



Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad Metalurgia – Electromecánica
Especialidad Metalurgia

Trabajo de Diploma

INFLUENCIA DE LA HUMEDAD SOBRE EL BENEFICIO Y LA MOLIENDA DE LOS MINERALES LATERÍTICOS.

Autor: Yendry Mora Foster

Curso 2007- 2008
Año 50 DE LA REVOLUCIÓN



Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad Metalurgia – Electromecánica
Especialidad Metalurgia

Trabajo de Diploma

Influencia de la humedad sobre el beneficio y la molienda de los minerales lateríticos.

Autor: Yendry Mora Foster

*Tutores: Ing. Severo Estenoz Mejías
DrC. Pedro Enrique Beyris*

Curso 2007- 2008
Año 50 DE LA REVOLUCIÓN

DECLARACION DE AUTORIDAD

*Yo; Yendry Mora Foster, autor de este trabajo de diploma
certifico su propiedad a favor del Instituto Superior
Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el
cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes,
educativos e investigativos.*

Autor: Yendry Mora Foster

Firma -----

Tutores: Ing. Severo Estenoz Mejías

Firma -----

Drc. Pedro Enrique Beyris

Firma -----

Pensamiento

No hay más que asomarse a las puertas de la tecnología y la ciencia contemporáneas para preguntarnos si es posible vivir y conocer ese mundo del futuro sin un enorme caudal de preparación y de conocimientos.

Fidel Castro Ruz

Dedicatoria

Este trabajo de Diploma va dedicado de todo corazón a la persona que más quiero y aprecio en la vida, a la que le debo todo lo que soy y seré el día de mañana, a mi madre Raiza Foster Almeida. A mis abuelos Acelia Almeida y Ralf Foster los cuales me hicieron un hombre de bien y gracias a ellos hoy estoy logrando forjarme como un profesional, a ellos de todo corazón va dedicado este trabajo diploma.

Agradecimientos

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

A mis Tutores Ing. Severo Estenoz Mejías y Dr.C. Pedro Enrique Beyris Mazar por su ayuda y paciencia en la realización y culminación de este Trabajo de Diploma.

A mi madre Raiza Foster Almeida, la cual me ofreció todo lo que estaba a su alcance y a la cual le debo todo lo que soy y seré el día de mañana como profesional.

A mi familia la que siempre estuvo presente y me alentaban en los momentos más difíciles.

A mi novia Layra Jiménez Barthelemis, por estar siempre presente en los momentos que más la necesité y por guiarme por el camino del bien en estos cinco años de mi carrera universitaria.

A todos los profesores del Departamento de Metalurgia

A mis amistades y compañeros de la universidad los que siempre me ayudaron y los que estuvieron siempre a mi lado en los buenos y malos momentos de mi vida.

A todos muchas gracias

Resumen

El presente trabajo de diploma se basa en la determinación de la influencia de la humedad de los minerales lateríticos sobre los procesos de beneficio y la molienda. Se determinó la influencia de la humedad de entrada y salida de los hornos de secado sobre el scalping. Se evaluó el efecto de la humedad de salida sobre la molienda de los minerales lateríticos.

Se realizó una búsqueda bibliográfica para conocer el estado actual sobre las investigaciones realizadas sobre el tema. Se tomaron muestras de mineral a la salida de secadero y material del scalping para realizar pruebas a escala de laboratorio. Se realizó al scalping la caracterización química y granulométrica para determinar la cantidad de componentes útiles que se podrían recuperar. Se estableció el comportamiento del scalping del mineral laterítico para diferentes contenidos de humedad. Se determinó la influencia de la variación de humedad en la molienda a escala de laboratorio. Se tomaron datos de la empresa para la obtención con gráficos, que demuestren la influencia de la humedad de los minerales lateríticos sobre los procesos de beneficio y la molienda de minerales.

Palabras claves: Procesos de beneficio. Mineral laterítico. Influencia de la humedad.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.1 Objetivo del capítulo	5
1.2 Trabajos precedentes	5
1.2.1 Estado del arte de la molienda de los minerales lateríticos	8
1.3 Principios teóricos del beneficio para el material laterítico.	10
1.3.1 Formas de enlace de la humedad con el material.	11
1.3.2 Movimiento de la humedad dentro del mineral laterítico	12
1.3.3 Influencia de la humedad en el proceso de cribado.	13
1.4. Fundamento teóricos de la molienda	13
1.4.1 Energía y reducción de tamaño.	14
1.5 Flujo tecnológico de la planta de preparación del mineral en la ECECG.	14
Conclusiones del capítulo I	19
CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.	20
2.1. Diseño de la investigación.	20
2.2. Técnica experimental	20
2.2.1. Método del cuarteo	20
2.2.2. Técnica para el análisis de tamices	21
2. 3.Materiales y equipos.	22
2.3.1. Composición mineralógica.	23
2.3.2. Composición química	24
2.3.3. Composición granulométrica	25
2.4. Preparación de los materiales.	26
2.4.1. Muestra (SM-4) de la correa caliente que pasa a los molinos de bolas..	26
2.4.2 Muestra (SM-4) de la correa caliente que pasa a la zaranda	27
2.4.3.Material del rechazo por la zaranda.	28
2.5. Cálculo de la eficiencia de la zaranda o cribado	28
2.6.. Cálculo del molino	31

INTRODUCCIÓN

Los minerales son recursos naturales no renovables, cuya utilización ha permitido el avance de la sociedad tecnológica actual. Los minerales sólidos y sus derivados están presentes en cada momento de la vida cotidiana en múltiples formas y modificaciones.

El estudio mineralógico de las cortezas niquelíferas, localizadas al nordeste de la provincia de Holguín, constituye una necesaria e importante contribución al conocimiento de la composición sustancial de la materia prima mineral de la cual se extrae el níquel y el cobalto, teniendo en cuenta que la industria del níquel es uno de los tres renglones principales de la economía cubana actual.

Cuba posee una de las reservas de Ni más grande del mundo en yacimientos de minerales lateríticos, con un estimado de 52 000 toneladas/año de níquel, (International Nickel Study Group I.N.8S.G., 1993) situándolo entre los primeros cuatro países a nivel mundial, alcanzando valores desde 32.8 hasta 46 mil toneladas de níquel minado entre los años 1989 y 1992 (I.N.S.G., 1994). La extracción de Ni a partir de los minerales oxidados cobra más fuerza cada día, pues constituyen una fuente de gran potencial de reservas a explotar con mayor intensidad en el futuro (Oliveira, 1990). De modo, que el tema del trabajo se enmarca dentro de una de las direcciones de investigación con gran vigencia en la actualidad.

Estos minerales están caracterizados por una distribución desigual de los valores metálicos en las distintas capas que componen el perfil ferruginoso, por lo que las tecnologías diseñadas para el procesamiento de estas menas no logran un aprovechamiento racional de las mismas.

Entre los principales depósitos de lateritas ferroniquelíferas de Cuba Oriental, situados en la provincia de Holguín, aparecen en Moa-Baracoa los yacimientos Punta Gorda, Yagrumaje, La Delta, Cantarrana y Piloto. En Pinares de Mayarí están los yacimientos Pinares de Mayarí y Levisa.

El municipio Moa, se encuentra ubicado en la parte noreste de Cuba. En este se localizan las mayores reservas niquelíferas del país, lo que implica una importante actividad metalúrgica en este territorio. En la actualidad existen empresas metalúrgicas que se dedican a la extracción del níquel en esta región, las cuales son

la empresa comandante Ernesto Che Guevara, con tecnología carbonato-

amoniacal y la empresa Pedro Sotillo con tecnología de lixiviación ácida a presión

La Empresa Comandante Ernesto Che Guevara fue construida entre los años 1973-1985 como fruto de la colaboración bilateral entre los gobiernos de Cuba y la antigua Unión Soviética, esta se encuentra ubicada al norte del yacimiento mineral de Punta Gorda, en la costa norte, a 4 km del centro de Moa, provincia Holguín, Cuba. Desde su puesta en marcha en Enero de 1986 su

Explotación ha sido muy importante para la economía del país, esto ha permitido el desarrollo de la zona y el progreso económico y social al generar empleo e inversiones, favoreciendo la vida de cada ciudadano cubano

La empresa niquelífera Comandante Ernesto Che Guevara es la mayor productora de níquel de nuestro país, y ha incrementado su capacidad en los últimos años. Actualmente se encuentra trabajando por encima de la capacidad de diseño.

En este proceso industrial de minerales lateríticos, tiene como objetivo fundamental, extraer los valores de níquel y cobalto presente en los mismos. Como parte del proceso industrial en la empresa se determina una reducción de tamaño en el material, con el fin de liberar partículas útiles de las partículas estériles presentes en el mismo y otras razones de carácter industrial. Esta industria juega un papel importante en la economía cubana, al mismo tiempo representa una de las principales fuentes consumidoras de energía eléctrica en el país, de ahí que no han sido pocos los esfuerzos que se realizan en aras de disminuir los costos de producción mediante tecnologías más eficientes y la introducción de técnicas avanzadas de control sin grandes inversiones de capital

La puesta en marcha de la planta de secado y molienda de la fábrica Comandante Ernesto Che Guevara demostró la importancia de las investigaciones y al mismo tiempo la necesidad de un profundo estudio de la influencia de la humedad en la preparación del material laterítico.

La investigación de la molienda de los minerales lateríticos ocupa un lugar relevante en el perfeccionamiento de la tecnología carbonato amoniacal

La labor de reducción de tamaño se lleva a cabo en la planta de molienda, específicamente en molinos de bolas accionados por motores eléctricos, que dentro

De gran diversidad de equipos empleados en la industria minera-metalúrgica, constituyen uno de los mayores consumidores de energía eléctrica

En el mundo se ha trabajado en muchas variantes de determinación energética, pero a pesar de haberse realizado importantes intentos de caracterizar por vías alternativas el comportamiento ante fragmentación de los diversos materiales, gran cantidad de datos disponibles y la indudable eficacia práctica de su método de presagiar que seguirá así por mucho tiempo

Problema científico

La inestabilidad de la humedad del material en la planta de preparación de minerales de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, provoca dificultades en los procesos de beneficio y molienda

Objeto de estudio:

El material laterítico de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara

Hipótesis:

Si se determina la influencia de la humedad en el proceso de beneficio y molienda del mineral laterítico de la empresa comandante Ernesto Che Guevara, entonces se permitirá conocer el efecto de la humedad sobre estos procesos.

Objetivos específicos:

- Determinar la influencia de la humedad de la entrada y salida de los hornos de secado sobre el beneficio por vía seca
- Evaluar el efecto de la humedad de salida sobre la molienda de los minerales lateríticos.
- Evaluar el efecto económico de la humedad en los procesos de beneficio seco

Campo de acción:

Preparación mecánica y beneficio del mineral laterítico de la empresa comandante Ernesto Che Guevara

Para lograr el cumplimiento del objetivo propuesto, se plantean las siguientes tareas:

- Toma de muestras de mineral en la salida de secadero y material de rechazo para realizar prueba a escala de laboratorio

- Realizar una búsqueda bibliografica sobre el proceso de beneficio y la molienda del mineral lateritico, que permita el establecimiento y conocimiento del estado actual de las investigaciones realizadas sobre el tema
 - Caracterización química, mineralógica y granulométrica del mineral lateritico
 - Establecer el comportamiento del scalping en el mineral lateritico para diferentes contenidos de humedad
 - Determinar la influencia de la variación de humedad en la molienda
- Tomar datos de la empresa para la obtención de gráficos que demuestren la influencia de la humedad de los minerales lateríticos sobre los procesos de beneficio y la molienda de minerales

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Objetivo del capítulo

En este capítulo se realiza una búsqueda bibliográfica referente a los procesos de beneficio con el fin de definir las características de la preparación de minerales, además la actualización de los trabajos realizados sobre la eficiencia de los molinos de bolas, los cuales se han llevado a cabo en investigaciones anteriores con el objetivo de disponer de elementos básicos y de tendencias actuales, que resultan esenciales para el desarrollo del trabajo.

Analizar los trabajos precedentes relacionados con el beneficio y la molienda del mineral laterítico y conocer las características de la humedad en el mineral.

1.2. Trabajos precedentes

En relación con el proceso de obtención de níquel, Cuba ha avanzado considerablemente en las investigaciones realizadas sobre el proceso de beneficio y la molienda, este adelanto también involucra a la actividad de preparación del mineral laterítico, hoy se cuenta con diversas investigaciones relacionadas con el objeto de estudio.

Rojas P, A, 1995. En su trabajo realiza una valoración de los procesos geológicos que dan lugar a la formación y desarrollo de las cortezas de intemperismo, lo que permite entender el carácter variable de las características físico-químicas y mineralógicas del material laterítico.

Se caracteriza mineralógicamente el material laterítico y serpentinito empleando técnicas instrumentales analíticas (difracción y fluorescencia de Rayos -X, espectroscopia de adsorción atómica y emisión, microscopia electrónica de transmisión y de barrido).

Se hace una valoración de las características geológicas tanto locales como regionales del yacimiento Moa, íntimamente asociada a los macizos máficos y ultramáficos de la parte nordeste de Cuba oriental.

Se determinan las principales características físicas del material laterítico, como la densidad, granulometría y colorimetría, las cuales son importantes para caracterizar esta materia prima mineral, pues influyen en su comportamiento durante determinados procesos físicos y metalúrgicos.

Se determina la composición química tanto a través de todo el perfil de alteración, por horizontes, como en las fracciones granulométrica.

Se establece la tendencia de enriquecimiento de determinados elementos, tanto en el perfil como fracciones granulométricas y la correlación entre ellos.

Se establece la composición mineralógica de la corteza de intemperismo, a través de perfiles de alteración; así como valorar la mineralogía general del yacimiento y caracterizar las fracciones granulométricas, con el fin de definir los portadores de níquel.

Pero a pesar de la profundidad con que son tratados los temas de dicha obra, no se hace una caracterización granulométrica del mineral que entra al circuito de molienda, ni el aumento de la productividad del molino y no se hace referencia de la humedad en el mineral laterítico.

Colectivos de autores, 2006. Investigación realizada en el CEINNIQ sobre el scalping. En esta investigación determinaron la eficiencia de la zaranda con la malla de 6 mm fue de 83.3 %, y la fracción (– 6 mm) tuvo contenidos de Ni y de Fe menores que el mineral original, pero muy superiores a la fracción (+ 6 mm), por lo que los resultados del mineral beneficiado fueron afectados por esta causa. Se evaluaron mediante cálculos los resultados de separar las fracciones +6 mm solamente y las fracciones +10 mm, encontrándose una diferencia entre los ingresos al separar +6 y +10 de más de 13 millones.

