



**Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia**

Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Metalúrgico

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y FÍSICA DE LAS MENAS LATERÍTICAS DE YAGRUMAJE NORTE Y SUR DE LA EMPRESA ERNESTO CHE GUEVARA.

DAVID ARAQUE TINEO

Moa, 2012.



**Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia**

Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Metalúrgico

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y FÍSICA DE LAS MENAS LATERÍTICAS DE YAGRUMAJE NORTE Y SUR DE LA EMPRESA ERNESTO CHE GUEVARA.

Autor: DAVID ARAQUE TINEO

Tutores: Prof. Tít. Ing. Pedro Enrique Beyris Mazar, Dr C

Prof. Aux. Ing. Arturo Rojas Purón, Dr C

Moa, 2012.

DEDICATORIA

A toda mi familia

AGRADECIMIENTO

A mis tutores

RESUMEN

En la región de Moa existen diferentes tipos de yacimientos con minerales que poseen gran variabilidad en sus propiedades físicas y químicas, que hacen complejo su aprovechamiento integral para la producción de níquel, debido al insuficiente conocimiento sobre las características químicas y físicas de los minerales lateríticos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”. En el presente trabajo se realizó la caracterización química y física de las menas lateríticas de estos yacimientos, se determinó la composición granulométrica, química, peso volumétrico, ángulo de reposo, peso a granel comprimido y suelto del material, aplicando métodos tradicionales como, diferencia de pesadas, tamizado, volumétricos y espectroscopía de absorción atómica. Como resultado, quedaron establecidos que en los yacimientos Yagrumaje Norte y Sur prevalecen los minerales limoníticos, con contenidos promedios de níquel de 1, 17 %, cobalto de 0, 081 % y hierro 37, 49 %, lo que es aseverado además por predominar los minerales con bajos contenidos promedios de sílice 9, 56 % y magnesio 4, 40 %; en cuanto a los resultados promedios que se obtuvieron del análisis granulométrico, existe un predominio de la clase fina ($- 0, 074$ mm) en todas las muestras ensayadas con valores en el rango de 58, 23 y 88, 27 %.

SUMMARY

In the region of Moa different types of locations exist with minerals that possess great variability in their physical and chemical estates that it make complex their integral use for the nickel production, due to the insufficient knowledge on the chemical and physical characteristic of the mineral lateritic of the locations of the Company "Commandment Ernesto Che Guevara". Presently work was carried out the chemical characterization and physics of the less lateritic as of these locations, the granulometric composition, chemistry, volumetric weight was determined, angle of rest, weight in bulk tablet and I loose of the material, applying well-known traditional methods, like difference of heavy, sifted, volumetric and spectroscopy of atomic absorption. As a result, they were established that in the locations Yagrumaje North and South the mineral limonitic prevails, with contained averages of nickel of 1, 17 %, cobalt of 0, 081 % and iron 37, 49 %, what is asserted also to prevail the minerals with first floor contained silica averages 9, 56 % and magnesium 4, 40 %; as for the results averages that were obtained of the screen analysis, a prevalence of the fine class exists (- 0, 074 mm) in all the samples rehearsed with securities in the range of 58, 23 and 88, 27 %.

ÍNDICE

PÁG.

INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	11
1.1 Trabajos precedentes.....	11
1.2 Composición granulométrica y química de la base minera de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.....	15
1.3 Esquema tecnológico de la preparación del mineral en la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.....	16
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
2.1 Selección y preparación de la muestras.....	20
2.2. Técnicas analíticas y experimentales utilizadas.....	25
2.2.1. Análisis químico.....	25
2.2. 2. Análisis granulométrico.....	26
2.2.3 Peso a granel	28
2.2.4 Peso a granel suelto	28
2.2.5 Peso a granel comprimido	28
2.2.6 Peso específico.....	29
2.2.6 Ángulo de reposo	29
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	31
3.1 Características químicas de los minerales	31
3.2 Resultados del análisis granulométrico	33
3.3 Resultados del peso a granel suelto.....	35
3.4 Resultados del peso a granel comprimido	36
3.5 Resultados del peso específico	38

3.6 Resultados del ángulo de reposo	38
CONCLUSIONES	40
RECOMENDACIONES	42
BIBLIOGRAFÍA	43
Anexos	

INTRODUCCIÓN

Cuba es el quinto productor de Níquel a nivel mundial, y según el Instituto Cubano de Recursos Minerales, la provincia de Holguín concentra el 34 % de las reservas mundiales de níquel que se conocen, con cerca de 800 millones de toneladas de níquel más cobalto. Se estima, además, que habría otros 2 200 millones de toneladas de reservas probables. La producción del níquel cubano se concentra en las fábricas “Comandante René Ramos Latour” de Nicaro, “Comandante Pedro Soto Alba” y la “Comandante Ernesto Che Guevara” de Moa, situadas las tres en la provincia de Holguín, en la parte oriental de la Isla. La Empresa “Comandante Pedro Soto Alba” es una sociedad mixta de Cuba y la firma canadiense Sherrit Internacional, y las otras dos pertenecen a la Empresa Estatal CUBANÍQUEL. Como promedio anual la fábrica de Nicaro produce alrededor de 10 000 toneladas de sínter de níquel sin refinar más cobalto, mientras que la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba” y la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” superan ligeramente las 30 000 toneladas cada una. La Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” fue inaugurada en 1986 y desde entonces ha explotado diferentes yacimientos ferro-niquelíferos.

Por la importancia que posee el níquel como un renglón fundamental en la economía de Cuba, la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” realizó una solicitud al Centro de Investigación del Níquel con el propósito de hacer una caracterización de las menas lateríticas de níquel de los yacimientos Yagrumaje Norte y Sur desde el punto de vista químico y físico, ya que es el mineral que se alimentará a la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” en el segundo semestre del año 2012. Por tal razón el autor se dio a la tarea de realizar una caracterización química y física de los yacimientos Yagrumaje Norte y Sur. Dentro del programa de inversiones de esta empresa y ramal del Ministerio de la Industria Básica está la creación del depósito de pre homogenización y homogenización del mineral con el objetivo de estabilizar la calidad en cuanto a la composición química y mineralógica del mineral a alimentar a las plantas del proceso que conforman la cadena productiva. Esto necesitará del diseño, construcción y montaje de nuevos equipos tecnológicos de transporte y almacenaje, por lo que resulta de vital

importancia conocer la característica química, física y mineralógica del mineral que procesa esta entidad.

PROBLEMA

Insuficiente conocimiento sobre la caracterización química y física de las menas lateríticas de níquel de los yacimientos Yagrumaje Norte y Sur alimentados a la Empresa Ernesto Che Guevara.

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar química y físicamente la mena laterítica de níquel de los yacimientos Yagrumaje Norte y Sur que serán alimentados a la Empresa Ernesto Che Guevara.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar la composición química y granulométrica de las menas lateríticas de níquel de los yacimientos Yagrumaje Norte y Sur.
2. Determinar el peso específico, el ángulo de reposo natural del material, el peso a granel suelto y comprimido de la mena estudiada.

HIPÓTESIS

Si se caracteriza el mineral de acuerdo a su composición física y química de las menas lateríticas de níquel de los yacimientos Yagrumaje Norte y Sur, se podrá conocer las particularidades del mineral alimentado a la industria.

CAPÍTULO 1

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

Para disponer de elementos básicos que resultan esenciales para el desarrollo del trabajo se realizó una búsqueda bibliográfica referente al proceso de caracterización de las menas lateríticas de níquel.

Los minerales lateríticos han sido objeto de estudio por diferentes investigadores, la mayoría encaminados a la recuperación del níquel y su incorporación a las plantas metalúrgicas, de forma general, las principales investigaciones realizadas hasta el momento, han estado dirigidas a:

- La caracterización desde el punto de vista geológico, físico, químico y mineralógico, de los minerales lateríticos y de sus escombros, con el objetivo de lograr un mayor aprovechamiento de estas materias primas.
- La preparación y beneficio de minerales lateríticos, para garantizar los índices metalúrgicos, principalmente de los procesos de sedimentación y lixiviación en la tecnología ácida a presión.
- El desarrollo de tecnologías para la recuperación u obtención de determinados elementos presentes en los minerales lateríticos.

1.1 Trabajos precedentes

Una síntesis de los principales resultados de estas líneas de investigación se muestra a continuación:

Almaguer, A y V, Zamarzry en 1993, haciendo un estudio de la distribución del hierro, níquel y cobalto en los tamaños de los granos que componen el perfil de las cortezas de intemperismo de las rocas ultramáficas, consideraron que:

1. El tamaño de los granos juega un papel controlador en la mineralogía, la cual está en dependencia del tipo de zona litólogo-geoquímica.
2. Las partículas finas, lamas, son importantes en cuanto a reservas volumétricas de Níquel y Cobalto.

3. El beneficio granulométrico en el tratamiento tecnológico de las menas con la obtención de tamaños de granos apropiados para diferentes fines, trae aparejadas ventajas económicas a la industria y al aprovechamiento integral de las lateritas.

Coinciden, además en que el hierro se encuentra en mayor medida en las fracciones más gruesas y en las más finas, siendo las principales fases portadoras, la hematita y la gibbsita. El comportamiento del níquel es similar al hierro por lo que se puede asegurar que estas fases también son portadoras de este elemento.

Rojas, A en (1993), realiza la valoración mineralógica del material procesado en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, se revelan también que las fases minerales presentes en el material alimentado a los hornos de reducción son fundamentalmente óxidos e hidróxidos de hierro: goethita e hidrogoethita, hematita, magnetita que alcanzan hasta el 70 % del peso de la muestra, las fases minerales cristalinas presentes tanto en el material reducido como en el producto lixiviado y sedimentado son principalmente magnetita, forsterita, cuarzo y clorita, entre las fases de magnetita y forsterita están los responsables de la retención de níquel en su estructura que no permiten su recuperación. En los trabajos expuestos anteriormente se realiza una valoración mineralógica, no así de la composición química y física de la mena.

Falcón, J en (1997), hace análisis de la preparación mecánica de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara con trituradores de mandíbula, molino de bola, tamices, tubos de Davis, analizadores por vía seca, canales cónicas y sluices, distribuyendo el estudio en bloques; el primer bloque de experimentos incluye cribado, trituración, molienda, lavado y tamizado, se utilizan las clases siguientes: + 0, 85 mm; (- 0, 85 + 0, 16) mm; (- 0, 16 + 0, 071) mm y (0, 071 + 0, 00) mm, para el primer bloque se concluye que la limonita requiere de menos tiempo de lavado y tamaño de trituración que la serpentina, también el aumento de tiempo de lavado aumenta el contenido de magnesio y disminuye el contenido de níquel. Los ensayos que se utilizaron en los separadores espirales demuestran la necesidad de su uso para el enriquecimiento de níquel del producto ligero en un solo pase, el cobalto se enriquece en la fracción (- 0, 83 + 0, 074) mm, el hierro lo hace en - 0, 074 mm, la concentración de cromo y cobalto en el producto pesado se duplica con respecto a la muestra inicial, en el

producto ligero se incrementa el contenido de níquel, hierro y decrece apreciablemente el magnesio, finalizan que la trituración de mineral hasta (10 y 5, 0) mm permite mejorar la operación de lavado. En este trabajo caracterizan el material teniendo en cuenta la granulometría, no determinan la densidad del material, el ángulo de reposo y el peso a granel del material; analizan la composición química del material por fracciones, no se caracteriza químicamente el material de forma general ni se valora mineralógicamente.

