – 0,62 mm	19,71
Entorpecedores	1,83 – 0,62 mm	1,90

3.5 Análisis estadístico de la eficiencia.

El análisis estadístico de la eficiencia de cribado de la planta de beneficios de cienos carbonatados reveló que los datos procesados (47 en total) provienen de una distribución normal pues es sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada se localiza en el rango de -2 a 2. Estos resultados se reflejan en la tabla 3.5.1

Tabla: 3.5.1 Resumen estadístico para eficiencia de cribado en el 2013.

Recuento	47	Cuartil Inferior	73,318
Promedio	79,658	Cuartil Superior	85,987
Mediana	81,222	Sesgo Estandarizado	-1,53197
Moda	-----	Curtosis Estandarizada	-0,28601
Varianza	110,05	Mínimo	56,062
Desviación Estándar	10,4905	Máximo	95,702
Coeficiente de Variación	13,17%	Rango	39,64

Como los datos proviene de una distribución normal se puede afirmar que el valor más probable de la eficiencia en este año fue de 79, 658% (promedio estimado).

También en esta tabla se relacionan otras medidas de tendencia central como la mediana siendo esta de 81,222% y la cual está bastante cercan al promedio determinado. Es necesario destacar que no existe un valor que se repita en los datos procesados, por lo que no existe moda; por otra parte las medidas de variabilidad son

elevadas siendo la desviación estándar de un 10,4905, esto indica que el proceso no es estable y que los valores de eficiencia obtenidos están bastante dispersados.

Las medidas de tendencia central también se pueden representar a través del gráfico 3.5.1 de “Caja y Bigotes” en el cual en el cuadrado se ubican los valores más próximos al valor más probable y a la mediana, los bigotes representan los límites máximos y mínimos en este caso 56 y 96%. Sin embargo a pesar de la gran variabilidad de los valores no se señalan datos atípicos fuera de estos límites.

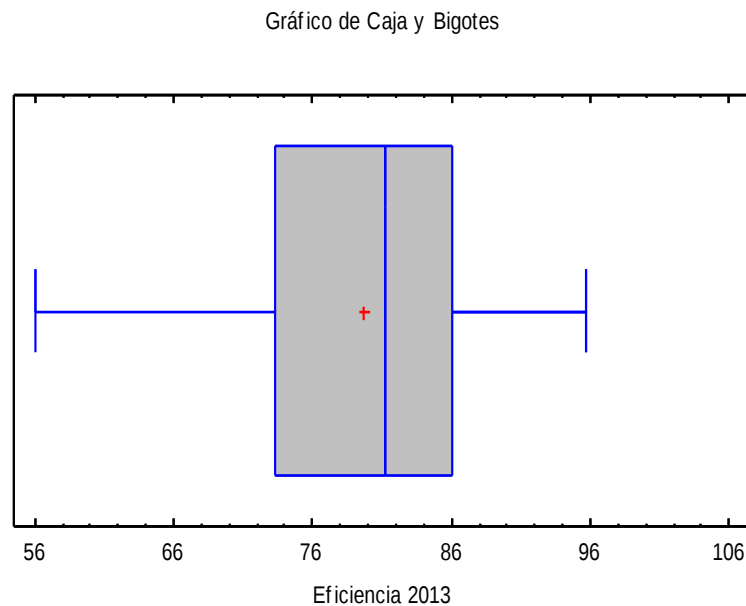


Gráfico 3.5.1 Grafico de cajas y bigotes.

En el gráfico 3.5.2 se muestra la dispersión de los datos y en el gráfico 3.5.3 los valores de eficiencia pero en orden cronológico. En ambos es posible evidenciarlo anteriormente planteado acerca de la variabilidad en la que está operando el sistema, pudiéndose afirmar que el mayor número de datos se localiza en el intervalo de 72- 88 %.

