



Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento Metalurgia – Química

**Estudio hidrodinámico de la pulpa de
Cieno Carbonatado en el molino de la
planta de beneficio de la Empresa
Comandante Pedro Sotto Alba Moa
Níquel. S.A**

**Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero en
Metalurgia y Materiales**

AUTOR: Dexander Vazquez Valera

Moa, 2024

“Año del 66 Aniversario del Triunfo de Revolución”



**Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento Metalurgia – Química**

**Estudio hidrodinámico de la pulpa de
Cieno Carbonatado en el molino de la
planta de beneficio de la Empresa
Comandante Pedro Sotto Alba Moa
Níquel. S.A**

**Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero
en
Metalurgia y Materiales**

AUTOR: Dexander Vazquez Valera

TUTOR(ES):

**Dr.C Mercedes E Sosa Martínez
Ing. Luis Enrique Gonzáles Driggs
Ing. Adianes Ferrer Batista**

Moa, 2024

“Año del 66 Aniversario del Triunfo de Revolución”

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas aquellas personas que de una forma u otra dieron su aporte para la realización de este trabajo de diploma.

Agradezco eternamente el esfuerzo, la dedicación y la preocupación de mis queridos padres y familia en general, en especial la de mi madre y padre por su apoyo incondicional en todo momento y amor que nunca me faltó.

Eternamente agradecido con mi hermana por su amor y cariño, por su apoyo en estos años.

Agradezco a Dios porque me proporciona la fe, la salud, fuerza física y espiritual para lograr las metas propuestas.

Quisiera agradecer a mis tutores por el apoyo y preocupación que mostraron en la realización de esta investigación, en especial al Ing.

Adianes Ferrer Batista por cada uno de sus consejos, paciencia y entrega sin la cual no hubiera sido posible llegar hasta este momento.

Agradecer a los técnicos del laboratorio de la empresa Moa Nickel S.A por su apoyo y contribución en el desarrollo de las pruebas experimentales.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo que con tanto esmero lo he realizado a todas las personas que me dan amor y cariño, que sin ellos no podría realizar mis sueños en la vida, de manera especial a mis padres: Mailin Valera Justiz y Dexander Vazquez Abella, por haber formado parte de este logro, a mis compañeros de estudios y amistades que marcaron todo este largo proceso Por último dedico todo mi sacrificio en la vida a Dios por permitirme todo en esta vida, mi estudio y permitirme llegar a lograr todas mis metas en la vida. Que siga bendiciendo a mi familia y a todos mis amigos, compañeros y profesores que contribuyeron de una forma u otra a que adquiriéramos nuestros conocimientos profesionales.

Les deseo un mundo lleno de mucha salud y sabiduría en la vida.

PENSAMIENTO

La mente de un joven no debe de atiborrarse de datos, nombres y fórmulas: cosas todas que puede encontrar en los libros, sin necesidad de seguir ningún curso universitario. Los años de estudios deben de emplearse únicamente para enseñar a pensar al joven, para darle un entrenamiento que ningún manual puede sustituir. Es un verdadero milagro que la pedagogía moderna no ha llegado a ahogar completamente la santa curiosidad de la búsqueda.

Albert Einstein (1879-1955) Científico alemán.

Índice	
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.1 Antecedentes bibliográficos	5
1.2 Descripción del flujo tecnológico	8
1.3 Fundamentos teóricos del proceso de molienda.....	10
1.3.1 Aproximación física al fenómeno de la rotura. Efecto de la velocidad de deformación	11
1.4 Características del proceso de molienda	12
1.5 Diferentes tipos de molinos	13
1.5.1 Molino de tambor.....	13
1.5.2 Molinos de Barras	14
1.5.3 Molinos de bolas.	14
1.6 Parámetros que influyen en la eficiencia de la molienda.....	17
1.7 Metodología de la cinética de molienda.	18
1.8 Conclusiones parciales	18
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN	19
2.1 Toma y preparación de las muestras	20
2.1.1 Método del cuarteo.....	20
2.2 Equipos y utensilios que se utilizaron.....	21
2.3 Determinación de la densidad del sólido del material de rechazo.....	22
2.4 Metodologías empleadas	23
2.4.1 Metodología de cálculo del molino para calcular la masa de la carga de las bolas y la masa a alimentar al molino.....	23
2.4.2 Metodología empleada para la determinación de la composición granulométrica	24

2.4.3	Cinética de la molienda.	26
2.4.4	Métodos de investigación empleados.....	27
2.5	Conclusiones parciales	28
CAPITULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....		29
3.1	Resultados de la caracterización granulométrica del cieno carbonatado del rechazado	29
3.2	Resultados del muestreo de la entra y salida del molino.	30
3.3	Resultados de los cálculos del molino.....	32
3.4	Resultados de la molienda después de realizado el cálculo de la carga de bola.....	35
3.5	Evaluación de los resultados finales de la molienda	36
3.6	Impacto medio ambiental	37
3.7	Conclusiones parciales del capítulo	39
CONCLUSIONES GENERALES.....		40
RECOMENDACIONES		41
BIBLIOGRAFÍA		42
ANEXOS		44

RESUMEN

En el trabajo de diploma se parte del insuficiente conocimiento acerca de los parámetros tecnológicos que caracterizan la molienda del mineral de rechazo de cieno carbonatado en la empresa Comandante Pedro Sotto Alba Moa Nickel SA. Se exponen los fundamentos teóricos, que permiten caracterizar el material desde el punto de vista químico y granulométrico, así como los principales parámetros que influyen en el proceso de molienda. Primeramente se caracteriza el material de rechazo, se determinan los parámetros que influyen en la molienda del mismo. Se define el procesamiento del material de trabajo, durante los experimentos, con la aplicación de técnicas y métodos reconocidos así como el empleo de equipos e instrumentos de medición en perfecto estado técnico para garantizar la calidad y la veracidad de los resultados. Se calcula la carga de bolas que permite dar respuesta a una de las problemáticas de la planta. También se realiza un estudio cinético al molino donde se determinan que los mejores tiempos son de 25 y 30 minutos, con los cuales se establecen las condiciones necesarias para operar el mismo, como resultado se logra una pulpa con la calidad requerida a la entrada de los sedimentadores.

Palabras claves:

Molino de bolas, cinética de molienda, cieno carbonatado

ABSTRACT

The diploma work is based on insufficient knowledge about the technological parameters that characterize the grinding of carbonated sludge rejection mineral in the company Comandante Pedro Sotto Alba Moa Nickel SA.

The theoretical foundations are presented, which allow the material to be characterized from a chemical and granulometric point of view, as well as the main parameters that influence the grinding process. First, the reject material is characterized, the parameters that influence its grinding are determined. The processing of the work material is defined, during the experiments, with the application of recognized techniques and methods as well as the use of equipment and measuring instruments in perfect technical condition to guarantee the quality and veracity of the results. The ball load is calculated that allows us to respond to one of the plant's problems. A kinetic study is also carried out on the mill where it is determined that the best times are 25 and 30 minutes, with which the necessary conditions are established to operate it, as a result a pulp with the required quality is achieved at the entrance of the mills. settlers.

Keywords:

Ball mill, grinding kinetics, carbonated slurry

INTRODUCCIÓN

Cuba posee uno de los complejos ofiolíticos más grandes del mundo, ubicados en el macizo montañoso, Mayarí – Moa – Baracoa, donde se destacan grandes reservas de minerales de cromo y ferroniquelíferos, las cuales son procesadas por fábricas como la Empresa Comandante Pedro Sotillo Alba Moa Nickel S.A, que produce sulfuros de níquel + cobalto y la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, que obtienen como producto final sínter de níquel + cobalto.

En la actualidad juega un importante papel en el desarrollo socioeconómico del país la exportación de níquel, es por ello que es necesario tener en cuenta las condiciones de operación de las plantas durante su proceso tecnológico.

La empresa mixta cubana canadiense Pedro Sotillo 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 baluarte de la Economía Cubana.

Las plantas principales que tienen lugar durante su proceso tecnológico son las siguientes: preparación y espesadores de pulpa, lixiviación y lavado, neutralización, precipitación de sulfuros y secado, así como también plantas auxiliares como son la planta de hidrógeno H_2S , planta termoeléctrica, planta de ácido sulfúrico, planta de secado y derretimiento de azufre y la planta de cieno carbonatados.

La planta de neutralización es la única en el mundo de tecnología ácida que utiliza cieno carbonatado en el proceso de neutralización, ya que el resto, como es el caso de las australianas (Murrin – Murrin, Cawse, Bulong) utilizan calizas beneficiadas más un producto llamado calcreta resultado de la molienda de restos fósiles recientes (Carlson & Simons, 1961); (Hellsten, 1961).

Los yacimientos lateríticos constituyen la materia prima para la obtención de níquel + cobalto, no obstante, la utilización del carbonato de calcio ($CaCO_3$) contenidos en los cienos carbonatados, que se emplea en la Planta de Neutralización para lograr el pH óptimo del licor lixiviado obtenido a partir de la

lixiviación del mineral niquelífero constituye la principal materia prima de esta planta.

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 porcentaje sólido hasta el valor de diseño de 40 - 45% bajo condiciones idóneas. El transporte hidráulico por tubería juega un rol fundamental en el transporte de pulpas, debido a su efectividad económica y medioambiental respecto a los demás tipos de transporte, el mismo ha tomado mayor auge con el estudio de los sistemas de hidrotransporte de pulpa (Caballero, 2008).

Con el fin de determinar el índice de Bond para el cieno carbonatado de Cayo Moa (Tamayo, 2010) en vista a darle solución a una de las problemáticas existente en la planta de coral del Puerto de Moa se realiza el análisis para el aprovechamiento de las fracciones gruesas (rechazo) de este material.

(Ramírez, 2012) relacionó las propiedades físicas – mecánicas y químicas de los rechazos y la determinación de los parámetros de reducción de tamaño provenientes del fondo marino y almacenados en los diferentes depósitos.