MO: mineral original (sin scalping).

MB: mineral beneficiado (con scalping).

El incremento de producción de la fracción + 6 mm, es de 3051t/año de Ni y 314 t/año de Co, incluyendo para el Ni aumentos por ley y por extracción. Para 3 500 000 ton a hornos, los ingresos considerando a 6 USD/lb el Ni y 10 USD/lb el Co es de 47 millones.

Los índices del rechazo del mineral para las variantes de separación analizadas se muestran en la tabla 1. Los incrementos de producción son índices favorables debido al aumento de las leyes y extracciones de Ni y Co, de recuperación en el mineral beneficiado y desfavorables en la cantidad de mineral rechazado.

Tabla 1 Efectos del rechazo de las fracciones +6 y +10 mm.

Fracción mm	Incremento de ingresos M\$/año	Incremento de Prod., T/año		Recuperación, %		Transp. T/año	Relación MR/MB
		Ni	Co	Ni	Co		
+ 6	47269	3051	314	93,54	96,19	435146	0,11
+ 10	33803	2162	236	95,42	97,75	296105	0,08

Excluyendo Fracción -6 mm; - Excluyendo Fracciones -10 mm

En la tabla 1 se observa que el efecto en producción y el incremento en ingresos aumentan a medida que se incluyen más fracciones, debido al hecho que todas las fracciones tienen contenidos de los metales útiles (Ni, Co, Fe), pero se incrementan los índices negativos de la separación, disminuye la recuperación de metales del mineral alimentado al proceso y aumenta la cantidad de material a rechazar y transportar.

El incremento de la producción de Ni y Co de la variante +6 al procesar t/año se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Incrementos de producción y valor producido.

Metal	Producción t/año			Valor producido \$/año			
	Ton.	Extract	Total	Precio \$/lb	Por ley	Por Ext.	Total
Ni	2565,74	929,099	3494,84	6,0	33929,37	12286,4	46215,78
Co	349,08	0,0	349,082	10,0	7693,77	0,0	7693,77

Los fundamentales índices técnico-económicos del proceso sufrieron los siguientes cambios al realizarse el rechazo:

- ✓ Leyes del mineral a hornos para Ni, Co y Fe aumentaron en 0,056, 0,012 y 4,4 % respectivamente.
- ✓ Velocidad de sedimentación
- ✓ Espesamiento máximo
- ✓ Relación mineral seco/ mineral a hornos.
- ✓ Mineral a transportar, 19 % del mineral a horno.
- ✓ El balance de metales indicó un aumento de producción de t/año Ni y t/año de Co al alimentar 3 500 000 toneladas al año de mineral a hornos.

En la tabla 3 se pueden observar la composición del mineral beneficiado (MB) y el mineral no beneficiado (MO).

Tabla 3: Análisis químico y extracciones del mineral alimentado al horno

Tipo de Beneficio	Mineral de alimentación, en %					Fe ⁰	Fe ²⁺	FM	Ext Ni	Ext Co
	Ni	Co	Fe	SiO ₂	MgO	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
MO	1,24	0,11	34,9	7,3	12,1	3,0	22,4	61,5	83,3	46,3
MB	1,30	0,12	39,3	5,8	11,0	4,8	24,4	55,5	87,0	40,1
MB - MO	0,056	0,012	4,40	-1,5	-1,1	1,8	2,0	-5,9	3,7	-6,2

En esta investigación no se tiene en cuenta la humedad del mineral en evaluar los resultados de separar las fracciones +6 mm solamente y las fracciones +10 mm, para determinar los componentes útiles que se pierden en el rechazo.

1.2.1. Estado del arte de la molienda de los minerales lateríticos.

Garcés R, A. y Rondón S, Y, 2002. En este trabajo se determinan por vía experimental los parámetros de las funciones de la razón de la fragmentación y de distribución de la fragmentación de la molienda dosificada de la laterita en un molino de bolas a escala de laboratorio; pero a pesar de la profundidad con que son tratados los temas de dicha obra, no caracterizan desde el punto de vista químico, mineralógico y granulométrico el material tomado en la correa caliente, los tiempos de molienda son muy cortos, por lo que no se puede precisar bien el comportamiento del material y al utilizar el material de la correa caliente, no dan como dato con que por ciento de humedad se trabajo, porque en la salida de los secaderos, el por ciento de humedad varia.

Morgado H, N. y Torres Q, A, 1994. En este trabajo se caracterizó el mineral laterítico desde el punto de vista químico, mineralógico y granulométrico y se realizó un estudio para la utilización integral de la menas lateríticas, utilizando como una de las variantes, la molienda de toda la masa mineral; en esta obra no se tiene en cuenta la humedad en la determinación de la granulometría, ni en la molienda, porque la humedad es unos de los principales factores que influyen en el proceso de la molienda.

Marjoris V, A. y García S, R, 1994. En este trabajo se realiza un estudio del comportamiento del % de sólido y densidad, el contenido de los valores metálicos en el beneficio de laterita de balance; pero a pesar de la profundidad de la investigación no se hace referencia a la molienda de los minerales lateríticos, ni al comportamiento de la humedad del material.

Laborde B, R. y otros, 2000. En el trabajo se analiza la influencia del grado de llenado con bolas del molino, sobre la productividad y la estrecha relación de

esta última con la eficiencia energética del proceso. Se demuestra la existencia de reservas energéticas en el proceso. Se detectan las principales causas del fenómeno que son: irregular alimentación al molino creando ausencias ocasionales de mineral dentro del sistema o baja productividad, pero a pesar de la investigación no se trata la influencia de la humedad que puede ocasionar la disminución de la productividad en la molienda del mineral laterítico.

Núñez G, Y. y Pérez G, S, 200. Se realiza una investigación aplicando métodos estadísticos, sobre la posible influencia que puede tener en el consumo específico, la energía del proceso de molienda y los factores analizados fueron: cantidad de petróleo que se le añade al mineral, los contenidos de Fe, Ni y Co, la granulometría inicial y función de la fragmentación, a pesar de la investigación que se realizó, no se tiene en cuenta la influencia de la humedad en la molienda.

Reina Licea, Y, 2004. Se determina el consumo específico de energía en los minerales lateríticos, en el cual se determina el índice de trabajo de mezclas de dicho mineral, mediante la realización de la prueba de Bond a escala de laboratorio y la simulación, aplicando el modelo cinético acumulativo; a pesar del trabajo realizado, no se tienen en cuenta la humedad del mineral laterítico para determinar el cálculo del índice de Bond en el molino de bolas.

Traba Naranjo, R.; Morales Rodríguez, L, 1986. Se fundamenta el estudio de la molibilidad de los minerales lateríticos, donde se realizó una descripción detallada de las características geológicas del yacimiento, composición química y mineralógica, así como las características de su explotación. Además se realizaron cálculos de la productividad del molino para las diferentes clases de tamaño, tanto para la clase deseada 0.074 mm (200 mallas) como para la clase gruesa + 0.147 mm (100 mallas), donde se determinó el cálculo de la efectividad del clasificador a fin de conocer el grado de separación de la clase gruesa y la fina. Los resultados a los cuales se llegan en esta investigación, pone de manifiesto que puede lograrse una disminución del peso de los elementos triturantes y además se realiza una descripción de las características geológicas del yacimiento, composición química y mineralógica, así como las características de su explotación.

Lafargue Barrientos, U, 2005. En esta investigación se determina el índice operacional real de la sección de molienda de la Empresa Comandante Ernesto

Che Guevara, el cuál es comparado con el obtenido mediante la prueba de Bond, con el objetivo de valorar el comportamiento de la eficiencia energética y la productividad de los molinos de bolas, así como una disminución en los costos de producción. En esta investigación no se tiene en cuenta la influencia de humedad del material en la molienda para determinar el consumo de energía en el proceso.

Falcón Hernández, J, 1987. Considera que en la molienda de los minerales lateríticos tiene lugar el fenómeno de automolienda, dado el comportamiento de los índices del producto molido al disminuir la carga de bolas y su compensación con mineral fresco. Este trabajo da a conocer que en la molienda de las menas lateríticas hay que tener en consideración las diferentes durezas de los minerales para dar lugar al fenómeno de automolienda.

1.3. Principios teóricos del beneficio para el material laterítico.

La variabilidad presente en los yacimientos lateríticos, producto de las propias condiciones de su surgimiento, influyen en la variación de la composición química, mineralógica y granulométrica en los diferentes cortes del perfil, dentro de un mismo yacimiento y de un yacimiento a otro, trae consigo la extracción extensiva del mineral para compensar dicha variabilidad. Es necesario aprovechar los contrastes que se manifiestan en las cortezas respecto a la composición mineralógica, química y granulométrica para obtener productos homogéneos como resultado de la liberación, separación y concentración de componentes mediante el uso de métodos de beneficio apropiados.

Si el beneficio de minerales se fundamenta en la diferencia de las propiedades físico químicas de los minerales que componen la mena, para su separación y concentración en productos homogéneos por su composición; entonces la mena laterítica de acuerdo a su diferencia en composición de fases minerales puede ser beneficiada, para su uso integral y la consiguiente protección.

Los trabajos realizados para la concentración de los minerales contenidos en las menas lateríticas; en particular, el efecto de los procesos de reducción de tamaño, el cual es un importante factor para el beneficio de minerales. Además si se trata de mejorar la calidad del producto de entrada al proceso extractivo mediante el beneficio del mineral, es necesario tener en cuenta la preparación

mecánica de este, ya que constituye la parte inicial dentro de la preparación del mineral en su conjunto y además presentan dificultades en la preparación del mineral con el contenido de humedad en el cribado y el proceso de molienda.

1.3.1. Formas de enlace de la humedad con el material.

La forma de enlace de la humedad con el material: cuanto más sólido es dicho enlace, tanto más difícil transcurre el secado. Durante el proceso el enlace de la humedad con el material se altera.

La clasificación más completa de las diferentes formas de ligarse la humedad con el material es la ofrecida por Kasatkin (1987) la misma está basada en los estudios de la intensidad de la energía de enlace desarrollados por Rebinder (1979). De acuerdo con ésta, existen tres tipos de humedad: de enlace químico, físico-químico y físico-mecánico. A este trabajo ofrece particular interés el último tipo de enlace.

La humedad ligada químicamente es la que se une con mayor solidez al material en determinadas proporciones y puede eliminarse sólo calentando el material hasta altas temperaturas o como resultado de una reacción química.

Durante el secado se elimina, como regla, sólo la humedad enlazada con el material en forma físico-química y mecánica. La más fácil de eliminar resulta la enlazada mecánicamente que a su vez se subdivide en: humedad de los macrocapilares y microcapilares (capilares con el radio medio mayor y menor de 10^{-7} m respectivamente). Los macrocapilares se llenan de humedad durante el contacto directo de ésta con el material, mientras que en los microcapilares la humedad penetra tanto por contacto directo, como por la adsorción de la misma en el sólido. La humedad de los macrocapilares se elimina con facilidad no sólo por secado térmico, sino también empleando métodos mecánicos.

El enlace físico-químico une dos tipos de humedad que difieren por la solidez del enlace con el material: la humedad ligada osmóticamente y por adsorción. La primera llamada también humedad de hinchamiento, se encuentra dentro de las células del material y se retiene por las fuerzas osmóticas. La segunda se retiene sólidamente sobre la superficie y en los poros del material. La humedad de adsorción requiere para su eliminación un gas con una energía considerablemente mayor que la utilizada para eliminar la humedad de hinchamiento. La existencia de estos tipos de humedad especialmente se manifiesta en poliméricos. Fundamentalmente la humedad contenida en los

sólidos no es de carácter físico-químico, y por eso su extracción durante el proceso de secado exige un consumo de energía igual al calor de evaporación. Con el secado solar del mineral se reduce sólo la humedad enlazada con el material de forma físico-mecánica. Esto se debe a que en el proceso no se puede eliminar completamente esta humedad en el material debido a que se trabaja con un rango de temperatura bajo que oscila entre 12 y 36 °C aproximadamente.

1.3.2. Movimiento de la humedad dentro del mineral.

Cuando se produce la evaporación superficial, debe haber una migración de la humedad desde las profundidades del sólido hacia la superficie. En el mineral laterítico este desplazamiento se denomina movimiento capilar, que es cuando la humedad no límite en sólidos granulares y otros semejantes, se traslada a través de capilares e intersticios de los sólidos mediante un mecanismo que implica tensión superficial. Los capilares se extienden desde la humedad dentro del sólido hasta la superficie de secado. A medida que se desarrolla el secado, al principio la humedad se traslada por capilaridad hacia la superficie con suficiente rapidez, siendo constante el régimen de secado. Los regímenes de temperatura satisfactorios para eliminar los diferentes tipos de humedades pueden ser determinados mediante el análisis térmico diferencial del material.

1.3.3. Influencia de la humedad en el proceso de cribado.

El contenido de la humedad externa en el material laterítico es una dificultad en el proceso de cribado. El agua, que se encuentra en los poros y fisuras, así como la ligada químicamente, ejerce influencias en el proceso de cribado. Por ejemplo, el cribado de ciertos minerales es prácticamente imposible si la humedad de ellos es mayor del 6 %, ya que la humedad en lo fundamental está presente en las capas superficiales, al mismo tiempo, el lignito poroso se cierra incluso con una humedad de hasta el 45%.

Las clases finas tienen la mayor humedad externa a causa de su gran superficie específica. La humedad externa en el material provoca la aglutinación de las partículas pequeñas entre sí, su adhesión en grandes pedazos y el recubrimiento de los agujeros de las cribas con el material viscoso. Además, la humedad del material baja la acción de las fuerzas de tensión superficial y puede formar capas, las cuales cubren los agujeros de la malla. Todo esto dificulta la separación del material en la criba según el grosor

y obstaculiza el paso de los granos pequeños a través de los agujeros, como resultado de lo cual estos granos quedan en el producto sobre la malla.

La efectividad del cribado disminuye bruscamente debido al contenido de la humedad, la cual depende de las propiedades del material y de la dimensión de los agujeros del tamiz.

1.4. Fundamento teóricos de la molienda

1.4.1. Energía y reducción de tamaño.

Cualquier consumo energético que produzca una reducción de tamaño debe estar relacionado necesariamente con las condiciones iniciales y finales de tamaño de partículas.