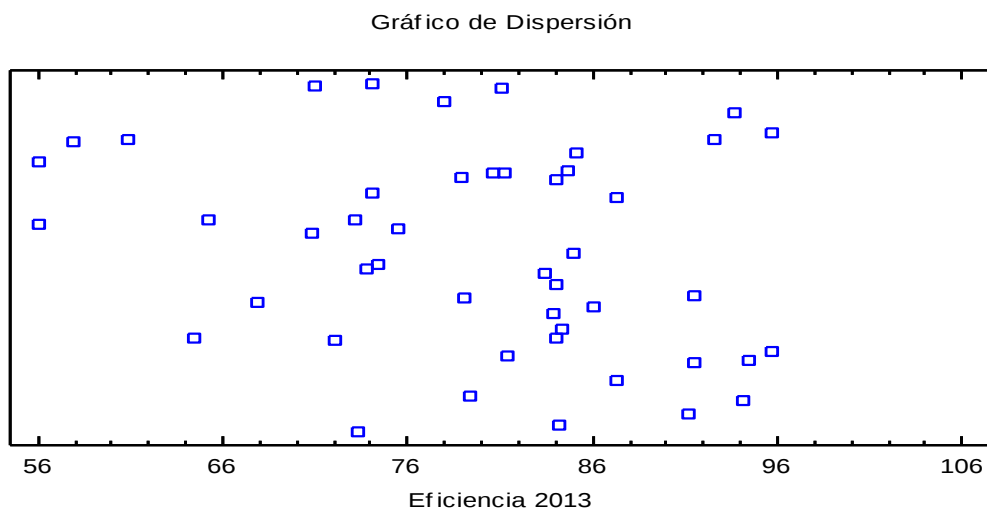


Gráfico 3.5.2 Diagrama de dispersión para eficiencia del 2013.

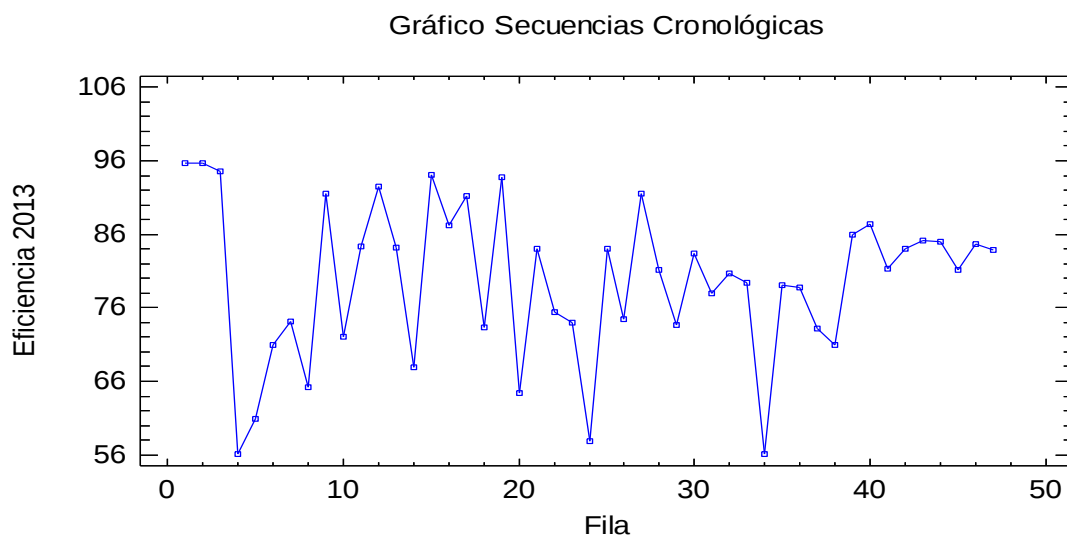


Gráfico 3.5.3 Secuencia cronológicas con los valores de eficiencia del 2013.

Como los datos a pesar de distribuirse normalmente presentan gran variabilidad se procedió a realizar una identificación de los valores atípicos mediante el gráfico 3.5.4 de aberrantes con límites de sigma. En este se muestra cada valor de los datos junto con líneas horizontales en la media muestral más y menos 1, 2, 3 y 4 desviaciones estándar. Como no existe ningún punto más allá de 3 sigma no hay valores atípicos potenciales, pero si se localizaan tres datos en los límites de -2 a -3 sigma, los cuales poseen una gran varianza con respecto a la media muestral.

Un estimado más profundo sobre posible datos aberrantes se realiza a partir de los estimados de localización y de escala. En las tablas 3.5.2, 3.5.3 y 3.5.4 se muestran

estimados comunes de la media y la desviación estándar, junto con estimados diseñados para ser resistentes a observaciones aberrantes. Para los 47 valores de eficiencia 2013, la media y sigma son 79,658 y 10,4905, respectivamente. Los correspondientes estimados Winsorizados, en los cuales se ha remplazado el 15,0% de los valores más grandes y más pequeños con valores del interior de la muestra, son 80,7327 y 10,7014 los cuales son más representativos pues se encuentran menos afectados por los efectos de dispersión de la muestra.