A los años siguiente (Breff, 2014) trabajó en 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 para la recuperación del cien por ciento minado con el fin de alimentar una pulpa con las especificaciones requeridas a la planta de neutralización

Muchos han sido los investigadores que han encaminado sus búsquedas al estudio de la planta de cieno carbonatado de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba Moa Nickel S.A, sin embargo, la calidad de la pulpa que llega a la planta de Neutralización incide negativamente en la eficiencia del proceso tecnológico, dado a que en la planta existen las siguientes deficiencias

- No se garantiza el porcentaje de sólido de diseño de la pulpa que se envía al proceso de neutralización, provocando afectaciones en el bombeo, y en el proceso de neutralización.
- Variaciones frecuentes en la granulometría de las pulpas beneficiadas, atendiendo a las características geotecnológicas de los sectores de minería, que provoca el arenamiento e incrustaciones en los sedimentadores y las tuberías.
 - Insuficiente conocimiento de los parámetros tecnológicos que forman parte de la preparación y transportación de las pulpas de cieno carbonatado.
 - 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 aprovechan óptimamente los equipamientos para el aprovechamiento de las fracciones gruesas (rechazo) del mineral.

A pesar del estudio cinético de la molienda del rechazo de cieno carbonatado desarrollado por (Suárez, 2010), donde se realizó la caracterización química y granulométrica se hace necesaria la realización del estudio hidrodinámico de la pulpa del cieno carbonatado para una correcta reingeniería del sistema, ya que se caracteriza por una baja eficiencia metalúrgica en cuanto al material que se rechaza y alto consumo energético en los equipamientos y en sus sistemas de bombeo, lo que constituye la situación problemática de esta investigación.

Planteamiento del problema

Insuficiente conocimiento acerca de los parámetros tecnológicos que caracterizan la molienda del mineral de rechazo de cieno carbonatado en la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba Moa Nickel SA

Objeto

El material de rechazo del cieno carbonatado.

Campo de acción

Molienda del mineral de rechazo

Objetivos

Objetivo general

Analizar los parámetros que incluyen en la molienda del rechazo de cieno carbonatado en la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba Moa Nickel SA.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el material de rechazo del cieno carbonatado minado en la bahía de Moa atendiendo a su composición granulométrica.
2. Realizar el estudio de los principales parámetros que influyen en la molienda del material de rechazo
3. Realizar el estudio cinético de la molienda del material rechazado.

Hipótesis

Si se determinan las condiciones necesarias para operar el molino, se logrará una pulpa con la calidad requerida a la entrada de los sedimentadores.

Resultados esperados

Se espera con esta investigación:

1. Obtener nuevos conocimientos que contribuyan al desarrollo personal, social y científico;
2. Preparación y toma de las muestras para la realización del estudio.
3. Realización del estudio de los principales parámetros que influyen en la molienda del material de rechazo.
4. Análisis de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas

Estructura de la tesis

La tesis está estructurada en las siguientes partes:

Introducción: Se muestran el diseño metodológico de la investigación resumidos en problema científico, objeto, campo de acción, objetivos, hipótesis y aportes de la investigación.

Capítulo 1: Se analizan los antecedentes en cuanto al estudio de la molienda mediante la gestión bibliográfica que garantice una mejor toma de decisión en cuanto a la determinación de los parámetros tecnológicos en la planta de cieno carbonatado.

Capítulo 2: Se exponen los principales materiales y métodos de la investigación utilizados para dar cumplimiento a los objetivos de esta investigación.

Capítulo 3: Exponen los principales resultados de la investigación donde se determinan los principales parámetros que influyen en la eficiencia en el proceso de molienda en la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba Moa Nickel SA considerando las características del mineral de rechazo.

CAPÍTULO 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se expone un análisis de los distintos aspectos relacionados con el proceso de molienda, con la finalidad de disponer de los elementos básicos y de las tendencias actuales que resulten esenciales para el desarrollo de la investigación, considerando estudios precedentes en el tema, con el objetivo de establecer los fundamentos teóricos necesarios para realizar una correcta evaluación del estudio hidrodinámico de la pulpa de cieno carbonatado en la planta de beneficio de la Empresa Pedro Sotto Alba Moa Nickel SA.

1.1 Antecedentes bibliográficos

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 (Peña Betancourt, 2014).

Los primeros estudios sobre el tema datan de los años 60, con la extracción de cienos carbonatados, donde (Castillo, 1988); (Correa, 1957) plantearon 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 sus 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.

En los 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 la misma 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 .

Este material después de beneficiado se somete a un proceso de aumento de la concentración en un rango entre un 30 y 45 porciento de sólido en los tanques (el cual es el contenido requerido en el proceso de neutralización). Posteriormente es transportado hasta la empresa Comandante Pedro Sotto Alba Moa Nickel S.A ubicada a 4 km, mediante un sistema de transporte por tuberías. Se han realizado otras investigaciones en las cuales el cieno carbonatado constituye el objeto de estudio, se establecen las características físico – químicas de la hidromezcla 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. (Jimenez, 2005) Partiendo de la caracterización del cieno carbonatado se evalúa además la instalación existente para la transferencia de la pulpa desde el puerto hasta la planta de Neutralización.

Se realiza un estudio sobre la caracterización de las pulpas de cieno carbonatado para su perfeccionamiento en el hidrot transporte (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. (Martinez, 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 Buckingham-Reiner.

(Romero.G.Y, 2023) Propuso una metodología para fluidos pseudoplásticos, con la caracterización reológica y de densidad de la pulpa de cieno carbonatado.

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. (González.B.L, 2016)Evaluó la molibilidad del carbón bituminoso, el mineral laterítico y sus mezclas, fueron llevados a cabo los estudios de la cinética de varias monoclasas en los cuales se fueron obteniendo las funciones de distribución de la fragmentación

En ese mismo año (Tamayo) 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.

(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, en necesario realizar un mayor

número de corridas y a otras escalas, realizando una valoración económica más profunda para su introducción en el proceso industrial.

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 al incrementar la vida útil en la minería de los cienos carbonatados.

Al año siguiente (Breff, 2014) 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 permite recuperar el 100 % de los cienos carbonatados minados y alimentar una pulpa con las especificaciones requeridas a la planta de neutralización.

(Martínez & Hernández, 2015), los cuales plantean que para las pulpas de cieno carbonatado que presentan un contenido de sólido entre un 17–23 % pueden ajustarse al modelo de Ostwald de Waele, según su comportamiento reológico.

(León.M.G, 2023) Se evalúa el material carbonatado de la región de Yaguaneque como adición para la producción de aglomerantes ternarios tipo TQC en Moa, mediante la caracterización química y mineralógica de la materia prima y la determinación de la resistencia a la compresión de los sistemas sarmenticios ternarios.

(Mulet.M, 2023) Constituye una propuesta de un sistema de automatización para el control de proceso del circuito de aprovechamiento de cienos carbonatados en la Empresa Mixta Moa Nickel SA.

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.

1.2 Descripción del flujo tecnológico

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 contenido de

arena debe ser menor del 17% y cloruro menor de 70 ppm. Además, sirve de almacenaje para mantener un suministro estable a la planta de Neutralización.

Tabla 1 Característica de diseño de la pulpa de cieno carbonatado

Parametros	Diseño
Densidad(kg/m^3)	1320 –1340
% sólido	40–45
% arena	≤ 17
Cloruro (ppm)	500–600
Carbonato de calcio %	≥ 87
Composicion granuometrica (–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, la 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.

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; 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 porcentaje 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, después de espesada la pulpa se bombea a un tanque (TK-3) de donde se bombea para la planta de Neutralización.

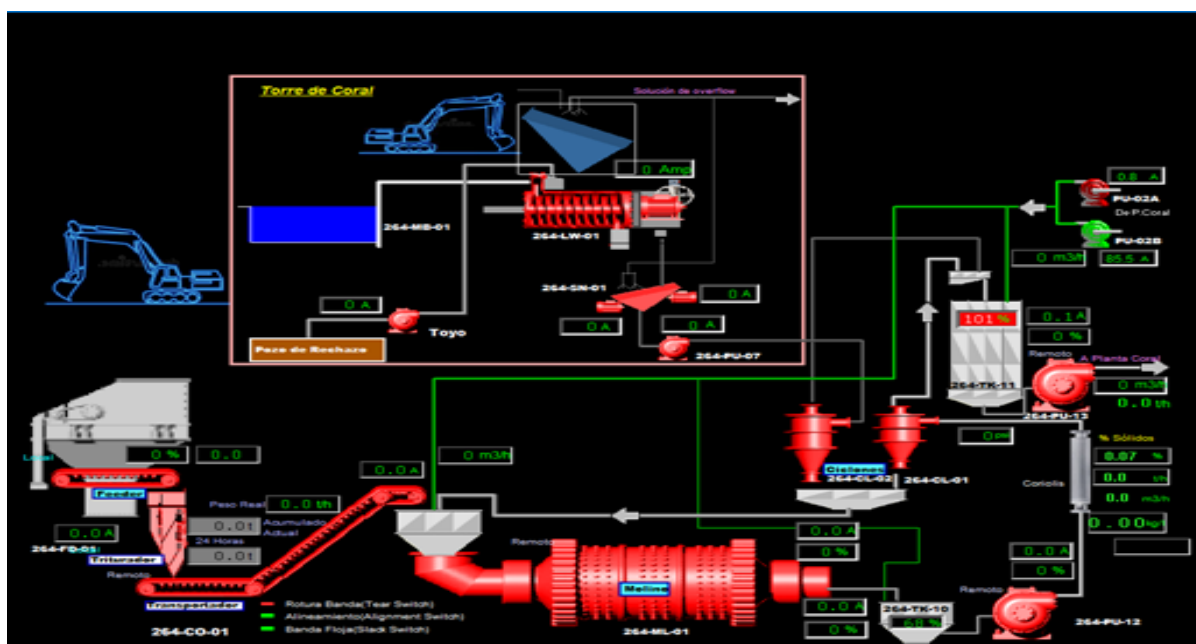


Figura 1 Flujo tecnológico de la planta de cieno carbonatado.

