MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO
Dr. Antonio Núñez Jiménez
FACULTAD METALURGIA ELECTROMECANICA
DEPARTAMENTO METALURGÍA

TRABAJO DE DIPLOMA

Tesis en opción al titulo de Ingeniero Metalúrgico

Titulo: Cinética de la molienda del rechazo del Cieno Carbonatado de la Empresa Pedro Sotto Alba.

Diplomante: Juan Enedi Suárez Rodríguez

Tutores: Ms. C Rodney Martínez Rojas
Dr. Pedro Enrique Beyris Mazar
Ms. C Marlon Menéndez Hung

Moa, 2010
"Año 52 de la Revolución"

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Juan Enedi Suárez Rodríguez, autor de este trabajo de diploma declaro la propiedad intelectual del mismo al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, para que dispongan de su uso cuando estimen conveniente.

_____

Diplomante Juan Enedi Suárez Rodríguez

_____ _____

Ms.C. Rodney Martínez Rojas Dr.C. Pedro Enrique Beyris Mazar

_____

Ms. C. Marlon Menéndez Hung

PENSAMIENTO

Solo el amor eterniza. Quien no ama se nulifica

Quien ama las cosas se cosifica

Quien ama a las personas se personaliza

Quien ama al infinito se eterniza.

El hombre tiene la misteriosa capacidad de reducirse a la nada o de elevarse hasta el infinito.

El hombre es la medida, la capacidad de Dios.

Dios es en cada persona lo que la persona le permita ser.

Yo soy mi propia capacidad de infinito o de aniquilación.

José Antonio Merino

Agradecimiento

Agradezco a todas aquellas personas que hicieron posible la realización y culminación de este Trabajo de Diploma.

A la Revolución Cubana por el privilegio de permitir prepararme y forjarme como profesional.

A mis padres Julia Rodríguez, Luis Suárez y mi padrastro Angel Sánchez por ser la razón de mi existencia, a los que le debo todo lo que soy y seré el día de mañana, por su confianza depositada en mí, por apoyarme y aconsejarme siempre de que en el mundo no hay nada inalcanzable y que solo triunfa en la vida aquel que es capaz de sacrificarse por obtener lo que desea, le doy gracias a la vida por permitirme tener unos padres como ellos.

A mis hermanos Eudy Suárez, Yennis Suárez, Luis Ramón Suárez.

A mi esposa Ismari Columbié por su amor incondicional, su confianza depositada en mí , por estar siempre presente en los momentos que más la necesité y por su paciencia en estos años enlos cuales compartió los buenos y malos momentos de mi vida.

A mis Tutores Ms.C. Rodney Martínez Rojas, Dr.C. Pedro Enrique Beyris Mazar, Ms.C. Marlon Menéndez Hung por su ayuda y preocupación en la realización de este Trabajo de Diploma.

A todos los profesores del Departamento de Metalurgia y en especial a Ing.Yennis Ávila Torres, Ing. Yunaidis Paumier Fonseca, Ing. Roger Samuel Almenarez por su apoyo, preocupación y sobre todo paciencia en la realización y culminación de este Trabajo de Diploma.

A los compañeros del laboratorio de la empresa Pedro Sotto Alba, al Ing. Agner Rodríguez y los compañeros del laboratorio del centro de investigaciones (CEINIQ), en especial a la compañera Karina Cancañon Rodrigues.

A mis primos que más que eso son mis hermanos Yunier Rodríguez, Yonier Rodríguez, Yolexis Pérez.

A mis compañeros de estudio que siempre me dieron la mano cuando la necesité, Rodolfo Camilo, Guillerlandis Hernández, Yulia Nela Estévez, Sergio Cabo de Villa.

A todos mis compañeros de trabajo Sergio, Alexander, Annelis, Wilmar, Uberleidis

A mi Familia en general por su apoyo y confianza depositada en mí.

A todos muchas gracias.

Dedico este trabajo de diploma

A mis ***padres*** *Julia Rodríguez y Luis Suárez, a mi* ***padrastro*** *Angel Sánchez como recompensa por su esfuerzo, dedicación y confianza cuando todo se volvió imposible a la mitad del camino. Con todo cariño y amor aquí esta la culminación de todos estos años de sacrificios, alegrías y tristezas.*

A mis ***abuelos****, mis* ***hermanos, tíos****, y a todos mis* ***Primos hermanos*** *por preocuparse y contribuir a la culminación de mis estudios.*

A ***toda la familia*** *y en especial a mi esposa Ismari que tanto apoyo me supo brindar en los momentos difíciles.*

A mis amistades que siempre supieron darme su confianza en que cuando se quiere se puede.

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza 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.

Se realiza un análisis granulométrico previo del material de rechazo donde se obtiene la fracción de clase de tamaño predominante. 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.

ABSTRACT

Presently work is carried out a kinetic study of the mill of the rejection of the Carbonated Silt, to carry out this study they were carried out different tests, so much analysis of grain as chemical with the objective of determining if it could be used in the process.

Is carried out an analysis previous of grain of the material of rejection where the fraction of class of predominant size is obtained. To carry out the kinetic study a mill system settles down by means of a mill of balls for via dry that allows the time of mill in that the particles of class of size 0.83 mm reach more than 80% to settle down. The established times of mills are 5, 10, 15, 20, 25 and 30 minutes. The characterization of the material of rejection was carried out through a chemical analysis for the times of mill 25 and 30 minutes obtaining a prevalence of the element Calcium and a high value of the Carbonate of contained Calcium in this material.

ÍNDICE

Contenido		Págs.
	Introducción	1
CAPÍTULO I	**MARCO TEÓRICO**	5
1.1	Introducción	5
1.2	Trabajos precedentes sobre el Cieno Carbonatado	5
1.3	Génesis del Cieno Carbonatado	8
1.4	Descripción del flujo tecnológico	9
1.5	Los procesos de trituración y molienda	10
1.6	Fragmentación de materiales blandos y frágiles	11
1.7	Características de las trituradoras de mandíbulas	13
1.8	Molienda	15
1.9	Conclusiones parciales	21
Capítulo II	**Materiales y métodos**	22
2.1	Introducción	22
2.2	Origen de las muestras de rechazo de Cieno Carbonatado	22
2.3	Toma y preparación de las muestras	23
2.3.1	Método del cuarteo	24
2.4	Caracterización granulométrica del material	24
2.4.1	Proceso de reducción de tamaño para la molienda	25
2.5	Procedimiento experimental	26
2.5.1	Análisis químico	26
2.5.2	Análisis del % de carbonato contenido en el rechazo de Cieno Carbonatado	27
2.5.3	Determinación de la densidad del material de rechazo	28
2.6	Metodología para calcular la masa de la carga de las bolas y la masa para alimentar al molino	29
2.7	Cinética de molienda	31
2.8	Conclusiones parciales	32
Capítulo III	**Análisis de los resultados**	33
3.1	Introducción	33
3.2	Resultados de la caracterización granulométrica del Cieno Carbonatado de rechazo	33
3.3	Resultados del análisis granulométrico del material luego de ser triturado	34

3.4	Resultados de la composición química por el métodos ICP del material de rechazo después de ser triturado la clase tamaño mayor de 6.3 mm.	35
3.5	Resultado del proceso de molienda del material de rechazo luego de ser triturado las fracciones mayores de 6.3 mm	36
3.5.1	Resultados del cálculo del molino	36
3.5.2	Resultados de la molienda	37
3.6	Resultados del análisis químico	38
3.7	Impacto medio ambiental	40
3.8	Conclusiones parciales del capitulo	41
	Conclusiones	42
	Recomendaciones	43
	Bibliografía	44
	Anexos	

INTRODUCCIÓN

El níquel a partir del año 2000 se convierte en unos 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, y como objetivo estratégico incrementar la producción de concentrados de níquel con mayor eficiencia en las inversiones.

Para cumplir estos lineamientos a mediano y largo plazo, 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 y se perfeccione el sistema de extracción minera; lo que garantizará la existencia de un proceso productivo continuo.

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 la obtención de Níquel + Cobalto, aunque en nuestro país se concentran reservas importantes, las producciones mundiales de este 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 tres fábricas que son las encargadas de toda la producción de Ni + Co en Cuba, ellas son: la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba“, la cual produce sulfuros de Ni + Co; y las empresas “René Ramos Latour” y “Ernesto Che Guevara”, que obtienen como producto final sínter de Ni + Co.

La empresa mixta cubana canadiense, Comandante”Pedro Sotto Alba”. Moa Nickel SA, utiliza un proceso hidrometalúrgico, mediante la lixiviación ácida a

presión, única en su tipo en la nación cubana y líder en cuanto a su rendimiento en el mundo. Por su eficiencia significa un valuarte de la Economía Cubana.

Además del mineral laterítico, la utilización del Carbonato de Calcio, ($CaCO_3$) contenidos en los Cienos Carbonatados, constituye una materia prima imprescindible para la producción, el cual es empleado en la Planta de Neutralización para lograr el pH óptimo del licor lixiviado obtenido a partir de la lixiviación del mineral niquelífero con vista a su posterior procesamiento en el área de Precipitación de Sulfuros.

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 las plantas australianas (Murrin – Murrin, Cawse, Bulong) utilizan calizas beneficiadas más un producto llamado calcreta resultado de la molienda de restos fósiles recientes.

La pulpa de Cieno Carbonatado es de color gris y es extraída de una de las minas más grandes del mundo, situada al oeste de cayo grande de Moa, la cual es sometida a un proceso de beneficio, en la planta de preparación de pulpa de coral en la zona portuaria, las partículas mayores que 20 mesh forman el rechazo, esto se logra por medio de un sistema de cribado, las de menor diámetro son enviadas a los sedimentadores con el objetivo de incrementar el porciento sólido hasta el valor de diseño de 40 - 45 % bajo condiciones idóneas.

La situación actual del sistema de beneficio y utilización del Cieno Carbonatado que es minado en la bahía de Moa se caracteriza por las siguientes **deficiencias**:

- No aprovechamiento de las fracciones gruesas (rechazo) del mineral.
- Insuficiente conocimiento sobre la composición y propiedades físico – químicas del Cieno Carbonatado tanto del que es utilizado en el proceso, como el material que es rechazado.
- No se garantiza el % de sólido de diseño de la pulpa que se envía al proceso de neutralización.
- Variaciones frecuentes en la granulometría de las pulpas beneficiadas, atendiendo a las características geotecnológicas de los sectores de minería.

- La no existencia de un sistema de trituración y molienda del Cieno Carbonatado que permita un aprovechamiento del material de rechazo.
- Insuficiente capacidad de los nuevos depósitos del Cieno Carbonatado que forman parte del rechazo.

Todos estos factores provocan por consiguiente una insuficiente utilización y aprovechamiento de aproximadamente el 60% del material que es minado en la bahía de Moa,

A partir de las insuficiencias planteadas se hace necesario un estudio sobre el posible aprovechamiento del Cieno Carbonatado que durante el proceso de beneficio actual es desechado y que pasa a formar parte del material de rechazo. Provocando una minería indiscriminada en áreas de la bahía de Moa y una sobrecarga de los depósitos actuales de dicho rechazo.

El **problema** a investigar se define como:

Desconocimiento de las características de molienda del mineral del rechazo del Cieno Carbonatado para su reutilización en la empresa Pedro Sotto Alba

Se establece como **objeto de la investigación**:

El material de rechazo del Cieno Carbonatado minado en la bahía de Moa.

Hipótesis

Las características de molienda del rechazo de Cieno Carbonatado se conocerán a través de la cinética de molienda

Objetivo del trabajo

Determinar la cinética de la molienda del rechazo del Cieno Carbonatado para su posible utilización en el Proceso de Neutralización.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar el material de rechazo del Cieno Carbonatado minado en la bahía de Moa atendiendo a su composición química y granulométrica.
2. Realizar el estudio cinético de la molienda del material de rechazo.

De acuerdo al objetivo propuesto, se plantean las siguientes **tareas del trabajo:**

1. Búsqueda bibliográfica para la sistematización del conocimiento sobre la temática a tratar.

2. Preparación y toma de la muestras para la realización del estudio.
3. Determinación de las características químicas y granulométricas de las muestras.
4. Realización del estudio cinético de la molienda del material de rechazo.
5. Análisis de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas.
6. Valorar el impacto ambiental asociado al Cieno Carbonatado estudiado.

CAPITULO I MARCO TEÓRICO

1.1 Introducción

A continuación se realizará el análisis de los distintos aspectos relacionados con el tema expuesto en la bibliografía consultada, con el objetivo de disponer de los elementos básicos y de las tendencias actuales que resulten esenciales para el correcto desarrollo del trabajo.

El **objetivo** de este capítulo es:

Establecer los fundamentos teóricos necesarios para el estudio experimental de la molienda del rechazo del Cieno Carbonatado y su caracterización.

1.2 Trabajos precedentes sobre el Cieno Carbonatado

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.

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 del mal llamado “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 $CaCO_3$ y granulométricamente en las mallas +20, +100, +325 y -325 mesh y se calcularon reservas en categoría industrial.

La principal deficiencia en la ejecución de estos trabajos radica en que no se contó con los recursos técnicos adecuados que garantizarán el posicionamiento confiable de las labores realizadas en correspondencia con la exigencia de las escalas de los trabajos.