Tabla 3.5.2 Estimados de Localización

Media muestral	79,658
Mediana muestral	81,222
Media recortada	80,5291
Media Winsorizada	80,7327

Recorte: 15,0%

Tabla 3.5.3 Estimados de Escala

Desviación estándar. muestral	10,4905
DAM/0.6745	10,6168
Sbi	10,5413
Sigma Winsorizada	10,7014

Tabla 3.5.4 Intervalos de confianza del 95,0% para la media

	Límite Inferior	Límite Superior
Estándar	76,5779	82,7381
Winsorizada	76,9382	84,5273

En la tabla 3.5.5 se muestran las cinco observaciones mayores y menores de los datos, en las tres últimas columnas se muestran los valores estandarizados que ayudan a identificar puntos atípicos. Los valores estudentizados miden a cuántas desviaciones estándar se encuentra cada valor de la media muestral (79,658). El valor más extremo se encuentra en la fila 34, el cual es 2,24927 desviaciones estándar de la media. Puesto que el valor-P para la prueba de Grubb es mayor o igual que 0,05, ese valor no es un aberrante significativo con un nivel de significancia del 5,0%, asumiendo que

todos los demás valores siguen una distribución normal. Se muestran calificaciones similares al calcular las estadísticas muestrales después de eliminar cada punto, uno a la vez, al igual que cuando la media y la desviación estándar están basadas en la desviación absoluta de la mediana (DAM).

Tabla 3.5.5 Valores Ordenados.

		Valores Estudentizados	Valores Estudentizados	Modificados
Fila	Valor	Sin Supresión	Con Supresión	Valor-Z DAM
34	56,062	-2,24927	-2,41265	-2,36984
4	56,096	-2,24603	-2,40874	-2,36664
24	57,915	-2,07264	-2,20225	-2,1953
5	60,84	-1,79381	-1,88125	-1,9198
20	64,472	-1,4476	-1,49818	-1,5777
...				
19	93,729	1,34131	1,38341	1,17804
15	94,154	1,38182	1,42702	1,21807
3	94,516	1,41633	1,4643	1,25217
2	95,65	1,52443	1,58191	1,35898
1	95,702	1,52938	1,58734	1,36388

Prueba de Grubbs' (asume normalidad)

Estadístico de prueba = 2,24927

Valor-P = 0,999111

3.6 Parámetros tecnológicos del proceso para el régimen de producción actual

A continuación se muestran los resultados de los parámetros tecnológicos determinados para las actuales capacidades de producción de la planta de beneficios de cienos carbonatados.

3.6.1 Cálculo del área de trabajo del tamiz

Para el cálculo del área efectiva del cribado del tamiz inferior se utiliza la ecuación 2.6.1, en función de del área, como muestra a continuación:

$$F = \frac{Q}{q \cdot \delta \cdot k \cdot l \cdot m \cdot n \cdot o \cdot p} \quad (3.6.1)$$

El rendimiento medio (q) para el diámetro de tamiz de 0,83 mm a partir de la tabla 2.6.1 es de 3,5 m³/h y la densidad es de 1,3 ton/m³.

Para determinar el área del cálculo del tamiz inferior, se incrementó el área de trabajo efectiva teniendo en cuenta el coeficiente de 0,7.

Como el material que llega al tamiz inferior es entre un 80-85% del alimentado al proceso de cribado, pues la eficiencia de cribado en el primer paño oscila en este rango, la ecuación anterior queda de la siguiente forma para la determinación del área de cribado mínima del paño inferior:

$$F = \frac{Q \cdot (\xi_{\text{tamiz Superior}})}{0,7 \cdot q \cdot \delta \cdot k \cdot l \cdot m \cdot n \cdot o \cdot p} \quad (3.6.2)$$

Donde:

$\xi_{\text{Tamiz Superior}}$: Eficiencia del tamiz superior.

La elección de los coeficientes k, l, m, n, o y p se realizó empleando la tabla 10 de la literatura (1), los cuales se muestran a continuación en la tabla 3.6.1.1.