En el caso de rotura de partículas individuales, dichas condiciones de tamaño pueden ser, en el caso de partículas esféricas, el diámetro; y en el caso de las partículas irregulares, un tamaño entre dos luces de malla de tamices suficientemente cercanos. En el caso de rotura de colectivos de partículas (roturas de lechos de partículas), será preciso conocer en general la distribución de tamaños antes y después de la rotura. En el caso de que la forma de la distribución granulométrica no varíe mucho entre alimentación y producto, (como en el caso de los molinos de bolas, en los que se puede suponer un desplazamiento casi paralelo), suele usarse un parámetro característico, como el d_{80} , lo cual en cada caso queda abierto a objeciones ya que es necesaria mucha más energía para la rotura de las partículas finas que para las gruesas, y los cambios en el rango de los tamaños finos no puede ser descrito bien sólo por dicho parámetro. En todo caso, está claro que un mismo valor de la superficie específica puede ser obtenido a partir de diferentes distribuciones de tamaños.

Por tanto se puede concluir que la única medida aceptable de la reducción de tamaño consiste en la comparación de las distribuciones granulométricas de alimentación y producto, que por otro lado no presentan ningún problema a la hora de su tratamiento numérico.

1.5. Flujo tecnológico de la planta de preparación del mineral en la ECECG.

En la planta de Preparación de Mineral es donde se inicia el proceso productivo según la tecnología carbonato amoniacal. El flujo tecnológico comienza en la sección de recepción del mineral, donde llegan los camiones procedentes de la mina. Estos descargan su contenido en una parrilla fija o criba estacionaria. Esta criba permite la separación de la fracción +450 mm que es rechazada. La otra fracción (-450 mm), cae en un alimentador de esteras, que posibilita el suministro de mineral a una zaranda de inercia, la que clasifica el mineral a su vez en dos fracciones: la de -120 mm atraviesa la superficie y va al transportador de banda N°1 ya la de +120 mm pasa a las trituradoras de martillo donde se reduce hasta 20-40 mm. Este mineral de igual forma es recogido por el transportador de banda N°1, que pasa a lo largo de las descargas del alimentador de esteras, la zaranda y la trituradora de martillo.

El mineral procedente de la sección de recepción del mineral puede ser suministrado a la planta de secaderos por dos vías:

- A través de grúas gantry.
- Directamente por el transportador de enlace.

En la actualidad por la baja eficiencia operativa de las grúas y por la demanda de mineral que existe, no se realiza el proceso de homogenización en el depósito, y el mineral es enviado directamente a los tambores rotatorios mediante un transportador de enlace.

Una vez que llega el mineral a la sección de Secado, una parte de este, es enviado al depósito interior o de emergencia, el cual se usa cuando surge cualquier tipo de avería en el proceso antes del secado. La otra parte del mineral que llega a esta área se alimenta directamente a los tambores rotatorios, los cuales poseen una cámara de combustión donde llega además de petróleo, aire de combustión, gases de hornos y aire de pulverización.

La alimentación a los secaderos se realiza a través de unos desviadores que se encuentran justamente sobre las tolvas de los secaderos. La alimentación al depósito interior se realiza de la misma forma, o sea, mediante desviadores de mineral que se encuentran situados sobre tres correas colocadas entre los

secaderos 2 y 3,4 y 5 y al final del edificio. Estos transportadores 215-TR-10-1,10-2,10-3 poseen capacidad 750 t/h (208.333Kg/s).

El mineral almacenado en el depósito interior que se usará cuando por cualquier tipo de avería surgida en el proceso antes de los secaderos, se interrumpa el suministro de la materia prima a esta sección. La capacidad de este almacén posibilita a la planta trabajar durante 4 días.

Este depósito posee para la manipulación del material, 2 grúas de puente 215-GRL-101 Ay B de capacidad igual a 350t/h(97.222Kg/s) cada una. Se encargan de alimentar a los secaderos en los casos que se explicaron en el párrafo anterior. El mineral llegará a los secaderos 215-SC-101-107 pasando a través de alimentadores de esteras 215-AL-101-107 de capacidad variable 70, 105,125 t/h y los transportadores de bandas 215-TR-9-1 de capacidades igual a 125t/h(3.472Kg/s) cada uno.

El tambor secador posee una longitud igual a 48 m y un diámetro de 4,5 m. El mineral al entrar al secadero lo hará con una humedad aproximadamente de 36-38 % y saldrá del mismo con 4.5 % según esta establecido.

Para lograr esto cada secadero posee una cámara de combustión 21-CC-101-107 dotada de un quemador de petróleo. Se suministra aire de combustión, aire de pulverización, aire secundario o gases procedentes de la planta de hornos.

Los gases productos de la combustión alcanzan una temperatura de 15000C y bajan hasta 800-8500C, estos se suministran al secadero en flujo paralelo con el mineral, de forma que el contacto gas caliente – mineral, permita que este último se vaya secando.

La temperatura de los gases al salir del tambor secador es de 80-100⁰C.

Los gases calientes pueden atravesar el secadero debido a la succión que crea un ventilador 215-VE-108-114, de tiro situado a la salida del electrofiltro que posee cada secadero individualmente.

Además, estos gases son capaces de arrastrar con ellos el 28% del polvo, que entra con el mineral o que se forma durante el proceso de secado y que por lo general poseen una granulometría de -0.074mm el que será introducido al sistema de colección.

El mineral después de secado es clasificado por un equipo llamado tropel que fue instalado a la salida del tambor secador, el mismo tiene como objetivo separar las partículas mayores de 10 mm las cuales poseen un alto porcentaje de sílice y magnesio el cual influye negativamente a la hora de reducir y lixiviar el mineral por lo que este material se rechaza, el material pasante es descargado en las correas 215-Tr-11 y 11A, las mismas son denominadas comúnmente correas calientes debido a que son las primeras en hacer contacto con el mineral caliente que sale de los secaderos. En estas se encuentran instaladas las romanas encargadas del pesaje del mineral seco, el mismo es llevado en las correas 215-Tr12 y 12A que son la vía de unión de los secaderos con los molinos estas correas transportadoras descargan su contenido en 4 tolvas (una para cada molino) mediante desviadores de mineral colocados sobre las correas y justamente sobre las mencionadas tolvas.

Sobre las correas calientes se encuentran montadas un sistema de adición de petróleo aditivo en forma de ducha que se mezclara conjuntamente con el mineral de forma dosificada mediante un sistema automático que regulara la relación de petróleo-mineral instalada en la misma área, siendo utilizado como agente reductor en la planta de Hornos de Reducción.

Desde cada tolva el mineral llegara a los molinos en forma dosificada y este trabajo lo realizan los alimentadores de disco que poseen cada tolva y que pueden entregar de 55-120t/ha las correas, las que descargan el mineral en el molino de bolas, la capacidad de esta correa es de 160t/h, de esta forma el mineral llega al molino de bolas cuya capacidad es de 120y/h y tiene como dimensiones 5700 mm de longitud y 3200 mm de diámetro.

Estos molinos son de forma cilíndrica y para su proceso de molienda fina poseen una carga de bolas cuyo peso es de 45 t, y las dimensiones de sus bolas son las que se muestran en la tabla 4

El producto que el molino debe entregar tendrá una humedad de 4,5-5% y una granulometría de 85-87% de -0,074 mm.

Todo el material que entra al molino deberá salir mediante el barrido con aire, que es producido por un ventilador de recirculación de 134 000 m³/h de capacidad situado a la descarga del molino y el mismo cierra un circuito que esta conformado por el molino, separador, 4 ciclones y de 2 baterías de 6 ciclones. Con este ventilador se barre el mineral molido y se succiona, este doble efecto propicia la obtención del mineral molido.

Tabla 4: Carga de bolas del molino industrial

Tamaño	u/m	%	Peso	u/m
100	mm	10	5 500	Kg
70	mm	10	5 500	Kg
60	mm	15	8 000	Kg
40	mm	25	13 500	Kg
32	mm	40	21 500	Kg

El mineral barrido y succionado es introducido en un separador neumático de diámetro 4 250 mm, donde sufre una clasificación de forma, que el que tenga características de producto final pasara al sistema de colección primaria, (ciclones) y el que no posea estas características pasara al molino nuevamente constituyendo el rechazo para su ulterior tratamiento hasta que alcance la granulometría adecuada para ser enviado a los Hornos de Reducción.

El mineral, después de pasar por la sección de molienda, es enviado mediante transporte neumático a los silos (225 – SI) como forma de almacenaje, los cuales tienen una capacidad de 1500 ton cada uno, lo que facilita una operación en los hornos de unas 16 horas. En la sección de los silos se encuentran 9 bombas tipo TA-36 (225- BO) de una capacidad de 120 /h hora, mediante las cuales el mineral es bombeado hasta las tolvas de los hornos (225 TV) que son 12 en total, dispuestas una para cada dos hornos. Estas tolvas permiten realizar una operación de 8 horas a cada horno.

Conclusiones parciales

1. En los trabajos investigativos del mineral beneficiado y no beneficiado se observa que el efecto en producción y el incremento en ingresos aumentan a medida que se incluyen más fracciones, debido al hecho que todas las fracciones tienen contenidos de los metales útiles (Ni, Co, Fe), pero se incrementan los índices negativos de la separación, disminuye la recuperación de metales del mineral alimentado al proceso y aumenta la cantidad de material a rechazar.
2. Se han realizado varias investigaciones sobre los molinos de bolas para lograr una mayor productividad, y se han tenido en cuenta varios factores que influyen en tan costoso proceso: carga de bolas y su composición, régimen aerodinámico, las propiedades físicas y físico- mecánica del mineral, la composición granulométrica del producto inicial, el petróleo aditivo en el mineral alimentado, pero no se ha tratado la humedad cuando varia en el proceso de secado, que es un factor que influye en la molienda.

CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1. Diseño de la investigación.

Según Para la realización de los experimentos se tomaron muestras del material laterítico. Se tomaron muestras de las dos correa caliente, una pasa a la planta de preparación de mineral (molinos de bolas) y la otra pasa a la zaranda para separar las partículas mayores de 10mm, y la otra muestra fue el material rechazado por el zaranda. Estas muestras fueron tomadas de la Empresa “ Comandante Ernesto Che Guevara. El muestreo se realizó durante dos días y en diferentes turnos, tomando material suficiente para conformar muestras representativa, luego fue transportado hacia el laboratorio de beneficio de minerales del ISMM “ Dr. Antonio Núñez Jiménez “.

Primeramente se determinaron la composición granulométrica de los materiales traído de la empresa aplicando el método de homogenización del anillo y el cono, además tomando como masa mínima para el ensayo de la molienda y el cribado con la resultante de la ecuación.

$$Q_{min} = 0.02d_{máx}^2 + 0.5d_{máx}$$

Donde:

Q_{min} : es masa de muestra para realizar análisis granulométrico.

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

2.2. Técnica experimental.

2.2.1. 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 turcando. 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 pudo 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.

2.2.2. Técnica para el análisis de tamices.

El análisis de tamices consiste en cernir la muestra a través 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. A menudo se utiliza el estándar elaborado por Taylor, en el que el tamaño de la tela metálica anterior, se diferencia del tamaño de la tela metálica posterior en $\sqrt{2}$ veces.

Para facilitar el cernido se emplearon aparatos automáticos en que el juego fijado de tamices realiza movimiento giratorio con sacudimiento simultáneo. La estandarización de las vibraciones tiene gran importancia para la producción de los datos del análisis de tamizado.

Con frecuencia, durante el cernido seco, sobre todo a través de los tamices menores de 1 mm, no se logra evitar la aglomeración y prácticamente la obstrucción completa de estos.

En este caso se procede a la disminución en el medio acuoso (tamizado húmedo). Las muestras se tamizan por el método húmedo o seco en dependencia del grosor del material y a la exactitud necesaria de los resultados del análisis.

Método húmedo de tamizado.

Cuando la muestra contiene una cantidad considerable de fino, siendo necesaria una exactitud alta del análisis, o cuando el material se aglomera sobre la superficie tamizante, se utiliza el método por vía húmedo.

La muestra se deposita en un tamiz con orificios de menor dimensión, y las partículas más diminutas se lavan con un chorro débil. El lavado se realiza hasta que el agua se pone clara. El resto de la muestra que queda en la criba seca y se pesa, de modo que, por las diferencias entre las masa se determina la mas de lodo lavado.

Para recoger la masa de material que quedó sobre el tamiz se procedió del siguiente modo:

- 1). Se inclino el tamiz sobre un recipiente.
- 2). Si quedo material en las paredes del tamiz este se inclina nuevamente y se rocía ligeramente con agua por detrás del mismo hasta que no quede nada.

Los resultados del análisis de tamices se anotan en una tabla. Se determinan las salidas sumarias, equivalentes a la suma de salidas de todas clases más gruesas (salida sumaria por más) y menos gruesa (salida sumaria por menos) que los orificios de dicha criba.

2. 3. Materiales y equipos.

El material laterítico utilizado en nuestro trabajo fueron tomadas diferentes muestras de la planta de Preparación de minerales de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Antes de reflejar las características del material laterítico, se exponen las principales definiciones según Roja Purón, A (16):

Laterita: se define como suelo rojo residual que se desarrolla en regiones húmedas tropicales y subtropicales con buen drenaje. La sílice y el magnesio son lixiviados y contienen concertaciones, particularmente, de hidróxidos de hierro y aluminio. Puede representar una mena de hierro, aluminio, manganeso o níquel.

Serpentina: se define como un mineral con fórmula química definida $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ formador de rocas en dos variedades fundamentales Antigorita y Crisotilo.

Limonita: se define como $FeO(OH) \cdot nH_2O$ para referirse a los óxidos de hierro, naturalmente hidratados de inciertas.

Ambos minerales tanto la limonita como la serpentina son considerados minerales secundarios puesto que se formaron de minerales previamente existentes, mediante procesos en la que participa la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera. La constitución del mineral laterítico se compone de una mezcla de limonita (de carácter terroso) y de serpentinas parcialmente descompuestas y duras.

La limonita aparece como tierra suelta o en terrones de color amarillo; por su parte el material serpentinitico presenta toda la gama desde terroso hasta fracciones de rocas duras de diversos tamaños.

Este mineral está acompañado de una humedad promedio de 38%. El peso volumétrico del mineral seco es de 1.20 t/m^3 y el peso volumétrico del mineral húmedo es de 1.78 t/m^3 .

La dureza del mineral laterítico es otra de sus características, la misma varía a escala de Mohs, entre los rangos de 2 -5, no es un mineral abrasivo ni químicamente activo.

2.3.1. Composición mineralógica.

La composición mineralógica se caracteriza por variaciones del contenido de los componentes principales integrantes de las rocas, siendo limitada su cantidad. En la corteza de intemperismo del yacimiento se distinguen, en general, una tonalidad mineralógica bien definida según los distintos horizontes.