Con posteridad especialistas de (CEPRONIQUEL 1997) recalcularon las reservas 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.

El Cieno Carbonatado, como ya se ha dicho es minado en la bahía y transportado hasta la planta de coral establecida en áreas aledañas al puerto de Moa. En dicha planta es sometido a un proceso de beneficio para la utilización del material menor de 20 mesh, y el resto constituye el rechazo que es almacenado en depósitos cercano a dicha planta.

Este material después de beneficiado se somete a un proceso de aumento de la concentración entre un 30 a un 45 % de sólido en dos tanques el cual es requerido en el proceso de neutralización y es transportado hasta la fábrica Comandante"Pedro Sotto Alba". Moa Nickel SA ubicada a 4 km, mediante un sistema de transporte por tuberías.

Se han realizado otras investigaciones en los cuales el Cieno Carbonatado constituye el objeto de estudio, se establecen las características físico - químicas

de la hidromezcla de Cieno Carbonatado para la evaluación del sistema de bombeo en la planta de Neutralización. Hernández (2003); muestra el gráfico que relaciona el factor de fricción en función del número de Reynolds y Hedstron. Jiménez (2005). Partiendo de la caracterización del Cieno Carbonatado donde se evalúa además la instalación existente para la transferencia de la pulpa desde el puerto hasta la planta de Neutralización.

Se obtiene un modelo matemático Romero (2004) que describe las características granulométricas de suspensiones lateríticas y Cieno Carbonatado y se definen los efectos de la característica granulométricas y coloides químicas sobre la reología de dichas suspensiones.

Se realiza un estudio sobre la caracterización de las pulpas de Cieno Carbonatado para su perfeccionamiento en el hidrotransporte (Caballero 2008), con el objetivo de describir el comportamiento reológico de las muestras tomadas y el modelo matemático que lo describe. En el análisis de granulometría de las pulpas se obtiene un predominio mayoritario de partículas finas inferiores a 0.046 mm siendo el 70% en peso de las muestras y un comportamiento reológico de flujo plástico Bingham.

(Martínez, 2009) realiza una caracterización de las pulpas de Cieno carbonatado que son transportadas por tuberías, donde obtiene un modelo matemático para describir el comportamiento de dicho material durante su movimiento por tuberías y la ecuación de la caída de presión para los plásticos Bingham a partir del modelo de Buckingam-Reiner.

Sin embargo en los trabajos anteriormente descritos se puede comprobar que las investigaciones realizadas sobre el Cieno Carbonatado están centradas en dos puntos fundamentales, las características del material existente en la bahía de Moa para su utilización, y la caracterización de la pulpa del Cieno carbonatado para su transportación por tuberías.

Por lo que se hace necesario un estudio para la caracterización del Cieno Carbonatado que forma parte del rechazo mediante un estudio cinético de la molienda de dicho material que permita una posible utilización del mismo en el proceso, insuficientemente estudiado hasta la actualidad.

1.3 Génesis del Cieno Carbonatado

El yacimiento de Cienos Carbonatados de la bahía de Cayo Moa es un depósito compuesto por sedimentos clásticos friables cuaternarios, de carácter biodetrítico y terrígeno que se caracterizan en su conjunto por un elevado contenido de carbonato de calcio.

Es apreciable el carácter discordante del depósito de sedimentos clásticos carbonatados con relación a su basamento; de esta forma los sedimentos carbonatados son parte de una secuencia sedimentaria sin relación con el basamento de la cuenca en que se depositaron; al transportarse fueron sedimentándose en una zona de aguas tranquilas y de poca circulación en un ambiente de laguna retroarrecifal.

En las proximidades de la ciudad de Moa, los restantes elementos que conforman el substrato plegado no afloran y en la zona costera y la plataforma marina, las rocas de la asociación afiolítica y en ocasiones su corteza de intemperismo, son cubiertas por depósitos sedimentarios del Neógeno – Cuaternario que en su base están compuestos por caliza del arrecife, calizas biodetriticas, margas, rocas arcillosas y depósitos palustres sobre los que yacen en el área de la bahía de Cayo – Moa, arenas y sedimentos areno limosos y limosos calcáreos que en su conjunto forman el yacimiento de Cieno Carbonatado.

Los sedimentos que conforman el yacimiento presentan una estratigrafía matizada por la carencia de una verdadera estratificación y donde predominan los cambios granulométricos graduales en la vertical y los cambios faciales laterales.

En estos sedimentos marinos cuaternarios de edad Holoceno – Reciente, la deposición estuvo controlada, no sólo por el régimen de transporte hidrodinámico específico de la zona costera, sino también por el relieve e inclusive las características litológicas de las fuentes de suministro.

En el perfil litológico generalizado del depósito aparecen con diferente grado de mezcla, las siguientes “capas” u horizontes: **arena carbonatada, cieno carbonatado de limoso a arenoso, y cieno terrígeno.**

Las rocas del basamento están constituidas por calizas arrecifales y biodetriticas, además de areniscas, que por lo general contienen fragmentos de corales. Por

zonas aparecen arcillas y turbas que por lo general se mezclan con la parte inferior más arenosa del yacimiento de Cienos Carbonatados.

Se establece dos tipos litológicos útiles de este material. Nedved (1966). El primero, de color gris claro, con alta plasticidad y poco arenoso, con fuerte olor a H_2S, en él prevalecen las partículas menores de 0.08 mm que pasan la malla 200 mesh (entre 50 y 90 %) y las partículas gruesas sobre mallas 200 mesh no sobrepasan el 10 %. El segundo tipo de color gris oscuro, menos plástico, con incremento de las partículas gruesas (abundantes conchas) carece de olor a H_2S y aumenta el contenido de partículas gruesas sobre mallas 20 mesh hasta 30%.

1.4 Descripción del flujo tecnológico

1.4.1 Planta de Coral

El objetivo de esta planta es formar una pulpa de Cieno Carbonatado con un sólido entre 40 y 45 % según se muestra en la tabla 1.1 donde el conteniendo de arena debe ser menor del 17 % y cloruro menor de 700 ppm. Además sirve de almacenaje para mantener un suministro estable a la planta de Neutralización.

Tabla 1.1 Característica de diseño 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

Fuente: Datos técnicos planta de Cieno

El Cieno Carbonatado se extrae de las formaciones coralinas del fondo del mar en la Bahía de Moa. El proceso de minado se realiza con grúas que utilizan palas de cubos bivalvas como medio de extracción, las que depositan el Cieno Carbonatado sobre las patanas que lo trasladan hasta la planta de preparación de pulpa de Cieno Carbonatado. Una vez en esta, se descarga el mineral en un

depósito, que tiene capacidad para 800 TM o se alimenta directamente al embudo de la lavadora, esta descarga o alimentación se realiza con una grúa situada en tierra. Ver anexo 9

El Cieno Carbonatado que se alimenta al embudo entra en contacto con el agua inyectada por los spray, pasa a través de una criba fija que deja pasar las partículas menores de 152.4 mm y cae por gravedad a la lavadora de paletas; ver anexo 9; en este equipo es donde se define la eficiencia de la planta. Después de formada la pulpa en la lavadora se descarga a una zaranda vibratoria de doble paño donde el tamizado es ayudado por agua a presión (entre 30 y 40 lb/pulg), la malla superior es de 0.25 pulg. y la inferior es de 0.833 mm, después del tamizado se obtiene por una parte el rechazo (representa aproximadamente el 10 % del Cieno Carbonatado procesado) y por otro lado la pulpa de Cieno Carbonatado con un sólido entre 10 y 20 % (siempre debe buscarse los valores más bajos dentro de este rango), ésta pulpa es bombeada hacia el espesador #1; toda el agua utilizada en los equipos señalados anteriormente es proveniente del reboso del espesador #1.

Para lograr bajar la concentración de cloruro de sodio y subir el porciento de sólido a los valores establecidos existen dos sedimentadores con el sistema de lavado a contra corriente.

Antes de ser alimentada la pulpa al sedimentador #1, entra en contacto con el agua de reboso del sedimentador #2 en la caja de alimentación de este espesador, de aquí se alimenta al sedimentador por un tubo que descarga en la parte superior y central del mismo, en éste tubo es donde ocurre el proceso de lavado.

Del fondo del sedimentador #1 se extrae la pulpa espesada y se bombea a la caja de alimentación del sedimentador #2 donde se le adiciona agua cruda para efectuar la ultima etapa de lavado de la misma forma que se hizo en el sedimentador anterior ver anexo 10, después de espesada la pulpa se bombea a un tanque (TK-3) de donde se bombea para la planta de Neutralización.

1.5 Los 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 entre si. 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 mas se abren (se liberan uno de otro) los minerales en la trituración y en la molienda, tanto mas 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 tiene en este caso el significado de una operación enriquecedora y se llama 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 el camino experimental durante las investigaciones de la facultad de enriquecerse de cada mineral.

1.6 Fragmentación de materiales blandos y frágiles

Para la fragmentación gruesa, media y fina se utilizan trituradoras de uno y dos cilindros dentados o estriados, trituradores de martillos y de rotor, desintegradores. Las trituradoras de dos cilindros dentados están destinadas a la fragmentación media y gruesa del carbón bruto y los esquistos con mezclas de ganga en grandes trozos, con coeficientes de tenacidad menores de 4 – 6 (según Protodiákonov). También se emplean para triturar menas blandas como el manganeso. En comparación con las trituradoras de otros tipos, las de cilindros

dentados forman menor cantidad de menudos. Dichas máquinas se fabrican de dos tipos de alta y baja velocidad. Las primeras se utilizan para la fragmentación de géneros más duros de carbones de piedra, mientras que las segundas, para sus variedades más blandas. Las trituradoras de baja velocidad proporcionan menor fragmentación excesiva que las de alta velocidad y por esta razón se utilizan cuando la limitación de la trituración tiene particular importancia.

De acuerdo con las condiciones de agarre, el diámetro de los cilindros debe ser 1. 85 –3. 5 veces mayor que el tamaño de los trozos máximos en la alimentación y para el grado de trituración de 2. 5 – 4.

Las trituradoras de martillos y los desintegradores proporcionan mayor fragmentación excesiva que las trituradoras de cilindros dentados, por lo que no deben ser instaladas cuando ha de ser obtenido material en trozos y suficientemente grueso. Por regla, los trituradores de martillos y los desintegradores se emplean para la trituración fina. A causa de debilidad de su estructura los desintegradores pueden ser instalados sólo para la fragmentación de los materiales más blandos y frágiles.

Las trituradoras de martillos y de rotor se distinguen por tener sencilla estructura, pequeña masa, bajo coste por unidad de rendimiento y pequeño consumo específico de energía. Estas máquinas han obtenido en los últimos años extensa aplicación para fragmentar materiales blandos y de dureza media, tales como el carbón de piedra, la carga de coque, la cal, las menas de metales ligeros, ferrosos, no ferrosos, raros y nobles, sales potásicas, menas de asbesto, de baritina y fluorita, materiales para la construcción.

El grosor de los trozos en la alimentación en las trituradoras de martillos de rotor único puede alcanzar hasta 400 – 500 mm para las birrotores, hasta 1 000 mm, estas últimas se utilizan, por regla, para fragmentar materiales más húmedos y adhesivos, así cuando en la alimentación hay grandes trozos.

La anchura de la rendija entre los barrotes de las trituradoras de martillos y la distancia entre la rejilla de barrotes y el extremo de los martillos se elige en función del grosor requerido de producto fragmentado y la humedad del material fragmentado. La anchura entre los barrotes debe ser de 3 – 6 veces mayor que el tamaño transversal del producto fragmentado al triturar hasta 5 mm y 1. 5 – 2 veces mayor al triturar hasta 50 mm.

En las trituradoras de martillos y de rotores el rendimiento, triturabilidad del

material, el grado de trituración y la potencia consumida están interrelacionadas. Al fragmentar un material dado en una trituradora, para una misma potencia de accionamiento, el aumento del rendimiento según la alimentación inicial reduce el grado de trituración y viceversa.

1.7 Características de las trituradoras de mandíbulas

Los principales aspectos de los procesos de trituración son: Los principales tipos de trituradores según la búsqueda realizada (Andréiev (1980), Tagart (1972), Lynch (1980), Shubin (1975) y otros utilizadas en los procesos de reducción de tamaño de los materiales son:

- Trituradoras de mandíbulas.
- Trituradoras de conos.
- Trituradoras de cilindro.
- Trituradoras por choques o impacto.

Para el estudio se utilizan dos trituradores de mandíbulas. La quijada (mandíbula) móvil realiza movimientos de vaivén, acercándose y alejándose de la quijada fija. El material se alimenta por la parte superior y por su propio peso cae en la cámara de trituración, donde ocurre su quebrantamiento por el mecanismo de compresión durante el acercamiento la quijada móvil a la fija. La descarga se lleva a cabo de forma periódica durante el alejamiento de la mandíbula móvil.

Existen dos prototipos de trituradoras de quijada:

- De movimiento complejo (de doble barra).
- De movimiento simple (de barra simple).

En las trituradoras de movimiento complejo, la quijada móvil está suspendida concéntricamente en la parte superior de la trituradora y su movimiento se trasmite mediante un sistema de dos barras transmisoras unidas a una tercera, excéntricamente dispuesta en el eje del volante. Una de las dos barras transmisoras se une al cilindro hidráulico para la regulación de la abertura de descarga de la trituradora. Resultado de este tipo de transmisión de movimiento, la quijada móvil realiza movimientos lineales, circulares y elipsoidales.