Tabla 3.6.1.1 Coeficientes para el cálculo de área del tamiz

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

El área de trabajo mínima se determinó para las capacidades de producción actuales máximas, promedio y mínimas del proceso, las cuales son de 180, 126 y 108 ton/h respectivamente y para eficiencia del tamiz superior de 80 y 85%.

Tabla 3.6.1.2 Resultados del cálculo en función de la productividad y la eficiencia del tamiz inferior.

Cálculo de Equipamiento Tamiz Inferior			
Productividad (ton/h)	180,00	126,00	108,00
Rendimiento del Tamiz Superior (%)	Área (m ²)		
80,00	21,25	14,87	12,75
85,00	22,57	15,80	13,54

El área del tamiz actualmente empleada se determinó a partir de la ecuación 2.6.2, encontrándose que la misma es de 7,05 m², por tanto se puede apreciar a partir de los resultados obtenidos en tabla 3.6.1.2, que el área actual en todos los casos está subdimensionada para las productividades actuales de la planta. Esta situación influye negativamente en la eficiencia del proceso y origina sobrecarga de los paños de la zaranda.

3.6.2 Determinación de la relación líquido sólido

Para obtener entre un 10 – 18% de sólidos (normas de calidad del proceso) en la pulpa se determinó la cantidad de líquido necesaria y a partir de esta la relación líquido – sólido tanto en el proceso total, como para el área de lavado y de cribado.

El porcentaje de sólidos a la salida de la lavadora de paletas debe ser de un 20% por diseño, por tanto empleando la ecuación 2.6.3 se determinó el agua necesaria en el proceso para un 10 y un 18% de sólido a la salida de la planta. Estos resultados se relacionan en las tablas 3.6.2.1 y 3.6.2.2 para las productividades de 180, 126 y 108 ton/h.

Tabla 3.6.2.1 Cantidad de agua necesaria en el proceso.

Etapas	% de Sólido	Cantidad de agua necesaria (ton/h)		
Lavadora	20,00	720,00	504,00	432,00
Proceso	10,00	1620,00	1134,00	972,00
	18,00	820,00	574,00	492,00
Zaranda	10,00	1620,00	1134,00	972,00
	18,00	820,00	574,00	492,00

Tabla 3.6.2.2. Relación liquido - sólido

Lugar	% de Sólido	Relación L/S
Lavadora	0,20	4
Proceso	0,10	9
	0,18	5
Zaranda	0,10	5
	0,18	1

Como se puede apreciar en la tabla 3.6.2.1, para mantener entre un 10 y 18% de sólido en el proceso es necesario una relación líquido- sólido entre 9 y 5 $\text{ton}_{\text{agua}}/\text{ton}_{\text{sólido}}$, mientras que en la lavadora para mantener un 20% de sólido debe ser de 4, y en la zaranda de clasificación entre 5 y 1 $\text{ton}/\text{agua} - \text{ton}/\text{sólido}_{\text{seco}}$.

3.6.3 Determinación del tiempo de retención en la lavadora de paletas

Para la determinación del tiempo de retención en la lavadora de paletas, primeramente se determinó el volumen de la misma a partir de la ecuación 2.6.5, pues sus dimensiones son: ancho 2,43m, largo 7,31m y altura de 1,6m, el resultado obtenido es $28,42\text{m}^3$.

El tiempo de retención por diseño y para las productividades máximas, mínimas y promedio se determinó a partir de la ecuación 2.6.5, estos valores se muestran en la tabla 3.6.3.1.

Tabla 3.6.3.1 Tiempo de retención en función de la productividad.

Productividad, t/h	magua, t/h	t reten, min
180,00	720,00	3
126,00	504,00	4
108,00	432,00	5
Diseño		
64,50	258,00	7

El tiempo de retención requerido por diseño es de 7 min y actualmente oscila entre 3 y 5 min, sin embargo a pesar de esto se ha comprobado en la presente y anteriores investigaciones que para estas capacidades de producción más del 75% del material contiene las características de calidad para ser alimentado al proceso, además de que la eficiencia del equipo es de 85%, por tanto se recomienda trabajar a capacidades comprendidas entre 126 y 108 ton/h para asegurar tiempos de retención entre 4 y 6 min.