1.3 Fundamentos teóricos del proceso de molienda

En este acápite daremos una breve introducción sobre los principales parámetros que influyen en el proceso de molienda.

1.3.1 Aproximación física al fenómeno de la rotura. Efecto de la velocidad de deformación

Aunque por conveniencia se piensa en los esfuerzos de compresión e impacto como diferentes formas de aplicación de las fuerzas, realmente sólo difieren en la velocidad de aplicación de las mismas, lo cual no quiere decir que sus consecuencias puedan llegar a ser bien distintas, como la práctica lo demuestra. Las velocidades de deformación plástica varían considerablemente con el método de conminución como sigue: trituradoras, molinos de bolas, etc., entre 0.1 y 10 m/s; molinos de impactos, entre 20 y 200 m/s; molinos fluido energía (jet mills), hasta 500 m/s.

Se pueden distinguir dos efectos principales del cambio de velocidad y su consiguiente influencia en la velocidad de deformación de la partícula.

El primero de los efectos mencionados es el cambio del campo de tensiones elástico.

Cada distorsión causada por una fuerza de contacto se distribuye por el cuerpo como ondas elásticas, que por reflexión interna chocan con las nuevas ondas cambiando los valores de tensiones asociados con los frentes de onda. Ha sido demostrado por (Gildemeister & Schonert, 1972) que mientras en las esferas las grietas pueden ser producidas por tales ondas, en el caso de partículas de forma irregular es muy improbable que eso ocurra.

El segundo es un cambio en el comportamiento deformacional en un cuerpo visco elástico causado por el cambio en la velocidad de deformación. Cuanto mayor es la velocidad, menor la deformación pero mayor la tensión. Esto es característico de algunos materiales, como el polietileno, que es fragmentado mejor mediante impacto que con compresión.

La segunda razón está asociada a la energía elástica almacenada dentro de la partícula en el momento de liberación de la grieta, cuya energía decrece proporcionalmente con el volumen de la partícula. En todo caso, la energía necesaria para la propagación de la grieta disminuye proporcionalmente con la sección transversal. Al ser reducido el tamaño de partícula, puede suceder que se almacene menos energía que la requerida y la grieta se detendrá. Entonces se precisará mayor aporte de energía antes de que se produzca la rotura final. Este fenómeno se presenta especialmente en materiales plásticos, que deben recibir varios impactos antes de romper finalmente.

En tercer lugar, los efectos de la deformación plástica aumentan en importancia al reducir el tamaño de la partícula.

Debe mencionarse el efecto de las tensiones residuales en partículas suficientemente pequeñas que pueden desembocar en rotura. Se ha comprobado la existencia de zonas comprimidas a una mayor densidad que el resto de la esfera.

Ese campo de tensiones permanece incluso una vez cesado el esfuerzo, y puede ser el responsable de la degradación del material en su posterior manejo.

1.4 Características del proceso de 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 se diferencian entre si, la trituración rompe los materiales en trozos mas pequeños mediante fuerzas de impacto o compresión, mientras que en molienda reduce aún más el tamaño de las partículas mediante fuerzas de cizallamiento. En general la trituración prepara los materiales para la molienda, que produce polvos o suspensiones finos. 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.

1.5 Diferentes tipos de molinos

1.5.1 Molino de tambor

Los molinos de tambor están constituidos por un tambor con dos tapas laterales, en el centro de las cuales se encuentran los gorriones, 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 la 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.

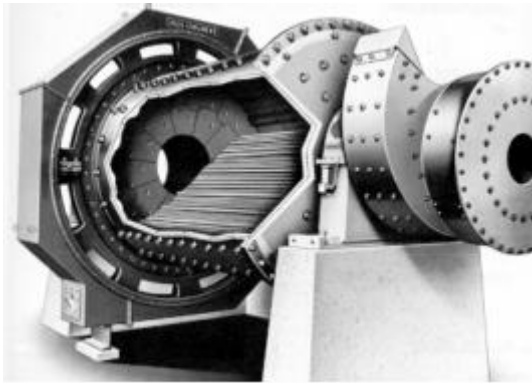


Figura 2 Molino de Barras

1.5.2 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 mm, 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.

1.5.3 Molinos de bolas.

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

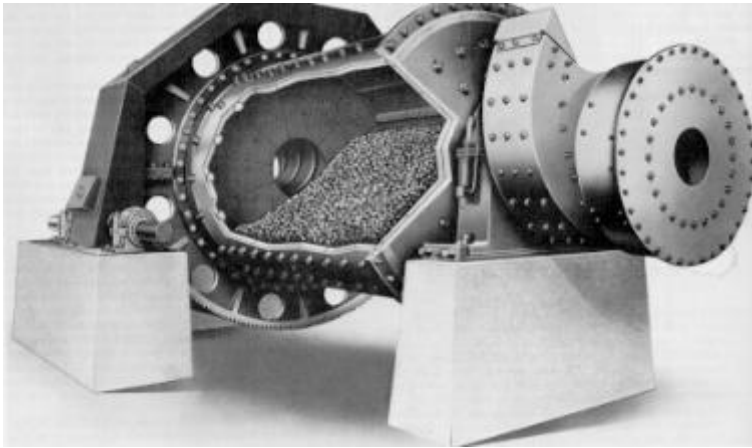


Figura 3 Molino de bolas

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 pulpa debe ser lo mayor posible; generalmente es de 65 – 80 %; el trabajo del molino con pulpas diluidas trae consigo el incremento del 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 :

$$D \text{ bolas} = 28 d^{1/3} \text{ mm.}$$

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 del tambor. Existen tres regímenes de trabajo de los molinos: cascada, catarata en de trabajo del molino está íntimamente relacionado con frecuencia de rotación 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 Dorrlift.

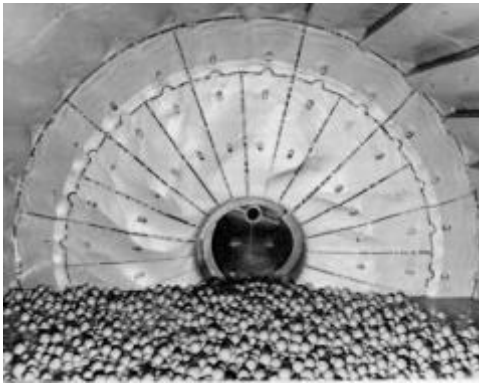


Figura 4 Vista interior del Molino

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..

1.6 Parámetros que influyen en la eficiencia de la molienda

❖ Cambiar la capacidad del mineral crudo

La dureza, tenacidad, disociación y defectos estructurales. Si la dureza es pequeña, fácil moliendo, el desgaste del revestimiento del molino y la bola de acero es pequeño, (de lo contrario), la naturaleza del mineral afecta la productividad de la fábrica.

❖ Tasa de llenado responsable

Cuando la velocidad del molino de las bolas es fijo y la tasa de llenado es grande, la bola de acero golpeará el material muchas veces, el área de molienda es grande, el efecto de molienda es fuerte, para el consumo de energía también es grande. La tasa de llenado es alta, lo que es fácil de cambiar el estado de movimiento de la bola de acero y reducir el efecto de impacto en el material de partículas grandes. Por el contrario, la velocidad de llenado es pequeña y el efecto de trituración.

❖ Tamaño y proporción razonable de bolas.

Si el diámetro de la bola es grande, la fuerza de trituración también, lo que hace que el mineral se rompa a lo largo de la dirección de la fuerza de penetración en lugar de a lo largo de la interfaz. La trituración no es selectiva y no puede cumplir con el propósito de triturar.

En el caso de la misma tasa de llenado de bolas de acero, el diámetro de las mismas es demasiado grande, lo que resulta en muy baja cantidad de estas, la posibilidad de aplastamiento es baja, el fenómeno de aplastamiento excesivo sea graba y el tamaño del producto es menor. Debido a que las bolas son demasiado pequeña la fuerza de trituración sobre el mineral es pequeña y la eficiencia de trituración es baja. Por lo tanto, el tamaño y la proporción correcta de las bolas tienen una influencia importante en la eficiencia de la molienda.

1.7 Metodología de la cinética de 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.

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.

1.8 Conclusiones parciales

- 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 mismo que forma parte del rechazo.
- Se exponen los fundamentos teóricos, que permiten caracterizar el material desde el punto de vista químico y granulométrico, mediante un proceso de molienda.
- El desarrollo del marco teórico de la investigación permitió conocer aspectos generales del proceso de molienda, así como los principales parámetros que influyen en el mismo.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los conocimientos sobre las características granulométricas del cieno carbonatado para su utilización industrialmente en la empresa “Comandante 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 adecuada toma de muestra, así como también un análisis exhaustivo de las condiciones de los equipamientos y parámetros que influyen en la eficiencia del proceso que nos

permita evaluar la calidad de la pulpa mediante el estudio hidrodinámico a la entrada de los sedimentadores.

2.1 Toma y preparación de las muestras

Para realizar el estudio se tomaron muestras representativas en la entrada y descarga del molino de bola, se aplica el método de puntos (Mitrofánov, 1984). El número de puntos de obtención de muestra depende de la regularidad del área de minado y la dimensión de la superficie sujeta al muestreo. El volumen tomado en cada punto es de aproximadamente de dos kilogramos, hasta obtener un volumen lo suficientemente representativo. El muestreo se realizó durante un periodo de 30 días de trabajo laboral, los días lluviosos de paro u otras eventualidades de desechan. Las muestras se realizan cada 24 horas, se vierte en un recipiente y se vierte a un compósito. Luego se traslada hasta los laboratorios de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba Moa Nikel SA. Primeramente se homogeniza el material por el método de cuarteo, luego se determina la composición granulométrica del material traído de la empresa, además del % arena y % del sólido.