En las de movimiento simple, la quijada móvil está dispuesta concéntricamente en el eje del volante, la parte inferior de la quijada se apoya en una barra de transmisión que está unida al regulador de la abertura de descarga. El costo de una trituradora de movimiento complejo es superior en un 50 % al costo de una de

movimiento simple.

En ambas trituradoras un elemento importante lo es el volante, además de servir como polea para la transmisión del movimiento del motor (eléctrico o diesel), sirve también para la acumulación de energía durante la descarga, la cual se le imprime al material al acercarse la quijada móvil a la fija, por tal razón los volantes se construyen con contrapeso en uno de sus semicírculos.

Las quijadas se revisten con planchas de acero al manganeso, de Ni -hard o Ni-Cr, lo cual reduce enormemente el desgaste y minimiza los gastos energéticos. Estas planchas (liners) pueden ser lisas o corrugadas, las últimas permiten introducir los métodos de corte y flexión, por cierto muy preferidos en la trituración de menas duras y abrasivas.

Cuando el contenido de partículas finas es alto en el producto alimentado es alto se recomienda utilizar recubrimientos curvos, cóncavos para la quijada móvil y convexa para la fija. Esto último evita las tupiciones de la trituradora, disminuye el desgaste de los liners y aumentar la capacidad de la trituradora con el mismo consumo energético. Usualmente la transmisión es por correa y polea, lo cual puede servir como mecanismo de defensa ante la presencia casual de objetos no triturables en la zona de trabajo de la misma. Ante este fenómeno, algunas tipologías constructivas tienen previsto que una de las barras transmisoras este diseñada de tal manera que al caer en la cámara de trituración un objeto no triturable (como regla metálico), esta se pueda romper sin que se dañe ningún elemento del equipo; la quijada móvil, al quedar sin apoyo inferior, se abre dejando pasar el metal, en esta operación participa también la varilla tensora inferior que está unida al cuerpo de la trituradora. Otros diseños más modernos utilizan un sistema automático de protección de sobrecarga: en caso de sobrecarga se abre la quijada facilitando el paso de los objetos no triturables de forma automática con ayuda de cilindros hidráulicos. Esto permite el arranque con carga de la trituradora.

El ángulo entre las mandíbulas debe ser menor a 26^0 el uso de ángulos mayores a este valor da lugar a un incremento del desgaste de los órganos trituradoras; este ángulo depende del ancho de la abertura de descarga de la trituradora: la disminución de la abertura de descarga trae consigo el aumento de este ángulo, en consecuencia disminuye la productividad de la máquina y

aumenta el grado de reducción. Estas trituradoras garantizan un ángulo de reducción de 3-4, aunque en ocasiones puede llegar a 8; las trituradoras que trabajan con un grado de reducción igual 6 el consumo de energía es de 0.3-1.3kWh/t la fija. Esto último evita las tupiciones de la trituradora, disminuye el desgaste de los liners (Andréiev et al).

La trituradora de mandíbula se muestra en la figura No1.1

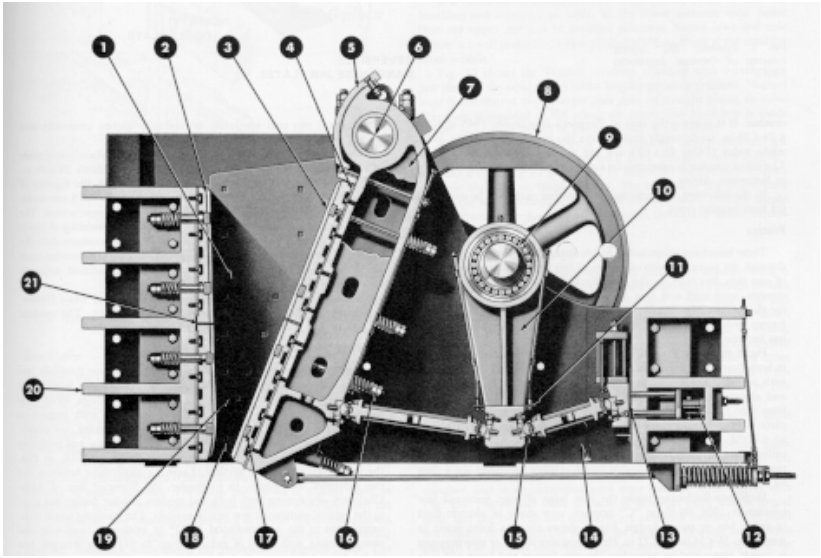


Figura 1.1 Trituradora de mandíbula. 1- cámara de trituración; 2- quijada fija; 3- cuerpo de la cámara de trituración, 4- tornillos de ajuste; 5- Unión móvil de la quijada, 6- eje de apoyo; 7- quijada móvil, 8- volante; 9- biela, 10- manivela, 11- unión de las planchas tirantes; 12- ajuste de la abertura de la trituradora; 13- unión de las planchas tirantes; 14- planchas tirantes; 15- unión de las planchas tirantes; 16- tornillo de sujeción del revestimiento, 17 y 19- revestimiento de la quijada, 18- abertura de descarga.

1.8 Molienda

Los molinos de tambor están constituidos por un tambor con dos tapas laterales, en el centro de las cuales se encuentran los gorrones, las cuales descansan en cojinetes de rodillos o fricción, según el tipo constructivo; el segundo es más común que el primero.

El tambor se llena aproximadamente hasta la mitad del volumen interior con los elementos moledores. Durante la rotación del tambor, los elementos moledores, gracias a la fricción, se elevan hasta la altura que corresponde al equilibrio dinámico y o bien caen en forma de parábola, o se deslizan hacia abajo en forma

de capas. Por uno de los laterales se alimenta el material de forma continua, el cual se muele en el interior del tambor por los métodos de compresión, golpe y fricción, para luego descargarse por la otra boca lateral. Durante el movimiento del tambor, el material se desplaza por el interior del molino desde a boca de carga hasta el gorrón de descarga.

Los molinos se caracterizan por las dimensiones del diámetro interior y el largo del tambor. El tambor se recubre con planchas de acero Hard Ni , acero al carbono, al manganeso o cromo - molibdeno. De todos ellos los más resistentes a la abrasividad son los de acero de cromo –molibdeno y los de Hard níquel. Los recubrimientos internos de los molinos representan el mayor peso específico en el costo de los molinos. Existen múltiples tipos de recubrimiento: lisos, ondulados, de paso, etc. El grupo franco- belga Magoteaux produce un tipo de recubrimiento conocido por el nombre de Dorr – lift cuya evaluación debe contemplada, pues reducen considerablemente los gastos energéticos de los molinos.

En los últimos años han aparecido los recubrimientos sintéticos, los cuales no solo reducen los costos energéticos, sino también el nivel de ruido, los costos de mantenimiento por su fácil instalación y larga vida; es recomendable su uso especialmente en las plantas de flotación o en aquellas plantas donde es necesario adicionar reactivos químicos directamente en los molinos. En la planta del " El Cobre" de Santiago de Cuba fueron instalados recientemente con grandes beneficios económicos.

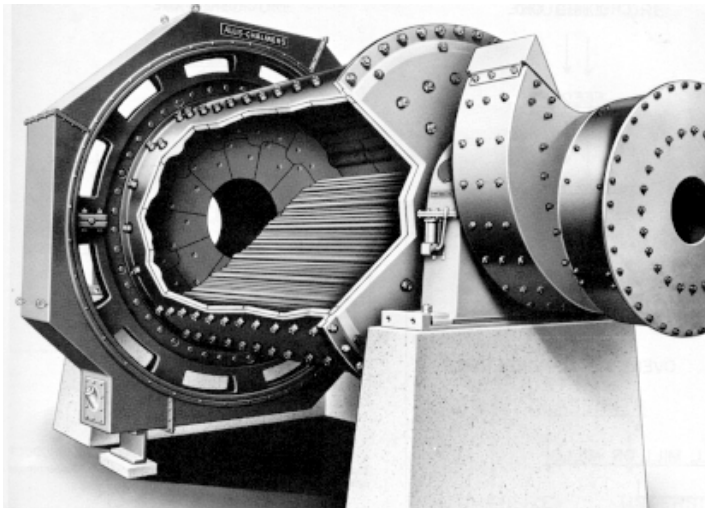


Figura 1.2 Molino de Barras

Molinos de Barras

Éstos se pueden considerar como la última etapa de trituración o como una molienda burda. El tamaño del producto alimentado como regla es menor de 50 mm y reduce el mineral hasta un tamaño aproximadamente de 300 m, el grado de reducción es de 20(15): 1. El rasgo distintivo de estos molinos consiste en que el largo es de 1.5 – 2.5 veces mayor que el diámetro. Las barras son unos centímetros más cortos que el largo del tambor, cuyos diámetros oscila entre 25 – 150 mm.

Los molinos de barras trabajan con un grado de llenado de 45 % y una velocidad rotación de 50 – 60 % de la velocidad crítica. La sobrecarga de barras por encima de este valor produce su desgaste prematuro y del recubrimiento, usualmente la densidad de alimentación es de 65 – 80 % de sólido.

Molinos de Bolas

Son considerados la última etapa de reducción de tamaño. Como lo indica su nombre, los cuerpos moledores son bolas de acero al manganeso o al cromo, también las hay de acero al carbono.

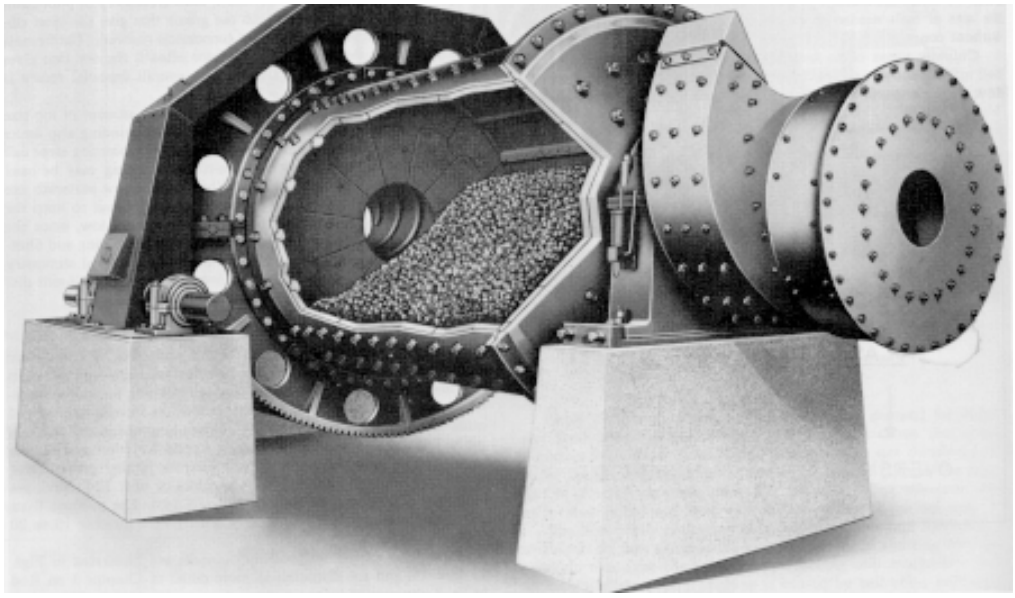


Figura 1.3 Molino de Bolas

Las bolas tienen una mayor área superficial específica que las barras. El término molino de bolas está restringido a la relación largo / diámetro del molino, esta proporción debe ser de 1 – 1.5. Los molinos cuyas razones sean de 3 – 5, son considerados molinos tubulares; estos últimos como regla tienen dos cámaras, las cuales se llenan con diferentes cargas, e incluso en ocasiones son

diferentes medios moledores, en la primera cámara se lleva a cabo la primera etapa de molienda y en la segunda la molienda es más fina. Estos molinos son ampliamente usados en la industria del cemento, clinker, yeso y otros, actualmente se preparan las condiciones para el montaje una unidad de este tipo en la planta de níquel de Nicaro (Cuba).

A los molinos tubulares de una sola cámara se les denomina molinos de guijarros, debido a que su medio moledor son las fracciones de 40 - 70 mm del propio mineral o de canto rodado. La carga de interior de guijarros es de 35 – 55 % del volumen interior del molino. Estos molinos son ampliamente utilizados en el tratamiento de las menas portadoras de oro; son muy extendidos en la República de Sudáfrica Los molinos de bolas se diferencian en cuanto a la forma de descarga del mineral molido: de rejilla y de descarga central. La diferencia radica en que en el molino de descarga con rejilla, en el lateral de la descarga se instala una rejilla, la cual está compuesta por varios sectores. En el espacio entre la rejilla y la tapa lateral, están dispuestos los bolsillos elevadores, con ayuda de los cuales la pulpa se eleva hasta la boca de descarga.

En los molinos de descarga central el diámetro de la boca de descarga es mayor que el de la alimentación, de manera que la pulpa rebosa en la descarga. Estos molinos son proclives a la remolienda del material.