En la tabla 2.1 y 2.2 se muestra la composición mineralógica de laterita, donde se observa que los horizontes lateríticos están compuestos básicamente por óxidos e hidróxidos de hierro: (goethita), espinela (magnetita y cromoespinela), maghemita y hematites, los cuales representan de un 75 a un 85 % de estos horizontes.

Además están presentes en el material laterítico fases minerales de hidróxido de aluminio, gibbsita (con contenido variable de un 8 a un 15 %), en cantidades subordinadas minerales de manganeso (asbolanas), sílice (en forma amorfa y cuarzo) y minerales del grupo de la serpentina (antigorita y lizardita).

Tabla 2. 1 Composición mineralógica de la limonita

Nombre	Fórmula	Contenido (%)
Goethita	$\text{FeOOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$	67

Espinelas	(Mg, Fe)(Cr, Al, Fe) ₂ O ₄	10
Hematina	Fe ₂ O ₃	7
Magnetita	Fe ₃ O ₄	5
Asbolanas	MnO ₂ ·nH ₂ O	1
Gibbsita	Al ₂ O ₃ ·3H ₂ O	7
Aluminiocromia	Fe(Cr,Al) ₂ O ₄	2
Cuarzo	SiO ₂	1

Tabla 2. 2. Composición mineralógica de serpentina.

Nombre	Fórmula	Contenido (%)
Clorita	Mg ₂ Al ₂ [(Si,Al) ₃ ·(SiO ₁₀)](OH)	5
Galvasita	Al ₄ (SiO ₁₀)(OH) ₈	3
Nontronita	Fe ₂ (Fe,Al) ₂ (Si ₄ O ₁₀)(OH) ₂ ·nHO ₂	10
Antigorita	Mg ₆ (Si ₄ O ₁₀)(OH) ₈	61
Cuarzo	SiO ₂	3
Goethita	FeOOH·nH ₂ O	18

2.3.2. Composición química.

Las características químicas de los horizontes de la corteza de intemperismo del yacimiento Moa muestran un cuadro geoquímico en correspondencia con la génesis de estos depósitos exógenos, evidenciando una tonalidad química vertical muy bien definida (tabla 2.3).

En los horizontes inferiores de rocas alteradas a alteradas existe una buena cantidad de sílice y magnesio, representada por los minerales serpentiniticos, olivinos y cloritas; los cuales tienden a disminuir hacia los horizontes superiores, donde en condiciones oxidantes y de pH más ácido se concentran los minerales de hierro, aluminio y cromo.

Los horizontes lateríticos son fundamentalmente ferrosos, con casi un 70% de Fe₂O₃, 5 – 8 % de Al₂O₃, y alrededor de un 4% de Cr₂O₃ y con un contenido de NiO de 0,95 – 1,51 %, donde la tendencia del aluminio, al igual que la del cromo, es de concentrarse en las zonas superiores, en la zona de concreciones ferruginosas para el primero, y los ocreos superiores para el segundo.

Los minerales de hierro desempeñan un importante papel en las lateritas, debe influir de cierta forma en la distribución y grado de retención del níquel en estos materiales.

Tabla 2.3 Composición química del yacimiento Moa. (Rojas Purón, 1994).

Compuestos	Contenido por horizontes en (%)			
	C	O	SA	S
MgO	0.36	0.55	16.63	29.32
SiO ₂	2.02	2.37	23.77	37.71
Al ₂ O ₃	8.36	5.9	3.86	0.87
Fe ₂ O ₃	67.32	68.84	22.45	7.59

NiO	0.96	1.51	1.89	1.62
CoO	0.1	0.12	0.06	0.02
MnO	0.5	0.85	0.39	0.19
Cr ₂ O ₃	3.96	4.18	2.01	0.41

Horizontes: C: concreciones ferruginosas, O: ocre, SA: serpentinitas alteradas, S: serpentinitas duras.

2.3.3. Composición granulométrica.

Las menas lateríticas niquelíferas se caracterizan por la composición granular en la que prevalecen las partículas de granos finos inferiores a 0.074 mm. El contenido de estas partículas sobrepasa normalmente el 70% de la composición general de las rocas, alcanzando el 80-90%.

Características del mineral en la salida de secadero:

La humedad varia entre: 2.9. - 6.9%

Peso volumétrico: 1.1 – 1.3 t/m³

La determinación de la composición granulométrica del material se realizó por vía seca y vía húmeda para un espectro de diámetro de partículas entre 10 y 0,074 mm. Los tamices fueron escogidos según la serie de Taylor $\sqrt{2}$ y teniendo en cuenta las investigaciones realizadas sobre el tema. El análisis granulométrico permitió comparar la distribución de las partículas en todo el material así como el comportamiento de las partículas finas,

Como ha sido descrito el material laterítico esta compuesto en su mayoría por mineral serpentínico y limonítico con características físicas y químicas muy diferentes lo cual hace de él una masa heterogénea.

2.4. Preparación de los materiales.

2.4.1. Muestra (SM-4) de la correa caliente que pasa a los molinos de bolas.

Para el desarrollo de la investigación se preparó un conjunto de seis muestras representativas de 500 g. Donde los pasos a tener en cuenta para lograr una variación de los diferentes por cientos de humedad con respecto a la humedad que contiene este material a la salida de la planta de secadero. Para determinar como influye en los molinos de bolas, pero esta prueba se realizó a escala de laboratorio.

1). Para la determinación de la humedad inicial del mineral laterítico, se realizó por el método tradicional de diferencias de pesadas, dada su confiabilidad para los resultados, además se procede a determinar el contenido de humedad empleando la expresión de Martínez-Pinillos (1997):

$$H = \frac{W_I - W_F}{W_I} \cdot 100 \% \quad (\%)$$

Donde:

H : contenido de humedad; %.

W_I : masa inicial de la muestra; g.

W_F : masa final de la muestra; g.

2). Para determinar el contenido de humedad inicial del mineral laterítico se tomo la primera muestra de 500 g y posteriormente se prepararon tres muestras de 150 g. Después fueron sometidas al secado durante diferentes horas en la estufa a una temperatura de 105 -110 °C.

Cada un tiempo se sacaban las muestras de la estufa para realizarle el proceso de pesado, este procedimiento se termino cuando las tres muestras no variaron su peso y se determino un promedio para determinar la humedad del material inicial.

3). Se tomaron unas series de tamices según la serie de Taylor $\sqrt{2}$ para el cribado de la segunda muestra con una humedad de 3.1% (10; 8; 6.3; 4; 3.15; 2; 0.85; 0.60; 0.40; 0.20 y 0.074) mm, para realizar la clasificación y luego se pesaron por clase de tamaño. Este proceso se realizó para conocer la granulometría del material antes de entrar a los molinos de bolas.

4). Con la determinación de la humedad inicial del material, se realizó el mismo procedimiento para algunas muestras, porque el material tenia una humedad de 6.43 %, entonces para lograr humedades menores que esta se utilizó este método para determinar diferentes porcentos de humedades, que estén en el rango de cómo se ha comportado la humedad en la salida de los secaderos.

5). Después de haber determinado los diferentes porcentos de humedades del material laterítico, se realizó el proceso de molienda manteniendo el mismo peso y el mismo tiempo que fue de 15 minutos para determinar como influye la humedad en los molinos de bolas.

Nota: Este método se utilizó porque el material estuvo almacenado en la planta de beneficio y pudo haber extraído humedad del medio ambiente. En una muestra se logró variar la humedad rociando agua para lograr un porcentaje superior a la determinada por diferencia de pesada, este valor se toma porque en ocasiones los secaderos se han comportado con humedades superiores a 6.4%.

2.4 2. Muestra (SM-4) de la correa caliente que pasa a la zaranda.

Para la preparación de esta muestra se utilizó el mismo procedimiento que la muestra anterior, para lograr diferentes porcentos de humedades con el objetivo de lograr a escala de laboratorio como influye en la eficiencia del cribado.

Este proceso se realiza con una tamizadora, sin variar el tiempo de cribado que fue de 1 minuto y con una masa de 500g se prepararon cinco muestras.

2.4.3. Material del rechazo por la zaranda.

Se prepararon cuatro muestras de 10 kg, para el desarrollo de nuestra investigación y a continuación se ofrecen los pasos que se tuvieron en cuenta para separar las partículas finas que se pierden en el rechazo por los diferentes contenido de humedad que sale este mineral del proceso de secadero.

- 1). Se tomaron unas series de tamices para el cribado (10; 6.3; 3.15; 1; 0.074) mm, para realizar la clasificación y luego se pesaron por clase de tamaño.
- 2). Las clases de tamaño de más (+10 y + 6.3 mm) fueron lavadas, para separar las partículas finas que estaban adherida a las partículas de mayor dimensión.
- 3). El secado de las partículas finas se realizo en la estufa que tiene una temperatura entre 105 –110 °C
- 4). Después del sacado de las partículas finas y los materiales más gruesos, se procedió al pesado de la clase de tamaño más 10; 6.3 mm, lavado y a las partículas finas.
- 5). Ya separado el material fino se pulverizo cada clase de tamaño para determinar la composición química y con esto conocer los compuestos químicos como (Ni, Co, Fe y Mg), que hay en 10 kg de rechazo .

2.5. Cálculo de la eficiencia de la zaranda o cribado.

Existen un gran número de métodos para calcular la superficie de cribado pero, de forma general, se puede resumir en dos:

1) Método de alimentación: basado en la masa sólida por unidad de tiempo que puede alimentarse a una superficie específica de malla de una determinada luz de paso.

2) Método pasante: basado en la masa sólida por unidad de tiempo que pasa por una superficie específica de malla de una determinada luz de paso.

Los buenos fabricantes han realizado numerosos experimentos para determinar la capacidad específica, fijando las condiciones de las experiencias, en especial en lo referente a la granulometría del producto de alimentación, y concretamente el porcentaje de partículas superiores al tamaño de clasificación rechazo, que forma la fracción gruesa y el porcentaje de partículas inferiores al valor mitad de dicho tamaño de clasificación, semitamaño. Aprovechando que estamos en definiciones, definamos como pasante la masa que pasa por la malla, que constituye la fracción fina.

También se suele fijar en estas experiencias la eficiencia o rendimiento de clasificación alcanzado, es decir, la masa de partículas que realmente atravesó la malla, se clasificó, frente a la que teóricamente debería haber pasado, el contenido de partículas inferiores al tamaño de clasificación en la alimentación. La masa de partículas finas que no atraviesan la malla, lógicamente se van con la fracción gruesa o rechazo, y como veremos más adelante están relacionados con la eficiencia, el porcentaje de pasantes y el rechazo.

Para la realización del cálculo de la criba a escala de laboratorio con diferentes porcentajes de humedades se realizó con una tamizadora, para determinar la eficiencia del cribado con malla de 10 mm y el material utilizado es el de la correa caliente que pasa a la zaranda de la Empresa de la Che Guevara.

Eficiencia del cribado:

Para la valoración cuantitativa de la separación total del material fino del grueso durante el cribado se ha introducido el concepto de eficiencia (de exactitud) del cribado.

Eficiencia del cribado se denomina la relación de la masa del producto bajo de la rejilla a la masa de la clase inferior que pasa por la criba en el material inicial, expresada en por ciento o partes de la unidad.

La eficiencia del cribado se puede determinar también como la extracción de la clase que pasa por la criba en el producto bajo la rejilla.

1. Para el cálculo se tomó una masa inicial de 500 g y se cribó en la tamizadora para determinar el por ciento de salida de la clase menores de 10 mm.

Tabla 2.4. Característica granulométrica del material seco para 500 g.

Clase de tamaño	Entrada (g)	Salida%
+10	262.3	52.46
-10	237.7	47.54
Total	500	100

2. El proceso de tamizado se realiza con un tiempo de 1 minuto para diferentes porcentos de humedades y las características granulométricas de cada muestra con diferentes por cientos de humedad, ver el (anexo 1).

3. Determinar el contenido de finos que debía haber pasado por la criba.

$$m(\text{finos retenido})_{+10} = m(\text{inicial})_{-10} - m(\text{final})_{-10}$$

Donde:

m (finos retenidos): es el contenido de las clase que debía pasar por la criba.

m (inicial)₋₁₀: es el contenido de la muestra que se tomo como base para determinar como influye la humedad en el proceso de cribado.

m(final)₋₁₀: es la clase que pasa por el cribado con diferentes contenidos de humedad.

Calculo del contenido en porciento del material que se queda sobre la rejilla.

$$\%(del\ contenido) = \frac{m(\text{finos retenidis})}{m(\text{inicial})} \cdot 100$$

4. Cálculo de la eficienciencia del cribado para diferentes porciento de humedades y tomando un material como base para determinar como influye la humedad cuando se incrementa la humedad,

$$E = \frac{m(\text{inicial})_{-10} - m(\text{finos retenidos})}{m(\text{inicial})} \cdot 100$$

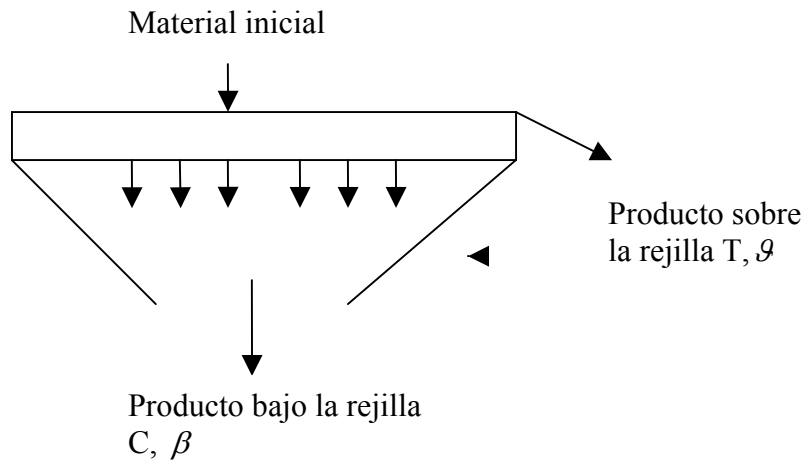


Figura 1. Esquema de la criba

2.6. Cálculo del molino.

En este capítulo para la realización del cálculo del molino se trato de ajustar de forma proporcional la relación de la carga de bolas el molino del laboratorio empleado.

Cálculo de la carga de bolas

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 molibilidad 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).

$$D = 28 \cdot \sqrt[3]{d} \text{ ----- (2.1)}$$

Siendo:

D: el diámetro máximo, (mm)

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

Para partículas de 10 mm obtenemos:

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

$$D = 28\sqrt[3]{10} = 60.32 \approx 60 \text{ mm}$$

Las bolas se construyen con un tamaño estándar, tomaremos la que más se aproxime al valor calculado existente en el laboratorio, entonces:

$$D = 60 \text{ mm}$$

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.