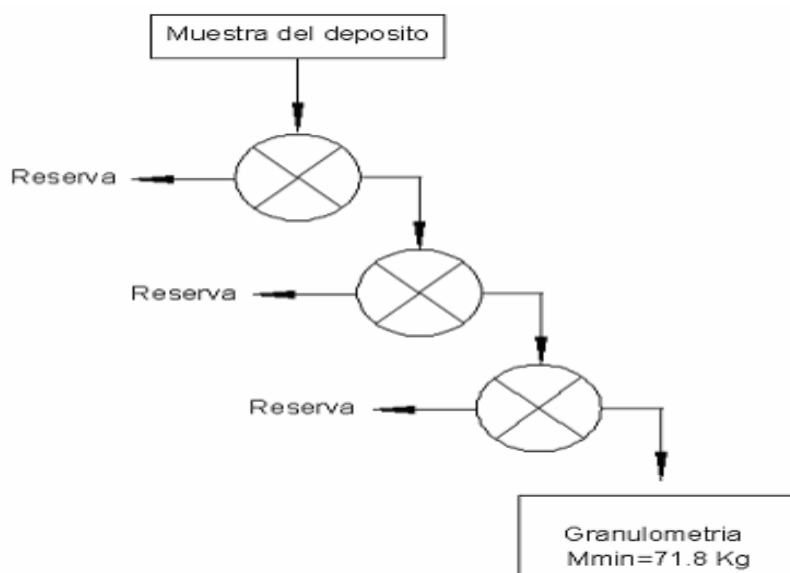


Figura 5 Esquema de homogenización de la muestra.

2.1.1 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 90°. 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.

2.2 Equipos y utensilios que se utilizaron

A continuación se relacionan los materiales y equipos que se utilizaron para la realización de los experimentos.

Tabla 2 Juego de tamices que fue utilizado

No	Tamaño	No	Tamaño	No	Tamaño	No	Tamaño
1	3,15	5	0,803	9	0,208	13	0,074
2	1,98	6	0.59	10	0,147		
3	1,4	7	0.39	11	0,125		
4	1	8	0.25	12	0,088		

Balanza técnica

Características: Rango de peso 1 - 2500 g, Error – 0,1 g

2.3 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, Fred, & Stephen, 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 está en encima del material se tapa y se pesa (peso D).

El peso específico se determina por la expresión siguiente:

$$Pe = \frac{C-A}{B+C-A-D} \quad (1)$$

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 °C

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/cm³ se obtiene por la siguiente expresión

$$\rho_p = \frac{m}{V} = \frac{\text{masa(g)}}{\text{volumen(cm}^3\text{)}} \quad (2)$$

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

2.4 Metodologías empleadas

Se estará trabajando en estos acápite sobre las metodologías empleadas para la realización de todos los analices, métodos a utilizar.

2.4.1 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 (Rázumov & Perov, 1985)

Considerando la partícula de mayor diámetro igual a 0,833 mm:

$$D = 28 * \sqrt[3]{d} \quad (3)$$

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 está 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:

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

Donde;

D: Diámetro del molino. (250 cm)

L: Altura del molino (300 cm)

Masa de la carga de bolas:

Según (Andreier, 1980) considerando $\phi=0.35$ porque se considera que el volumen que ocupa la carga de bolas es el 35 %.

$$M_{cb} = 3.61 \cdot \phi \cdot D^2 \cdot L \quad (5)$$

Donde

Φ : grado de llenado del molino con la carga de bolas.

Es necesario determinar la cantidad de material añadir al molino y como se partió que el volumen ocupado por las bolas es de 35 % del volumen total del molino tenemos.

Volumen de la carga de bola:

$$V_{cb} = V_{mol} \cdot 0.35 \quad (6)$$

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

$$V_{mat} = (0.6 - 1.1) \cdot V_{eeb} \quad (7)$$

Volumen de los espacios entre bolas:

$$V_{eeb} = V_{cb} - V_{tb} \quad (8)$$

Volumen total de las bolas:

$$V_{tb} = \sum V_b \quad (9)$$

Sustituyendo y considerando que el material ocupa el 60%

$$V_{mat} = 0.6 \cdot V_{eeb} \quad (10)$$

Masa que se añade al molino siendo la densidad de material 0.003 Kg/cm³

$$M_{a\ lim} = V_{mat} \cdot \rho_{mat} \quad (11)$$

2.4.2 Metodología empleada para la determinación de la composición granulométrica

El análisis de tamices consiste en cernir la muestra atreves de un juego estándar de tamices, y en determinar el porcentaje de residuos en cada uno de estos, con

respecto a la masa de la muestra inicial. En este trabajo se utiliza la serie de Taylor (Tabla 3)

En la mayoría de los casos durante el cernido seco sobre todo en tamices menores de 1mm, no se logra evitar la aglomeración y prácticamente su obstrucción completa. Este caso se procede a la diseminación en tamizado húmedo. Las muestras se tamizan por el método húmedo o seco en dependencia del grosor del material y la exactitud necesaria de los resultados del analices.

Tabla 3 Juego de Tamices empleados

No	Tamaño	No	Tamaño	No	Tamaño	No	Tamaño
1	3,15	5	0,803	9	0,208	13	0,074
2	1,98	6	0.59	10	0,147		
3	1,4	7	0.39	11	0,125		
4	1	8	0.25	12	0,088		

El tamizado grueso se utiliza para fracciones gruesas (>0,25 mm), mientras que para las fracciones menores a este diámetro se empleó el tamizado húmedo. Este se realiza cuando la muestra contiene una cantidad considerable de material fino y material arcilloso, siendo necesaria una exactitud o precisión alta de los resultados de los analices granulométricos.

La muestra se deposita en un tamiz con orificios de pequeñas dimensiones y las partículas más pequeñas se lavan con un chorro débil de agua. El lavado se realiza hasta que el agua se aclare, el resto de la muestra que quede se criba, se seca y se pesa, de modo que, por la diferencias entre las masas se determina la masa del lodo lavado. Los resultados obtenidos son tabulados donde debe aparecer la clase de tamaño, la masa del material retenido en cada tamiz, el porciento en peso y la salida sumaria por retenido y cernido.

Para la realización de los ensayos se demostró la caracterización granulométrica de la muestra inicial para la determinación de la clase de tamaño (+3,15 – 0,074mm)

La masa mínima para el análisis del tamiz de la muestra inicial se calculó por la formula Lokonov (Peña, 2015).

$$Q_{\min} = 0,02 * d^2 + 0,05d \quad (12)$$

$Q_{\min}$: es la masa de la muestra mínima necesaria para realizar el análisis granulométrico, (kg)

d: diámetro máximo de la muestra d_{95} (mm)

$$Q_{\min} = 0,02 * (3,15)^2 + 0,05(3,15) = 1773\text{kg}$$

2.4.3 Cinética de la molienda.

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 gráfico, 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.

2.4.4 Métodos de investigación empleados

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron diferentes métodos tanto teóricos como empíricos, los cuales se relacionan a continuación:

Métodos teóricos:

Análisis y síntesis: se utiliza durante todo el proceso investigativo, para el estudio y procesamiento de la información contenida en las fuentes bibliográficas, para conocer las características de la pulpa de cieno carbonatado en la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba Moa Nikel SA mediante su estudio hidrodinámico y llegar a conclusiones.

Histórico - lógico: para determinar las tendencias que se manifiestan tanto en Cuba como en el mundo de los parámetros que afectan la eficiencia e influyen significativamente en la calidad de la pulpa que se emplea en la planta de neutralización con el uso del molino.

Inducción - deducción: para determinar las causas que provocan el problema científico y su posible solución.

Hipotético – deductivo: para enfocar el problema científico, la verificación de la hipótesis y el establecimiento de predicciones teóricas-prácticas.

Métodos prácticos:

Fotografía laboral: toma de muestra y clasificación granulométrica de la pulpa de cieno carbonatado a la entrada y salida del molino, así como también en la carga de bolas.

Experimental: método para valorar, preliminarmente, la composición física y algunos parámetros tecnológicos como la densidad del sólido, los % de sólidos y de arena y la factibilidad práctica mediante la carga de bolas al molino para el óptimo aprovechamiento de los rechazos generados por la planta de cieno carbonatado de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba Moa Nikel SA.

2.5 Conclusiones parciales

- Se define el procesamiento del material de trabajo, durante los experimentos, con la aplicación de técnicas y métodos reconocidos así como el empleo de equipos e instrumentos de medición en perfecto estado técnico para garantizar la calidad y la veracidad de los resultados.
- Los métodos y técnicas experimentales utilizadas para el análisis están fundamentadas a partir de la necesidad de la descripción y caracterización del ceno carbonatado que forma parte del rechazo para su utilización en el proceso

CAPITULO 3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

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 capítulo es: Determinar la cinética de molienda y los parámetros que influyen en dicho proceso, del cieno carbonatado que forma parte del rechazo en las plantas de preparación de pulpa de coral en la empresa Comandante Pedro Sotto Alba Moa Nikel SA.