En el trabajo de los molinos de bolas influyen un gran número de factores. La densidad de la pulpa debe lo mayor posible; generalmente es de 65 – 80 %; el trabajo del molino con pulpas diluidas trae consigo el incremento el contacto metal - metal, lo cual aumenta considerablemente el consumo de acero, en bolas y recubrimiento. Otro factor importante es la carga de bolas, la cual define el área superficial de los medios moledores; este debe ser lo más pequeño posible. La carga de bolas debe ser una combinación de varios diámetros de las bolas, con la tendencia de que el diámetro de las bolas sea lo más pequeño posible, lo cual no descarta la inclusión de bolas de mayor tamaño, el cual depende esencialmente del tamaño máximo de alimentación. El tamaño máximo de las bolas se puede determinar por la fórmula de Razumov :

$$D_{bolas} = 28\ d^{1/3}\ ,mm. \qquad (1.1)$$

La carga de bolas influye sustancialmente en la energía consumida por el

molino. En la práctica industrial de la molienda de minerales el grado de llenado de molino varía de 40 –50 %, niveles superiores de carga de bolas conlleva a un consumo adicional de energía, sin que esto signifique incremento de productividad. Los molinos de bolas trabajan a altas velocidades de rotación, 70 – 80 % de la velocidad crítica. El régimen de trabajo del molino está íntimamente relacionado con frecuencia de rotación del tambor. Existen tres regímenes de trabajo de los molinos: cascada, catarata y combinado; en el régimen de cascada la velocidad de rotación es pequeña, por lo cual las bolas se elevan hasta una determinada altura, para luego desplazarse hacia abajo, "resbalando" unas sobre otras por capas paralelas, moliendo el material por fricción o desgaste, este régimen se usa cuando se necesita obtener productos de alta finesa, sobre todo cuando el golpe provoca la remolienda del material.

A este tipo de régimen siempre le es característica la presencia de la llamada "zona muerta", en la cual no ocurre molienda alguna; a esta zona muerta se le han dedicado numerosos trabajos, resolviéndose la situación en mayor o menor medida con ayuda de los liners o revestimientos, por ejemplo los de tipos elevadores o Dorr-lift.

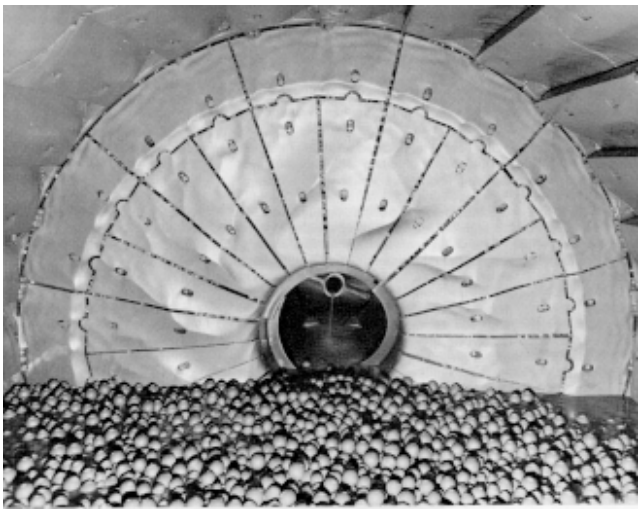


Figura 1.4 Vista interior del Molino

El ulterior aumento de la velocidad de rotación del tambor trae consigo que las bolas bajo la acción de las fuerzas centrífugas se eleven hasta una altura mayor y al alcanzar el punto de equilibrio dinámico, para entonces caer describiendo trayectorias parabólicas, en este caso el mineral se muele por el mecanismo de golpe. A este régimen se le conoce como régimen de catarata.

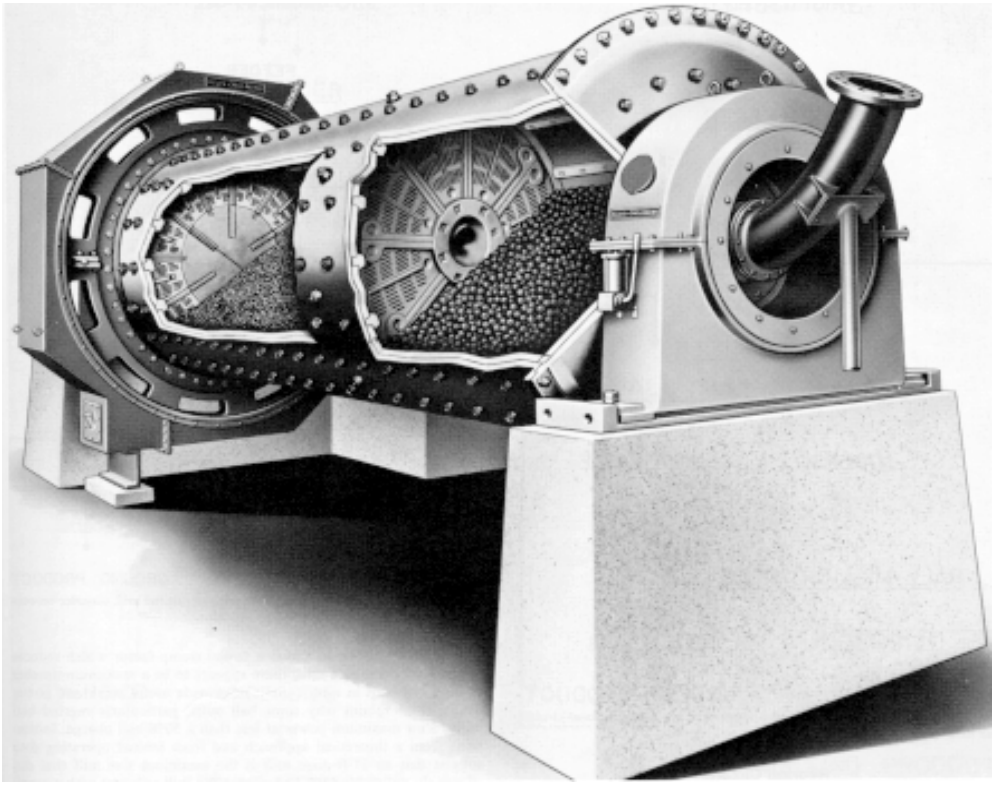


Figura 1.5 Molino tubular de dos cámaras.

Existe un régimen, que bien pudiera considerarse un régimen de transición de a otro régimen, naturalmente la frecuencia de rotación es intermedia entre los dos regímenes descritos más arriba, a éste régimen se le llama combinado.

Al igual que en las cribas rotatorias, en los molinos la frecuencia de rotación es de suma importancia, no sólo por que define el régimen de trabajo del molino y por tanto, las características del producto molido, sino también porque define en gran medida el consumo de energía del mismo. Al mismo tiempo, el aumento desmedido de la velocidad de rotación puede conllevar al fenómeno de centrifugación de bolas, fenómeno muy poco deseado por los tecnólogos beneficiadores, a esta velocidad con la cual las bolas comienzan a girar conjuntamente con el tambor, pegadas a la superficie del tambor se le denomina velocidad crítica.

1.9 Conclusiones parciales

1. El análisis de los trabajos precedentes reportan algunas de las características del Cieno Carbonatado aunque estas son insuficientes estudiadas,
2. Los trabajos realizados se basan en las características geólogo – mineras del yacimiento y el hidrotransporte de las pulpas de Cieno Carbonatado, no teniendo en cuenta el Cieno Carbonatado que forma parte del rechazo.
3. Se exponen los fundamentos teóricos, que permiten caracterizar el material desde el punto de vista químico y granulométrico, mediante un proceso de trituración y molienda.

CAPITULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Introducción

Los conocimientos sobre las características y propiedades del rechazo 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 en aras del cumplimiento del objetivo propuesto.

En tal sentido el **objetivo** del capítulo es:

Establecer los métodos y procedimientos experimentales para la obtención de las principales propiedades químicas y granulométricas del rechazo del Cieno Carbonatado.

2.2 Origen de las muestras del rechazo del Cieno Carbonatado

El yacimiento de Cieno carbonatado de la bahía de Moa es un depósito compuesto por un elevado contenido de carbonato de calcio, el cual supera el 80% en condiciones naturales, el mismo alcanza entre el 88 y 90 %, luego de ser beneficiado el mineral en la planta de procesamiento.

El área de la Concesión minera de la Moa Nickel. SA (MNSA) abarca una extensión de 8.05 km^2, 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. Ver Anexo 1

El material minado es transportado hasta la torre de beneficio instalada en áreas del puerto, donde solo es utilizada las partículas de fracciones menores de 20 Mesh, y todo el material mayor de esta fracción es denominado de rechazo, siendo traslado hacia los depósitos establecidos para el almacenaje de este material, actualmente dichos depósitos han sobrepasado su capacidad de almacenamiento por lo que se han visto en la necesidad de crear nuevas áreas de almacenaje de material denominado rechazo. Siendo este material el objeto de estudio de nuestra trabajo.

El material de rechazo utilizado para la realización de este trabajo fue obtenido del depósito actual de explotación ubicado en áreas aledañas a la planta de coral.

2.3 Toma y preparación de las muestras.

Para realizar el estudio se tomaron muestras representativas en el depósito de rechazo de Cieno Carbonatado para ello se aplica el método de puntos (Mitrofanov, 1984). El número de puntos de obtención de muestra depende de la regularidad del área de almacenaje de dicho material y la dimensión de la superficie sujeta al muestreo. Esta área tiene cerca de 300 m de largo por 90 m de ancho y 2,5 m aproximadamente de alto lo que equivale a un volumen igual a 67500 m^3. El volumen tomado en cada punto es de aproximadamente 2 Kg, hasta obtener un volumen lo suficientemente representativo de todo el área del deposito. El muestreo se realizó durante un viaje realizado a la planta de coral para ser trasladado posteriormente hacia el laboratorio de beneficio de minerales del Instituto Superior Minero Metalúrgico

El material de muestra es sometido a un proceso de homogenización por cuarteo ver figura 2.1 que permita obtener resultados reales.

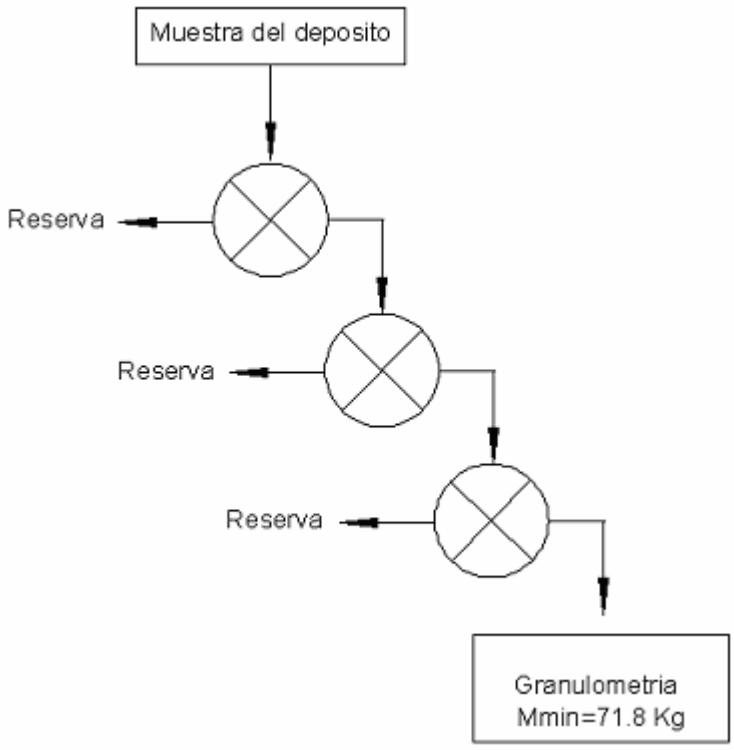


Figura 2.1 Esquema de homogenización de la muestra

2.3.1 Método del cuarteo.

El método del cuarteo se efectúa por el lanzamiento en el cono. El lanzamiento en el cono consiste en que el material, mediante una pala, se echa en el vértice de un montón que adquiere a la forma de cono, y se distribuye uniformemente por todos sus lados. El menudo restante se barre minuciosamente y también se arroja en el vértice del cono. Después de esto se coloca una tabla delgada de madera en el vértice del cono y se introduce a presión en el material aproximadamente a una profundidad equivalente a la anchura de la tabla. Luego, conservando la posición de la tabla paralela a la posición inicial, y por tanto, a la base, dicha tabla se desplaza a un lado. Con esto el material arrastrado por la tabla se distribuirá por la superficie lateral de la mitad del cono. Después la tabla en la misma posición, se mueve en dirección contraria y se desplaza la segunda mitad del material desde el vértice del cono hacia la superficie lateral de la otra mitad del cono truncado. Más tarde esta posición de la tabla se cambia en 90º. La operación de nivelación se repite hasta que se obtenga una capa de mineral cómoda para el cuarteo, la cual debe ser no mayor de 100 a 150 mm y tener un diámetro no menor que las mayores partículas del material. Se puede nivelar el cono con una pala, desplazando gradualmente el material desde el eje del mismo, por los radios hacia la periferia.