Sierra, R y Legrá, A en 2009, caracterizaron la mena laterítica para el ajuste de parámetros tecnológicos del transportador de banda, Se realizó una investigación experimental en la planta metalúrgica Ernesto Che Guevara con el fin de elevar la eficiencia del transportador, para ello se evaluó el comportamiento de las propiedades físico-mecánicas de mayor influencia sobre los parámetros tecnológicos de este dispositivo de transporte. En muestras de mena laterítica mullida y homogenizada se determinó la composición granulométrica, masa volumétrica, coeficiente de esponjamiento, humedad y ángulo del talud natural y dinámico. En este trabajo se realiza un estudio complejo del material desde el punto de vista físico, no se realizaron estudios químicos ni mineralógicos.

Mestre, C en 2010, aborda el impacto de beneficio de la mena laterítica en los procesos de moliendas y hornos de reducción de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”, analizan la composición granulométrica, química y valoran el material desde el punto de vista mineralógico. Los resultados obtenidos muestran que la introducción del proceso de beneficio en la industria favorece la calidad y estabilidad de la mena alimentada a las operaciones de molienda y en hornos de reducción. La separación mediante el beneficio de las fracciones granulométricas mayores a 10 mm propicia la disminución de los componentes nocivos al proceso, como SiO_2 y MgO y con ello se producen mejoras en indicadores como: Incremento en la productividad de los molinos al 2, 77 %, la eficiencia operativa es un 10, 747 % superior, se disminuye en un 4, 694 % el consumo de energía en molienda, en la muestra HR-1 de un 11, 562 % de contenido de SiO_2 se logra 9, 204 % y de MgO de 6, 139 % a un 4, 333 %, se obtiene que el efecto económico total es de \$ 957, 660. 04 CUC. En este trabajo se hace un estudio químico, granulométrico y mineralógico del material, no se realiza estudios

relacionados a las propiedades físicas del material, ejemplo: susceptibilidad magnética, densidad, humedad del material, coeficiente de fricción y nivel de esponjamiento del mineral.

Ledesma, L en 2008, realiza un estudio de la influencia del beneficio en la productividad del proceso de molienda de la laterita en la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”, analizan el material granulométrico, químico y mineralógicamente, comparan los resultados obtenidos para la clase (< 10 mm) con los valores del proceso industrial con el objetivo de valorar la productividad de los molinos industriales. No tienen en cuenta las propiedades físicas: ángulo de reposo, porosidad, peso específico, peso a granel suelto y comprimido del material.

En la elaboración de muestras patrones de lateritas, Ponce, (1988) establece las características para este tipo de material, lo que constituye una referencia importante para el estudio de estos minerales oxidados portadores de Ni. Para los minerales niquelíferos silicatados, Milia, (1989) presenta una caracterización basada en técnicas instrumentales (Difracción de rayos-x, Espectroscopía Infrarojo, Análisis Térmico, Microscopía Electrónica), que atestigua la presencia del níquel en estos materiales. En este trabajo se valora el material desde el punto de vista mineralógico, no caracterizan el material teniendo en cuenta la granulometría y la composición química.

Ponce (1984) en la mineralogía y composición sustancial de la mena del yacimiento “Delta”, Moa, trata sobre las principales características mineralógicas del mismo, y realiza un análisis granulométrico de los diferentes tipos de menas, análisis químico y valora mineralógicamente. El análisis granulométrico lo realizó con los siguientes tamices: 1, 0 mm; 0, 5 mm; 0, 25 mm; 0, 1 mm; 0, 05 mm; 0, 005 mm. La clase predominante es 0. 05 mm con contenidos de 75 a 86 %. Del análisis químico, el óxido predominante es el férrico (36-68 %). En este trabajo se realiza una caracterización, desde el punto de vista químico, físico y mineralógico de las lateritas del yacimiento “Delta”. No se realiza la composición química por fracciones, si no de forma general, desde el punto de vista físico solo se analiza la granulometría, no se tiene en cuenta el peso específico, el ángulo de reposo natural y dinámico del material.

Cruz, E en 2011, realiza un estudio del beneficio granulométrico de la mena laterítica, Se recogen los principales resultados obtenidos en estudios sobre el beneficio granulométrico de las menas lateríticas en Cuba a diferentes escalas, Se pudo establecer que a diferentes escalas en las menas lateríticas el beneficio granulométrico significa un mejoramiento en la calidad de la mena de alimentación al proceso extractivo dado por un incremento del contenido de nocivos a partir de la clase de tamaño + 10 mm principalmente los elementos óxido de magnesio, silicio y aluminio, conjuntamente con una disminución del contenido de metales valiosos níquel, cobalto y hierro. En este trabajo se caracteriza el material desde el punto de vista granulométrico y químico, no se valora el material mineralógicamente, no se determina el ángulo de reposo, la porosidad, el peso a granel y comprimido del material.

1.2 Composición granulométrica y química de la base minera de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.

La laterita de balance del yacimiento de la base minera es esencialmente ferrosa, donde el Fe se concentra en valores entre un 20 % y un 49, 7 % en las diferentes fracciones granulométricas; se encuentran además como elementos mayoritarios en esta mena el óxido de magnesio, aluminio, sílice, cromo y manganeso. El níquel y el cobalto aparecen como micro elementos pero de mucho interés desde el punto de vista técnico y económico, (Hernández-Flores, 2010).

Los resultados del análisis granulométrico y químico efectuado al yacimiento de la base minera, Tabla 1, resultan atractivos para evaluar la posibilidad y efectividad de la introducción del proceso de beneficio con vistas a concentrar y/o separar los elementos químicos y compuestos que componen la mena laterítica; se observa la tendencia del hierro a concentrarse hacia las clases de tamaño más finas, por el contrario la sílice y el magnesio lo hacen hacia las mayores granulometrías, es decir existe contraste en la concentración de estos en virtud de la diferencia del diámetro de las partículas de la mena. Por su parte el cobalto y el manganeso presentan la tendencia a concentrarse fundamentalmente en los intervalos de tamaño intermedios. (Hernández-Flores, 2010).

Tabla 1. Composición química promedio de la laterita de balance, en las diferentes fracciones granulométricas.

Clases de tamaño (mm)	Contenido (%)							
	Ni	Co	Fe	Mn	MgO	Cr	Al	SiO ₂
- 10, 00 + 8, 00	1, 80	0, 36	20, 69	3, 08	9, 40	0, 27	12, 76	20, 16
- 8, 00 + 4, 00	1, 56	0, 22	21, 85	2, 18	9, 18	0, 23	9, 38	22, 16
- 4, 00 + 2, 00	1, 60	0, 32	22, 18	2, 72	9, 81	0, 27	9, 62	19, 38
- 2, 00 + 1, 00	1, 08	0, 22	34, 63	1, 71	3, 10	1, 30	5, 32	6, 71
- 1, 00 + 0, 40	1, 20	0, 26	39, 20	1, 84	1, 79	2, 11	4, 15	4, 43
- 0, 40 + 0, 20	1, 42	0, 40	36, 50	2, 98	1, 31	2, 09	4, 10	3, 94
- 0, 20 + 0, 07	1, 50	0, 34	38, 91	2, 57	1, 16	2, 37	3, 65	4, 01
- 0, 70 + 0, 04	1, 40	0, 19	43, 90	1, 40	0, 94	2, 68	3, 44	3, 75
- 0, 04 + 0, 00	1, 38	0, 09	49, 66	0, 63	0, 71	1, 96	3, 51	3, 41

1.3 Esquema tecnológico de la preparación del mineral en la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”

En la planta Preparación de Mineral es donde se inicia el proceso productivo de la Fábrica, según la tecnología carbonato amoniacal (Manual de Operaciones de la planta, 1986).

El material procedente de la mina es transportado hasta el Objeto 01 (Taller de recepción de mineral) y puede ser suministrado a la planta de Preparación de Mineral por dos vías:

- a) A través de grúas Gantry.
- b) Directamente por los transportadores de enlace No.14 ó 15.

Una vez descargado el mineral en galería es remontado y alimentado por las grúas Gantry, estas remontan el mineral y lo homogeneizan en el depósito exterior que posee

una capacidad de material húmedo de 360 000 t, capaz de garantizar 28 días de trabajo en la planta.

El material suministrado por las grúas o el transportador No. 14 ó 15 es descargado en los transportadores cuyas capacidades son 750 t/h cada uno.

El paso del mineral desde las grúas hacia los transportadores 5 y 5a, 6 y 6a, se realiza a través de un alimentador que se mueve solidario con las grúas y que posee para este trabajo (de alimentación) un transportador y de capacidad 750 t/h. Los transportadores 5, 5a, 6 y 6a, alimentan a los transportadores 7 y 7a los que se encargan de llevar el material homogeneizado hasta el edificio de los secaderos. La capacidad de estas correas es de 750 t/h y todo su contenido lo vierten sobre los transportadores 8 y 8a que tiene como función la de alimentar a los transportadores 9 (del 1 al 6) de los secaderos y a los transportadores 10 (1, 2 y 3) depósito de mineral interior o de emergencia.

El tambor secador posee una longitud igual a 48 m y un diámetro 4, 5 m. El mineral al entrar al secadero lo hará con una humedad aproximadamente de 36 a 38 %, la que puede ser mayor en épocas de lluvia, y saldrá del mismo con 4, 0 a 5, 5 % según esta establecido.

Para lograr esto cada secadero posee una cámara de combustión dotada de un quemador de petróleo. Se suministra aire de combustión, aire de pulverización aire secundario o gases procedente de la planta de Hornos.

Los gases combustionados dentro de la cámara alcanzan una temperatura de 1 500 °C y al ponerse en contacto con el aire en exceso que se suministra la temperatura baja hasta 850 °C y esto sirve para aumentar el volumen de gases necesarios para secar el mineral. Con esta última temperatura es con la que entran los gases al tambor secador. El contacto gases calientes-mineral permita que este último se vaya secando y se obtenga al final del secadero un producto con las características adecuadas. Los gases al salir del secadero tendrán una temperatura de 85 a 95 °C.

El material después de secado, es descargado en las correas transportadoras, en estas correas se encuentran instaladas las romanas encargadas del pesaje del material seco. Este material seco es descargado en las correas transportadoras que son la vía de unión entre los secaderos y los molinos. Esta correa transportadora posee una capacidad de 490 t/h y descarga su contenido en 4 tolvas, una para cada molino mediante desviadores de mineral colocados sobre la correa y justamente sobre las mencionadas tolvas.

Desde cada tolva el mineral llegará a los molinos en forma dosificada de 120 t/h y tiene como dimensiones 5, 7 m de longitud y 3, 2 m de diámetro.