3.7 Valoración económica y ambiental

El ceno carbonatado es extraído de los arrecifes coralinos de las zonas costeras de Moa, por lo tanto durante las labores mineras se destruyen hábitat de numerosas especies, que desaparecen totalmente a parte de provocar el hundimiento de cayos aledaños, por tanto la determinación de los parámetros tecnológicos para los regímenes de producción actual es fundamental para economizar y optimizar el proceso de forma tal de asegurar un aprovechamiento integral de los recursos naturales.

En cuanto al aspecto económico, para el procesamiento de este material se consumen recursos humanos y energéticos, por tanto controlar el proceso y los materiales empleados en este como el agua, petróleo consumido para el suministro de corriente eléctrica durante el funcionamiento de los equipos de bombeo, reducción de tamaño y clasificación es una forma de contribuir con la economía del país.

Conclusiones parciales

- El cieno carbonatado está constituido fundamentalmente por partículas menores de 0,3 mm con un porcentaje de estas de 78,39% en peso de la muestra, en las cuales el contenido de carbonato de calcio es superior al 80% excepto para las clases 0,83 + 0,30 y -0,30 + 0,15 en las cuales el valor obtenido es un 64,14 y 77,76% respectivamente.
- El análisis estadístico de la eficiencia del proceso en el 2013 reveló medidas de variabilidad elevadas siendo la desviación estándar de un 10,4905, pero a pesar de esto no existen datos atípicos.
- Para las capacidades de producción actual se necesitan áreas de cribado entre 12,75 y 22,57 m², tiempos de retención en la lavadora de paletas entre 4 y 6 min y relaciones líquido – sólido entre 9 y 5 ton/agua – ton/sól_{seco} para asegurar una pulpa entre un 10 y un 18% de sólidos.

Conclusiones

1. El cieno carbonatado está constituido fundamentalmente por partículas menores de 0,3 mm con un porcentaje de estas de 78,39% en peso de la muestra, en las cuales el contenido de carbonato de calcio es superior al 80% excepto para las clases 0,83 + 0,30 y -0,30 + 0,15 en las cuales el valor obtenido es un 64,14 y 77,76% respectivamente.
2. Para las capacidades de producción actual, los parámetros tecnológicos de la planta de beneficios de cienos carbonatados son: áreas de cribado entre 12,75 y 22,57 m², tiempos de retención en la lavadora de paletas entre 4 y 6 min y relación líquido – sólido entre 9 y 5 ton/agua – ton/sól_{seco} en el proceso para asegurar una pulpa entre un 10 y un 18% de sólidos.

Recomendaciones

A partir de la siguiente investigación se recomienda:

- Incrementar el área de superficie de cribado de la instalación.
- Determinar la relación existente entre la capacidad a la que opera la planta y la eficiencia obtenida.
- Evaluar el proceso de cribado en el tamiz superior para valorar su posible sustitución por uno de dimensiones más pequeñas.
- Recuperar el rechazo obtenido durante el proceso de cribado, pues posee contenidos de carbonato de calcio superior al 80%.

Bibliografía

1. Andreiev, S.E. Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales. Editorial pueblo y educación, 1980.
2. Manual de operaciones de las plantas de Coral y Neutralización.
3. Mariño, P.A. Equipos de la metalurgia no ferrosa. Editorial Félix Varela, La Habana, 1994.
4. Mitrofanov, L.A. Investigación de las capacidades de enriquecimiento de los minerales, Editorial MIR, Moscú 1984.
5. Pavlov, K.F. Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química. Editorial MIR, Moscú, 1981.
6. CASTILLO, D. (1988). Informe sobre problemas de extracción y utilización de la materia prima de Cieno Carbonatado.
7. CORREA, F. (1957). Estudio sobre extracciones experimentales de fangos carbonatados al oeste de Cayo Moa Grande.
8. Suárez, M.; De la Cruz, R.K. (2005.) Relación entre, las características granulométricas, reológica y coloidesquímicas en suspensiones de laterita y de Cieno Carbonatado. Trabajo de diploma. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.
9. LAVAUT y otros (2003). Informe sobre la caracterización del mineral de rechazo por el proceso de Planta de Preparación de Pulpa.
10. Menéndez, H.M. (2001) Explotación racional del yacimiento de Cienos Carbonatados en la bahía de Moa. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
11. Campos, G.M. (2001) Nuevos datos acerca de la naturaleza y génesis de los sedimentos del yacimiento de Cieno Carbonatado en la bahía de Cayo Moa Grande. Holguín..