El cuarteo se realiza después de nivelar el montón: con la arista de esa misma tabla en la capa del material se hacen dos surcos mutuamente perpendiculares, los cuales se cruzan en proyección del vértice, así el montón se divide en cuatro partes. Posteriormente dos cuartos opuestos se une siendo estos la mitad de la muestra. Una mitad de ésta se desecha, y con la otra, se repite las operaciones de lanzamiento en el cono y cuarteo, la operación se repite hasta que no se obtenga la muestra con la masa correspondiente al diámetro de las partículas más gruesas del material.

2.4 Caracterización granulométrica del material.

La masa mínima para los ensayos es la resultante de la ecuación. (Andréiev, 1987)

$$Q_{\min} = 0.02(d_{\max})^2 + 0.5(d_{\max}) \qquad (2.1)$$

Donde:

$Q_{mín}$: Masa de muestra para realizar análisis granulométrico.

$D_{máx}$: Diámetro del trozo mayor del mineral.

La caracterización granulométrica inicial del material se realizó mediante el análisis de tamices, donde las muestras de rechazo de Cieno Carbonatado fueron caracterizadas inicialmente desde el punto de vista granulométrico. Después de haber determinado el juego de tamices mediante la serie de Taylor $\sqrt{2}$ los tamices escogidos fueron los siguientes: (25; 18; 10; 6,3; 4,75; 3,5; 2; 1,6; 1,18; 0,83) mm. La composición granulométrica del material, se realizó mediante el tamizado por vía seca de las fracciones seleccionadas: (+25; -25 +18; -18 +10; -10 +6,3; -6,3 +4,75; -4,75 +3,5; -3,5 +2; -2+1,6; -1,6 +1,18; -1,18 +0,83; -0,83).

El material obtenido por cada clase de tamaño es pesado de forma independiente para determinar los diferentes índices tecnológicos, luego se determinó un promedio del peso de las distintas clases de tamaño y se calculó el por ciento de salida sumaria de la cantidad de material cernido y retenido según los diferentes tipos de granulometrías, para determinar las características de tamaño parcial y acumulativas del material inicial. Para el pesaje de las muestras se utilizó la balanza Europea Gibertini (anexo 2b), la cual posee un error de precisión de 0.01.

2.4.1. Proceso de reducción de tamaño para la molienda.

Después de realizar una clasificación granulométrica inicial, se seleccionaron las distintas clases de tamaño mayores de 6.3 mm y estas serán sometidas a un proceso de trituración primaria ver figura 2.2. Para esta operación se empleo la trituradora de quijada 320 x 165 (Anexo 2a) por aplastamiento entre las dos mandíbulas del equipo, empleando este triturador con superficies ranuradas, provisto de suspensión superior y movimiento simple.

Al producto triturado se le determinó la composición granulométrica (Anexo 5) y para la clasificación del material triturado se utilizó el siguiente juego de tamices seleccionado por la serie de Taylor $\sqrt{2}$ (6,3; 4,75; 3,5; 2; 1,6; 1,18; 0,83) mm (Anexo 3)

Este material triturado al alcanzar la clase tamaño -6.3 mm, es nuevamente homogenizado junto al resto del material de este tamaño, permitiendo una preparación previa de la muestra para el proceso de molienda.

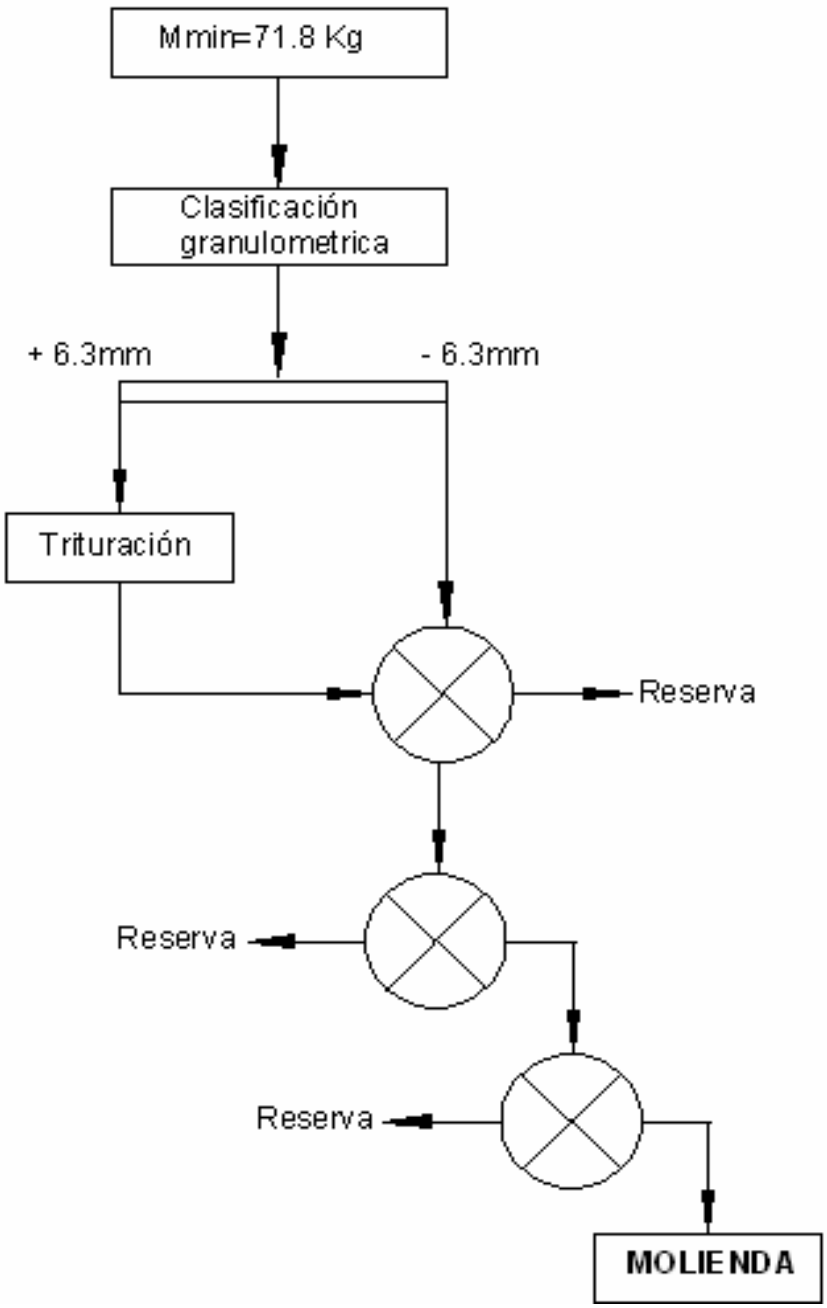


Figura 2.2 Esquema de preparación para la trituración y molienda del material.

2.5 Procedimiento Experimental

2.5.1 Análisis químico

Con el objetivo de determinar el comportamiento de los diferentes elementos químicos que componen las muestras por clase de tamaño estudiadas se utiliza el método (ICP) plasma inductivamente acoplado en un Espectrómetro de Emisión Óptica.

Fundamento del método de análisis químico por ICP

La base, del método, es la medición de la Emisión Atómica, por una técnica de Espectroscopia Óptica. La porción de ensayo es nebulizada y el aerosol producido es transportado al plasma, donde se produce la excitación. Las líneas atómicas características del espectro de emisión son producidas por un plasma inductivamente acoplado (ICP). Los espectros son dispersados por un espectrofotómetro de red y las intensidades de las líneas son monitoreadas por los detectores. Las señales procedentes de los detectores son procesadas y controladas por una computadora.

Método de Cálculo

$$\% = \frac{mg/l}{10^6} x \frac{diluciones}{alícuotas} \qquad (2.2)$$

Donde:

mg/l: concentración de la porción de ensayo del elemento sometida a medición espectrométrica.

Procedimiento

Las muestras se filtran al vacío, se seca el sólido, se tritura y se pasa por una malla 50. Se pesa 0.5g y se disuelve con 7ml de ácido nítrico y 21 de ácido clorhídrico. Se lleva a 100 ml y se coloca en el espectrómetro obteniendo los resultados de los porciento de los elementos presentes en las muestras analizadas.

2.5.2 Análisis del % de Carbonato contenido en el Rechazo de Cieno Carbonatado

Este procedimiento establece la determinación del % de carbonato de calcio contenido en Cieno Carbonatado forma parte del rechazo.

La porción de ensayo es neutralizada con ácido clorhídrico, se añade un exceso, el cual es determinado por valoración con solución de hidróxido de sodio, utilizando mezcla de indicadores (rojo de metilo y bromo cresol) como indicador.

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

Se lavan las paredes del beaker con un chorro fino de agua. Se filtra a través de un papel de filtración medio – rápida, y lave no menos de 5 veces con agua caliente.

Reciba el filtrado en un elenmeyer de 300 ml de capacidad.

Para la valoración

Añada 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:

$$\%\, CaCO_3 = \frac{N_1(HCl) * V_1(HCl) - N_2(NaOH) * V_2(NaOH)}{masa} * 5 \qquad (2.3)$$

Donde:

V_1: ml añadidos de solución de ácido clorhídrico.

V_2: ml consumidos de hidróxido de sodio en la contra valoración.

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.

2.5.3 Determinación de la densidad del sólido del material de rechazo.

Para la determinación de la densidad del sólido se utiliza el **método del picnómetro**, dicha prueba se realizó en el laboratorio de química de la facultad de Metalurgia Electromecánica, según. (Heny, K.E; Fred, H.W; Stephen, R.L, 1959).

- Se toma un picnómetro vacío y se pesa (Peso A)
- Se le añade agua destilada y se vuelve a pesar (peso B)
- Se vacía y seca el picnómetro minuciosamente y se le introduce el mineral para ser pesado (peso C)
- El mineral con agua se pone en una estufa a calentar para que escapen las burbujas de aire, se enfrían y si el agua esta en encima del material se tapa y se pesa (peso D).

El peso específico se determina por la expresión siguiente:

$$Pe = \frac{C - A}{B + C - A - D} \qquad (2.4)$$

Debe tenerse cuidado en eliminar todas las burbujas de aire surgidas al ser hervida el agua y ser enfriada. Si se utiliza con cuidado este método, se obtienen resultados muy precisos.

Para este análisis se utiliza un juego de picnómetros de 25 ml, una balanza digital con precisión +- 0.01 g y una estufa de temperatura hasta 100 ºC

Densidad de la pulpa

Para determinar la densidad de la pulpa de Cieno Carbonatado se utiliza el método volumétrico, a través del procedimiento siguiente.

- Se toma una probeta graduada de capacidad 500 ml (volumen) y se pesa.
- Luego se toma la muestra de pulpa de Cieno Carbonatado y se homogeniza mediante agitación
- Se vierte la pulpa en la probeta hasta el volumen de 500 ml, y se pesa obteniéndose los resultados en (g).

La densidad de la pulpa en g/cm^3 se obtiene por la siguiente expresión

$$\rho_p = \frac{m}{V} \qquad \frac{masa(g)}{volumen(cm^3)} \tag{2.5}$$

Para este análisis se utiliza una probeta de capacidad 500 ml, un agitador y balanza digital con precisión +- 0.01 g

2.6 Metodología de cálculo del molino para calcular la masa de la carga de las bolas y la masa a alimentar al molino:

Se ha establecido que las cargas constituidas por bolas de diferentes tamaños ofrecen un rendimiento mayor que las cargas constituidas por bolas de un solo tamaño. Los minerales gruesos y resistentes exigen bolas de tamaño mayor, mientras que los minerales blandos y menudos se muelen mejor con bolas pequeñas. Para cada grosor del material que posee una moliendabilidad determinada es posible seleccionar tal característica del grosor de la carga de bolas que garantice el máximo rendimiento del molino.

El número de choque de las bolas en el molino crece al disminuir su tamaño debido a que permaneciendo la misma masa total de bolas su número crece. Por lo tanto, es recomendable la aplicación de un tamaño mínimo cuando estas todavía son capaces de moler bien un tamaño de grosor y resistencia dada.

Para determinar el diámetro de la bola máxima en la carga de bola se utiliza la fórmula de Rasumov (1975).

Considerando la partícula de mayor diámetro igual a 6,3cm:

$$D = 28 * \sqrt[3]{d} \tag{2.6}$$

Siendo:

D: el diámetro máximo, (mm)

d: diámetro de las partículas de mayor tamaño, (mm)

El rendimiento del molino es proporcional al consumo de energía para la

molienda. El consumo de energía está ligado al grado de llenado del molino con las cargas de bolas. Al crecer el grado de llenado del molino, se incrementa también el consumo de energía para la molienda, alcanzando el máximo cuando el 50% del molino esta lleno de bolas. El aumento posterior del grado de llenado del molino provoca la reducción del consumo de energía así como la disminución del rendimiento.