Está demostrado, tanto teórico como prácticamente, que las cargas de las bolas para la molienda de mineral laterítico en un molino de bolas debe ser entre el 40-50% del volumen interior del molino.

Volumen del molino

$$V_{mol} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4} ; (cm^3) \text{-----} (2.2)$$

Donde;

d: diámetro del molino. (19.5 cm)

h: altura del molino. (24.0 cm)

$$V_{mol} = \frac{3.14 \cdot 19.5^2 \cdot 24.0}{4} ; (cm^3)$$

$$V_{mol} = 5693.4 \text{ cm}^3$$

Considerando la carga de bolas como un 45 % del volumen del molino, se puede determinar la masa de la carga de bolas. Donde la misma queda de la siguiente manera:

$$M_{c.b} = 4.35 \varphi \cdot V_{mol} ; (Kg) \text{-----} (2.3)$$

Obtenemos el valor de carga de las bolas.

Donde:

φ : grado de llenado.

4.35: masas de volumen de las bolas; g/cm³

$$M_{c.b} = 4.35 \cdot 0.45 \cdot 5693.4$$

$$M_{c.b} = 11.15 \text{ Kg}$$

Para que la carga de bolas guarde una relación con la carga del molino real ubicado en la Empresa Cdte. Ernesto Che Guevara, se determinó la relación que existe una relación con entre las bolas de un molino de la empresa como se muestra en la tabla 2.5

Tabla 2.5. Carga de las bolas de un molino de la Empresa Cdte Ernesto Guevara.

φ bolas (mm)	Peso (t)	(%) en peso	Razón de prop
100	5,5	10	-
70	5,5	10	1,4
60	18	15	1,126
40	13	25	1,5
30	21,5	40	1,33

Utilizando una relación y con la masa calculada se determina la distribución de la masa de bolas en el molino de laboratorio. La carga quedo de la siguiente manera:

Tabla 2.6. Cargas de bolas del molino de laboratorio.

Φ bolas (mm)	# de bolas	Masa (g)	% masa
60	2	1257,6	11,32
50	4	2079,2	18,72
36	12	2067,12	18,61
30	48	5704,8	51,35
total	66	11108,72	100,00

Cálculo de la cantidad de material añadir al molino.

Como se partió de que el volumen ocupado por las bolas es el 45% del volumen del molino tenemos:

$$V_{cb} = V_{mol} \cdot 0.45$$

$$V_{cb} = 5693.4 \cdot 0.45 \text{ ----- (2.4)}$$

$$V_{cb} = 2562.03 \text{ cm}^3$$

Donde:

V_{cb} = Volumen espacial de la carga de bolas; cm³

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

$$V_{mat} = (0.60 - 1.1) \cdot V_{eeb} \text{ ----- (2.5)}$$

Donde:

V_{eeb} : Volumen de los espacios entre bolas; (cm³)

$$V_{eeb} = V_{cb} - V_{tb} \text{ ----- (2.6)}$$

Donde:

V_{tb} : Volumen total de las bolas; cm³

$$V_{tb} = \sum V_b \text{ ----- (2.7)}$$

$$V_{tb} = \frac{\pi}{6} [2 \cdot 6^3 + 4 \cdot 5^3 + 12 \cdot 3.6^3 + 48 \cdot 3^3]$$

$$V_{tb} = 1459.0 \text{ cm}^3$$

Sustituyendo en (2.6) el volumen de las bolas y el volumen ocupado por las bolas en el molino, obtenemos:

$$V_{eeb} = 2562.03 - 1459.0$$

$$V_{eeb} = 1103.0 \text{ cm}^3$$

Sustituyendo el valor del volumen de los espacios entre bolas en (2.5) y considerando que el material ocupa el 60 % de dicho espacios se obtiene:

$$V_{mat} = 0.6 \cdot 1103$$

$$V_{mat} = 650.8 \text{ cm}^3$$

Se determina la masa que se añade al molino

ρ_{mat} : masa del volumen del material; g/cm³

$$M_{aim} = V_{mat} \cdot \rho_{mat}$$

$$M_{aim} = 650.8 \cdot 0.77$$

$$M_{aim} = 500 \text{ g}$$

2.7. Cálculo del balance del scalping de la fracción 10 mm.

Para realizar el balance de la muestra de rechazo se tomaron 4 muestras de 10kg, ya explicado en la preparación de las muestra y primeramente se le realizó la caracterización granulométrica al material con los tamices de (10; 6.3; 3.15; 1; 0.074 mm),

Se determinó la composición química del material rechazado para las diferentes fracciones en el laboratorio de la Empresa Che Guevara mediante la

técnica de Rayos-X. Este experimento se realizó para conocer los componentes útiles que se pierden en el rechazo como el (Ni y Co).

1. Determinación de la composición química por fracciones.

Se determina la masa de cada compuesto que hay en las diferentes clases de tamaño ejemplo para el cálculo del níquel en la clase de más 10 mm.

$$m(\text{Elementos})_{+10} = \frac{m(\text{total})_{+10} \cdot \% \text{Elementos}}{100}; (g)$$

$m(\text{total})_{+10}$: es la masa total de la clase.

$m(\text{Elemento})_{+10}$: es la masa de cada compuesto que hay en la clase.

Se calcula el porciento de los elementos que representa cada clase de tamaño en la masa inicial.

$$\% \text{Elementos}_{(MT)} = \frac{m(\text{Elementos})_{+10} \cdot 100\%}{m(\text{total})_{\text{inicial}}}; (\%)$$

Este procedimiento se le realiza a las restantes clases de tamaño de la composición como (+6.3; +3.15; +1; +0.074; -0.074) y se procede a la suma de cada clase de tamaño para conocer que porciento del elemento representa esta en la masa total inicial.

2. Cálculo de las pérdidas en la zaranda.

Se cálculo la masa de los elementos por la ley.

$$m(\text{Elementos}) = \frac{\% \text{Elementos} \cdot m(\text{total})}{100}; (g)$$

Para determinar la masa de cada compuesto se multiplica el por ciento del elemento, con la masa total de la clase que corresponda y se divide entre 100%,

El paso a seguir para determinar del por ciento de los elementos que se pierden en el rechazo de la clases menores de 10 mm que se pueden recuperar en la zaranda se calcula de la siguiente manera.

Dividiendo la masa de los elementos menores que la fracción (-10 mm), contra la masa total de níquel que hay en 10 000 g y esto se multiplica por 100%. ,

Para clase de -10 mm

$$\%Elementos = \frac{m(Elementos)_{-10mm}}{m(Elementos)_{TOTAL}} \cdot 100 ; (\%)$$

3. Determinación del potencial de masa a recuperar.

Se determina el por ciento de cada elemento que se puede recuperar con la malla de 10 mm, se calcula de la siguiente manera.

$$\%Elementos = \frac{m(Elementos)_{PÉRDIDAS}}{m(total)_{-10}} \cdot 100 ; (\%)$$

La calidad del recuperado se determina multiplicando la masa total de la clase de tamaño de (-1 +0.074) por el porcentaje de níquel de esa clase y se suma con la multiplicación de la clase de tamaño (-0.074).

Luego se divide el resultado con la suma de las clases de tamaños desde -1 +0.074 y -0.074 para tener como resultado el porcentaje de los elementos en calidad.

$$\%Elmen_{CALIDAD} = \frac{[m(total)_{-1;+0.074} \cdot \%Elmen_{-1+0.074}] + [m(total)_{-0.074} \cdot \%Elmen_{-0.074}]}{m(total)_{-1;+0.074} + m(total)_{-0.074}} ; (\%)$$

2.8 Estudio de las pérdidas en el rechazo con diferentes por ciento de humedad.

Se calculó la cantidad de finos que se pierde en el rechazo con la variación de diferentes por cientos de humedad, se tomaron datos de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara en el año 2008, tomando diferentes por cientos de humedades para evaluar la cantidad de finos que se pierde según como se comporte la humedad.

Cálculo de la masa del elemento que hay en el rechazo según los diferentes por cientos de humedades.

$$m(Elemento) = \frac{\%Elemento \cdot m(Rechazo)_{total}}{100} ; (tn)$$

Se determina la masa del elemento que hay en el fino que se pierde en rechazo.

$$m(\text{Elemento}) = \frac{\%(\text{Elemento}) \cdot m(\text{Fino})}{100}; (\text{tn})$$

Se determinó la diferencia del rechazo según el por ciento de humedad y el contenido de los elementos (Ni y Co) en los finos según los rangos de humedad, y el cálculo se muestra a continuación.

$$m(\text{diferencia rech}) = m(\text{rech})_{(\%H,36.9)} - m(\text{rech})_{(\%H,35)}$$

Este cálculo se utilizó para el intervalo de (36.9 -35%) de humedad, en el rechazo

Para el intervalo de fino del Ni y Co se determinó de la siguiente manera.

$$m(\text{dif. Elemento}) = m(\text{Elemento})_{(\%H,36.9)} - m(\text{Elemento})_{(\%H,35)}$$

El siguiente cálculo se utilizó para el intervalo de (36.9 -34%), de humedad en el fino.

Diferencia del rechazo y el (Ni y Co) de los finos presentes según los rangos de humedades.

Determinación del valor del Ni y Co que se pierde en el scalping según los por cientos de humedades escogidos.

Mediante el siguiente cálculo del precio de los contenidos de Ni y Co que se pierden en el scalping, según los por cientos de humedades escogidas se determinan de la siguiente forma.

Ya calculado la cantidad de finos en el rechazo, para el Ni y Co. Se determinó la masa del elemento para obtener como resultado las pérdidas en CUC. Además como se esta trabajando en toneladas, se convierte por libra por la siguiente relación.

$$1\text{tn} = 2204.6 \text{ lb}$$

Para determinar las perdidas en CUC de los componentes útiles, se realiza de la siguiente manera.

$$m(\text{Elemento})_{\text{pérdidas}} = m(\text{Elemento})_{\text{cant. finos}} \cdot 2204.6 \cdot \text{Precio}$$

Conclusiones parciales

1. Se determinó por métodos experimentales para variar los diferentes por cientos de humedad para lograr los ensayos a escala de laboratorio.
2. La carga de bolas escogida es proporcional al molino real ubicado en la empresa Cdte. Ernesto Che Guevara.
3. A partir del balance sobre el material rechazado se obtiene la calidad del recuperado con cada compuesto que se pierden.
- 4) Se determina con datos de la Empresa las pérdidas cuando hay diferentes por cientos de humedades.

CAPITULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

3.1- Resultados experimentales a escala de laboratorio y en la industria.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la determinación experimental para las muestras lateríticas con diferentes por cientos de humedad. Para esto nos trazamos los siguientes objetivos:

- 1). Analizar la influencia de la humedad en la eficiencia del proceso de cribado.
- 2). Obtener mediante la composición química de los elementos que se pierden en el scalping como el (Ni y Co) según los por cientos de humedad, a través del balance de materiales.
- 3). Analizar la influencia de la humedad en el proceso de molienda a escala de laboratorio.
- 3). 4). Con los datos obtenido de la Empresa, analizar como influye la humedad en los procesos de preparación de minerales laterítico.

3.1.1- La eficiencia del cribado.

Para la realización de los ensayos se utilizó el material que va por la correa caliente hacia la zaranda, se tomó una tamizadora con un tamiz de 10 mm, y con un tiempo de 1 minuto para realizar el proceso de cribado. Además se tomó la dimensión de 10 mm que se utiliza en la Empresa “ Comandante Ernesto Che Guevara.

En la siguiente tabla 3.1 se muestran los resultados obtenidos de la característica granulométrica de la muestra inicial tomando como tamiz el de 10 mm, para su clasificación.

Tabla 3.1 Característica granulométrica del material inicial.

Clase de tamaño	Entrada, %	Salida, %
+10	262,3	52,46
-10	237,7	47,54
Total	500	100

A continuación se muestran los resultados obtenidos por el proceso de cribado con la tamizadora a escala de de laboratorio.

Los resultados se realizaron para 4 muestras representativas. La masa para cada ensayo fue de 500 g y un tiempo de 1 minuto para el cribado y los resultados obtenidos del material con diferentes por cientos de humedad ser muestran en el Anexo I.

Para determinar la influencia de la humedad en la eficiencia del cribado se calcula respecto al material inicial seco, para tener como base la cantidad de partículas que debía pasar por la criba de 10 mm de malla. Además en este

proceso se puede apreciar que mientras se incrementa la humedad del material, aumenta el rechazo.

Los resultados obtenidos en el ensayo se muestra que la humedad al incrementare se quedan partículas finas que debían pasar por la malla de 10 mm y estas se pierden como material del rechazo.

Tabla 3.2 Determinación de la eficiencia del cribado.

Nº de experimentos	Humedad (%)	Fino neto en la clase +10 (g)	%Fino neto en la clase +10	Eficiencia del cribado
1	3.5	4.8	2.02	97.98
2	5.8	11.1	4.67	95.33
3	6.7	16.7	7.03	92.97
4	7.4	20.7	8.71	91.29

En la figura 1 se muestran los resultados obtenidos a escala de laboratorio para determinar la influencia de la humedad en el proceso de cribado.

Se demuestra que a medida que aumenta la humedad desde 3.5 a 7.4 % ocurre una disminución en la eficiencia del cribado desde 97.22 a 91.29%. Esto trae como consecuencia que a medida que el material sea más húmedo, se perderán más partículas finas porque están adherida en al material rechazado y disminuyendo la eficiencia del cribado.

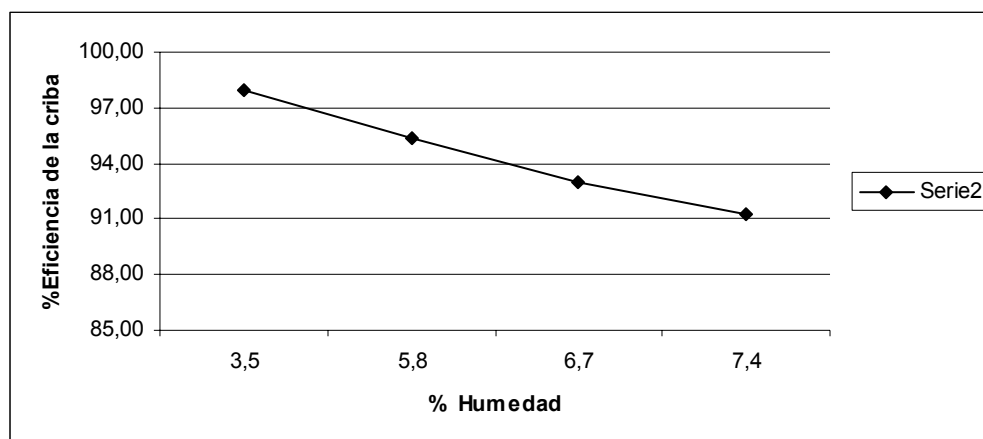


Figura 1. Influencia de la humedad con la eficiencia del cribado.