Estos molinos son de forma cilíndrica y para su proceso de molienda fina poseen una carga de bolas cuyo peso es de 54 t, cuyas dimensiones son:

100 mm – 10 % 5, 5 t (5 500 kg)

70 mm - 10 % 5, 5 t (5 500 kg)

60 mm - 15 % 8, 0 t (8 000 kg)

40 mm - 25 % 13, 5 t (13 500 kg)

32 mm - 40 % 21, 5 t (21 500 kg)

Total 54 t (54 000 kg)

El producto que el molino debe entregar tendrá una humedad de 4, 5 a 5, 5 % y el mineral molido es transportado hacia los silos de mineral del Taller de Hornos de Reducción mediante el empleo de bombas neumáticas colocadas en la descarga de las tolvas.

Conclusiones parciales

- En la literatura localizada no aparecen trabajos donde se haga referencia al estudio químico, granulométrico y físico: ángulo de reposo, peso específico, peso a granel suelto y comprimido del material de los yacimientos Yagrumaje Norte y Sur.

CAPÍTULO 2

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo de toda investigación necesita de herramientas para poder arribar a buenos resultados. La correcta selección de los métodos y materiales empleados validan los resultados obtenidos (Ramírez, 2002), es por eso que en el presente capítulo se describen los métodos y las técnicas empleadas para la caracterización de las menas lateríticas de níquel de los yacimientos Yagrumaje Norte y Sur de la Empresa Ernesto Che Guevara con el propósito de aprovechar este importante recurso.

2.1 Selección y preparación de la muestras

Las muestras tecnológicas estudiadas fueron tomadas a partir de distintas áreas (pozos) y horizontes del yacimiento Yagrumaje Norte y Sur de la Empresa Ernesto Che Guevara, el mineral extraído fue depositado en diferentes plataformas conformadas en la propia área de extracción de la mina y se colocó en forma de pilas cónicas de manera independiente, las pilas de mineral se codificaron por de la siguiente manera: 2. 0; 2. 2; 3. 3; 4. 4; 5. 0; 8. 8 y 9. 9, posteriormente fue trasladado a la plataforma exterior de la planta piloto del Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ), depositándola de tal manera que se conformaron siete pilas de aproximadamente 20 m de largo por 2, 5 de alto. Esta operación fue realizada por procedimientos existentes en el Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ), posteriormente el mineral de cada pila fue remontada quedando conformada en la forma que se observan en la figura 2 y 2. 1:



Figura 2. Muestra 2. 2 después del volteo los camiones.



Figura 2. 1. Muestra 2. 2 después de la pre-Homogenización.

En la figura 3 se muestra el esquema de descarga del mineral.

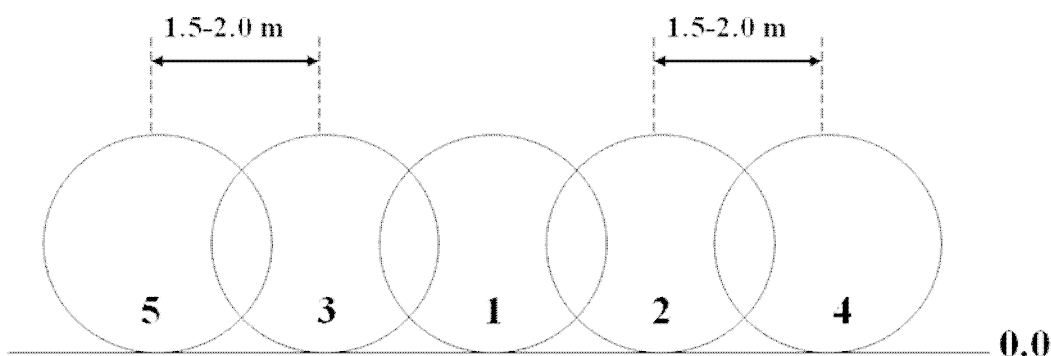


Figura 3. Esquema empleado para la descarga del mineral por los camiones en la plazoleta exterior de la planta piloto del Centro de Investigaciones del Níquel (CEDINIQ).

Cada pila de mineral conformada fueron muestreadas para conformar las muestras a emplear según el programa de investigación, las muestras fueron tomadas bajo dos criterios básicos; Primero que deben ser representativas tanto cualitativamente como cuantitativamente del total de la masa de mineral que conforman cada muestra y segundo que la masa de mineral muestreada sean suficientes para la realización de los experimentos planificados.

Los puntos donde se tomaron las muestras para la realización de los experimentos planificados fueron escogidos aleatoriamente y trazado imaginariamente en toda la extensión de cada pila de mineral, detalladamente se muestra en la figura 4:

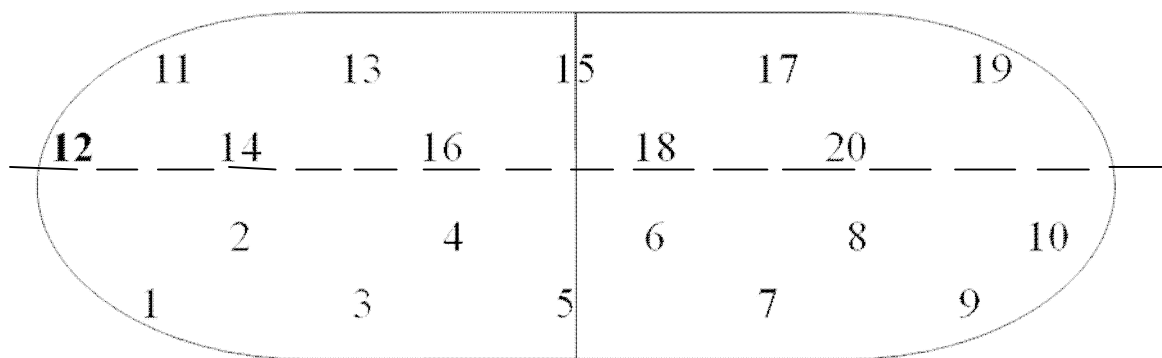


Figura 4. Sistema de Muestreo aleatorio utilizado para realizar esta operación en todas las pilas de mineral.

Las muestras tomadas fueron sometidas a un proceso de homogeneización y cuarteo, aplicando dos métodos clásicos, cono y anillo y cuarteador de rifles.

Cono y anillo: Consiste en mezclar el material para posteriormente apilarlo a la forma de un cono. Este se aplasta y se divide con una pala o espátula en forma de cruz (4 partes iguales). Se retiran 2 cuartos opuestos y los otros 2 restantes, que forman la nueva muestra, se vuelven a mezclar y el proceso se repite varias veces hasta obtener el tamaño apropiado de muestra. Los ejemplos para la realización del método de cono y anillo se muestran en las figuras 5, 6 y 7:

- Con una muestra de 37 kg se forma un cono, el que se divide en 4 partes, después de aplastarlo.

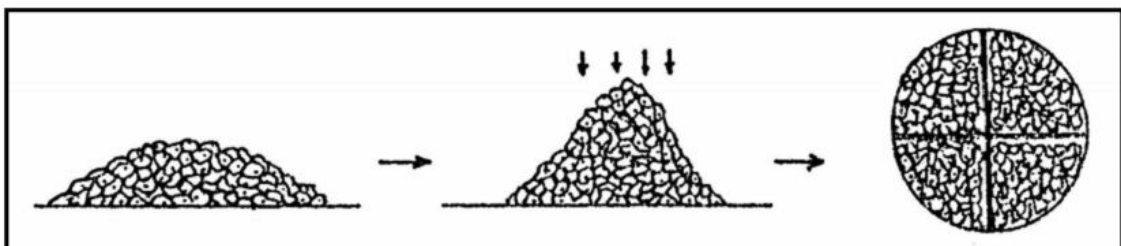


Figura 5. Método de cono y anillo

- De las 4 partes, se descartan 2 opuestas, y las otras 2 pasan a constituir la base de la nueva muestra.

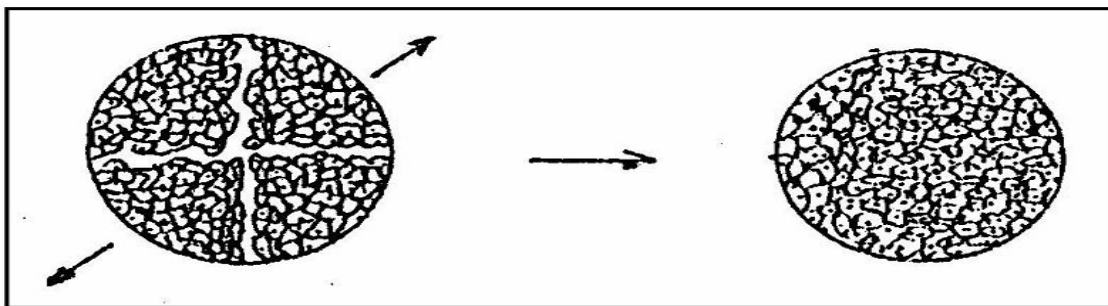


Figura 6. Método de cono y anillo

- Con la nueva muestra, se forma otro cono, y se repite el procedimiento hasta obtener una muestra de 5 kg.

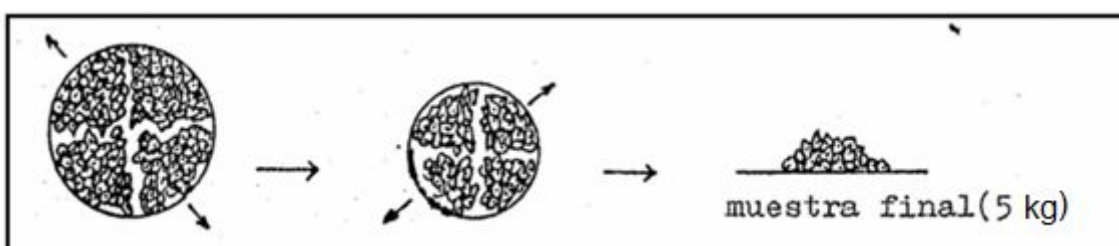


Figura 7. Método de cono y anillo.

Cortador de Rifles: Consiste en un recipiente en forma de V que tiene en sus costados una serie de canales o chutes que descargan alternativamente en 2 bandejas ubicadas en ambos lados del cortador. El material es vaciado en la parte superior y central; al pasar por el equipo se divide en 2 fracciones de aproximadamente igual tamaño, (ver figura 8).