Volumen del molino:

$$Vmol = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4} \quad (2.7)$$

Donde;

D: Diámetro del molino. (18.5 cm)

L: Altura del molino (19.8 cm)

Masa de la carga de bolas:

Según Andréiev, S. et, 1987 considerando φ=0.45 porque se considera que el volumen que ocupa la carga de bolas es el 45 %.

$$M_{cb} = 3.61 \cdot \varphi \cdot D^2 \cdot L \quad (2.8)$$

Volumen de la carga de bola:

$$Vcb = Vmol \cdot 0.45 \quad (2.9)$$

Considerando que el volumen que ocupa el mineral debe estar entre el 60 -110% del volumen de los espacios entre bolas:

$$Vmat = (0.6 - 1.1) \cdot Veeb \quad (2.10)$$

Volumen de los espacios entre bolas:

$$Veeb = Vcb - Vtb \quad (2.11)$$

Volumen total de las bolas:

$$Vtb = \sum Vb \quad (2.12)$$

Sustituyendo y considerando que el material ocupa el 60%

$$Vmat = 0.6 \cdot Veeb \quad (2.13)$$

Masa que se añade al molino siendo la densidad de material 0.003 Kg/cm^3

$$Ma\lim = Vmat \cdot \rho_{mat} \quad (2.14)$$

2.7 Cinética de la molienda.

Para dirigir el proceso de desmenuzamiento en el molino de bolas y para escoger condiciones de su trabajo más útil es necesario como se efectúa el proceso dado en el tiempo, es decir, conocer su cinética.

El grosor del material triturado se controla con ayuda de un tamiz de control que tiene orificios de dimensiones correspondientes al grosor máximo de desmenuzamiento. El resto en el tamiz de control representa en si la clase gruesa no desmenuzada hasta el final.

El material inicial destinado para el desmenuzamiento puede consistir bien exclusivamente en granos de la clase gruesa, bien de la mezcla de la clase gruesa y el producto acabado.

Si durante el trabajo del molino de bolas de acción periódica dentro de lapsos determinados de tiempo vamos a tomar muestras del material desmenuzado, determinar en ellas la masa de la clase gruesa y representar los resultados en forma de un grafico, entonces obtendremos líneas curvas que indican la dependencia de la masa Q de restos de la clase gruesa en el tamiz de control de la duración del desmenuzamiento t. Estos gráficos muestran la disminución normal de la cantidad de clase gruesa en el material desmenuzado y tienen una forma de curva hiperbólica común para todos los minerales lo que indica a la existencia de la relación estable entre la cantidad del material no desmenuzado hasta el final y el tiempo de desmenuzamiento.

La forma de las curvas depende de las cualidades del material que se desmenuza y las condiciones del desmenuzamiento. Por eso la investigación de las curvas es una base del estudio de la cinética del proceso del desmenuzamiento en los molinos de bolas.

El carácter normal de la disminución de la masa de la clase gruesa en dependencia del tiempo de desmenuzamiento en los molinos de bola fue notado hace tiempo y son conocidas numerosas tentativas de deducir la ecuación de la cinética de la trituración por la vía experimental o teórica. En el caso más simple se puede suponer que la velocidad del desmenuzamiento (velocidad de la disminución de la masa de clase gruesa) es proporcional a la masa de clase gruesa no desmenuzada hasta el final que se encuentra en este momento dado en el molino.

Se denomina cinética a la regularidad de la variación de la composición

granulométrica del material que se somete a la molienda, o sea, es la regularidad de la disminución de la clase gruesa de tamaño en el proceso de molienda.

2.8 Conclusiones parciales

1. Los métodos y técnicas experimentales utilizadas para el análisis están fundamentadas a partir de la necesidad de la descripción y caracterización del Cieno Carbonatado que forma parte del rechazo para su utilización en el proceso.
2. Los métodos experimentales de investigación utilizados se complementan con el empleo de una actualizada base experimental y equipamiento adecuado para el desarrollo de las pruebas realizadas.

CAPITULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3.1 Introducción

El estudio de las propiedades físicas, químicas, así como la composición granulométrica y distribución del tamaño de las partículas de Cieno Carbonatado que forma parte del rechazo permitirá un análisis del material para un posible uso y aprovechamiento del mismo.

A partir de este planteamiento el **objetivo** de este capitulo es:

Determinar la cinética de molienda del Cieno Carbonatado que forma parte del rechazo en la plantas de preparación de pulpa de Coral en la empresa Pedro Sotto Alba.

3.2 Resultados de la caracterización granulométrica del Cieno Carbonatado de rechazo.

Se realizó el análisis granulométrico por vía seca a la muestra del material de Cieno Carbonatado que fue tomada del depósito de almacenaje luego de ser correctamente homogenizada. El material de rechazo utilizado para la realización de la prueba se caracterizó desde el punto de vista granulométrico, el cual arrojó los siguientes resultados.

Tabla 3.1 Resultados del análisis granulométrico del material de rechazo

Clases (mm)	Peso (Kg)	%	Sumaria por más %	Sumaria por menos %
+25	3,50	4,9	4,9	100
-25 +18	4,50	6,3	11,2	95,1
-18 +10	4,85	6,8	18,0	88,8
-10 + 6,3	6,60	9,2	27,2	82,0
-6,3 + 4,75	3,45	4,8	32,0	72,8
-4,75 +3,5	7,00	9,7	41,7	68,0
-3,5 + 2	1,50	2,1	43,8	58,3
-2 + 1,6	9,50	**13,2**	57,0	56,2
-1,6 + 1,18	9,50	13,2	70,2	43,0
-1,18 + 0,83	5,40	7,5	77,7	29,8
-0,83+0	16,00	22,3	100	22,3
Total	71,8	100		

En la determinación de la característica granulométrica inicial del material de rechazo, se puede apreciar que la clase de tamaño que predomina es la menor de 0.83 mm, la cual representa el 22.3 % de la masa total del material, y es esta fracción la que utilizan por diseño en el proceso. (Figura 3.1).

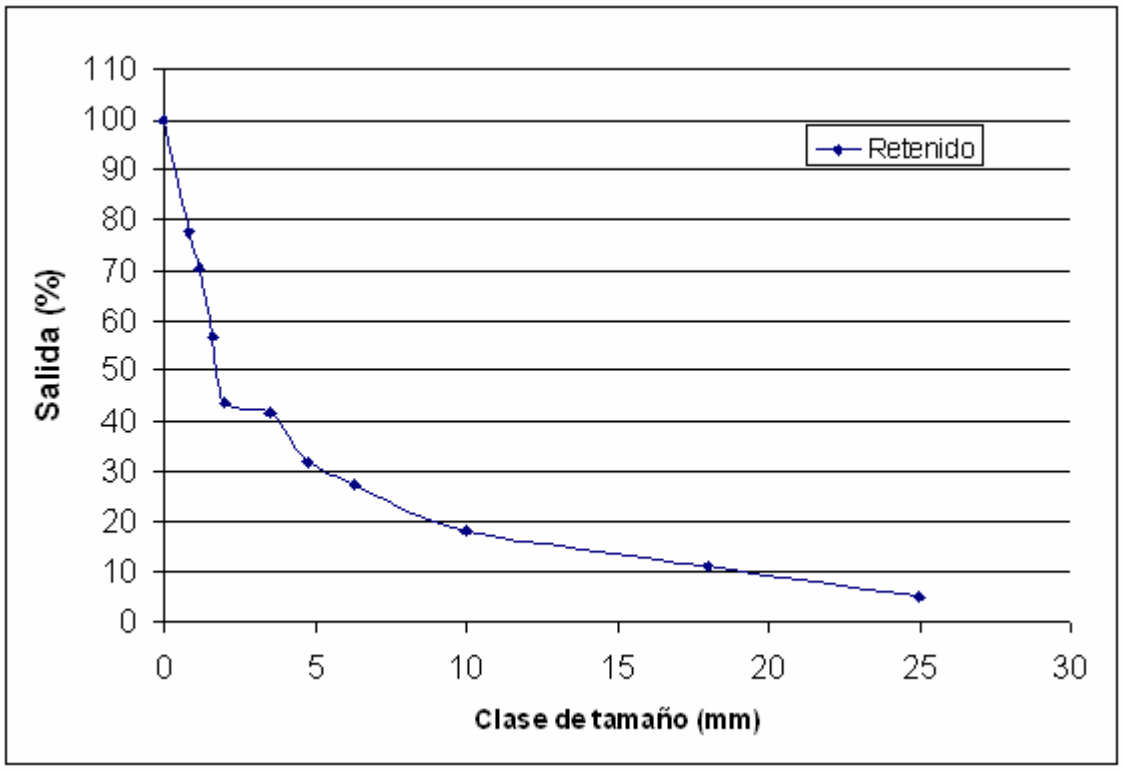


Figura 3.1 Característica sumarias del material de rechazo

En los resultados de la composición granulométrica obtenidos en la figura 3.1, se muestra la característica sumaria acumulativa, según el por ciento pasado y retenido, respecto al diámetro de las partículas del Cieno Carbonatado de rechazo realizados en el laboratorio de beneficio del Instituto Superior Minero Metalúrgico ISMM. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se puede observar que aproximadamente en el diámetro de 1.6 mm se igualan los valores alcanzados en el cernido y el retenido del material. El resultado de la característica del diámetro d_{80} se encuentra aproximadamente ubicado en el orden del diámetro de partículas igual a 6.3 mm.

3.3 Resultados del análisis granulométrico del material luego de ser triturado.

Luego de haber realizado un análisis granulométrico del material de rechazo del Cieno Carbonatado se hace necesario reducir el tamaño de las partículas a la fracción de diseño de la planta. Para lograr este resultado se debe realizar un proceso de trituración y molienda que nos permita reducir el material de rechazo a una fracción de tamaño menor de 0.83 mm que es el tamaño de las partículas utilizadas en el proceso.

Trabajos realizados por varios autores (Cuello, 2000), (Laborde, 2004) han establecido que el grosor optimo de la alimentación del molino de bola existente en el laboratorio del ISMM es cerca de los 10 mm, por lo que se establece que el material de rechazo analizado antes ser molido, se debe realizar una trituración previa del material con fracción mayor de 6.3 mm según el análisis granulométrico realizado. Este es el diámetro máximo de salida de la trituradora de mandíbula existente.

Luego de ser triturado el material de la fracción establecida, se realiza un análisis granulométrico del material triturado obteniéndose los siguientes resultados (Anexo 5).

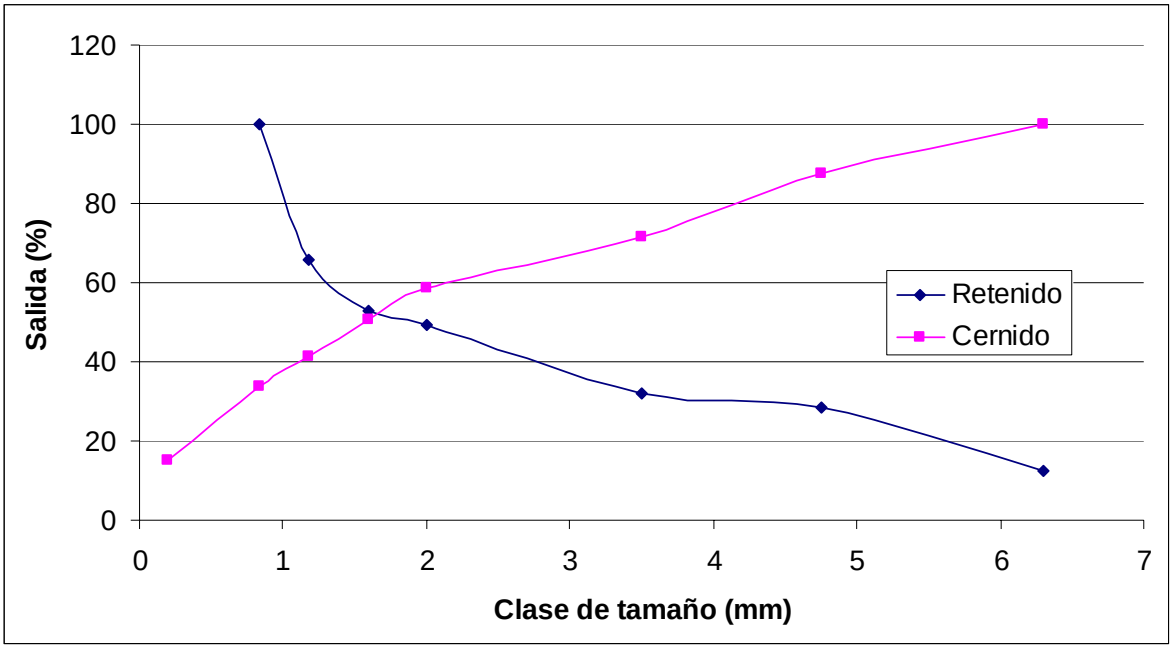


Figura 3.2 Característica sumaria del material de rechazo

Los resultados obtenidos en la figura 3.2 dice que luego de ser triturado el material de clase de tamaño mayor de 6.3 mm, predominan las partículas de tamaño menores de 0.83 mm correspondiendo esto al 34% de la masa total del material y que aproximadamente el 90% de las partículas pasan a ser menor que la clase de tamaño de 6.3 mm

3.4 Resultados de la composición química por el métodos ICP del material de rechazo después de ser triturado la clase tamaño mayor de 6.3 mm.