3.1.2.- Resultados del balance material del scalping de la fracción 10 mm.

Los resultados obtenidos a escala de laboratorio muestran la caracterización granulométrica del material rechazado por la zaranda, (Anexo VI).

Los resultados obtenidos en promedio por las cuatro muestras se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3.Características granulométrica del material rechazado.

Clase de tamaño	Promedio			
	Peso,(gr)	Lavado,(gr)	Polvo,(gr)	Recup Finos, %
>10	9.794,8	9.532,1	262,7	2,68
< 10 + 6,3	68,0	61,3	6,8	9,98
< 6,3 + 3,15	22,4	15,9	6,5	29,18

< 3,15 +1	35,6	15,1	20,5	57,62
< 1 + 0,074	44,9	4,3	40,6	90,45
< 0,074	34,2	0,0	34,2	100,00
Total	10.000	9.628,7	371,4	3,71

En la tabla 3.4 Muestran los análisis químicos realizados en la Empresa para determinar la cantidad de componentes útiles que se pierden en el scalping por diferentes contenidos de humedad.

Tabla 3.4. Resultados obtenidos por los análisis químicos en cada clase de tamaño.

Clase de tamaño	Promedio	%Ni	%Co	%Fe	%SiO ₂	%MgO
+10	9.794,8	0,822	0,019	12,95	34,30	24,85
- 10 + 6,3	68,0	0,860	0,027	16,42	30,17	21,41
- 6,3 + 3,15	22,4	0,814	0,044	24,45	20,31	14,06
- 3,15 +1	35,6	1,012	0,068	29,05	13,27	8,77
- 1 + 0,074	44,9	1,210	0,093	33,65	6,22	3,47
- 0,074	34,2	1,267	0,091	41,18	4,44	1,91
Total	10.000,0	0,827	0,020	13,30	33,90	24,60

Esta tabla 3.5 muestra los resultados obtenidos mediante el lavado del material rechazado que al estar las partículas finas adheridas al material grueso, esto esta dado que la humedad no deja separar esas partículas y se pierden por estar el scalping con un alto contenido de humedad.

Tabla 3.5. Distribución granulométrica del material rechazado y los polvos de las fracciones lavadas.

Clase de tamaño	Rechazo, gr	Fino Recuperable, %	Lavado, gr	Fino, gr	Adherido (Lavado) Recuperable, %
-10	9,794.8	2.496	9,532.1	262.7	2.627
- 10 + 6,3	68.0	0.064	61.3	6.8	0.068
- 6,3 + 3,15	22.4	0.062	15.9	6.5	0.065
- 3,15 +1	35.6	0.195	15.1	20.5	0.205
- 1 + 0,074	44.9	0.386	4.3	40.6	0.406
- 0,074	34.2	0.325	0.0	34.2	0.342
Total	10,000.0	3.528	9,628.6	371.4	3.714

En la tabla 3.6 Se muestran los resultados de la masa total que se puede recuperar según los por cientos de humedades del mineral y esto esta dado que según se comporte la humedad, así se comporta el por ciento de recuperado en polvo.

Tabla 3.6. Distribución en masa recuperable según la humedad de mineral.

Clase de tamaño	Material Rechazado, gr	Masa Recuperable según la Humedad de Mineral, gr						
		32%	33%	34%	35%	36%	37%	38%
+10	9,794.8	512	473	431	336	236	79	0
-10 + 6,3	68.0	13	12	11	9	6	2	0
- 6,3 + 3,15	22.4	13	12	11	8	6	2	0
-3,15 +1	35.6	40	37	34	26	18	6	0
-1 + 0,074	44.9	79	73	67	52	37	12	0
- 0,074	34.2	67	62	56	44	31	10	0
Total	10,000.0	724.2	668.5	609.1	475.4	334.2	111.4	0.0

En la tabla 3.9 se muestra el promedio de mineral rechazado en la Empresa que refleja que mientras más humedad tenga el mineral laterítico ocurre una disminución en la masa de los finos que se pueden recuperar. Además según los por cientos de humedad se determinaron los metales de (Ni y Co) en masa para determinar lo que costaría en CUC en el mes y el año cundo se encuentre el mineral con estos por cientos de humedades.

Para determinar la el precio del Ni y Co se tubo en cuenta la eficiencia metalúrgica de ambos elementos, que la del Ni= 80% y la del cobalto se tomo 25% de eficiencia, además se tubo en cuenta el precio (Ni= 12 CUC/Lb y Co=25 CUC/Lb), entonces se podría que para no tener perdidas de los componentes útiles en el scalping hay que tener en cuenta la humedad de entrada y salida del proceso de secado .

Tabla 3.9. Pérdidas en por ciento con la malla de (10 mm).

Promedio de Mineral Rechazado en la Empresa, 10 260.7 t/m,	Humedad del Mineral, %	Recuperable,		Composición Química del Recuperado Ni= 1.234%; Co=0.096%	Metal Recuperado		Valor de Metales (Ni+Co)	
		%	tn		Ni, tn	Co, tn	CUC/mes	CUC/a
	32%	7.242	743.1		9.172	0.716	203,987.60	2,447,851.19
	33%	6.685	685.9		8.467	0.661	188,296.25	2,259,554.94
	34%	6.091	624.9		7.714	0.602	171,558.80	2,058,705.61
	35%	4.754	487.8		6.021	0.470	133,899.55	1,606,794.63
	36%	3.342	343.0		4.233	0.330	94,148.12	1,129,777.47
	37%	1.114	114.3		1.411	0.110	31,382.71	376,592.49
	38%	0.000	0.0		0.000	0.000	0.00	0.00
	36.94*	1.135	114.5		1.413	0.110	31,420.37	377,044.40

Nota: El valor 36.94% de humedad representa el valor medio de los últimos 18 meses de operación en la Empresa.

3.2- Estudios con datos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la determinación del material lateríticos con diferentes por cientos de humedad. Para esto nos trazamos las siguientes tareas:

- 1). Analizar la influencia de la humedad en el entrada y salida de los hornos de secaderos en el scalping.
- 2). Analizar la influencia de la humedad en la productividad de los molinos de bolas.

3.2.1. Influencia de la humedad inicial sobre la humedad de salida.

En el análisis de los resultados obtenidos con los datos de la Empresa Che Guevara relacionados con la humedad. Se tomaron como datos 247 turnos y se trabajaron con diferentes rangos de humedad, para el análisis de la humedad a la entrada a los secaderos y la salida. En ella se muestra que a medida que aumente la humedad inicial ocurre un incremento en la humedad de salida de los secaderos. Según los datos tomados cuando la humedad de entrada esta en 34.6% la de salida se comporta en 3.94% y cuando esta entre a 39.3% la salida es 4.74%, estos resultados muestran que según la humedad inicial del mineral laterítico así se comportara la humedad de salida.

Estos datos demuestran que cuando el mineral entra muy húmedo al proceso de secado, puede ocurrir que las partículas finas estén muy adherida al material más grueso y no se logren separarse.

Además podemos decir que las partículas de mayores dimensiones ayudan en el proceso de secado, porque al actuar varios materiales con diferentes dureza ocurre una disminución de partículas y se lograría disminuir la humedad en el material al tener más contacto con el calor de la combustión del fuel oi. En la figura 3 se muestra lo explicado. Pero no se puede afirmar con precisión que la humedad de entrada influye en la humedad de salida de los secaderos, porque puede estar dado por una mala operación de los secaderos, no tomar muestras en la entrada para determinarle el porcentaje de humedad y así poder operar los secaderos para obtener una humedad que no influya en el siguiente proceso. (tabla 3.10).

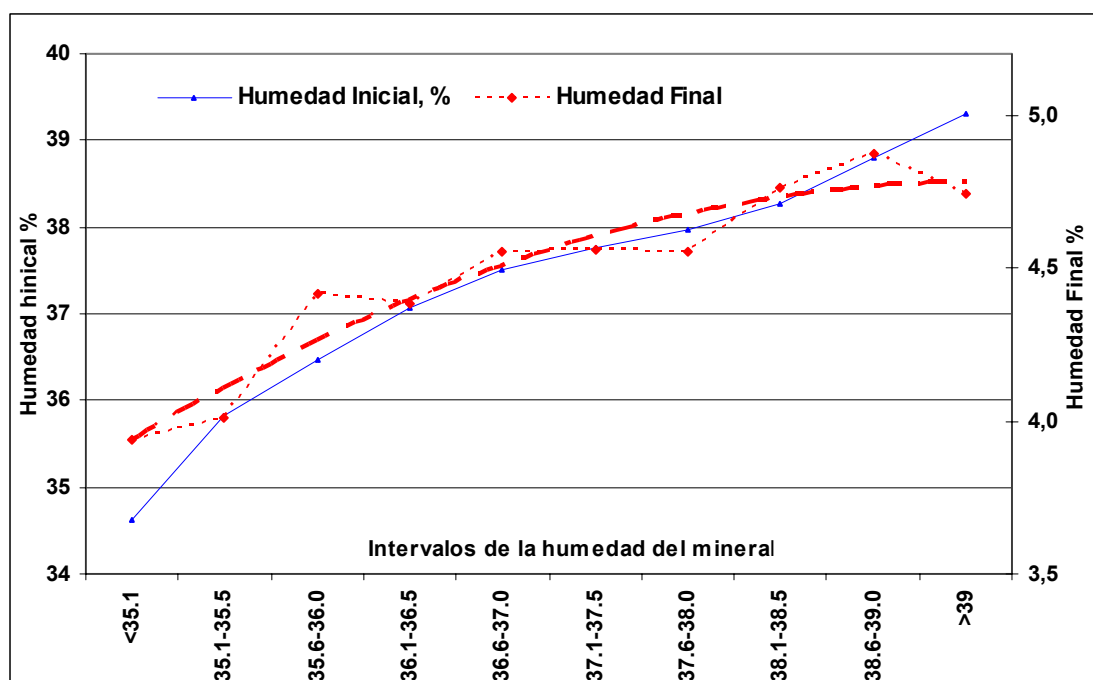


Figura 3. Influencia de la humedad inicial en el rechazo

Tabla 3.10. Valores por turnos, influencia de la humedad inicial en la humedad final de secaderos por rangos.

Intervalos de humedades	Cantidad de Turnos Estudiados	Humedad del mineral a secadero (%)	Humedad del mineral a secado, %	%de mineral rechazado	Petróleo consumido (tn)
+35.1	6	34,6	4,0	2,40	139,6
35.1-35.5	5	35,8	3,7	4,03	140,0
35.6-36.0	13	36,5	3,9	4,25	142,4
36.1-36.5	36	37,1	4,4	4,14	140,8
36.6-37.0	50	37,5	4,3	4,20	138,6
37.1-37.5	79	37,8	4,5	4,16	139,1
37.6-38.0	75	38,0	4,6	4,60	142,5
38.1-38.5	23	38,3	4,6	5,53	137,9
38.6-39.0	13	38,8	4,9	4,76	133,6
-39	4	39,3	4,7	6,88	153,9

3.2.2. Influencia de la humedad inicial sobre el scalping.

En el análisis de los resultados obtenidos con los datos de la Empresa Che Guevara relacionados con la influencia de la humedad en el scalping, se

muestra que el incremento de rechazo esta en dependencia como entre el mineral a secadero según el contenido de humedad. En la figura 3 según la línea de dependencia graficada humedad inicial contra el porciento de rechazo se ve que a medida que aumente el porciento de humedad del material laterítico en la entrada de los secaderos el rechazo aumente debido a que las partículas con dimensiones mayores tengan un gran volumen de material fino pegadas a ellas y provoca que el material durante el secado no logre desprender todas las partículas finas. Este problema de que el rechazo aumente según el por ciento de humedad a la entrada de los secaderos puede estar dado por una mala operación de los secaderos o que la alimentación a la entrada del proceso no es la adecuada.

La relación de los datos obtenidos con respecto a la humedad inicial del material, cuando es 34.5 % y el rechazo es de 2.7 % respecto al material alimentado y cuando la humedad se encuentra en un rango de 39.3% el rechazo es de 6.9%, lo cual provoca una diferencia de 4.2% de rechazo, (tabla 3.11).

Tabla 3.11 Valores por turnos, influencia de la humedad inicial en el scalping tomando los por ciento de humedad por rangos.

Intervalos de Humedad, %	Cantidad de Casos Estudiados	Mineral Rechazado, tn	Humedad del mineral a secadero, %	Humedad del mineral a secado, %	Mineral Rechazado, %
35.1	6	118	34,5	4	2,7
35.1-35.5	5	133	35,2	3,7	3,3
35.6-36.0	13	184	35,8	3,9	4
36.1-36.5	36	178	36,3	4,4	4
36.6-37.0	50	194	36,8	4,3	4,3
37.1-37.5	79	194	37,3	4,5	4,3
37.6-38.0	75	190	37,8	4,6	4,2
38.1-38.5	23	224	38,3	4,6	5,2
38.6-39.0	13	214	38,8	4,9	5
9	4	326	39,3	4,7	6,9

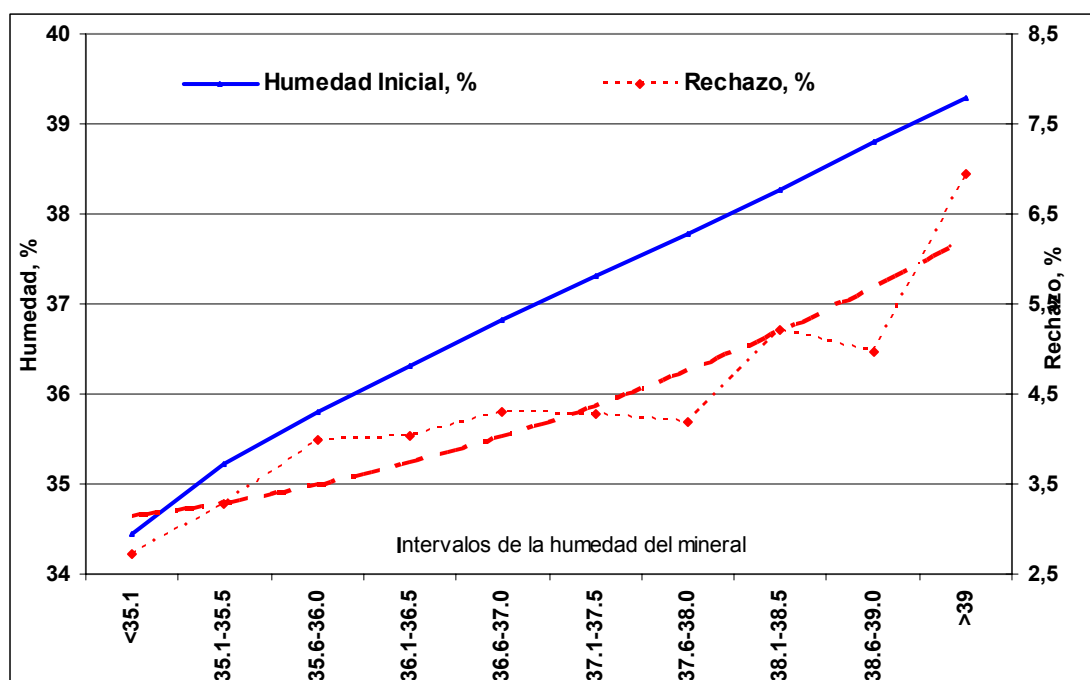


Figura 4. Influencia de la humedad inicial en el rechazo

3.2.3. Influencia de la humedad en la salida de secadero sobre el scalping.

En la figura 4 se muestra que el rechazo aumenta a partir de 4.6% de humedad, considerando que si se tienen humedades en la salida de los secaderos superiores a este valor, trae consigo un mayor volumen de material fino pegada a las partículas mayores que superan las dimensiones instaladas, como el tromel que esta en la salida de los secaderos y la zaranda que se encuentra en la sección de molienda para separar las partículas mayores de 10mm de diámetro. En la clasificación a mayor humedad puede traer consigo pérdidas de los componentes útiles al no lograr separarse por tener un alto contenido de humedad. (tabla 3.12).