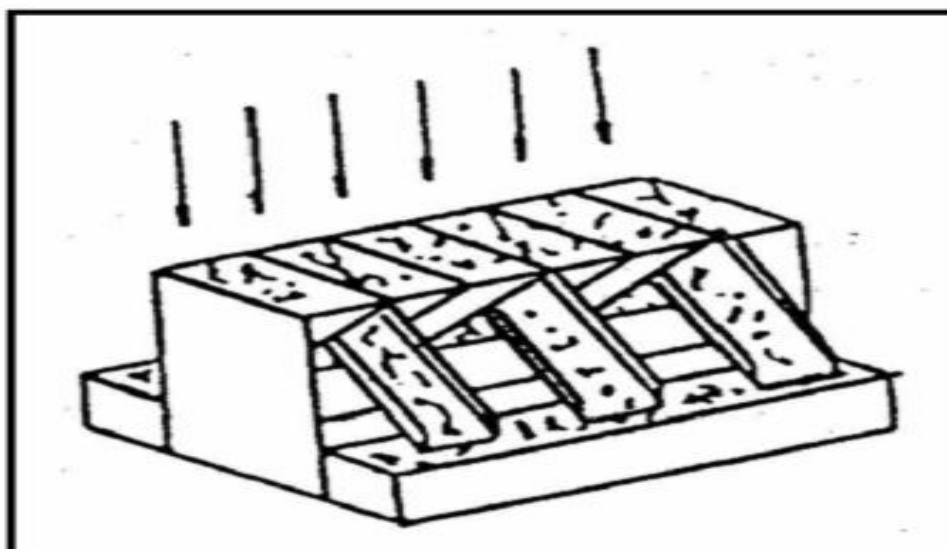


Figura 8. Cortador de rifles.

Los ejemplos para la realización del método de Cortador de rifles se muestran en las figuras 9 y 10:

- La muestra obtenida en el proceso de homogenización de cono y anillo con una masa de 5 kg se distribuye uniformemente a lo largo del cortador, de los 2 recipientes que reciben la muestra se descarta uno de ellos.

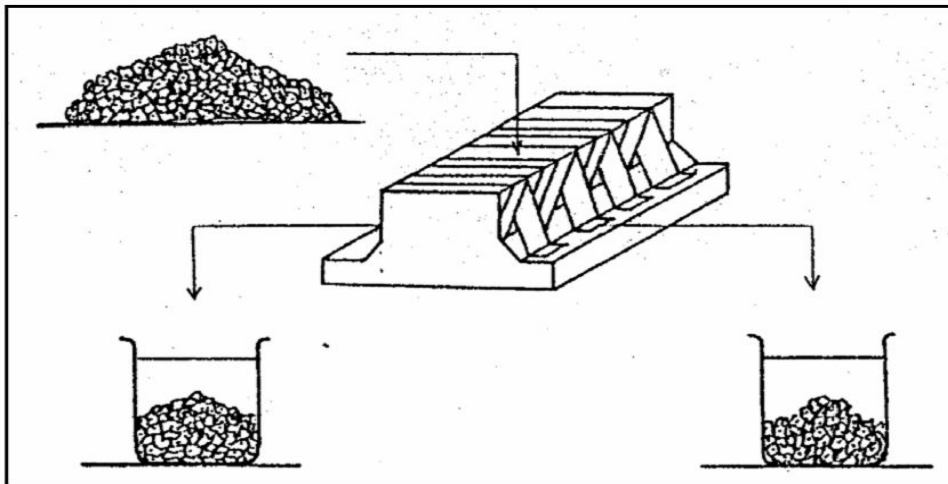


Figura 9. Método de cortador de rifles

- El contenido del recipiente que no ha sido descartado, se vuelve a verter sobre el cortador y se repite el proceso hasta obtener la muestra de tamaño deseado.

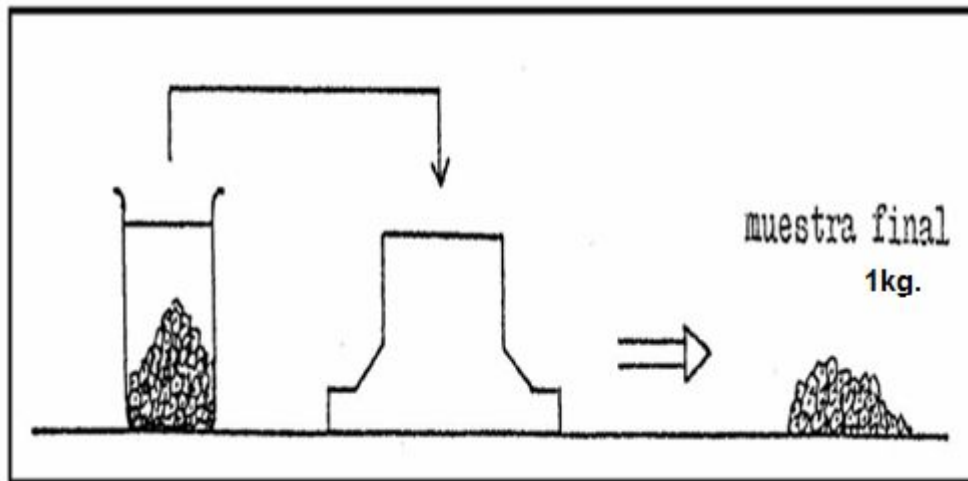


Figura 10. Método de cortador de rifles

Para la realización de cada experimento planificado según los objetivos específicos, se prepararon las muestras, tres para cada tipo de determinación, estas fueron obtenidas por cuarteo sucesivo. En la figura 11 se muestra el esquema empleado.

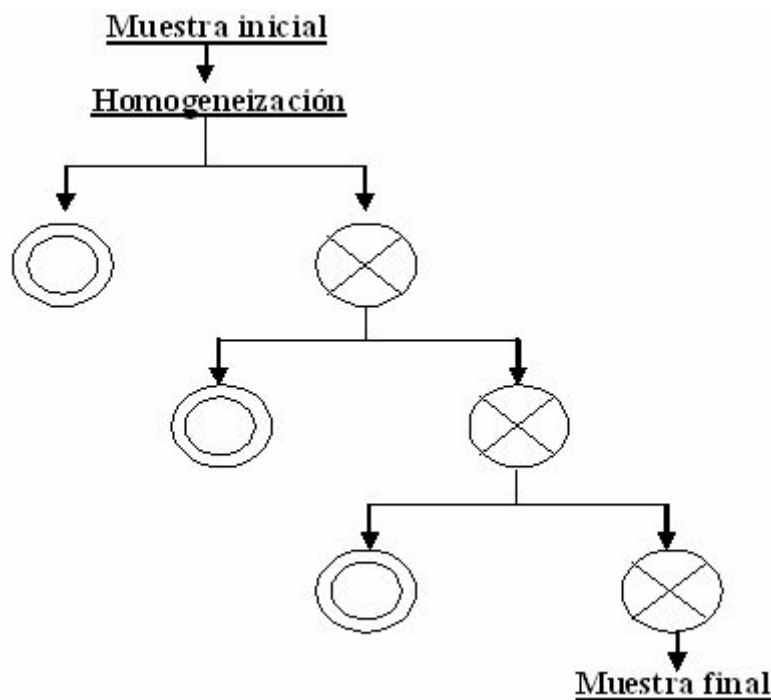


Figura 11. Esquema de cuarteo empleado para la preparación de las muestras estudiadas, para cada experimento en particular.

La realización de la preparación de la muestra a utilizar para la ejecución de los ensayos planificados (análisis químicos, análisis granulométrico, peso a granel suelto, peso a granel comprimido, peso específico y el ángulo de reposo natural), se procedió a la ejecución de cada uno en particular. Destacar que todos los experimentos fueron realizados en el cuarto de preparación de muestras, laboratorio de la planta piloto y central perteneciente al Centro de Investigaciones del Níquel, (CEDINIQ).

2.2. Técnicas analíticas y experimentales utilizadas

2.2.1. Análisis químico

Con el objetivo de determinar el contenido de los elementos químicos presentes, en las muestras, se realizó mediante la técnica de espectroscopía de absorción atómica que permitió determinar, con una alta confiabilidad, los contenidos de los siguientes elementos: hierro, níquel, cobalto, cromo, magnesio, manganeso, aluminio y dióxido de silicio.

Componentes de un espectrofotómetro de absorción atómica, son las siguientes: Fuente de radiación, atomizador, monocromador y detector.

La base de este método consiste en pasar el elemento a analizar a su forma atómica en estado libre por medio de la llama a través de la cual hace incidir una radiación continua, que es característica para cada elemento. A través de un dispositivo adecuado se realiza la selección de la radiación y medida de la variación de la intensidad de la misma relacionada directamente con la concentración del elemento. En la figura 12 se muestra el equipo de espectroscopía de absorción atómica.



Figura 12. Equipo de Espectroscopía de Absorción Atómica

2.2. 2. Análisis granulométrico

La determinación de la composición granulométrica del material se realizó por vía seca y por vía húmeda, los tamices fueron escogidos según la serie de Taylor $\sqrt{2}$: (13, 2; 10; 6, 3; 5; 3, 5; 2; 1, 6; 1; 0, 71; 0, 4; 0, 315; 0, 2; 0, 15; 0, 12; 0, 075 y 0, 045) mm. La vía seca fue utilizada hasta el tamiz de 1 mm y por debajo de este se empleo la vía húmeda. El análisis granulométrico permitió determinar la distribución de tamaño de partículas para cada una de las muestras estudiadas y la comparación entre cada una de ellas. La masa mínima necesaria para realizar el análisis granulométrico fue determinada según (Jan, G, en 1980), por la expresión 1.0:

$$Q_{min} = 0,02 \cdot d^2 + 0,5 \cdot d; kg \dots\dots\dots 1.0$$

donde:

$$Q_{min} = \text{Masa mínima, kg} ;$$

$d = \text{Tamaño máximo de partícula, mm}$

El análisis de tamices consiste en cernir la muestra a través de un juego estándar de tamices, para determinar el porcentaje de residuos en cada uno de estos, con respecto a la masa de la muestra inicial. En la mayoría de los casos durante el cernido seco sobre todo en 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 diseminación en medio acuosa (tamizado húmedo).

El tamizado por vía humedad se realiza cuando la muestra contiene una cantidad considerable de material fino, siendo necesaria una exactitud alta del análisis, o cuando el material se aglomera sobre la superficie tamizada. La muestra se deposita en un tamiz con orificios de pequeña dimensión, y las partículas más pequeñas (de lodo) se lavan con un chorro débil de agua. El lavado se realiza hasta que el agua se aclare, el resto de la muestra que queda en la criba, se seca en una estufa durante dos horas a una temperatura de 150 °C y luego se pesa en una balanza técnica con precisión de 0, 1 g; en nuestro caso marca Sartorius (ver anexo 3), de modo que por las diferencias entre las masas se determina la masa de lodo lavado.

Para el análisis granulométrico por vía seca y húmeda se utilizó una tamizadora como se muestra en la figura 13:



Figura 13. Tamizadora de ensayo TYLER Modelo SS-23.

2.2.3 Peso a granel

El peso a granel puede tener dos valores, ya que si el material se deposita libremente en la probeta, se obtendrá un peso suelto y si se comprime se obtendrá un peso comprimido. Peso a granel, se denomina al peso de la unidad de volumen ocupado por el material.