12. Rojas-Purón, A.L.; Garcell - Puyáns; Pérez, L. Mineralogía y reología de suspensiones minerales del proceso de lixiviación ácida a presión en Moa.
13. Ramírez, Y. (2012). Disminución del contenido de arena de la pulpa de cieno carbonatado mediante la técnica de hidrociclones. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico..
14. Suárez, J.E. (2010). Cinética de la molienda del rechazo del Cieno Carbonatado de la Empresa Pedro Sotto Alba. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
15. Tamayo, J.L. (2010). Determinación del índice de Bond para el cieno carbonatado de Cayo Moa. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
16. Caballero, Y. (2008) Caracterización de las pulpas de Cieno Carbonatado para su perfeccionamiento en el hidrotransporte. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
17. Manual de operaciones de la Planta de cienos carbonatado.
18. Nápoles, E. (1992). Informe exploración orientativa de Cienos Carbonatados al Sur de Cayo Moa Grand.
19. Suárez, M.; De la Cruz, R.K. Relación entre las características granulométricas, reológicas y coloidequímicas en suspensiones de laterita y de Cieno Carbonatado. Trabajo de diploma. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba..
20. Hernández, L. R.(2003) Calculo verifcativo y propuesta de modificación para la ampliación de la instalación de bombeo de Cieno Carbonatado. Trabajo de Diploma. ISMM. Moa.
21. Petit, A. 2003. Método Granulométrico [consulta: Junio 2014]. <http://www.monografias.com/trabajos81/metodos-volumetricos/metodos-volumetricos2.html>.

22. Reyes, G. 2007. Método granulométrico mecánico. [consulta: Junio 2014], <http://www.monografias.com/Método granulométrico mecánico.html>.
23. HNAGY, E, 2009. Investigaciones sobre tamices de laboratorio. [consulta: Junio 2014], <http://www.monografias.com/Investigaciones sobre tamices de laboratorio.html>.
24. Quintana, R. 2008. Análisis granulométrico. [consulta: Junio 2014], <http://www.monografias.com/ Análisis granulométrico.html>.

Anexos

Tabla 1 Valores de alimentación, rechazo y de eficiencia en el 2013.

Fecha	Coral Alimentado		% Rechazo	% Eficiencia
	Fracción +20 %	Fracción -20 %		
14-feb	4,78	95,22	8,88	95,70
19-feb	9,74	90,26	13,67	95,65
05-mar	12,60	87,40	50,97	56,10
13-mar	11,06	88,94	45,89	60,84
25-mar	11,14	88,86	36,98	70,92
28-mar	13,95	86,05	36,27	74,06
09-abr	13,63	86,37	20,93	91,55
11-abr	12,88	87,12	37,21	72,08
08-may	15,75	84,25	22,02	92,56
09-may	13,88	86,12	27,49	84,20
16-may	14,00	86,00	41,62	67,89
23-may	12,24	87,76	17,37	94,15
09-jun	13,84	86,16	21,45	91,17
11-jun	14,22	85,78	37,11	73,32
27-jun	13,95	86,05	44,52	64,47
08-jul	14,63	85,37	35,56	75,48
17-jul	12,59	87,41	35,31	74,01
23-jul	11,32	88,68	48,64	57,92
24-jul	13,12	86,88	26,97	84,05
08-ago	13,38	86,62	20,69	91,56
12-ago	15,61	84,39	31,46	81,22
27-ago	14,01	85,99	36,61	73,72
05-sep	15,26	84,74	33,96	77,93
18-sep	15,75	84,25	32,04	80,66
14-oct	18,72	81,28	35,79	79,01
23-oct	15,71	84,29	33,55	78,83
06-nov	14,12	85,88	39,14	70,87
12-nov	12,57	87,43	24,82	85,99
21-nov	16,35	83,65	26,92	87,36
12-dic	12,59	87,41	26,58	84,00
13-dic	14,31	85,69	27,04	85,14
19-dic	14,00	86,00	26,91	84,99
24-dic	12,38	87,62	28,92	81,13
27-dic	12,38	87,62	25,87	84,61