3.1 Resultados de la caracterización granulométrica del cieno carbonatado del rechazado

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 4 Resultados del análisis granulométrico del material de rechazo

Clases(mm)	Peso (kg)	Salida (%)	Retenido (%)	Cernido (%)
+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	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 6)

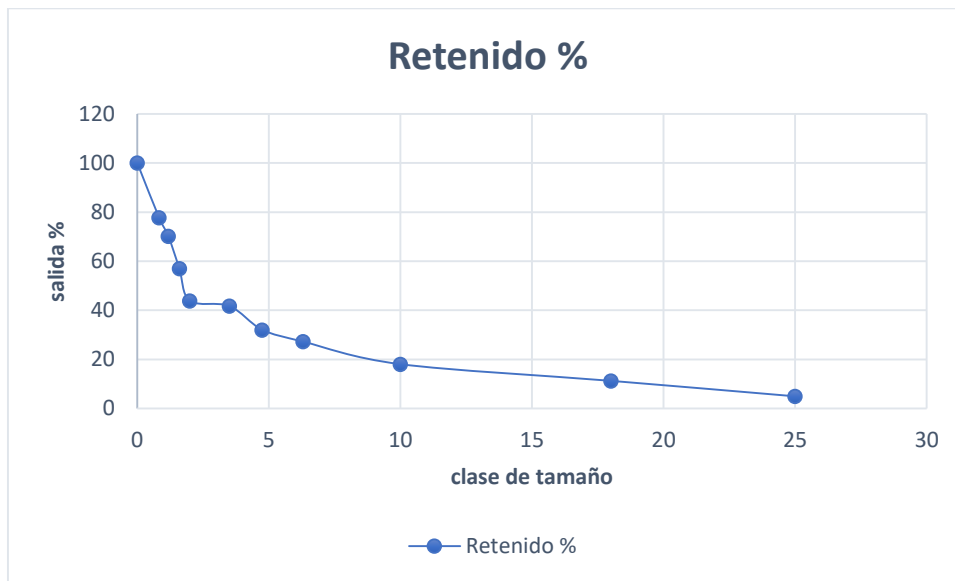


Figura 6 Características del retenido del material de rechazo

En los resultados de la composición granulométrica obtenidos en la figura 6, se muestra la característica del retenido, según el por ciento pasado y retenido, respecto al diámetro de las partículas del cieno carbonatado de rechazo realizados en el laboratorio de la empresa Comandante Pedro Sotto Alba Moa Nikel SA. 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 d80 se encuentra aproximadamente ubicado en el orden del diámetro de partículas igual a 6.3 mm

3.2 Resultados del muestreo de la entra y salida del molino.

Se muestran los resultados obtenidos en la entrada y salida del molino, en el período de 10 días, con una representación gráfica del comportamiento y variaciones del mismo en cuanto al porcentaje del sólido y la arena.

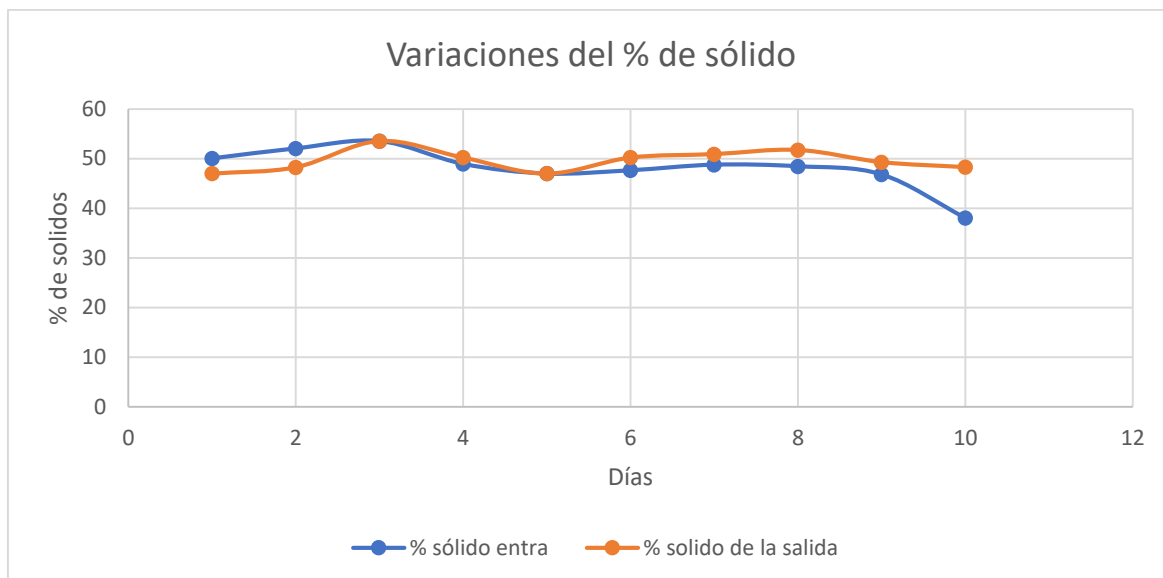


Figura 7 Variaciones de los resultados del muestreo en los primeros 10 días

En la figura 7, se puede apreciar la variación de los porcentos de sólido, la cual es mínima y se mantienen con uniformidad.

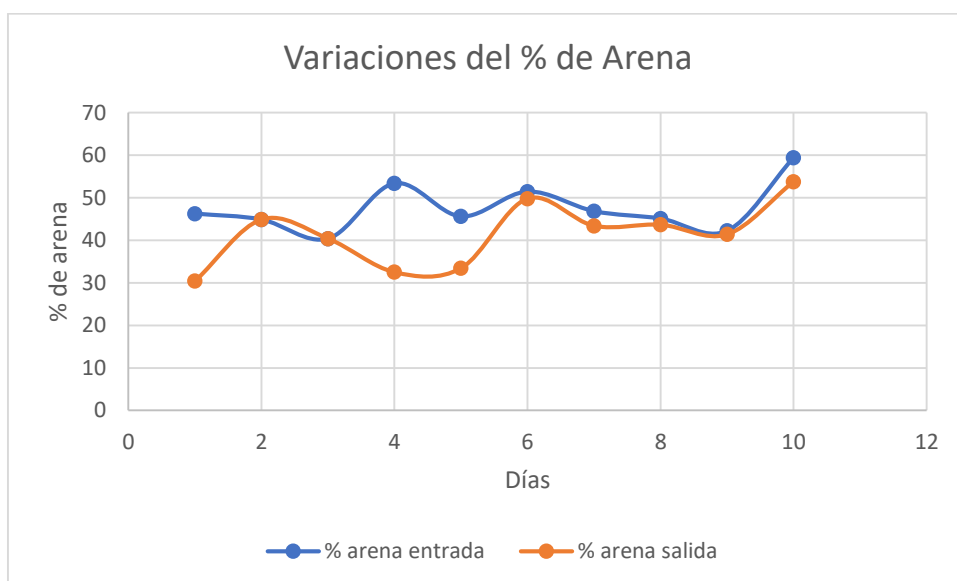


Figura 8 Variaciones de los resultados del muestreo en los primeros 10 días.

Se observa en la figura 8, los valores de los porcentos de arena muestreados, los cuales no son satisfactorios para cumplir con los parámetros de la planta, que es reducir la arena a un 20 porciento, reflejando que se encuentra moliendo muy poco mineral. Lo que necesario el estudio del mismo y de su carga de bolas.

3.3 Resultados de los cálculos del molino

Para el proceso de molienda se utilizará un molino de bola existente en la planta de cieno carbonatado de la empresa Pedro Sotro Alba Moa Nikel SA, para el mismo se usaron bola de acero fundido con las características siguientes

Tabla 5 Carga de bolas del molino

Tamaño de las bolas (cm)	Peso de cada bola (Kg)	Cantidad de bolas a utilizar	Peso total de las bolas (kg)
10	4,0	3	12
8	2,1	15	31,5
6	1,1	7	7,7
5	0,5	7	3,5
4	0,22	3	0,66
Total	—	35	55,36

A partir de las características de las bolas usadas, y según la metodología establecida en el epígrafe 2.4.1, se hace el cálculo previo ver tabla 6 de los principales parámetros de trabajo del molino de bola que regirán el proceso de molienda que se establezca

Tabla 6 Cálculo de los parámetros del molino

Parámetros	Resultados	Unidades de medida
Diámetro de la bola máxima	D= 2,6354	Cm
Volumen del molino	Vmol= 14 726 215,6	cm ³
Masa de la carga de bolas	Mcb= 23 690.6	Kg
Volumen de la carga de bola	Vcb= 5 154 175.46	cm ³
Volumen total de las bolas	Vtb= 6 721	cm ³
Volumen de los espacios	Veeb= 5 140 733,46	cm ³
Volumen del material	Vmat=3 084 440.076	cm ³
Masa que se alimenta	Malim= 9 243,3	Kg

En la tabla 6 se puede comprobar que el molino de bolas tiene un volumen de

14 726 215,6 cm³ permitiendo utilizar una masa de carga de las bolas igual a 23 690,6 kg para una masa de alimentación del material igual a 9 243,3 kg

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 7 podemos comprobar para que tiempo de molienda se logra obtener los resultados deseados

Tabla 7 Tiempos de molienda

Tiempo de molienda (minutos)	5	10	15	20	25	30
%	60	68,5	72	73	80	82

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 8 y 9 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 7, 8,9 y 10

Tabla 8 Análisis de los resultados después de la molienda para 25 minutos

Clase de tamaño(mm)	Peso (kg)	Salida en peso (%)	Retenido	Cernido
+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 +0	1,60	80	100	80
Total	2,00	100		

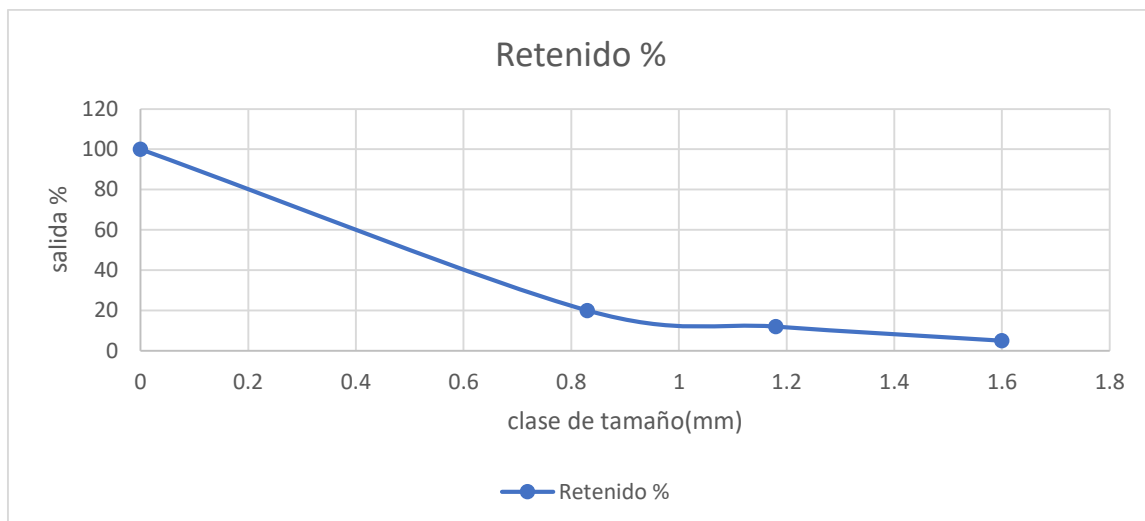


Figura 9 Representación gráfica de los resultados de la molienda después de 25 minutos.