2.2.4 Peso a granel suelto

El método para su determinación es muy simple y consiste en emplear un recipiente de peso conocido, se deposita dicho material dentro de dicho recipiente y al mover la tapa superior que gira en el pivote, se asegura que el material quede contenido en dicho recipiente, se pesa el recipiente lleno y se resta el peso del propio recipiente vacío (tara), obteniéndose el valor real del mineral suelto. El peso a granel suelto puede determinarse por la ecuación 1. 1:

$$\partial s = \frac{\partial m}{Vr} \dots\dots\dots 1. 1$$

donde:

$\partial m = \text{Peso del material, [kg]};$

$Vr = \text{Volumen del recipiente, [dm}^3\text{]}.$

2.2.5 Peso a granel comprimido

Este método consiste en depositar el material en un recipiente y compactarlo en una máquina Tamizadora de ensayo TYLER Modelo SS-23, esta máquina tiene un sistema automatizado se programa para que trabaje 20 minutos al cabo de los 10 minutos se detiene el proceso de compactación y se le agrega mas mineral hasta que llegue el momento que el material este bien compactado, se pesa el recipiente lleno de mineral compactado y se resta el peso del propio recipiente vacío (tara), obteniéndose el valor del mineral comprimido. El peso a granel comprimido puede determinarse por la ecuación 1. 2:

$$\partial c = \frac{\partial m}{Vr} \dots\dots\dots 1. 2$$

donde:

$\partial m = \text{Peso del material, [kg]};$

$Vr = \text{Volumen del recipiente, [dm}^3\text{]}.$

2.2.6 Peso específico

El peso específico de un material es el peso de sus partículas secadas a temperaturas de 100 a 105 °C durante dos a tres horas, en relación con el volumen de agua desplazadas por estas.

2.2.6 Ángulo de reposo

Es el ángulo que la superficie lateral de la carga forma con el plano horizontal cuando dicho material es depositado sobre una superficie plana. Se denomina ϕ y caracteriza el grado de intermovilidad de las partículas que conforman el material, o sea, el grado de fluidez del mismo. Mientras mayor movilidad posea, menor será ϕ . Esta movilidad mutua de las partículas depende de las fuerzas de cohesión y del coeficiente de fricción. Según el estado del material (humedad, temperatura, compresión) y de su granulometría, esta tendrá diferentes ángulos de reposo.

El ángulo de reposo se determina fácilmente mediante un simple cilindro hueco (figura 14) dentro del cual se deposita el material. Luego, al levantar este cilindro con cuidado, se observa que el material forma un cono en el cual se puede apreciar el ángulo de talud.

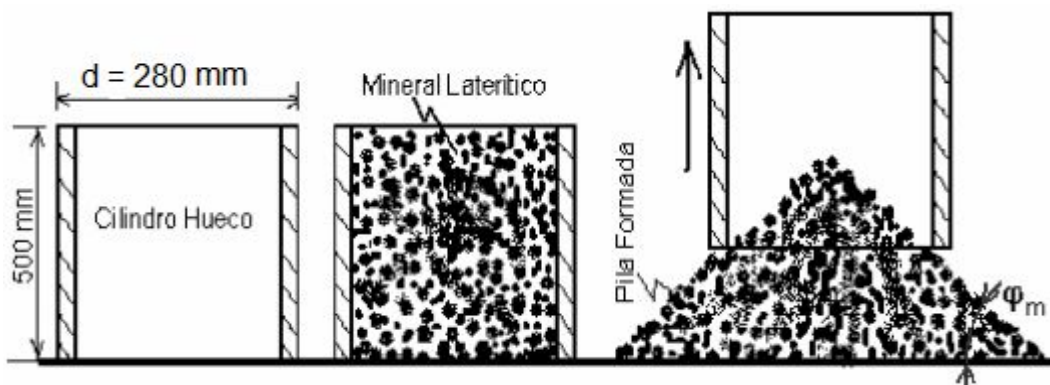


Figura 14. Procedimiento para la determinación del ángulo de reposo.

Conclusión parcial

1. Los métodos experimentales utilizados permiten obtener la caracterización química y física de los minerales utilizados para la conformación de la muestra tecnológica y que fueron extraídos de los yacimientos Yagrumaje Norte y Sur, lo que favorece al cumplimiento de los objetivos específicos planteados en el trabajo.

CAPÍTULO 3

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos de las pruebas experimentales de las diferentes muestras estudiadas.

3.1 Características químicas de los minerales

preparación de la muestra tecnológica total, la composición química de cada una de ellas y de la muestra tecnológica de forma general.

En la tabla 2 (tomada del Reporte Técnico de Preparación de Muestras Tecnológicas de los Minerales a procesar por la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” en el segundo semestre del año 2012), se muestra el nivel de participación de cada muestra en la muestra tecnológica total y la probabilidad de existencia de cada una de ella en los yacimientos Yagrumaje Norte y Sur.

Tabla 2. Participación de cada muestra en la muestra tecnológica total

muestras estudiadas	2. 0	2. 2	3. 3	4. 4	5. 0	8. 8	9. 9	Total
Probabilidad, %	2, 68	61, 61	10, 71	1, 79	1, 79	10, 71	10, 71	96, 4

Como se puede observar en la tabla 2, la mayor participación es de la muestra 2. 2 con un nivel de participación de un 61, 61 %, esto está justificado por el hecho de que esta muestra es la que más existe en el yacimiento, además porque así ocurre habitualmente en el laboreo minero de esta empresa en que se alimenta un mineral con mayor participación de la limonita. En cuanto a la probabilidad de 96, 4 %, la distribución mostrada indica estadísticamente que ocurra durante la extracción del mineral desde los frentes mineros.

Una vez obtenidos los resultados promedios de los análisis químicos realizados a las siete muestras, se confeccionó una tabla con los valores promedios de contenido de los diferentes elementos analizados, ver tabla 3.

Tabla 3. Composición química promedio de las muestras estudiadas, (%).

Muestras	Ni	Co	Fe	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	Mn	Cr
2. 0	0, 34	0, 03	37, 53	4, 67	0, 59	10, 99	0, 69	1, 35
2. 2	1, 21	0, 10	46, 49	4, 18	1, 06	11, 13	0, 72	1, 73
3. 3	1, 23	0, 04	50, 60	1, 34	0, 35	21, 83	0, 80	2, 22
4. 4	1, 01	0, 06	48, 05	4, 80	1, 17	9, 98	0, 71	1, 96
5. 0	0, 62	0, 03	44, 52	2, 21	0, 34	7, 16	0, 73	1, 54
8. 8	1, 58	0, 08	36, 63	12, 56	5, 85	6, 77	0, 56	1, 39
9. 9	1, 49	0, 05	23, 05	24, 41	14, 62	5, 66	0, 49	1, 11

Según los resultados que se muestran en la tabla 3, se puede definir que los minerales pertenecientes a las muestras 2. 0 y 5. 0, son los que presentan menor contenido de níquel y cobalto, en cuanto el primer elemento con valores inferiores al que se alimenta actualmente a la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”, lo que indica que no pueden ser alimentados de forma independiente al proceso metalúrgico. Si no que deben ser suministrados en las proporciones en que forman la masa global del yacimiento.

Referente a las muestras 2. 2 y 3. 3, son minerales típicamente limoníticos en los cuales se observa un contenido de níquel medio cuyo valores están en el rango de diseño de la planta, además de poseer alto contenido de hierro y bajo contenido de sílice y magnesio. Por su contenido la muestra 4. 4, puede considerarse como escombros, pues contiene bajo contenido de níquel, cobalto, sílice, magnesio y por el contrario un alto contenido de hierro.

En cuanto a las muestras 8. 8 y 9. 9, se consideran serpentina de balance, pues contienen alto contenido de níquel (superiores a la media del yacimiento 1, 17 %) y contenido medio de sílice y magnesio, aunque en la muestra 9. 9 estos últimos elementos son superiores.

Se puede notar además que el contenido de cobalto presenta una distribución irregular para todas las clases que se tomaron para la conformación de la muestra tecnológica y que son objeto de estudio.

Por los contenidos de hierro y sílice en las muestras estudiadas puede definirse que los yacimientos Yagrumaje Norte y Sur prevalecen los minerales limoníticos, lo que es comprobado además por predominar los minerales con bajo contenido de magnesio.

La tabla de composición química de las muestras (2. 0; 2. 2; 3. 3; 4. 4; 5. 0; 8. 8 y 9. 9) con sus respectivas replicas, aparecen en los (anexos 1; 1. 1; 1. 2 y 1. 3).

En la tabla 4 (tomada del Reporte Técnico de Preparación de Muestras Tecnológicas de los Minerales a procesar por la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” en el segundo semestre año 2012), se muestran los contenidos de cada elemento al conformar la muestra tecnológica.

Tabla 4. Contenido de cada elemento al conformar la muestra tecnológica

Estadígrafo	Composición química de cada elemento en la muestra tecnológica, (%)						
	Ni	Co	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	H ₂ O
Promedio	1, 17	0, 081	37, 49	9, 56	8, 47	4, 40	30, 80
Máx	1, 23	0, 093	40, 09	10, 70	8, 91	5, 79	34, 60
Mín	1, 13	0, 07	36, 40	8, 87	8, 07	0, 58	28, 80
Desv Est	0, 03	0, 005	102	0, 51	0, 21	1, 25	0, 93

Los resultados del contenido químico de cada elemento mostrado en la tabla 4, indica que la muestra tecnológica preparada en la relación de mezcla de la tabla 3, da resultado similares a lo que alimenta la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” en la actualidad, en que el contenido de níquel como promedio es de 1, 17 %, valor inferior al de diseño, similarmente ocurre para los demás elementos estudiados, pues sus contenidos son menores que los de diseño.

3.2 Resultados del análisis granulométrico

En la tabla 5, se exponen los resultados promedio del análisis granulométrico para las muestra 2. 0 y 2. 2, para las demás muestras (3. 3; 4. 4; 5. 0; 8. 8 y 9.9), ver (anexo 2, 2. 1 y 2. 2), en la primera columna las clases de tamaños, y en las restantes las masas y salida ó por ciento en peso de cada una de ellas.

Tabla 5. Resultados del análisis granulométrico para las muestras 2. 0 y 2. 2.

Clases de tamaño, mm	MUESTRA 2.0			MUESTRA 2.2		
	Masa, g	Salida, %	Salida sumaria (+), %	Masa, g	Salida, %	Salida sumaria (+), %
+ 13, 2	0, 77	0, 23	0, 23	3, 80	1, 14	1, 14
- 13, 2 + 10	2, 37	0, 71	0, 94	7, 73	2, 32	3, 46
- 10 + 6, 3	9, 27	2, 78	3, 72	33, 70	10, 11	13, 57
- 6, 3 + 5	28, 90	8, 67	12, 39	20, 00	6, 00	19, 58
- 5 + 3, 5	84, 67	25, 40	37, 79	32, 20	9, 66	29, 24
- 3, 5 + 2	82, 97	24, 89	62, 68	35, 07	10, 52	39, 76
- 2 + 1, 6	24, 47	7, 34	70, 02	17, 73	5, 32	45, 08
- 1, 6 + 1	28, 73	8, 62	78, 64	34, 83	10, 45	55, 54
- 1 + 0, 71	1, 53	0, 46	79, 10	0, 63	0, 19	55, 73
- 0, 71 + 0, 4	6, 37	1, 91	81, 01	1, 97	0, 59	56, 32
- 0, 4 + 0, 315	3, 87	1, 16	82, 17	1, 37	0, 41	56, 73
- 0, 315 + 0, 2	2, 60	0, 78	82, 95	0, 33	0, 10	56, 83
- 0, 2 + 0, 15	5, 23	1, 57	84, 52	1, 57	0, 47	57, 30
- 0, 15 + 0, 12	2, 83	0, 85	85, 37	0, 43	0, 13	57, 43
- 0, 12 + 0, 074	2, 50	0, 75	86, 12	0, 37	0, 11	57, 54
- 0, 074 + 0, 045	7, 17	2, 15	88, 27	2, 30	0, 69	58, 23
- 0, 045 + 0	39, 10	11, 73	100, 00	139, 20	41, 77	100, 00
Total	333, 33	100, 00		333, 23	100, 00	

La figura 15 se observa claramente la distribución de tamaño de las partículas para todas las muestras estudiadas.