Tabla 3.12. Valores por turnos, influencia de la humedad a la salida de los secaderos en el rechazo, tomando los por ciento de humedad por rangos.

Intervalos de humedades	Cantidad de Casos Estudiados	Mineral Rechazado	Humedad del mineral a secado, %	Mineral Rechazado, %
+35.1	6	118,42	4,02	2,73
35.1-35.5	5	133,40	3,68	3,27
35.6-36.0	13	183,51	3,89	4,00
36.1-36.5	36	178,03	4,43	4,03
36.6-37.0	50	193,76	4,32	4,30
37.1-37.5	79	193,78	4,49	4,29
37.6-38.0	75	189,52	4,56	4,19

38.1-38.5	23	223,74	4,59	5,21
38.6-39.0	13	213,72	4,91	4,96
(39,00)	4	326,25	4,73	6,94

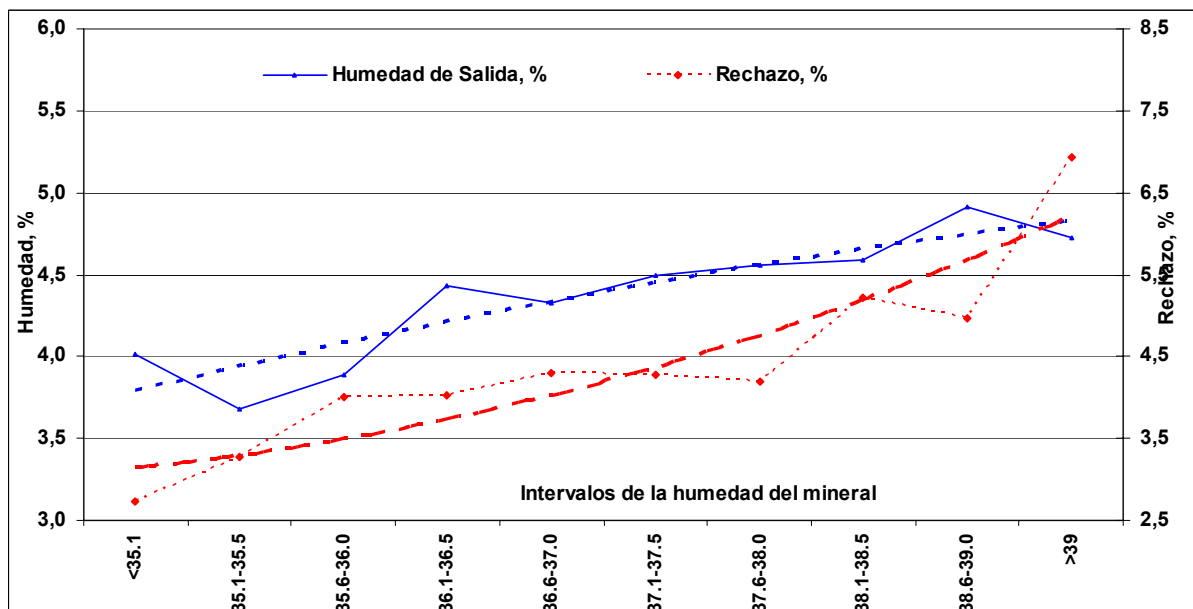


Figura 5. Influencia de la humedad a la salida de los secaderos en el rechazo.

En el experimento de la figura se tomaron otros valores de humedades en la salida de los secaderos y se ve un aumento del rechazo cuando la humedad va aumentando. Entonces ya explicado que la humedad influye en el aumento del rechazo, ya sea la humedad de entrada como la de salida, a pesar de que influyen otros factores en este proceso de preparación de mineral se demuestra por los datos de la Che Guevara una influencia de la humedad en el rechazo del mineral laterítico.

Tabla 3.13 Valores por turnos, influencia de la humedad a la salida de los secaderos en el rechazo tomando otros por ciento de humedad por rangos.

Intervalos de humedades	Cantidad de Casos Estudiados	Humedad del mineral a secado, %	Mineral Rechazado, %
<3	6	4	2,7
3.1-3.5	5	3,7	3,3
3.6-4.0	13	3,9	4
4-4,5.	36	4,4	4
4,6-5,50	50	4,3	4,3
4,9-5.1	79	4,5	4,3
5.4-5,50	75	4,6	4,2
5,6-5,59	23	4,6	5,2
5,80-6	13	4,9	5
-6,1	4	4,7	6,9

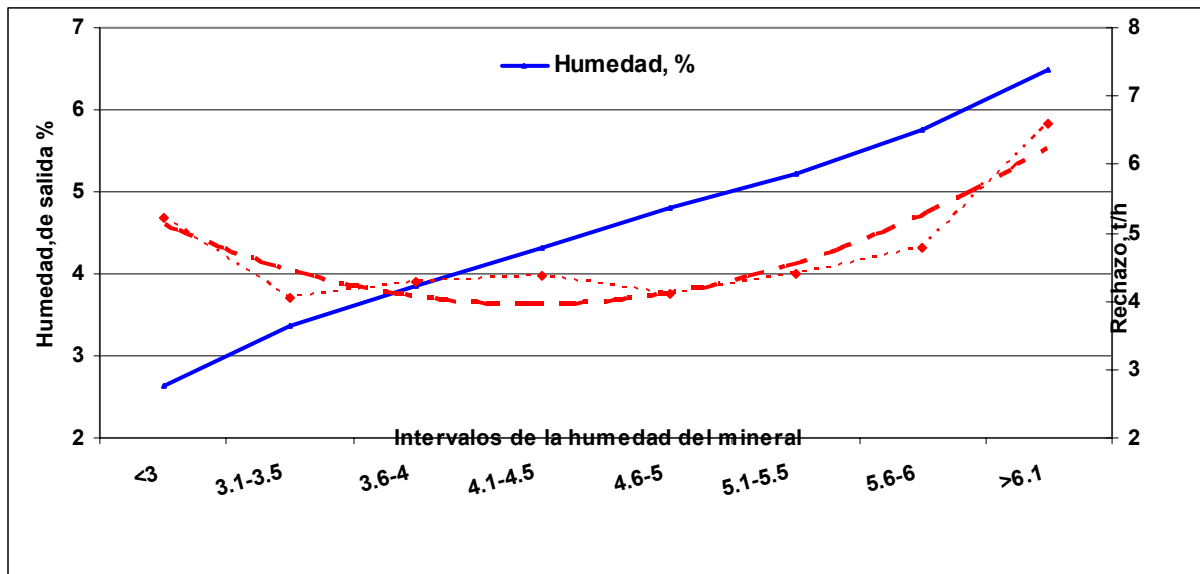


Figura 6. Influencia de la humedad a la salida de los secaderos en el scalping.

3.3. - Resultados del proceso de molienda a escala de laboratorio.

Los resultados obtenidos en los ensayos realizados, a la muestra tomada en la correa caliente (SM - 4), para los diferentes por cientos de humedad y utilizando la metodología expuesta en el capítulo II. Se utilizó como tamiz de cierre o de control, el tamiz de 0.074 mm por estar en correspondencia con el utilizado en la Empresa “ Comandante Ernesto Che Guevara ” en el proceso de molienda en molinos de bolas que se lleva a cabo como parte del proceso industrial de la misma y se tomaron diferentes muestras (SM-4) a la salida de los secaderos en la correa caliente.

Los resultados obtenidos en la caracterización granulométrica inicial del material de la correa caliente se muestra en la tabla 3.4.

Explicado el procedimiento que se utilizó durante los ensayos en el Capítulo II, a continuación se muestran los resultados obtenidos en cada experimento durante el procesamiento de las muestras.

Tabla 3.3 Características granulométricas antes de la molienda.

Clase de tamaño	Peso (g)	Salida (%)	Retenido(+)	Cernido(-)
-10	0	0	0	100
- 10 + 8	91,8	18,36	18,36	100
- 8 + 6,3	39,8	7,96	26,32	81,64

- 6,3 + 4	62,45	12,49	38,81	73,68
- 4 + 3,15	31,9	6,38	45,19	61,19
- 3,15 + 2	26,55	5,31	50,5	54,81
- 2 + 0,85	116,5	23,3	73,8	49,5
- 0,85 + 0,60	5,8	1,16	74,96	26,2
- 0,60 + 0,40	4,45	0,89	75,85	25,04
- 0,40 + 0,20	12,05	2,41	78,26	24,15
- 0,20 + 0,074	11,2	2,24	80,5	21,74
- 0,074	97,5	19,5	100	19,5
Total	500	100		0

Este proceso se realizó con 500 gramos de peso para cada muestra y el mismo tiempo que fue de 10 minuto de molienda, además al no variar el peso, ni el tiempo de molienda, se podrá determinar como influye la humedad en el proceso de molienda aproximadamente, porque junto con este factor ocurren otros factores ya explicado anteriormente por los trabajos realizados sobre la molienda del material laterítico que intervienen en la disminución de la productividad de los molinos de bolas.

En los resultados obtenidos en la molienda para cada por ciento de humedad se muestran en los (Anexos II, III, IV y V), que demuestran que a medida que aumenta la humedad en el material laterítico ocurre una disminución en la salida en por ciento de la clase de interés menor que 0.074 mm.

En la tabla 3.2. Se muestran los resultados obtenidos en la molienda y se determino que existe una máxima influencia del contenido de humedad en el mineral de alimentación al molino, con la formación de las clases de interés (0.074 mm) en la descarga de los secaderos.

Tabla 3.4 Resultados obtenidos con diferentes por cientos de humedades en el molino de bola.

Nº de experimentos	Humedad (%)	Peso < 0,074 (g)	Salida (%)
1	3,8	431,7	86,34
2	5,4	409.8	81,96
3	6,43	378.2	75,64
4	7,2	352.35	70,47

Con los datos obtenidos se graficó los diferentes por cientos de humedades contra la salida en por ciento de la clase de interés formada como se muestra la figura 2 que variando la humedad en un rango entre 3.8 y 7.2 %, se obtuvo una disminución promedio del contenido de la fracción de interés, en la descarga del molino, existiendo una disminución drástica al incrementar la humedad por encima de 6%.

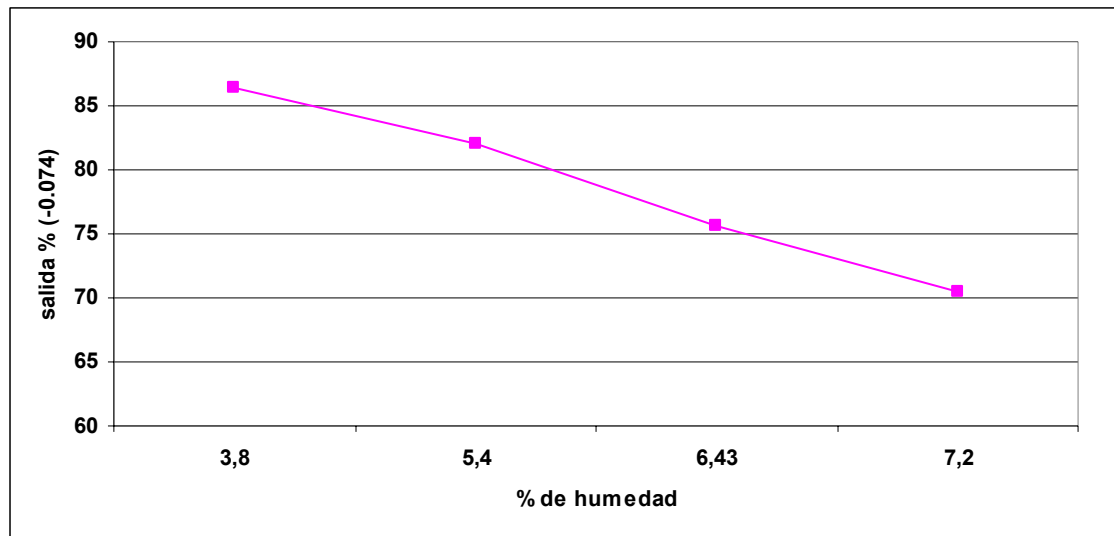


Figura 2. Influencia de la humedad en la salida en por ciento de la clase 0.074 en la molienda.

3.2.3. Influencia de la humedad en la molienda en la industria.

Análisis de los resultados obtenidos con los datos de la empresa Comandote Ernesto Che Guevara, relacionados con los molinos de bolas, respecto a la influencia de la humedad en la productividad.

Se puede citar en la figura 6 que la humedad a la salida de los secaderos en el proceso de molienda a escala de industrial, muestra que a medida que aumenta la humedad ocurre una disminución en la productividad de los molinos de bolas, pero no se puede afirmar con precisión la influye de la humedad en la productividad de los molinos de bolas, porque hay que tener en consideración factores que influyen en este proceso como son: carga de bolas, régimen aerodinámico, las propiedades físicas y físico- mecánica del mineral, la composición granulométrica del producto inicial y el petróleo aditivo en el mineral alimentado.