El resultado del análisis químico del material de rechazo del Cieno Carbonatado que fue triturado se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Composición química del rechazo del Cieno Carbonatado después de la trituración:

Clase de tamaño	**% Si**	**%Mg**	**% Al**	**% Na**	**% K**	**% Ca**	**% Ni**	**% Fe**	**% $CaCO_3$**
-6,3+4,75	0,023	0,343	0,061	0,688	0,039	**38,71**	0,005	0,190	**95,52**
-4,75+3,5	0,031	0,951	0,196	0,801	0,060	**37,87**	0,014	0,901	**91,05**
-3,5+2,0	0,037	1,334	0,382	0,655	0,043	**34,62**	0,032	0,226	**83,82**
-2,0+1,6	0,032	1,250	0,204	0,743	0,049	**39,17**	0,014	0,918	**88,93**
-1,6+1,18	0,033	1,320	0,242	0,701	0,038	**38,23**	0,017	1,120	**88,28**
-1,18+0,83	0,031	1,140	0,204	0,898	0,097	**46,92**	0,013	0,895	**89,89**
-0,83	0,027	0,920	0,252	0,724	0,042	**43,73**	0,015	0,733	**90,84**

Estos resultados nos muestran que en el material de rechazo que fue triturado predomina el elemento Calcio con valores que alcanzan hasta un 46.92% para fracciones menores de 1.18 mm y mayores de 0.83 mm.

3.5 Resultado del proceso de molienda del material de rechazo luego de ser triturado las fracciones mayores de 6.3 mm

Luego de ser triturado el material de clase de tamaño mayor de 6.3 mm, se somete a un nuevo proceso de homogenización y cuarteo junto a las partículas de las clases menores de 6.3 mm.

El material resultante de la nueva homogenización será sometido a un proceso de molienda mediante un molino de bola en el laboratorio de beneficio de ISMM

3.5.1 Resultados del cálculo del molino

Para el proceso de molienda se utilizará un molino de bola existente en el laboratorio de beneficio del Instituto Superior Minero Metalúrgico, para el mismo se usaron bola de acero fundido con las características siguientes

Tabla 3.2 Carga de bolas del molino

Diámetro de las bolas (cm)	Peso de cada bola (Kg)	Cantidad de bolas a utilizar	Peso total de las bolas (Kg)
5	0,55	6	3,3
4,7	0,45	8	3,6
4,2	0,3	10	3
2,6	0,08	14	1,12
Total		38	11

A partir de las características de las bolas usadas, y según la metodología establecida en el epígrafe 2.6, se hace el cálculo previo ver tabla 3.3 de los principales parámetros de trabajo del molino de bola que regirán el proceso de molienda que se establezca.

Tabla3.3 Cálculo del molino

Parámetros	**Resultados**	**Unidad de medida**
Diámetro de la bola máxima	D = 5.18	cm
Volumen del molino	Vmol = 5319.6	cm^3
Masa de la carga de bolas	Mcb = 11	Kg
Volumen de la carga de bolas	Vcb = 2393.8	cm^3
Volumen total de las bolas	Vtb = 1283.9	cm^3
Volumen de los espacios entre bolas	Veeb = 1109.9	cm^3
Volumen del material	Vmat = 665.9	cm^3
Masa que se añade al molino	Malim = 2	Kg

En la tabla 3.3 se puede comprobar que el molino de bolas tiene un volumen de 5319.6 cm^3 permitiendo utilizar una masa de carga de las bolas igual a 11kg para una masa de alimentación del material igual a 2kg.

3.5.2 Resultados de la molienda

Para realizar este proceso se establece un sistema de molienda que nos 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. Para los cuales se le realiza un análisis granulométrico que nos permita valorar los resultados obtenidos.

Según la tabla 3.4 podemos comprobar para que tiempo de molienda se logra obtener los resultados deseados

Tabla 3.4 Tiempos de molienda

Tiempo de molienda (minutos)	5	10	15	20	**25**	**30**
%	60	68.5	72	73	**80**	**82.5**

Se observa que para los tiempos de molienda 25 y 30 minutos se alcanzó que las partículas de clase de tamaño 0.83mm sobrepasen el 80% de la fracción mayoritaria

La tabla 3.5 y 3.6 muestran los resultados del análisis granulométrico del material de rechazo para los tiempos de molienda 25 y 30 min. Los resultados de la granulometría para los tiempos restantes se pueden comprobar en el anexo 9

Tabla 3.5 Análisis de los resultados después de la molienda para 25 minutos

Clases de tamaño (mm)	Peso (Kg)	%	Sumaria por más %	Sumaria por menos %
+ 1,6	0,10	5	5	100
-1,6 + 1,18	0,14	7	12	95
-1,18 + 0,83	0,16	8	20	88
- 0,83	1,60	**80**	100	80
Total	2,00	100		

Como se observa la fracción de clase de tamaño menor de 0.83mm alcanzan el 80% respecto a peso total de la muestra.

Tabla 3.6 Análisis de los resultados después de la molienda para 30 minutos

Clases de tamaño (mm)	Peso (Kg)	%	Sumaria por más %	Sumaria por menos %
+ 1,6	0,07	3,5	3,5	100
-1,6 + 1,18	0,125	6,25	9,75	96,5
-1,18 + 0,83	0,155	7,75	17,50	90,25
- 0,83	1,65	**82,5**	100	82,5
Total	2,00	100		

Para este tiempo de molienda según la tabla 3.6 se comprueba que también existe un predominio de las fracciones de clase de tamaño menor a 0.83mm alcanzan un 82.5 % del peso total.

3.6 Resultados del análisis químico

Luego del análisis granulométrico realizado para cada tiempo de molienda se realizó un análisis químico por clase de tamaño de cada una de las moliendas realizadas con el objetivo de comprobar la característica de la composición por elementos del material de rechazo. Como fundamentamos en el capitulo II el análisis químico fue realizado mediante un Espectrómetro de Emisión Óptica por el método ICP plasma inductivamente.

Tabla 3.7 Composición química para 25 minutos de molienda

Clase de tamaño	%Ni	%Fe	% Mg	%Al	% SiO_2	%Cr	%Mn	%Ca	% $CaCO_3$
-0,83	0,014	1,05	1,26	0,32	1,54	0,022	0,023	**30,78**	**89,62**
+0,83-1,18	0,042	1,45	1,62	0,44	1,41	0,038	0,036	**29,51**	**88,21**
+1,18-1,6	0,035	1,29	1,39	0,30	1,30	0,025	0,030	**28,63**	**89,58**
+1,6	0,018	1,12	1,29	0,30	1,25	0,020	0,025	**29,37**	**89,12**

Tabla 3.8 Composición química para 30 minutos de molienda

Clase de tamaño	%Ni	%Fe	% Mg	%Al	% SiO_2	%Cr	%Mn	**%Ca**	**% $CaCO_3$**
-0,83	0,017	1,09	1,24	0,18	2,36	0,022	0,025	**29,34**	**90,90**
+0,83-1,18	0,018	1,00	1,19	0,16	2,38	0,027	0,019	**30,51**	**89,45**
+1,18-1,6	0,017	1,02	1,21	0,15	2,29	0,030	0,014	**28,95**	**88,96**
+1,6	0,017	1,12	1,28	0,15	2,33	0,029	0,010	**29,10**	**90,57**

Como los resultados indican, el material molido para los tiempos de molienda 25 y 30 minutos poseen elementos como Hierro, Manganeso, Cromo, Níquel y Magnesio, existiendo un predominio del elemento Calcio llegando a alcanzar valores de 30%. Como se puede observar no existe mucha diferencia de los valores en porciento de los elementos que componen el Cieno Carbonatado de Rechazo, con respecto a la clase de tamaño establecidas, comprobándose un ligero aumento en el porciento de Calcio para las fracciones de tamaño 0.83mm.

Se pudo comprobar también que en todas las pruebas realizadas existe un elevado valor del Carbonato de Calcio que puede oscilar entre 88 y 91 % de dicho componente

El análisis químico realizado para los tiempos de molienda de 15 y 20 minutos cuyos resultados se pueden apreciar en el anexo 7, para los cuales también se observa un total predominio del elemento Calcio.

Estos resultados alcanzados han sido comparados con los resultados obtenidos por Caballero 2008 ver tabla 3.9 en el que realiza una caracterización de las pulpas utilizadas en proceso para las partículas de clase de tamaño menor de

0.83mm, pudiendo llegar a la conclusión de que existe una gran similitud en la composición química de las pulpas preparadas en la planta de coral y el material de Cieno Carbonatado que es rechazado en la torre de beneficio ubicada en el puerto.

Tabla 3.9 Composición química de las pulpas de Cieno carbonatado. (Caballero, 2008)

Muestra	% Ni	% Fe	% Mg	% Mn	% Ca	% Al	% Na
M - 1	0,119	1,45	1,80	0,046	27,80	0,609	0,306
M - 2	0,114	1,15	1,73	0,028	29,14	0,470	0,200
M - 3	0,113	1,16	1,72	0,027	30,74	0,479	0,111

3.7 Impacto medio ambiental

Producto de la acumulación de rechazo de Cieno Carbonatado en áreas aledañas a la planta de coral, se han generado una serie de problemas medio ambientales. Por ejemplo material de rechazo contiene ciertos elementos que afectan el suelo donde es depositado, lo que provoca la extinción de la vegetación que crece en esta área. Esto trae como consecuencia que los animales que viven en esta zona tengan que emigrar a otro lugar y otros mueren. Debido a la gran cantidad de rechazo de Cieno Carbonatado existente en estos momentos se hace imprescindible la utilización de nuevos depósitos lo que provocaría un daño aun mayor a la flora y la fauna.

Se ha reportado un alto nivel de salinización de los suelos aledaños a las áreas de depósito de dicho material

También el minado de Cieno Carbonatado en la bahía de Moa trae como consecuencia un aumento de los niveles de emisión de gases a la atmósfera a partir de los gases de escape de los motores de la draga y el remolcador.

El dragado del Cieno Carbonatado provoca cambios en la morfología del fondo marino, esto trae aparejado un agotamiento del mineral útil extraíble del yacimiento debido a su explotación.

3.8 Conclusiones parciales del capitulo

1. En los ensayos de molienda se comprobó que para los tiempos de molienda 25 y 30 minutos se ha alcanza el 80% de la fracción mayoritaria de las partículas de clase de tamaño 0.83mm.
2. El análisis granulométrico realizado al material tomado directamente de los depósitos de Cieno carbonatado de rechazo, indica que existe un predominio de las partículas de clase de tamaño menores de 0.83mm, la cual representa el 22.3 % de la masa total del material.
3. El análisis químico de las muestras de Cieno Carbonatado de rechazo que fueron molidas, indica que el contenido de las especies contaminantes principales como Ni, Fe, Mg, Mn no supera el 2% y prevalece el calcio con un contenido alrededor de un 30%.

CONCLUSIONES GENERALES

1. El análisis granulométrico realizado al material tomado directamente de los depósitos de Cieno carbonatado de rechazo, indica que existe un predominio de las partículas de clase de tamaño menores de 0.83mm, la cual representa el 22.3 % de la masa total del material.
2. La caracterización obtenida del material de rechazo del Cieno Carbonatado permitió comprobar que existe un predominio de cerca de un 30% del elemento Calcio y valores de hasta un 90 % del Carbonato de Calcio $(CaCO_3)$.
3. El análisis de la cinética de molienda realizado al rechazo del Cieno Carbonatado muestra que para los tiempos de molienda 25 y 30 minutos se alcanza el 80% de la fracción mayoritaria de las partículas de clase de tamaño 0.83mm.

RECOMENDACIONES

1. Incorporar al proceso mediante un sistema de molienda, el Cieno Carbonatado que forma parte del rechazo por su elevado contenido de Carbonato de Calcio $(CaCO_3)$.
2. Evitar vertimiento en la torre de beneficio para garantizar la eficiencia del proceso de cribado.
3. Realizar un estudio de la cinética de molienda de este material por vía húmeda.
4. Realizar estudios sobre la influencia de la humedad en el proceso de molienda del material de rechazo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Andréiev, S.E. Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales. Editorial pueblo y educación, 1987.
2. Caballero, Y. Caracterización de las pulpas de Cieno Carbonatado para su perfeccionamiento en el hidrotransporte. Trabajo de Diploma 2008.
3. Campos, G.M. Nuevos datos acerca de la naturaleza y génesis de los sedimentos del yacimiento de Cieno Carbonatado en la bahía de Cayo Moa Grande. Holguín. 2001.
4. Castillo, D. Informe sobre problemas de extracción y utilización de la materia prima de Cieno Carbonatado. 1988.
5. CEPRONIQUEL. Proyecto de extracción del fango coralino al sur de Cayo Moa Grande. 2000.
6. CÉSPEDES R., A. 2007. Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentinítico de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara como árido para la construcción. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Trabajo de Diploma. 51
7. Coello, V. A. Curso de preparación mecánica de menas y minerales. 1999.
8. Coello V, A: ´´ Consideraciones sobre la molienda de los minerales lateríticos ´´ en revista Minería y Geología. Vol.1, Nº 1; Moa, 1993.
9. Coello V, A. Mejoramiento de la tecnología de la molienda seca de la laterita. Tesis de doctorado. Rusia: Instituto de Minas de San Petersburgo, 1993
10. Hernández, L. R. Calculo verificativo y propuesta de modificación para la ampliación de la instalación de bombeo de Cieno Carbonatado. Trabajo de Diploma. ISMM. Moa. 2003
11. Jiménez. D.Y. Cálculo verificativo y propuesta de modificación de la instalación de bombeo de Cieno Carbonatado desde el puerto hasta la planta de neutralización de la Empresa “Pedro Soto Alba”. Tesis de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 2005.
12. Jiménez, L. Estudio de la preparación mecánica de los minerales serpentiníticos en trituradoras de mandíbulas para la utilización de sus productos en la industria de los materiales de la construcción. Trabajo de Diploma ISMM. 2008.
13. Manual de operaciones de las plantas de Coral y Neutralización.