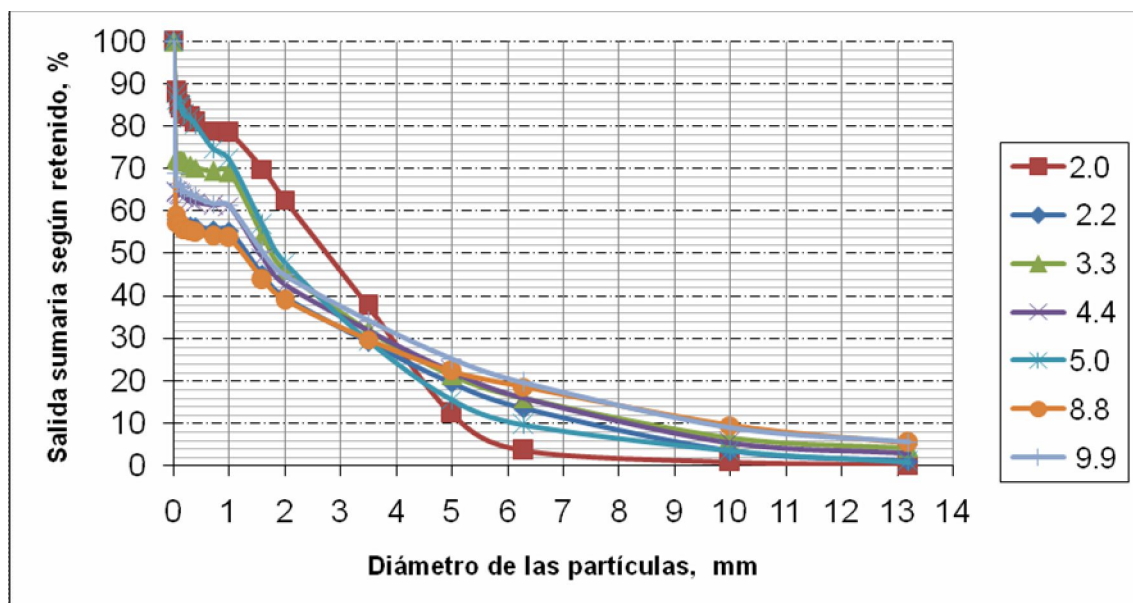


Figura 15. Característica de tamaño de las muestras estudiadas.

Como se aprecia, en los resultados promedio del análisis granulométrico que aparece en la tabla 5, existe un predominio de la clase fina ($- 0,074$ mm) en todas las muestras ensayadas con valores en el rango de 58,23 y 88,27 %, lo que resulta de interés para el proceso de preparación de mineral, específicamente para la molienda, pues presupone la realización de la clasificación del mineral previo a este proceso. Esto puede significar un alto ahorro de energía.

La figura 15 ofrece los resultados promedio de la característica granulométrica para todas las clases objeto de estudio, donde se pueden apreciar la tendencia de que el tamaño medio de la partícula es fino, ya que el 50 % del material es inferior a 1 mm, siendo superior este valor para las clases 2.0 y 5.0, con resultados de 88,27 y 87,59 %; respectivamente.

3.3 Resultados del peso a granel suelto

En la tabla 6, aparecen los resultados promedio del peso a granel suelto obtenidos para todas las muestras de objeto de estudio. El recipiente utilizado para la realización de los ensayos tiene un volumen útil de 2,5 litros.

Tabla 6. Resultados del peso a granel suelto.

Muestras	2. 0	2. 2	3. 3	4. 4	5. 0	8. 8	9. 9
Peso recipiente (kg)	0, 15	0, 15	0, 15	0, 15	0, 15	0, 15	0, 15
Peso promedio mineral inicial (kg)	3, 78	3, 41	3, 39	3, 60	3, 29	3, 20	2, 91
Peso del material (kg)	3, 63	3, 25	3, 24	3, 45	3, 14	3, 05	2, 75
peso a granel suelto (kg/dm ³)	1, 45	1, 30	1, 30	1, 38	1, 25	1, 22	1, 10

3.4 Resultados del peso a granel comprimido

En la tabla 7, se muestran los resultados promedio del peso a granel comprimido obtenido para todas las muestras de objeto de estudio. El recipiente utilizado para la realización de los ensayos tiene un volumen útil de 2, 5 litros.

Tabla 7. Resultados del peso promedio a granel comprimido.

Muestras	2. 0	2. 2	3. 3	4. 4	5. 0	8. 8	9. 9
Peso recipiente (kg)	0, 15	0, 15	0, 15	0, 15	0, 15	0, 15	0, 15
Peso promedio mineral inicial (kg)	4, 40	4, 02	3, 92	4, 40	4, 02	3, 69	3, 64
Peso material (kg)	4, 25	3, 87	3, 76	4, 25	3, 87	3, 54	3, 49
Peso comprimido(kg/dm ³)	1, 70	1, 55	1, 51	1, 70	1, 55	1, 41	1, 40

El resultado comparativo del peso a granel comprimido y suelto aparece en la figura 16.

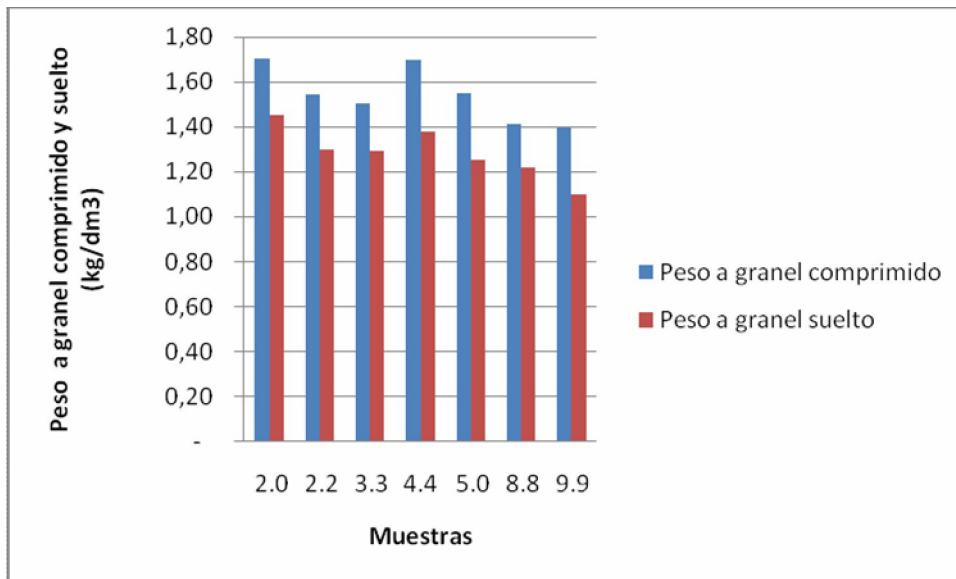


Figura 16. Comparación entre el peso a granel comprimido y suelto del material.

Respecto a la comparación entre el peso a granel suelto y comprimido ambos resultados como se puede observar en la figura 16, el peso a granel comprimido es superior al a granel suelto lo que está justificado por el hecho de que al comprimir al material los intersticios existentes entre las fracciones del mineral prácticamente son eliminados y son ocupados por el material más fino.

Los valores promedio de peso a granel suelto y comprimido para todas las muestras están en el rango de valores que históricamente han dados para las diferentes muestras de minerales estudiadas.

La relación entre el peso a granel comprimido y el peso a granel suelto según (Oriol, J; Aguilar, F en 1988, Máquina de transporte continuo), viene dado por la siguiente ecuación 1. 3, como se muestra a continuación:

$$\gamma = \frac{\partial c}{\partial s} \dots\dots\dots 1. 3$$

donde:

$$\partial c = \text{Peso a granel comprimido, } \text{kg} / \text{dm}^3$$

$$\partial s = \text{Peso a granel suelto, } \text{kg} / \text{dm}^3$$

En la tabla 8 aparecen los valores de la relación entre ambos pesos.

Tabla 8. Resultados de la relación entre el peso a granel comprimido y suelto.

MUESTRAS	2. 0	2. 2	3. 3	4. 4	5. 0	8. 8	9. 9
Relación	1, 17	1, 19	1, 16	1, 23	1, 23	1, 16	1, 27

Los resultados de la relación entre ambos pesos tienen un comportamiento lógico y están en el rango de valores que aparecen en la literatura especializada, (Oriol, J; y Aguilar, F en 1988, Máquina de transporte continuo).

3.5 Resultados del peso específico

Los resultados promedio del peso específico de cada muestra aparecen en la tabla 9.

Tabla 9. Resultados del peso específico para cada una de las muestras; kg/dcm³.

MUESTRAS	2. 0	2. 2	3. 3	4. 4	5. 0	8. 8	9. 9
Peso específico, (kg/dm ³)	3, 57	2, 63	3, 30	2, 94	2, 83	2, 42	2, 38

Los valores promedio del peso específico aparecen en la tabla 9, se corresponden en gran medida con los resultados de los contenidos de los elementos del análisis químico (contenido de hierro), pues como se puede observar las muestras: 2. 0 y 3. 3, son las que tienen mayor peso específico en correspondencia con el mayor porcentaje de hierro y las muestras: 9. 9 y 8. 8, tienen menor peso específico relacionada también con su menor contenido de hierro.

3.6 Resultados del ángulo de reposo

En la tabla 10 aparecen los valores de los coeficientes utilizados para determinar el ángulo de reposo de las diferentes muestras de objeto de estudio, además de los valores calculados de esta variable.

Tabla 10. Resultados del ángulo de reposo promedio del mineral.

Muestras	2. 0	2. 2	3. 3	4. 4	5. 0	8. 8	9. 9
Altura del cono(cm)	8, 13	7, 33	6, 33	7, 33	7, 57	7, 37	9, 17
Largo de la pendiente de la pila(cm)	20, 07	18, 40	15, 10	17, 03	17, 93	17, 8	18, 07
Seno de la pendiente con respecto a la horizontal	0, 41	0, 40	0, 42	0, 43	0, 42	0, 41	0, 51
Ángulo de reposo, °	23, 92	23, 50	24, 81	25, 51	24, 97	24, 46	30, 50

El ángulo de reposo promedio para todas las muestras estudiada es inferior al que históricamente ha procesado la Empresa Ernesto Che Guevara, lo que debe estar motivado por el hecho de haber realizado este análisis por separado para cada mineral en particular y no del modo que se alimenta al proceso industrial, en que se suministra como una masa global total. Este aspecto debe tener un peso significativo en los resultados obtenidos, pues debe existir interacción entre todas las muestras, pues tienen propiedades físico químicas y de hecho mineralógicas diferentes.