Ya conociendo todos los factores que ocasionan una disminución en la productividad de los molinos de bolas de la empresa, no se puede decir que la humedad es el principal factor que influye en tan costoso proceso, pero si es uno de los factores que se tiene que estar controlando porque al aumentar la humedad en la salida de secadero provocaría junto con el petróleo aditivo capas que cubran toda la superficie de las bolas y esto provocaría una disminución en la productividad. (tabla 3.13).

Tabla 3.13. Valores por turnos, influencia a la humedad a la salida de los secaderos en la productividad.

Intervalos de humedades	Cantidad de Casos Estudiados	Humedad del mineral a secado, %	Productividad de los molinos
<3	7	2,6	91,6
3.1-3.5	19	3,4	81,62
3.6-4	44	3,9	80,16
4.1-4.5	100	4,3	81,56
4.6-5	92	4,8	80,05
5.1-5.5	26	5,2	81,07
5.6-6	12	5,8	77,59
>6.1	2	6,5	78,61

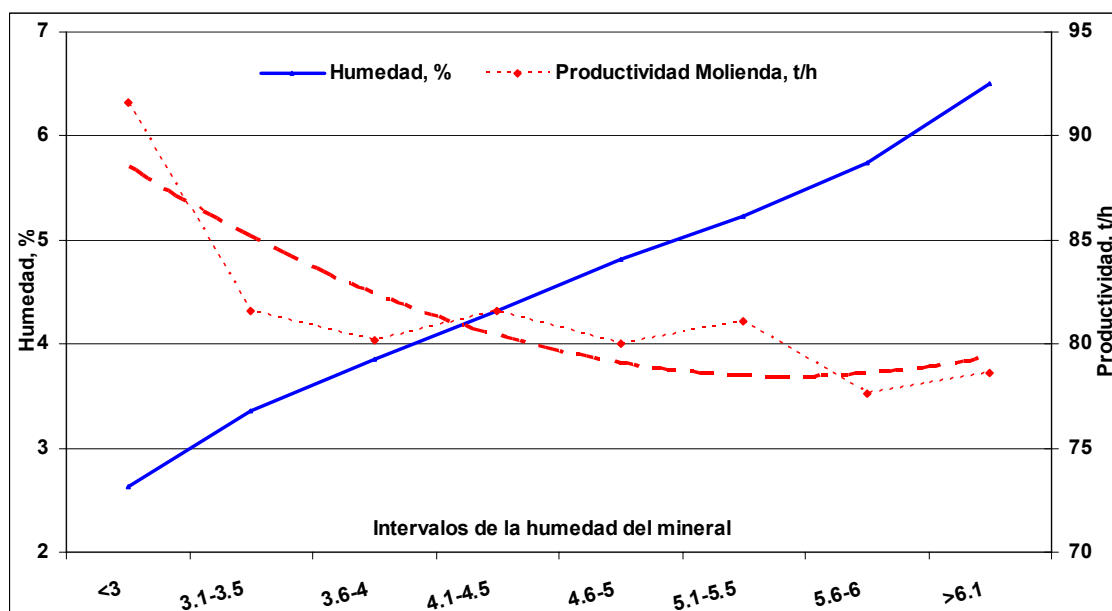


Figura 6. Influencia de la humedad en la productividad de los molinos de bolas.

Conclusiones parciales.

1. Se determinó la influencia de la humedad de entrada y salida de los hornos de secaderos en el proceso de beneficio mediante pruebas a escala de laboratorio y a escala industrial.
2. Se evaluó el efecto de la humedad en el proceso de molienda con diferentes por cientos de humedad a escala de laboratorio y a escala industrial con los datos de la empresa.
3. Se determinó el efecto económico de la humedad en la entrada, como influye en el proceso de beneficio, que el mineral al entrar muy húmedo al proceso de secado no se logre por algún problema separar las partículas finas de las partículas más gruesas por estar muy adherida.

CONCLUSIONES GENERALES

1. La caracterización granulométrica del scalping mostró que la fracción +10mm presenta un contenido medio de Ni, Co, Fe, SiO₂ y Mg de 0.827%, 0.020%, 13.3%, 33.9% y 24.6% respectivamente y la misma representa el 97.94% de todo el material rechazado.
2. La fracción -10mm representó el 2.05% del rechazo y la misma tiene un contenido medio de Ni, Co, Fe, SiO₂ y Mg de 1.026%, 0.061%, 27.4%, 16.6% y 11.2% respectivamente.
3. Las fracciones +10mm y +6.3mm fueron lavadas y clasificadas. El material fino adherido a estas fracciones representó el 3.71% y el mismo tenía un contenido medio de Ni, Co, Fe, SiO₂ y Mg de 1.234%, 0.096%, 40.4%, 6% y 3.1% respectivamente.
4. En el estudio de 304 turnos de operaciones de la empresa mostraron que la humedad de entrada del mineral varia desde 34.5 hasta 39.3%. Mientras la humedad de salida oscila entre 3.68 y 4.91%. En tanto el material rechazado aumenta con el aumento de la humedad de entra y salida del mineral de los hornos de secado desde 2.73 hasta 6.94%. La humedad media del mineral alimentado en los últimos 18 meses fue de 36.94, mientras el material rechazado alcanzo un valor medio de 4.39%.
5. Con la alimentación de minerales a 34% de humedad se reduciría el material rechazado en 2080tn mensuales, lo cual permitiría recuperar 624 t de minerales finos con 1.23% de Ni y 40.4% de Fe, lo cual equivalen a la producción de más de 7.7tn de Ni y 0.6tn de Co mensuales.
6. En los resultados de la molienda para cada por ciento de humedad se muestran en que a medida que aumenta la humedad en el material laterítico ocurre una disminución en la salida en por ciento de la clase de interés menor que 0.074 mm.
7. Con los diferentes por cientos de humedades contra la salida en por ciento de la clase de interés formada como se muestra variando la humedad en un rango entre 3.8 y 7.2 %, se obtuvo una disminución promedio del contenido de la fracción 0.074 mm, en la descarga del molino, existiendo una disminución drástica al incrementar la humedad por encima de 6%.

8. Para humedad superiores a 6%, por observaciones viables se detectó que habían bolas que estaban cubiertas por una capa delgada de material, que actúa como almohadillas, disminuyendo así el efecto triturante de las bolas; evidenciando esto por menor contenido de la fracción 0.074 mm en el mineral molido. Los mejores resultados de la molienda se obtuvieron para 3.8% de humedad, en que la fracción 0.074 en la descarga del molino fue de 86.24%.

RECOMENDACIONES

1. Recomendar a la mina el secado solar, para que el material a la entrada de los hornos de secadero entre con menor humedad.
2. Controlar la humedad en la salida de los secaderos, para que esta no salga con humedad por encima del 6%, para que la misma no influya en la molienda del material laterítico.

Bibliografía.

1. Andreive S. E; Perov V. A y Zverievich V. V: Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales, Editorial Mir, Moscú, 1980.
2. Aldana S., Eugenio y Ángel Legrá L. «Optimización de la productividad y la fineza de la molienda en la planta de preparación de minerales de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara». Moa: Centro de Investigación de la Laterita, 1996.
3. Coello Velásquez, A: `` Consideraciones sobre la molienda de los minerales lateríticos'', en revista Minería y Geología. Vol.1, N° 1; Moa, 1993.
4. Coello Velásquez., A. Mejoramiento de la tecnología de la molienda seca de la laterita. Tesis de doctorado. Rusia: Instituto de Minas de San Petersburgo, 1993.
5. Coello Velásquez., A, Tijonov, N, O.`` Regularidad en la molienda de los minerales lateríticos'', en revista Minería y Geología. Vol.13, N° 3; Moa, 1996.
6. Colectivos de autores, 2006. Investigación realizada en el centro de investigación del CEINNIQ sobre el scalping.
7. Falcón Hernández, J. ``Caracterización de las menas lateríticas y sus tecnologías'', Informe al PIF, ISMM, Moa, 1987.
8. Garcés Rigñak, A; Rondón Suárez, Y. ``Estudio experimental de las funciones de la razón de fragmentación y distribución de la fragmentación de la laterita en un molino de bolas a escala de laboratorio'' (Trabajo de diploma) ISMM, Moa, 2002.
9. 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.
10. Laborde B, R. y otros ``Productividad y eficiencia energética en el proceso de molienda del mineral laterítico''. Revista minería y geología. Vol XVII, N° 2: Moa, 2000.
11. Lafargue Barrientos, U; `` Análisis del comportamiento del consumo específico de energía en el proceso de molienda de la laterita en la Empresa Cdte. Ernesto Che Guevara ``.Trabajo de Diploma. ISMM. Moa. 2005.

12. Morgado Huart, N; Torres Quiala, A. "Preparación y beneficio integral de los minerales lateríticos" (Trabajo de diploma) ISMM, Moa, 1994.
13. Marjoris Velásquez, A; García Sánchez, R. "Beneficio de la laterita de balance" (Trabajo de diploma) ISMM, Moa, 1994.
14. Núñez G, Y. y Pérez G, S: Modelación a escala de laboratorio del proceso de molienda del mineral laterítico del yacimiento de Punta Gorda, (Trabajo de diploma), ISMM, Moa, 2003.
15. Reina Licea, Y.: Determinación del índice de trabajo o índice de Bond para los minerales lateríticos, ISMM, Moa, 2004.
16. Rojas Purón, A.: " Principales fases minerales portadoras de níquel en los horizontes lateríticos del yacimiento de Moa " (tesis doctorado) ISMM, 1995.
17. Traba Naranjo, R.; Morales Rodríguez, L:" Estudio de la molibilidad de los minerales lateríticos". Trabajo de Diploma. ISMM. Moa. 1986.
18. Vallejo Raposo, O; Guardado Lacaba, R: Propuesta de indicadores ambientales sectoriales para el territorio de Moa, Revista minería y geología. Vol. XVII, Nº 3-4; 2000.
19. Vera, Y. L: " Introducción a los yacimientos de níquel cubanos ". Editorial Orbe. Ciudad de la Habana, 1979.

ANEXO I. Característica granulométrica del material cribado con diferentes por cientos de humedad.

Clase de tamaño	Humedad (%) (3,5)	Humedad (%) (5.8)	Humedad (%) (6,7)	Humedad (%) (7,4)
+10	267,1	273,4	279	283
-10	232,9	226,6	221	217
Total	500	500	500	500

ANEXO II. Composición granulométrica del material molido con 3.8 por ciento de humedad, para un tiempo de 10 min.

Clase de tamaño	M-1	Replica (M-1)	Promedio (g)	Salida (%)	Retenido (+)	Cernido (-)
-2	9,1	10	9,55	1,91	1,91	100
- 2 + 0,85	15,8	15,4	15,6	3,12	5,03	98,09
- 0,85 + 0,60	3,2	4,3	3,75	0,75	5,78	94,97
- 0,60 + 0,40	2,7	3,9	3,3	0,66	6,44	94,22
- 0,40 + 0,20	14,5	11,3	12,9	2,58	9,02	93,56
- 0,20 + 0,074	25,9	20,5	23,2	4,64	13,66	90,98
- 0,074	428,8	434,6	431,7	86,34	100	86,34
Total	500	500	500	100		0

ANEXO III. Composición granulométrica del material molido con 4.5 por ciento de humedad, para un tiempo de 10 min.

Clase de tamaño	M-2	Replica (M-2)	Promedio (g)	Salida (%)	Retenido (+)	Cernido (-)
-2	21,2	11,2	16,2	3,24	3,24	100
- 2 + 0,85	23,4	25,7	24,55	4,91	8,15	96,76
- 0,85 + 0,60	3,7	4,9	4,3	0,86	9,01	91,85
- 0,60 + 0,40	3,2	6	4,6	0,92	9,93	90,99
- 0,40 + 0,20	20	16,1	18,05	3,61	13,54	90,07
- 0,20 + 0,074	25,2	19,8	22,5	4,5	18,04	86,46
- 0,074	403,3	416,3	409,8	81,96	100	81,96
Total	500	500	500	100		0

ANEXO IV. Composición granulométrica del material molido con 6.43 por ciento de humedad, para un tiempo de 10 min.

Clase de tamaño	M-3	Replica (M-3)	Promedio (g)	Salida (%)	Retenido (+)	Cernido (-)
-2	24,6	15,2	19,9	3,98	3,98	100
- 2 + 0,85	22,5	23,2	22,85	4,57	8,55	96,02
- 0,85 + 0,60	8,6	11,9	10,25	2,05	10,6	91,45
- 0,60 + 0,40	3,8	8,5	6,15	1,23	11,83	89,4
- 0,40 + 0,20	25,7	30,1	27,9	5,58	17,41	88,17
- 0,20 + 0,074	30,8	38,7	34,75	6,95	24,36	82,59
- 0,074	384	372,4	378,2	75,64	100	75,64
Total	500	500	500	100		0

ANEXO V. Composición granulométrica del material molido con 7.2 por ciento de humedad, para un tiempo de 10 min.

Clase de tamaño	M-4	Replica (M-4)	Promedio (g)	Salida (%)	Retenido (+)	Cernido (-)
-2	30,4	35,6	33	6,6	6,6	100
- 2 + 0,85	25,5	21,6	23,55	4,71	11,31	93,4
- 0,85 + 0,60	10,6	14,5	12,55	2,51	13,82	88,69
- 0,60 + 0,40	4,8	9,1	6,95	1,39	15,21	86,18
- 0,40 + 0,20	32,4	27,1	29,75	5,95	21,16	84,79
- 0,20 + 0,074	38,4	45,3	41,85	8,37	29,53	78,84
- 0,074	357,9	346,8	352,35	70,47	100	70,47
Total	500	500	500	100		0

ANEXO VI. Característica granulométrica del material rechazado

Clase de tamaño	Peso (g)				Promedio (g)	Salida (%)	Retenido (+)	Cernido (-)
	M-1	M-2	M-3	M-4				
+10	9.650,3	9.677,2	9.907,4	9.944,5	9.794,8	97,95	97,9	100,0
- 10 + 6,3	106,6	100,0	42,9	22,7	68,0	0,68	98,6	2,1
- 6,3 + 3,15	43,1	32,8	3,8	10,0	22,4	0,22	98,9	1,4
- 3,15 + 1	60,0	60,0	13,1	9,4	35,6	0,36	99,2	1,1
- 1 + 0,074	82,0	76,0	17,1	4,5	44,9	0,449	99,7	0,8
- 0,074	58,0	54,0	15,7	9,0	34,2	0,342	100,0	0,3
Total	10.000,0	10.000,0	10.000,0	10.000,0	10.000,0	100,00		0,0