Como se observa en la figura 9 la fracción de clase de tamaño menor de 0.83mm alcanzan el 80% respecto a peso total de la muestra.

Tabla 9Análisis de los resultados después de la molienda para 30 minutos

Clase de tamaño(mm)	Peso (kg)	%	Retenido	Cernido
+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		

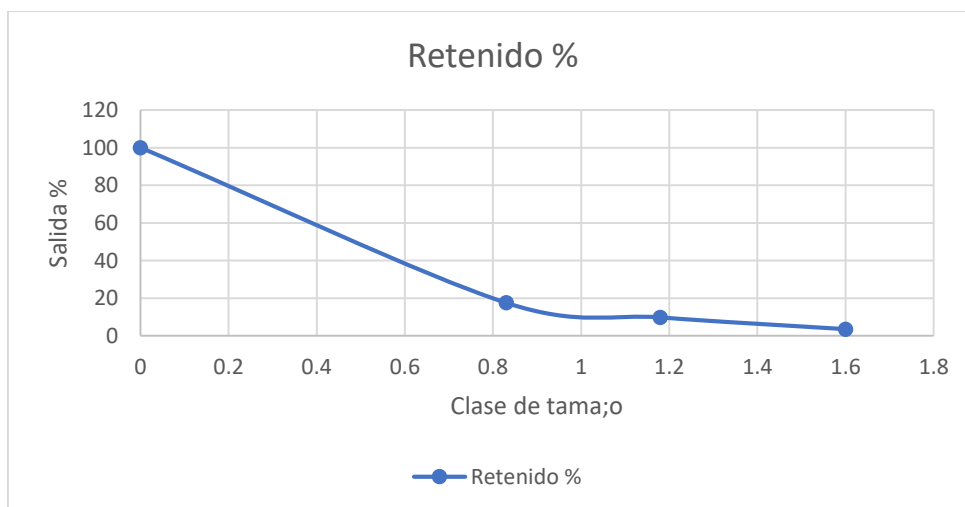


Figura 10 Representación gráfica de los resultados de la muestra de 30 minutos

Para este tiempo de molienda según la figura 10, 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.

3.4 Resultados de la molienda después de realizado el cálculo de la carga de bola.

Se muestra los resultados obtenidos después de haber realizado la carga de bola, donde se verá gráficamente las variaciones de los porcentajes de sólido y arena en la figura 11.

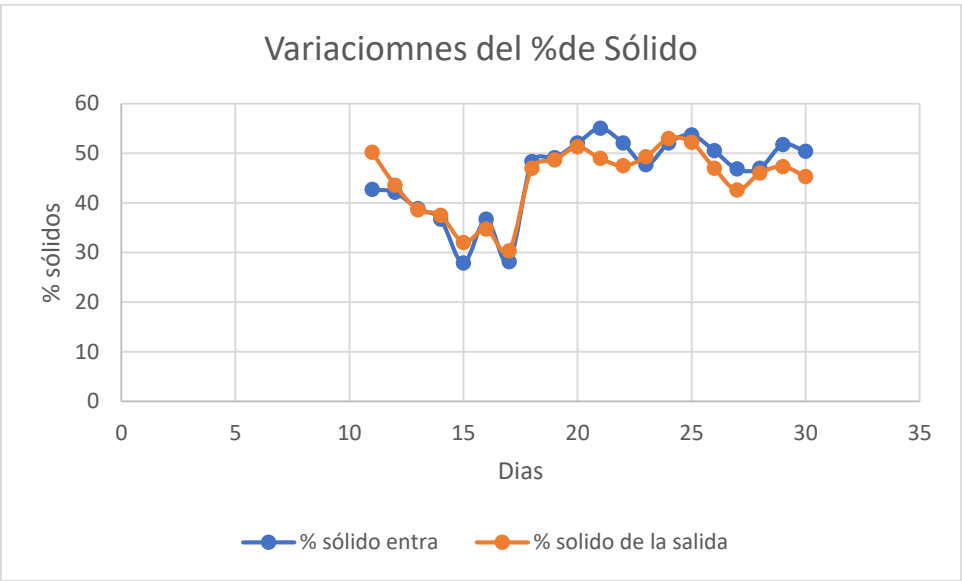


Figura 11 variaciones de los resultados del porcentaje de sólido después de la carga de bolas

En la figura 11, se puede observar que una vez realizada la carga de bola, no existe variación respecto al sólido de la entrada y la salida del molino, como cumplimiento de uno de los parámetros de la empresa para lograr el mismo.

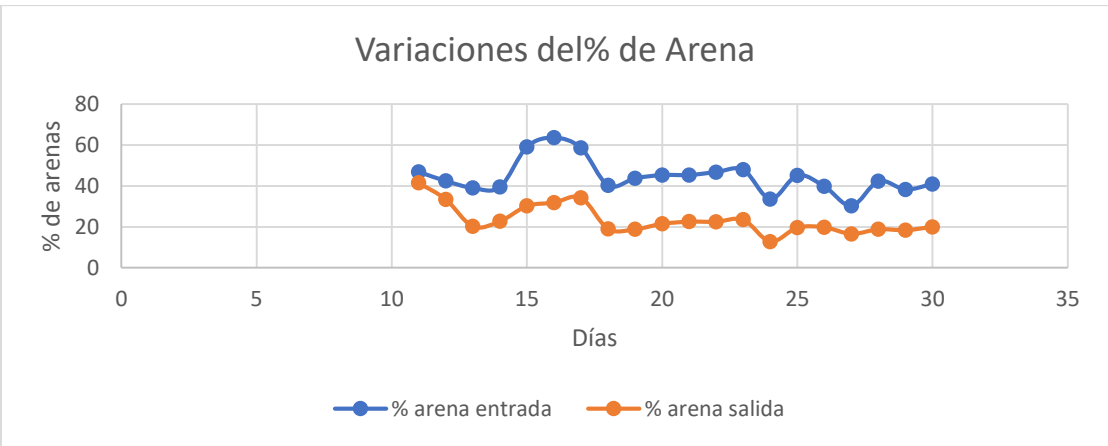


Figura 12 Variación de los resultados de los porcentajes de arena después de la carga de bola.

Se puede observar en la figura 12, las variaciones de los porcentos de arena, después de cargado el molino, dejando resultados satisfactorios, evidenciando la mejora del mismo y su eficiencia, dando como resultados los parámetros de la planta necesita.

3.5 Evaluación de los resultados finales de la molienda

Se muestran los resultados obtenidos durante el periodo de 30 días, donde se muestra la variación de los porcentos de sólido y arena, demostrando la mejora que se estableció en el molino.

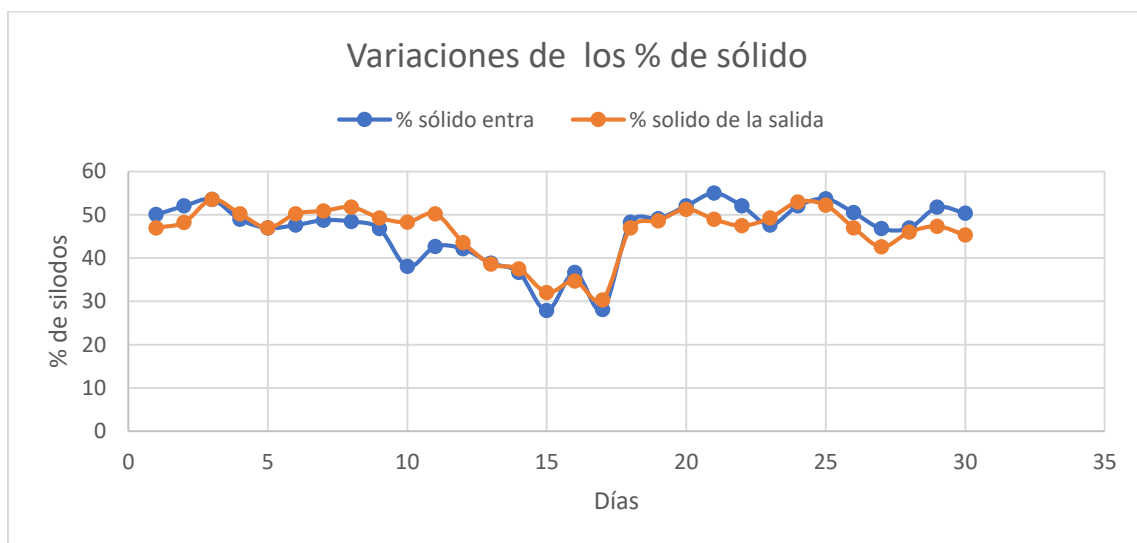


Figura 13 Variaciones de los resultados de los % de sólidos

La figura 13, representa las variaciones de la entrada y salida del molino, donde se puede observar que no existe mucha diferencia del mismo, puesto que la planta tiene como objetivos los rangos de 35 y 55 por ciento.