14. Mariño, P.A. Equipos de la metalurgia no ferrosa. Editorial Félix Varela, La Habana, 1994.
15. Martínez, R.R. Cálculo y proyección de las variantes alternativas de los esquemas del transporte de hidromezcla de alta densidad en el proceso carbonato amoniacal. Tesis de diploma. ISMM.2004.
16. Martinez, R.R. Caracterización de las propiedades físico mecánicas del Cieno Carbonatado para el perfeccionamiento de su hidrotransporte por tuberías. Tesis de Maestría. ISMM 2009.
17. Menéndez, H.M Conferencia sobre la naturaleza de los Cienos Carbonatados y los factores minero – ambientales que se tienen en cuenta durante el minado en la bahía de cayo Moa. Empresa Comandante Pedro Soto Alba, Moa Níkel S.A. Moa 2001.
18. Menéndez, H.M. Explotación racional del yacimiento de Cienos Carbonatados en la bahía de Moa. Tesis de maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 2001
19. Mitrofanov, L.A. Investigación de las capacidades de enriquecimiento de los minerales, Editorial MIR, Moscú 1984.
20. Nedved. M. Informe final sobre los trabajos de búsqueda de fangos coralinos al Sur de Cayo Moa Grande. 1966.
21. LAVAUT y otros 2003. Informe sobre la caracterización del mineral de rechazo porel proceso de Planta de Preparación de Pulpa.
22. Laborde B., Reynaldo; A. Coello y S. Marrero. «Optimización del proceso de molienda del mineral laterítico en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara». Memorias SIE. Universidad Central de Las Villas, 2001.
23. LYNCH A., J. 1980. Circuitos de Trituración y Molienda de minerales. Optimización, Diseño y Control. Madrid. Editorial Rocas y Minerales
24. Pavlov, K.F. Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aparatos en tecnología química. Editorial MIR, Moscú, 1981.
25. 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. 2005.

26. Tijonov, O.N. Zakonomiernosti effectivnovno razdelenia mineralov v protsessaj obogashenia polieznij oscopaemij. Nedra. Moskva. 1984.
27. Turro, B.A. Estudio del hidrotransporte de las colas en el proceso carbonato amoniacal. Tesis doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. Moa. 2002.

Anexo #1

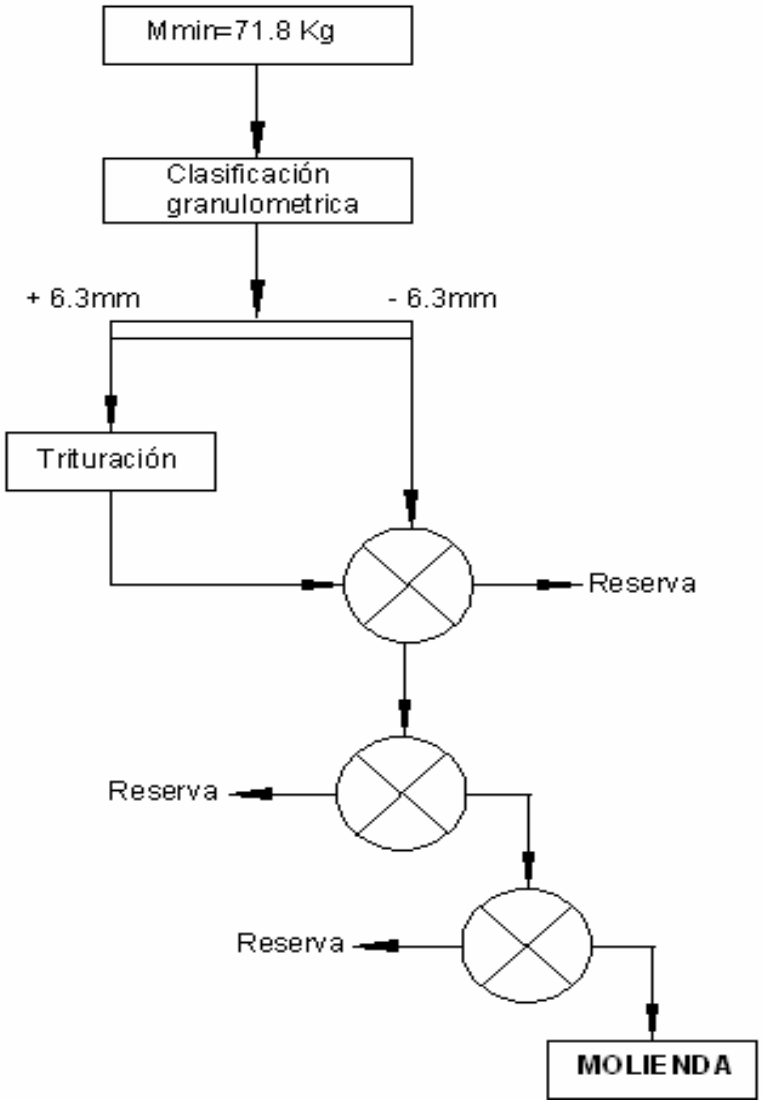
Figura 1 Ubicación del yacimiento

Anexo #2

a) Triturador de mandíbula

b) Balanza

Anexo # 3 Esquema de preparación de muestra para la molienda



Anexo #4 Serie de tamices

Anexo #5

Tabla 1 Resultados del análisis granulométrico después de la trituración con la clase de tamaño mayores de 6,3 mm

Clases (mm)	Peso (Kg)	%	Sumaria por más %	Sumaria por menos %
-6,3 + 4,75	2,40	12,3	12,3	100
-4,75 + 3,5	3,15	16,2	28,5	87,7
-3,5 + 2	0,70	3,6	32,1	71,5
-2 + 1,6	3,35	17,2	49,3	67,9
-1,6 + 1,18	1,85	9,5	58,8	50,7
-1,18 + 0,83	1,40	7,2	66,0	41,2
-0,83 +0	6,6	34,0	100	34
Total	19,45	100		

Anexo #6

Tabla 2 Composición química del rechazo del Cieno Carbonatado antes de la trituración

Clase de tamaño	% Cr	%Mg	% Al	% Na	% K	**% Ca**	% Ni	% Fe	**%$CaCO_3$**
-6,3+4,75	0,017	0,868	0,185	0,826	0,060	**44,338**	0,014	0,911	**89,78**
-4,75+3,5	0,017	0,951	0,196	0,801	0,060	**37,875**	0,014	0,901	**91,05**
-3,5+2,0	0,053	1,334	0,382	0,655	0,043	**34,625**	0,032	0,226	**83,82**
-2,0+1,6	0,016	1,250	0,204	0,743	0,049	**39,175**	0,014	0,918	**88,93**
-1,6+1,18	0,025	1,320	0,242	0,701	0,038	**38,238**	0,017	1,120	**88,28**
-1,18+0,83	0,015	1,140	0,204	0,898	0,097	**46,925**	0,013	0,895	**89,89**
-0,83	0,034	0,920	0,252	0,724	0,042	**43,739**	0,015	0,733	**90,84**

Anexo #7

Tabla 3 Composición química para 15 minutos de molienda

Clase de tamaño	%Ni	%Co	%Fe	%Mg	%Al	% SiO_2	%Mn	**%Ca**	**% $CaCO_3$**
-0,83	0,015	0,005	1,03	1,25	0,80	1,05	0,023	**29,60**	**88,10**
+0,83-1,18	0,180	0,023	1,99	1,55	0,70	0,98	0,049	**28,07**	**84,79**
+1,18-1,6	0,058	0,010	1,62	1,44	0,69	1,06	0,041	**28,14**	**86,06**
+1,6	0,048	0,007	1,58	1,53	0,55	1,24	0,041	**29,28**	**86,06**

Tabla 4 Composición química para 20 minutos de molienda

Clase de tamaño	%Ni	% Fe	% Mg	%Al	% SiO_2	%Cr	%Mn	**%Ca**	**% $CaCO_3$**
-0,83	0,012	1,03	1,32	0,54	1,95	0,020	0,023	**29,70**	**88,61**
+0,83-1,18	0,050	1,61	1,50	0,66	1,16	0,036	0,043	**27,97**	**84,28**
+1,18-1,6	0,038	1,39	1,46	0,54	1,14	0,026	0,035	**28,98**	**86,83**
+1,6	0,014	1,10	1,36	0,54	1,10	0,022	0,025	**28,91**	**86,24**

Anexo #8

Tabla 5 Análisis de los resultados después de la molienda para 5 minutos

Clases de tamaño (mm)	Peso (Kg)	%	Sumaria por más %	Sumaria por menos %
+ 1,6	0,25	12,5	12,5	100
-1,6 + 1,18	0,28	14,0	26,5	87,5
-1,18 + 0,83	0,27	13,5	40	73,5
- 0,83	1,20	60,0	100	60
Total	2,00	100		

Tabla 6 Análisis de los resultados después de la molienda para 10 minutos

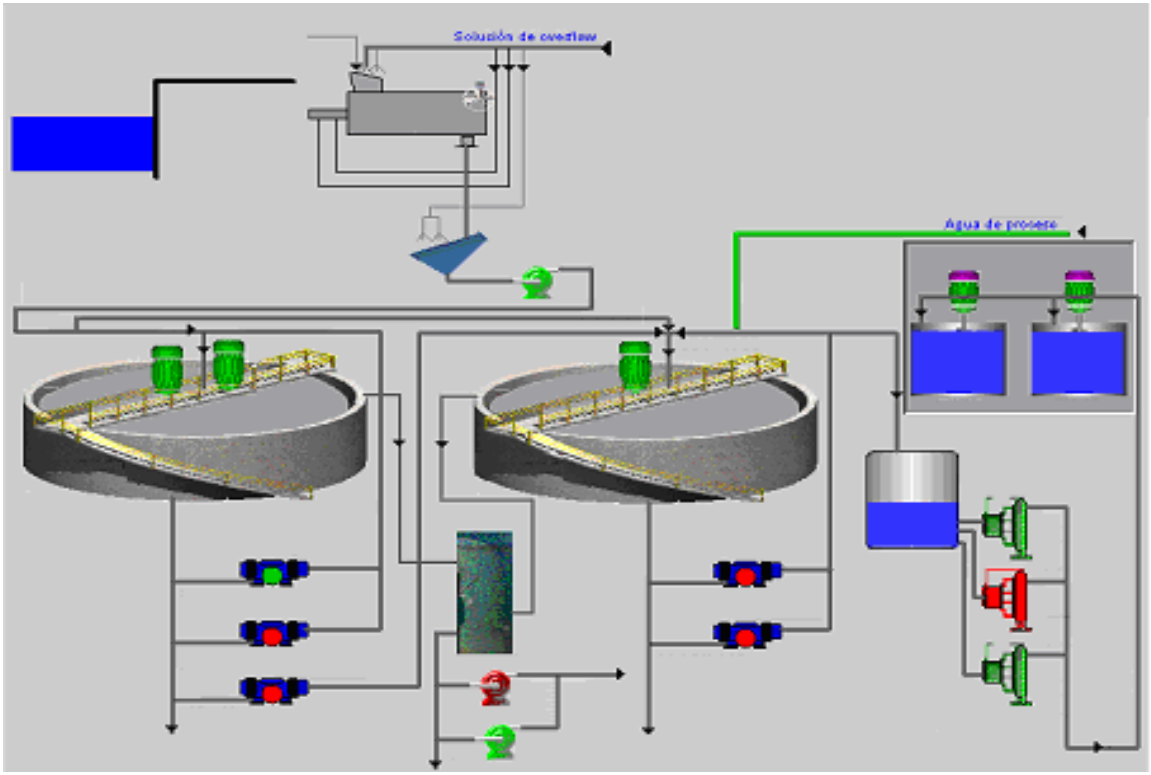
Clases de tamaño (mm)	Peso (Kg)	%	Sumaria por más %	Sumaria por menos %
+ 1,6	0,15	7,5	7,5	100
-1,6 + 1,18	0,22	11,0	18,5	92,5
-1,18 + 0,83	0,26	13,0	31,5	81,5
- 0,83	1,37	68,5	100	68,5
Total	2,00	100		

Tabla 7 Análisis de los resultados después de la molienda para 15 minutos

Clases de tamaño (mm)	Peso (Kg)	%	Sumaria por más %	Sumaria por menos %
+ 1,6	0,14	7	7	100
-1,6 + 1,18	0,19	9,5	16,5	93
-1,18 + 0,83	0,23	11,5	28	83,5
- 0,83	1,44	72	100	72
Total	2,00	100		

Tabla 8 Análisis de los resultados después de la molienda para 20 minutos

Clases de tamaño (mm)	Peso (Kg)	%	Sumaria por más %	Sumaria por menos %
+ 1,6	0,14	7	7	100
-1,6 + 1,18	0,18	9	16	93
-1,18 + 0,83	0,22	11	27	84
- 0,83	1,46	73	100	73
Total	2,00	100		

Anexo #9 Torre de beneficio para el Cieno Carbonatado.

Anexo #10 Esquema tecnológico de la planta de coral