CONCLUSIONES

1. Los valores promedios del análisis químico de los minerales de los yacimientos Yagrumaje Norte y Sur utilizados para la preparación de la muestra tecnológica según la tabla 4, indican que el contenido de níquel (1, 17 %) y cobalto (0, 081 %), son inferiores a los de diseños de la planta, sin embargo, el contenido de hierro (37, 49 %) y sílice (9, 56 %), están en el rango de los valores de diseño, además las propiedades físicas de las muestras estudiadas son:
2. La granulometría predominante son las fracciones menores de - 0, 074 mm, con valores en el rango de 58, 23 y 88, 27 %, lo que presupone la clasificación del mineral antes del proceso de molienda.
3. El peso a granel suelto esta en el rango de 1, 10 y 1, 45 kg/dm³, mientras que para el peso a granel comprimido tienen valores de 1, 40 y 1, 70 kg/dm³, la relación promedio de estas variables para todas las muestras ensayadas están en el rango de (1, 16 y 1, 27), valores similares a los encontrados en la literatura especializada acerca del tema de referencia.

4. El peso específico esta en el rango de 2, 30 y 3, 57 kg/dm³, por su característica estos minerales se consideran como materiales ligeros, pues para todos los casos el peso específico es inferior a 6 kg/dm³.
5. El ángulo de reposo esta en el rango de 23, 50 y 30, 50°, donde queda de manifiesto que por su característica las muestras (2.0; 2.2; 3.3; 4.4; 5.0 y 8.8), son materiales muy fluidos ya que tienen un ángulo de reposo menor de 30°, para el caso de la muestra (9. 9), con valor promedio de 30, 50° se considera como un material fluido, ya que el mismo está en el rango de (30 a 45°).

RECOMENDACIONES

1. Completar el análisis físico de los minerales que se procesaran en la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” (yacimiento Yagrumaje Norte y Sur), basándolo fundamentalmente en análisis de coeficiente de fricción, nivel de esponjamiento del mineral y susceptibilidad magnética.
2. Utilizar los resultados obtenidos del análisis químico y físico de los minerales de los yacimientos Yagrumaje Norte y Sur para realizar el balance de masa del mineral que procesará en la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”; además para definir el diseño de los equipos de transporte continuo, depósitos intermedios (tolvas y transiciones), formación de pilas de homogenización, equipos de apilamiento y reclamadores de mineral, que serán utilizados en las inversiones programadas por esta industria para conformar los depósitos de pre homogeneización y homogeneización.
3. Realizar análisis mineralógico que permita definir los tipos de fases de minerales que afloran los yacimientos Yagrumaje Norte y Sur.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALMAGUER, A., ZAMARSKY, V. Estudio de la distribución del Fe, Ni y Co en los tamaños de granos que componen el perfil de las cortezas de intemperismo de las rocas ultra básicas hasta su desarrollo laterítico y su relación con la mineralogía. Revista Minería y Geología No. 2/93. Moa, 1993.
2. ANDREIVE, S., PEROV, V., ZVERIEVICH, V. (1980). Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales, Editorial Mir, Moscú.
3. CORDEIRO, C., COLLAZO, J., VOSKRESENSKAYA, N. Solubilidad del níquel asociado con diferentes minerales. Revista Minería en Cuba. pp. No.1. Vol.3. 1977.
4. CORDEIRO, C., COLLAZO, J., VOSKRESENSKAYA, N. Análisis Químico de Fases en Lateritas Cubanas. Revista Minería y Geología 3/87. pp. 53-62. 1987.
5. CRUZ, E. (2011). Beneficio granulométrico de la mena laterítica. Evaluación técnico económico a diferentes escalas. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
6. DERCACH, B. (1966). Métodos especiales de beneficio. Editorial Mir, Moscú.
7. FALCÓN, J. (1997). Análisis de la preparación mecánica de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
8. LEDESMA, L. (2008). Influencia del beneficio en la productividad del proceso de molienda de la laterita en la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

9. MESTRE, C. (2010). Impacto de beneficio de la mena laterítica en los procesos de moliendas y hornos de reducción de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
10. MILIA, I., CRUZ, F., SERRA, A. Caracterización de Hidrosilicatos Niquelíferos de Yacimientos Cubanos. Revista Tecnológica. No.2. Vol. XIX. pp.6-13. 1989.
11. ORIOL, J., AGUILAR, F., (1988). Máquinas de transporte continuo. Pueblo y educación.
12. PONCE, N. Mineralogía y composición sustancial de la mena del yacimiento Delta. Serie Geológica No.2. pp. 65-72. 1984.
13. PONCE, N. Mineralogía y composición sustancial de las muestras patrones de lateritas. Serie Geológica No.1. pp. 75-82. 1988.
14. Reporte Técnico de Preparación de Muestras Tecnológicas de los Minerales a procesar por la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” en el año 2012.
15. ROJAS, A., LAPIN, A., FERNÁNDEZ M. Valoración Mineralógica del material procesado en la fábrica Ernesto Guevara. Revista minería y geología. No.2/93. 1993.
16. SIERRA, R., LEGRÁ, A. (2009). Caracterización de la mena laterítica para el ajuste de parámetros tecnológicos del transportador de banda. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

ANEXOS

Anexo 1. Resultado de la composición química de las muestras (4. 4; 2. 0; 3. 3 y 5. 0), con sus respectivas réplicas.

Número	Muestras	Ni	Co	Fe	SiO ₂
5 580	1 - 4. 4	0, 92	0, 06	45, 00	4, 59
5 581	2 - 4. 4	1, 03	0, 062	48, 90	4, 6
5 582	3 - 4. 4	1, 05	0, 058	49, 80	5, 21
5 583	4 - 4. 4	1, 03	0, 061	50, 50	4, 69
5 584	5 - 4. 4	1, 11	0, 067	49, 40	4, 84
5 585	6 - 4. 4	0, 93	0, 056	44, 70	4, 87
Promedio		1, 01	0, 06	48, 05	4, 80
5 586	1 - 2. 0	0, 32	0, 029	37, 60	7, 38
5 587	2 - 2. 0	0, 33	0, 03	37, 40	3, 81
5 588	3 - 2. 0	0, 37	0, 032	37, 20	2, 68
5 589	4 - 2. 0	0, 35	0, 03	38, 40	2, 57
5 590	5 - 2. 0	0, 32	0, 031	37, 70	3, 59
5 591	6 - 2. 0	0, 32	0, 027	36, 90	7, 99
Promedio		0, 34	0, 03	37, 53	4, 67
5 592	1 - 3. 3	1, 24	0, 043	50, 40	0, 98
5 593	2 - 3. 3	1, 28	0, 05	50, 70	1, 14
5 594	3 - 3. 3	1, 25	0, 041	50, 70	1, 27
5 595	4 - 3. 3	1, 21	0, 042	50, 50	1, 08
5 596	5 - 3. 3	1, 25	0, 039	50, 90	0, 95
5 597	6 - 3. 3	1, 19	0, 042	50, 40	0, 99
5 598	7 - 3. 3	1, 18	0, 042	50, 40	2, 11
5 599	8 - 3. 3	1, 26	0, 04	50, 80	2, 22
Promedio		1, 23	0, 04	50, 60	1, 34
5 600	1 - 5. 0	0, 62	0, 035	44, 70	2, 24
5 601	2 - 5. 0	0, 59	0, 029	44, 30	2, 25
5 602	3 - 5. 0	0, 53	0, 028	43, 70	2, 26
5 603	4 - 5. 0	0, 58	0, 031	44, 00	2, 13
5 604	5 - 5. 0	0, 69	0, 039	45, 20	2, 14
5 605	6 - 5. 0	0, 71	0, 044	45, 20	2, 21
Promedio		0, 62	0, 03	44, 52	2, 21

Anexo 1. 1. Resultados de la composición química de las muestras (4. 4; 2. 0; 3. 3 y 5. 0), con sus respectivas réplicas.

Número	Muestras	MgO	Al ₂ O ₃	Mn	Cr
5 580	1 - 4. 4	1, 08	9, 56	0, 63	1, 96
5 581	2 - 4. 4	1, 02	9, 95	0, 62	1, 35
5 582	3 - 4. 4	1, 60	10, 18	0, 59	2, 22
5 583	4 - 4. 4	1, 05	9, 77	0, 53	1, 54
5 584	5 - 4. 4	1, 18	10, 26	0, 58	1, 73
5 585	6 - 4. 4	1, 09	10, 15	0, 69	1, 39
Promedio		1, 17	9, 98	0, 71	1, 96
5 586	1 - 2. 0	0, 94	12, 05	0, 12	1, 32
5 587	2 - 2. 0	0, 50	10, 94	0, 14	1, 22
5 588	3 - 2. 0	0, 34	10, 90	0, 18	1, 34
5 589	4 - 2. 0	0, 40	10, 03	0, 16	1, 11
5 590	5 - 2. 0	0, 43	9, 34	0, 13	1, 72
5 591	6 - 2. 0	0, 93	12, 68	0, 17	1, 42
Promedio		0, 59	10, 99	0, 15	1, 36
5 592	1 - 3. 3	< 0, 00	27, 11	0, 72	1, 92
5 593	2 - 3. 3	< 0, 00	26, 63	0, 94	2, 10
5 594	3 - 3. 3	< 0, 00	26, 23	0, 79	1, 88
5 595	4 - 3. 3	< 0, 00	25, 57	0, 81	1, 72
5 596	5 - 3. 3	< 0, 00	26, 79	0, 73	1, 96
5 597	6 - 3. 3	< 0, 00	26, 74	0, 45	1, 83
5 598	7 - 3. 3	0, 33	8, 09	0, 48	1, 23
5 599	8 - 3. 3	0, 36	7, 44	0, 77	1, 45
Promedio		0, 35	21, 83	0, 71	1, 76
5 600	1 - 5. 0	0, 35	6, 86	0, 34	1, 34
5 601	2 - 5. 0	0, 34	7, 05	0, 28	1, 11
5 602	3 - 5. 0	0, 34	6, 89	0, 24	1, 72
5 603	4 - 5. 0	0, 32	7, 73	0, 26	1, 23
5 604	5 - 5. 0	0, 32	7, 56	0, 45	1, 33
5 605	6 - 5. 0	0, 34	6, 88	0, 48	1, 54
Promedio		0, 34	7, 16	0, 34	1, 38

Anexo 1. 2. Resultados de la composición química de las muestras (2. 2; 8. 8 y 9. 9), con sus respectivas réplicas.