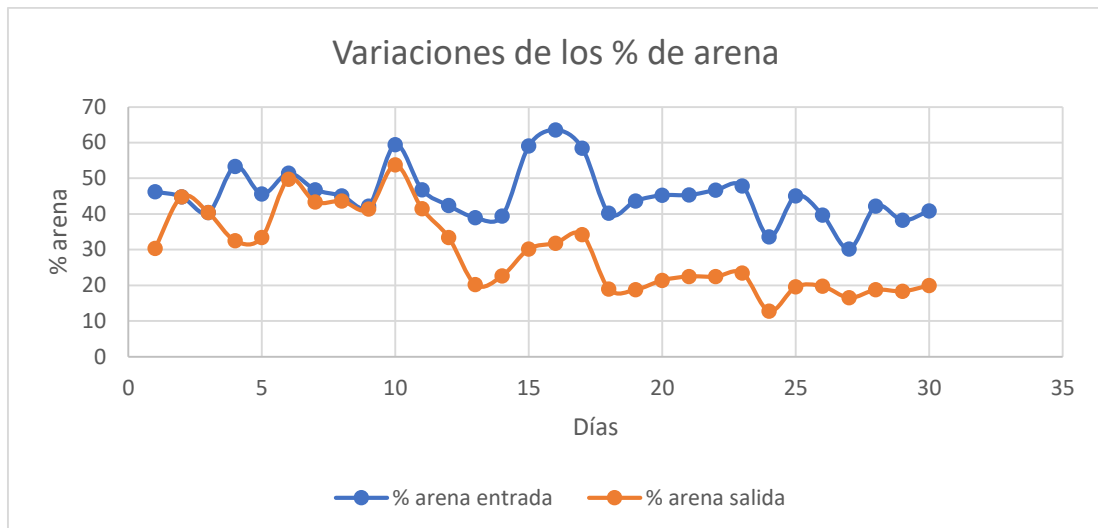


Figura 14 Variaciones de los resultados de los porcentos de arena.

En la figura 14, se observa los resultados obtenidos de la salida y entrada al molino durante el periodo establecido para la investigación, quedando reflejado la mejora en el molino, una vez realizada la carga de bola en el mismo, mejorando así su funcionamiento y su eficiencia. Reflejados en los resultados de la planta.

3.6 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.

Por lo antes mencionado se debe buscar alternativa para sustituir a dicho mineral.

3.7 Conclusiones parciales del capítulo

- 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.
- Se analizaron los parámetros que influyen en la molienda.
- Se demostró mediante el cálculo de bolas en el molino la reducción óptima del mineral alimentado.

CONCLUSIONES GENERALES

1. En el trabajo se analizaron los antecedentes en cuanto al estudio de la molienda mediante la gestión bibliográfica que garantiza una mejor toma de decisiones en cuanto a la determinación de los parámetros tecnológicos en la planta de cieno carbonatado.
2. Se exponen los principales materiales y métodos de la investigación utilizados para dar cumplimiento a los objetivos de esta investigación.
3. Se determinan los principales parámetros que influyen en la eficiencia del proceso de molienda en la Empresa Comandante Pedro Sotillo Alba Moa Nickel SA considerando las características del mineral de rechazo.
4. Se logran los mejores resultados de la investigación, en cuanto al cálculo de la carga de bolas y en el estudio cinético se determinaron los mejores tiempos para 25 y 30 minutos.

RECOMENDACIONES

- Continuar el estudio para la implementación del cálculo de bolas y así lograr una mejor eficiencia en la planta.
- Mejorar el sistema de lubricación del molino y los tiempos de retención del mineral, de acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación.
- Realizar un estudio del ángulo de inclinación en el molino, para mejorar las pérdidas del número de bolas rechazadas.

BIBLIOGRAFÍA

- Andreier, S. (1980). *Trituración y desmenuzamiento y cribado de minerales.* pueblo y educación.
- Breff, A. (2014). *Propuesta tecnológica para lograr el máximo aprovechamiento de los cienos carbonatados en la empresa Pedro Sotto Alba.* Tesis de Maestría.
- Caballero, Y. (2008). *Caracterización de las pulpas de cienos carbonatados para su perfeccionamiento en el hidrotransporte.* Trabajo de Diploma.
- Campos, G. (2001). *Nuevos datos acerca de la naturaleza y génesis de los sedimentos del yacimiento de cienos carbonatados en la bahía de Cayo Moa grande.* Holguín.
- Carlson, E., & Simons, C. (1961). *Pressure leaching of nickelferous laterites with sulphuric acid. Extractive Metallurgy of nickel and cobalt.* New York: P Queneau.
- Castillo, D. (1988). *Informe sobre problemas de extracción utilización de la materia prima de cienos carbonatados.*
- Correa, F. (1957). *Estudio sobre extracciones experimentales de fangos carbonatados al oeste de Cayo Moa Grande.*
- Gildemeister, H., & Schonert, K. (1972). *Berechnung zur wellenausbreitung in kugeln und bruchphanomene in kreisscheiben bei peallbeanspruchung.*
- González, B.L. (2016). *Molibilidad de las mezclas de mineral laterítico con carbón bituminoso.*
- Hellsten, L. (1961). *The cause nickel laterite deposit. Australian Nickel Conference.* Australian.
- Henry, K., Fred, H., & Stephen, R. (1959). *Minerología.* La Habana: Edición Revolucionaria.
- Hernández, L. (2003). *Cálculo verificativo y propuesta de modificación para la ampliación de la instalación de bombeo de cieno carbonatado.* Trabajo de Diploma, Moa.
- Jimenez, D. (2005). *Cálculo verificativo y propuesta de modificación de la instalación de bombeo de cienos carbonatado desde el puerto hasta la planta de neutralización de la Empresa Pedro Sotto Alba.*

- León.M.G. (2023). *Evaluación del material carbonatado del prospecto yaguaneque para la formulación de la adicción mineral LC2*. Metalurgia y Química.
- Martinez, R. (2009). *Caracterización de las propiedades físico mecánicas del cieno carbonatado para el perfeccionamiento de su hidrotransporte por tuberías*. Tesis de maestría.
- Martínez, R., & Hernández, G. (2015). Caracterización reológica de las pulpas de cieno carbonatado. *Minería y Geología*, 70-83. <http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/126>
- Mulet.M. (2023). *Propuesta sistema de automatización para el circuito de aprovechamiento de rechazo en la planta de cienos carbonatados*.
- Nápoles, E. (1992). *Informe exploración orientativa de cienos carbonatados al Sur de Cayo Moa grande*.
- Orowan, E. (1949). *Fracture and strength in solids*.
- Peña Betancourt, F. L. (2014). *Parámetros tecnológicos de la planta de preparación mineral de cieno carbonatado*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- Peña, Y. (2015). *Determinación de los parámetros de molibilidad del carbón antrasita del depósito de la empresa Ernesto Che Guevara*. Trabajo de Diploma, ISMM Moa.
- Ramirez, Y. (2012). *Disminución del contenido de arena de la pulpa de cieno carbonatado mediante la técnica de hidrociclones*. Tesis de diploma.
- Rázumov, K., & Perov, V. (1985). *Proyectos de fábricas de preparación de minerales*. Moscú: MIR.
- Romero.G.Y. (2023). *Determinación de parámetros operacionales de transporte de cienos carbonatados con comportamiento pseudoplásticos*.
- Rumpf, H. (1961). *Problemstellungen und nure ergebnisse der bruchtheorier*.
- Suárez, J. (2010). *Cinerica de la molienda de rechazo del cieno carbonatado en la Empresa Pedro Sotto Alba*. Trabajo de diploma.
- Tamayo, J. (2010). *Determinación de Bomod para cieno carbonatado de Cayo Moa*. Trabajo de diploma.

ANEXOS

ANEXO 1

Tabla 10 Resultados en la entrada del molino durante los 30 días muestreados

Días	Peso de la Pulpa	% sólido	Peso de la arena	% arena	Densidad
1	719	50,04	333	46,27	1,438
2	732	52,05	342	44,88	1,464
3	742	53,54	321	40,40	1,484
4	712	48,93	372	53,39	1,424
5	700	46,98	300	45,61	1,4
6	704	47,64	345	51,44	1,408
7	711	48,77	325	46,84	1,422
8	709	48,45	310	45,12	1,418
9	699	46,81	283	42,24	1,398
10	650	38,06	294	59,42	1,3
11	675	42,69	270	46,85	1,35
12	672	42,15	240	42,37	1,344
13	654	38,83	198	38,99	1,308
14	643	36,70	186	39,41	1,286
15	601	27,88	198	59,08	1,202
16	643	36,70	300	63,57	1,286
17	602	28,11	198	58,51	1,204
18	709	48,29	275	40,22	1,416
19	713	49,09	306	43,71	1,426
20	732	52,05	345	45,28	1,464
21	752	55	375	45,34	1,504
22	732	52,05	356	46,72	1,464
23	704	47,64	321	47,86	1,408
24	732	52,05	256	33,60	1,464
25	743	53,69	360	45,12	1,486
26	722	50,51	290	39,76	1,444
27	699	46,81	198	30,25	1,398

28	700	46,98	278	42,27	1,4
29	730	51,74	289	38,26	1,46
30	721	50,36	297	40,90	1,442

ANEXO 2

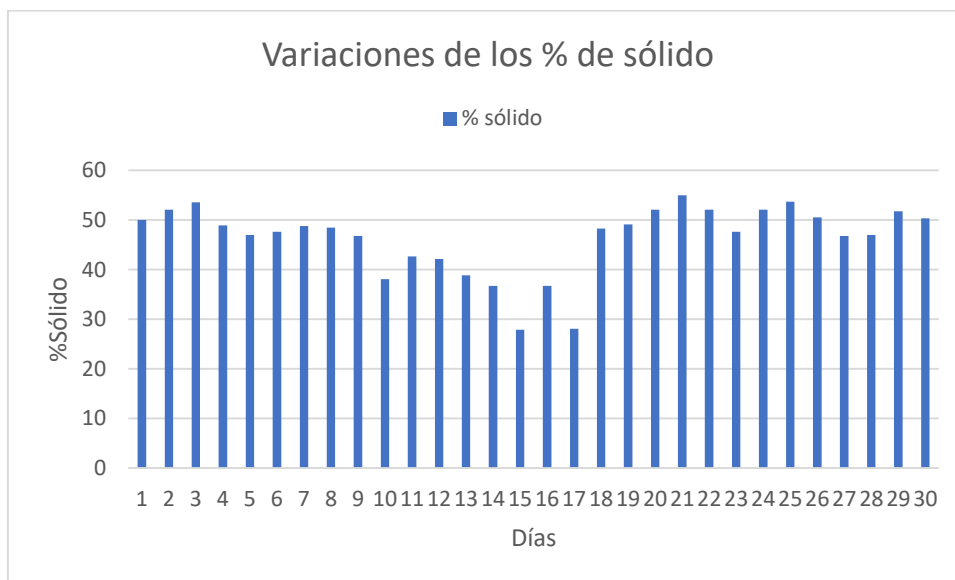


Figura 15 Variación de los resultados de los porcentos del sólido en la entrada del molino durante los 30 días muestreados

ANEXO 3

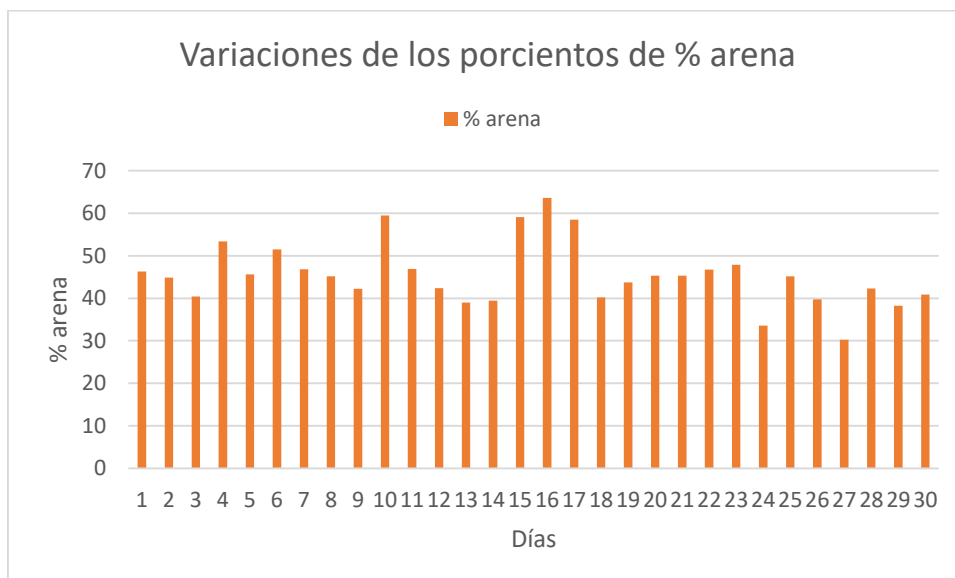


Figura 16 Variación de los resultados de los porcentos de arena en la entrada del molino durante los 30 días muestreados

ANEXO 4

Tabla 11 Resultados de la salida del molino durante los 30 días muestreados

Días	Peso de la Pulpa	% solido	Peso de la arena	% arena	Densidad
1	700	46,98	200	30,41	1,4
2	714	48,25	230	44,88	1,464
3	720	53,54	235	40,40	1,484
4	712	50,20	372	32,51	1,44
5	700	46,98	220	33,45	1,4
6	720	50,20	360	49,80	1,44
7	725	50,9	320	43,39	1,45
8	730	51,74	330	43,66	1,46
9	708	49,29	283	41,39	1416
10	715	48,29	380	53,78	1,43
11	720	50,20	300	41,50	1,44
12	680	43,57	198	33,42	1,36
13	650	38,60	100	20,21	1,3
14	647	37,48	110	22,68	1,294
15	620	32,02	120	30,22	1,24
16	633	34,71	140	31,86	1,266
17	612	30,31	127	34,23	1,224
18	700	46,98	125	19,01	1,4
19	710	48,61	130	18,83	1,42
20	727	51,28	160	21,46	1,454
21	712	48,93	157	22,53	1,424
22	703	47,47	150	22,47	1,406
23	714	49,25	165	23,46	1,428
24	738	52,95	100	12,80	1,476
25	733	52,20	150	19,60	1,466
26	700	46,98	130	19,777	1,4
27	680	42,57	98	16,54	1,36
28	694	45,98	120	18,80	1,388

29	702	47,31	122	18,37	1,404
30	690	45,30	125	20	1,38

ANEXO 5

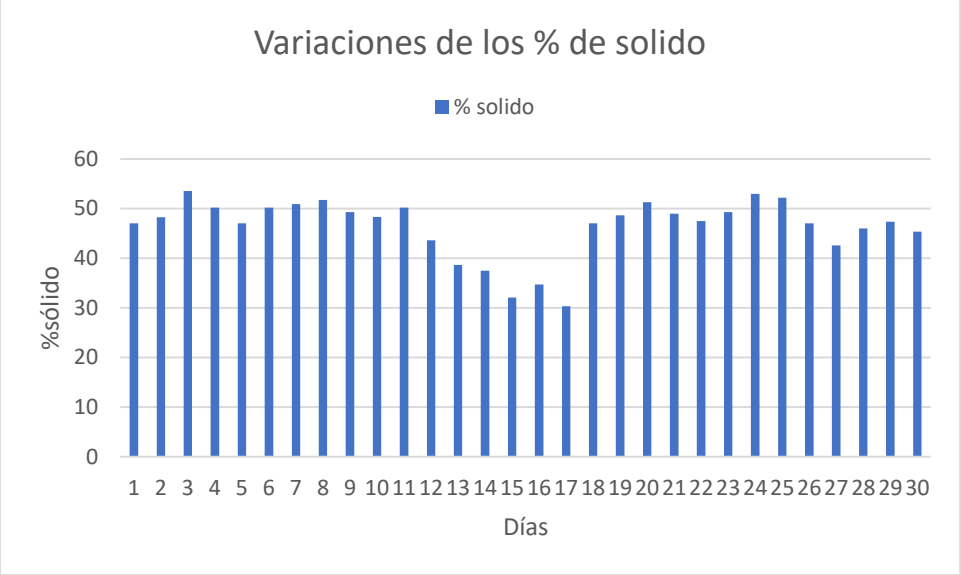


Figura 17 Variaciones de los por ciento de sólido en la salida del molino durante los 30 días muestreados

ANEXO 6

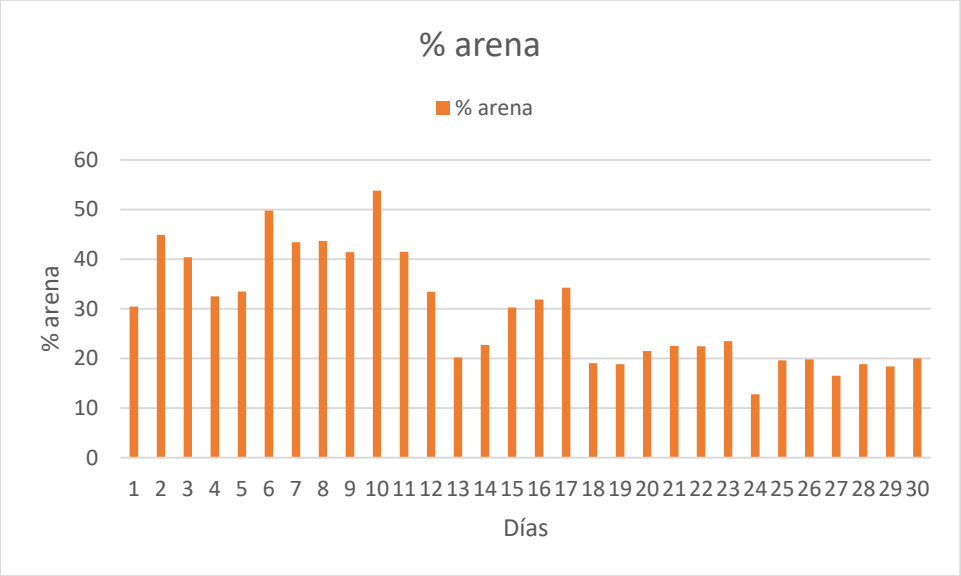


Figura 18 Variaciones de los por ciento de arena en la salida del molino durante los 30 días muestreados

ANEXO 7

Tabla 12 Análisis de los resultados para 5 minutos.

Clase de tamaño(mm)	Peso (kg)	Salida en peso (%)	Retenido	Cernido
+1,6	0,25	12,5	12,5	100
-1,6 + 1,18	0,28	14	26,5	87,5
-1,18 + 0,83	0,27	13,5	40	73,5
-0,83 +0	1,20	60	100	60
Total	2,00	100		

ANEXO 8

Tabla 13 Análisis de los resultados para 10 minutos.

Clase de tamaño(mm)	Peso (kg)	Salida en peso (%)	Retenido	Cernido
+1,6	0,15	7,5	7,5	100
-1,6 + 1,18	0,22	11	18,5	92,5
-1,18 + 0,83	0,26	13	31,5	81,5
-0,83 +0	1,37	68,5	100	68,5
Total	2,00	100		

ANEXO 9

Tabla 14 Análisis de los resultados para 15 minutos.

Clase de tamaño(mm)	Peso (kg)	Salida en peso (%)	Retenido	Cernido
+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 +0	1,44	72	100	72
Total	2,00	100		

ANEXO 10

Tabla 15 Análisis de los resultados para 20 minutos.

Clase de tamaño(mm)	Peso (kg)	Salida en peso (%)	Retenido	Cernido
+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 +0	1,46	73	100	75
Total	2,00	100		