Número	Muestras	Ni	Co	Fe	SiO ₂
5 606	8 - 2. 2	1, 21	0, 102	46, 3	1, 28
5 607	9 - 2. 2	1, 22	0, 103	46, 6	1, 24
5 608	10 - 2. 2	1, 20	0, 105	46, 3	1, 20
5 609	11 - 2. 2	1, 20	0, 101	47, 2	1, 29
5 610	12 - 2. 2	1, 18	0, 104	46, 4	5, 28
5 611	13 - 2. 2	1, 30	0, 099	46, 4	5, 81
5 612	14 - 2. 2	1, 24	0, 103	47, 00	5, 25
5 613	1 - 2. 2	1, 22	0, 103	46, 50	5, 37
5 614	2 - 2. 2	1, 17	0, 103	45, 60	5, 80
5 615	3 - 2. 2	1, 15	0, 102	45, 80	5, 29
5 616	4 - 2. 2	1, 23	0, 104	45, 20	6, 37
5 617	5 - 2. 2	1, 28	0, 103	47, 40	4, 31
5 618	6 - 2. 2	1, 20	0, 097	47, 20	4, 67
5 619	7 - 2. 2	1, 20	0, 099	46, 90	5, 34
Promedio		1, 21	0, 10	46, 49	4, 18
5 667	1 - 8. 8	1, 55	0, 084	37, 80	12, 08
5 668	2 - 8. 8	1, 60	0, 082	37, 00	12, 33
5 669	3 - 8. 8	1, 61	0, 085	38, 00	11, 79
5 670	4 - 8. 8	1, 56	0, 081	36, 50	12, 37
5 671	5 - 8. 8	1, 65	0, 08	35, 10	12, 99
5 672	6 - 8. 8	1, 48	0, 079	34, 90	13, 71
5 673	7 - 8. 8	1, 57	0, 08	35, 50	13, 53
5 674	8 - 8. 8	1, 60	0, 083	38, 20	11, 68
Promedio		1, 58	0, 08	36, 63	12, 56
5 675	1 - 9. 9	1, 39	0, 055	22, 70	26, 68
5 676	2 - 9. 9	1, 49	0, 057	24, 20	23, 49
5 677	3 - 9. 9	1, 44	0, 058	25, 20	22, 39
5 678	4 - 9. 9	1, 43	0, 051	21, 10	26, 12
5 679	5 - 9. 9	1, 75	0, 047	19, 00	25, 43
5 680	6 - 9. 9	1, 49	0, 06	25, 90	22, 40
5 681	7 - 9. 9	1, 53	0, 056	24, 20	23, 62
5 682	8 - 9. 9	1, 40	0, 054	22, 10	25, 18
Promedio		1, 49	0, 05475	23, 05	24, 41375

Anexo 1. 3. Resultados de la composición química de las muestras (2. 2; 8. 8 y 9. 9), con sus respectivas réplicas.

Número	Muestras	MgO	Al ₂ O ₃	Mn	Cr
5 606	8 - 2. 2	0, 09	16, 44	0, 62	1, 22
5 607	9 - 2. 2	0, 06	17, 2	0, 59	1, 34
5 608	10 - 2. 2	0, 03	18, 68	0, 53	1, 11
5 609	11 - 2. 2	0, 08	17, 62	0, 58	1, 72
5 610	12 - 2. 2	1, 34	8, 96	0, 81	1, 88
5 611	13 - 2. 2	1, 78	8, 12	0, 73	1, 72
5 612	14 - 2. 2	1, 13	8, 07	0, 45	1, 96
5 613	1 - 2. 2	1, 50	8, 81	0, 48	1, 83
5 614	2 - 2. 2	1, 53	9, 04	0, 59	1, 23
5 615	3 - 2. 2	1, 37	9, 10	0, 53	1, 35
5 616	4 - 2. 2	2, 21	8, 10	0, 58	2, 22
5 617	5 - 2. 2	1, 03	8, 07	0, 69	1, 54
5 618	6 - 2. 2	1, 18	8, 71	0, 45	1, 73
5 619	7 - 2. 2	1, 54	8, 93	0, 48	1, 39
Promedio		1, 06	11, 13	0, 58	1, 59
5 667	1 - 8. 8	5, 25	6, 80	0, 81	1, 11
5 668	2 - 8. 8	5, 62	7, 06	0, 73	1, 72
5 669	3 - 8. 8	5, 17	6, 75	0, 45	1, 23
5 670	4 - 8. 8	5, 70	6, 91	0, 48	1, 33
5 671	5 - 8. 8	6, 28	6, 77	0, 59	1, 96
5 672	6 - 8. 8	7, 30	6, 64	0, 45	1, 83
5 673	7 - 8. 8	6, 31	6, 52	0, 48	1, 23
5 674	8 - 8. 8	5, 16	6, 70	0, 77	1, 35
Promedio		5, 85	6, 77	0, 595	1, 47
5 675	1 - 9. 9	13, 45	5, 75	0, 58	1, 88
5 676	2 - 9. 9	14, 11	5, 83	0, 81	1, 72
5 677	3 - 9. 9	13, 57	5, 78	0, 73	1, 96
5 678	4 - 9. 9	16, 42	5, 26	0, 45	1, 83
5 679	5 - 9. 9	16, 67	5, 21	0, 48	1, 23
5 680	6 - 9. 9	13, 07	6, 01	0, 69	1, 45
5 681	7 - 9. 9	14, 30	5, 67	0, 77	2, 22
5 682	8 - 9. 9	15, 43	5, 79	0, 81	1, 54
Promedio		14, 6275	5, 6625	0, 665	1, 73

Anexo 2. Resultados del análisis granulométrico de las muestras 3. 3 y 4. 4

Clases de tamaño, mm	MUESTRA 3. 3			MUESTRA 4. 4		
	Masa, g	Salida, %	Salida sumaria (+), %	Masa, g	Salida, %	Salida sumaria (+), %
+ 13, 2	14, 07	4, 22	4, 22	9, 47	2, 99	2, 99
- 13, 2 + 10	8, 17	2, 45	6, 67	8, 17	2, 58	5, 57
- 10 + 6, 3	31, 00	9, 29	15, 96	33, 17	10, 47	16, 03
- 6, 3 + 5	18, 13	5, 44	21, 40	20, 43	6, 45	22, 48
- 5 + 3, 5	35, 40	10, 61	32, 01	29, 80	9, 40	31, 89
- 3, 5 + 2	47, 13	14, 13	46, 14	34, 53	10, 90	42, 79
- 2 + 1, 6	27, 20	8, 16	54, 30	19, 97	6, 30	49, 09
- 1, 6 + 1	50, 03	15, 00	69, 30	38, 43	12, 13	61, 22
- 1 + 0, 71	0, 47	0, 14	69, 44	0, 70	0, 22	61, 44
- 0, 71 + 0, 4	2, 87	0, 86	70, 30	2, 13	0, 67	62, 11
- 0, 4 + 0, 315	1, 57	0, 47	70, 77	1, 67	0, 53	62, 64
- 0, 315 + 0, 2	3, 07	0, 92	71, 69	2, 17	0, 68	63, 32
- 0, 2 + 0, 15	0, 87	0, 26	71, 95	1, 83	0, 58	63, 90
- 0, 15 + 0, 12	0, 50	0, 15	72, 10	0, 73	0, 23	64, 13
- 0, 12 + 0, 074	0, 60	0, 18	72, 28	0, 87	0, 27	64, 40
- 0, 074 + 0, 045	1, 47	0, 44	72, 72	1, 23	0, 39	64, 79
- 0, 045 + 0	91, 00	27, 28	100, 00	111, 57	35, 21	100, 00
Total	333, 53	100, 00		316, 87	100, 00	

Anexo 2. 1. Resultados del análisis granulométrico de las muestras 5. 0 y 8. 8

	MUESTRA 5. 0			MUESTRA 8. 8		
Clases de tamaño, mm	Masa, g	Salida, %	Salida sumaria (+), %	Masa, g	Salida, %	Salida sumaria (+), %
+ 13, 2	3, 43	1, 03	1, 03	18, 30	5, 49	5, 49
- 13, 2 + 10	8, 17	2, 45	3, 48	10, 33	3, 10	8, 59
- 10 + 6, 3	20, 90	6, 27	9, 75	33, 40	10, 01	18, 60
- 6, 3 + 5	19, 43	5, 83	15, 58	12, 70	3, 81	22, 41
- 5 + 3, 5	46, 47	13, 94	29, 51	24, 53	7, 36	29, 77
- 3, 5 + 2	61, 43	18, 43	47, 94	31, 13	9, 34	39, 10
- 2 + 1, 6	29, 73	8, 92	56, 86	16, 13	4, 84	43, 94
- 1, 6 + 1	51, 27	15, 38	72, 24	33, 03	9, 91	53, 85
- 1 + 0, 71	8, 63	2, 59	74, 83	0, 80	0, 24	54, 09
- 0, 71 + 0, 4	18, 50	5, 55	80, 37	3, 03	0, 91	55, 00
- 0, 4 + 0, 315	5, 23	1, 57	81, 94	1, 17	0, 35	55, 35
- 0, 315 + 0, 2	3, 07	0, 92	82, 86	1, 43	0, 43	55, 77
- 0, 2 + 0, 15	5, 67	1, 70	84, 56	2, 60	0, 78	56, 55
- 0, 15 + 0, 12	2, 57	0, 77	85, 33	1, 20	0, 36	56, 91
- 0, 12 + 0, 074	2, 40	0, 72	86, 05	1, 20	0, 36	57, 27
- 0, 074 + 0, 045	5, 13	1, 54	87, 59	5, 50	1, 65	58, 92
- 0, 045 + 0	41, 37	12, 41	100, 00	137, 00	41, 08	100, 00
Total	333, 40	100, 00		333, 50	100, 00	

Anexo 2. 2. Resultados del análisis granulométrico de la muestra 9. 9

MUESTRA 9. 9			
Clases de tamaño, mm	Masa, g	Salida, %	Salida sumaria (+), %
+ 13, 2	15, 73	5, 63	5, 63
- 13, 2 + 10	9, 83	3, 52	9, 15
- 10 + 6, 3	29, 37	10, 52	19, 67
- 6, 3 + 5	15, 50	5, 55	25, 22
- 5 + 3, 5	25, 60	9, 17	34, 39
- 3, 5 + 2	29, 87	10, 69	45, 08
- 2 + 1, 6	14, 90	5, 34	50, 42
- 1, 6 + 1	30, 47	10, 91	61, 33
- 1 + 0, 71	1, 33	0, 48	61, 80
- 0, 71 + 0, 4	4, 53	1, 62	63, 43
- 0, 4 + 0, 315	2, 13	0, 76	64, 19
- 0, 315 + 0, 2	1, 50	0, 54	64, 73
- 0, 2 + 0, 15	2, 73	0, 98	65, 71
- 0, 15 + 0, 12	1, 13	0, 41	66, 11
- 0, 12 + 0, 074	1, 70	0, 61	66, 72
- 0, 074 + 0, 045	6, 17	2, 21	68, 93
- 0, 045 + 0	86, 77	31, 07	100, 00
Total	279, 27	100, 00	

Anexo 3. Balanza técnica.



Anexo 4. Principales minerales de los yacimientos Yagrumaje Norte y Sur.

