



Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero en Metalurgia y Materiales

Tema: Revisión y evaluación de los escombros lateríticos para la síntesis de electrodos negativos de hierro en baterías de Ni/Fe.

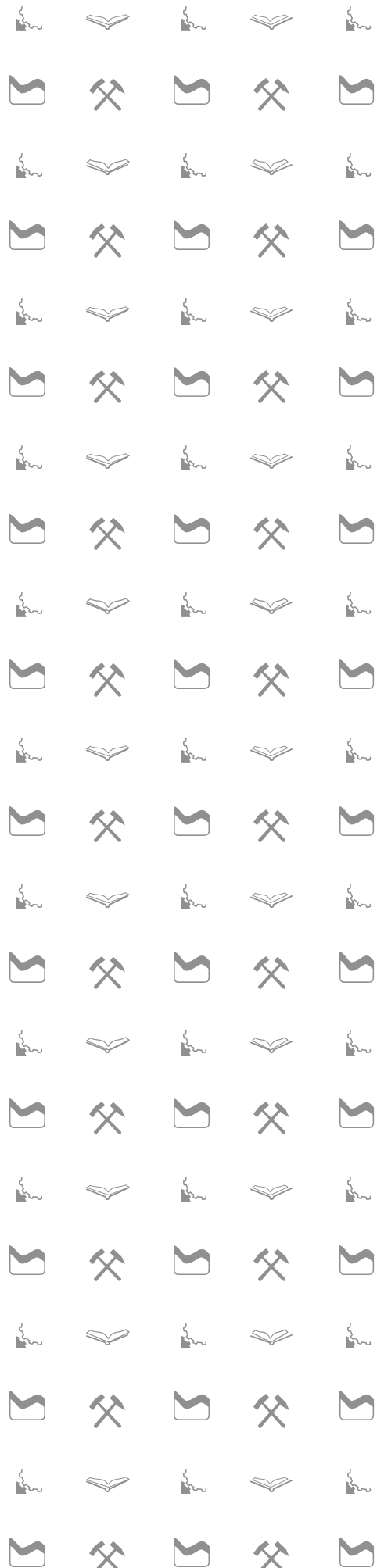
Autor: Alexander Ceiro Bisset

Tutor: Ing. Daniel Alberto García Torres

Dr C. Eulícer Fernández Maresma

Moa 2024

“Año 66 de la Revolución”



Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero en Metalurgia y Materiales

Tema: Revisión y evaluación de los escombros lateríticos para la síntesis de electrodos negativos de hierro en baterías de Ni/Fe.

Autor: Alexaander Cerio Bisset

Tutor: Ing. Daniel Alberto García Torres

DrC. Eulícer Fernández Maresma

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle ante todo a Dios por este gran logro en mi vida después de varios años de sacrificio, luego a mis padres que fueron un motor impulsor para mí en los momentos más difíciles de esta carrera sin dejar fuera a toda la familia que todos aportaron su grano de arena. Mis agradecimientos también para mis tutores que me apoyaron muchísimo y mis amigos y compañeros de la universidad.

DEDICATORIA

El presente trabajo de diploma en la opción de ingeniero se lo dedico a toda mi familia en especial a mi mamá María Rosa Bisset Almeida y mi papá René Ceiro Reinaldo que siempre me dieron su apoyo incondicional en mi formación como profesional.

RESUMEN

Las baterías de níquel-hierro (Ni/Fe) tienen una vida útil prolongada y son ideales para sistemas de energía solar y otros equipos que requieren una fuente de energía sostenible y segura.

Por tanto, si tenemos en cuenta que para el desarrollo de estas batería se necesita de materias primas para su fabricación, en este caso de electrodo (ánodo de hierro), teniendo en cuenta esto se hizo una búsqueda bibliográfica donde se sintetizó a detalles el trabajo con la laterita. Las muestras fueron analizadas granulométricamente por vía seca y húmeda, se realizaron análisis fraccional magnético y mineralógico utilizando técnicas como difracción y fluorescencia de rayos X. Se utilizaron equipos como el Difractómetro automático para texturas y el Microscopio Electrónico de Barrido para observar la morfología de los granos de mineral y sus fases. En el caso de la bibliografía consultada estos se centran en el análisis y estudio de los escombros lateríticos de la Zona "A" en Moa. Teniendo como resultados: el análisis granulométrico muestra que las partículas mayores de 80 μm agrupan el 60, 83 % del material, y las de tamaños medios entre 0, 38 mm y 2, 2 mm alcanzan el 39, 62 %. La caracterización química muestra que el hierro es el elemento mayoritario en las partículas más gruesas, disminuyendo hacia las más finas. El análisis mineralógico identificó las principales fases mineralógicas presentes en los escombros, incluyendo goethita, hematita, gibbsita y cromoespinelas.

Palabras claves: Búsqueda bibliográfica, Baterías, escombros lateríticos, hierro.

SUMMARY

Nickel-iron (Ni/Fe) batteries have a long life and are ideal for solar energy systems and other equipment that requires a sustainable and safe energy source.

Therefore, if we take into account that for the development of these batteries, raw materials are needed for their manufacture, in this case an electrode (iron anode), taking this into account, a bibliographic search was carried out where details were synthesized. work with laterite. The samples were analyzed granulometrically by dry and wet methods, magnetic and mineralogical fractional analysis was carried out using techniques such as diffraction and X-ray fluorescence. Equipment such as the automatic diffractometer for textures and the Scanning Electron Microscope were used to observe the morphology of the grains. of mineral and its phases. In the case of the bibliography consulted, these focus on the analysis and study of the lateritic debris from Zone "A" in Moa. Having as results: the granulometric analysis shows that particles larger than 80 μm group 60.83 % of the material, and those with average sizes between 0.38 mm and 2.2 mm reach 39.62 %. The chemical characterization shows that iron is the majority element in the coarser particles, decreasing towards the finer ones. Mineralogical analysis identified the main mineralogical phases present in the debris, including goethite, hematite, gibbsite and chromspinel.

Keywords: Bibliographic search, Batteries, lateritic rubble, iron.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	V
SUMMARY.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	2
CAPITULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.1 Fundamentos de las baterías Ni-Fe.....	5
1.2 Ejemplos de trabajos donde se concentró hierro a partir de los escombros.....	8
1.3 Análisis bibliográfico en cuanto a las características de los escombros.....	10
1.3.1 Composición Mineralógica.....	11
1.3.2 Composición Química.....	11
1.3.3 Granulometría de los escombros.....	11
Conclusiones del capítulo 1.....	13
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	14
2.1 Selección y preparación de las muestras.....	14
2.2. Equipos y técnicas empleadas en la caracterización de los escombros.....	15
2.2.1 Equipos y técnicas empleadas en la caracterización de los escombros.....	17
2.2.2 Teoría de separación de componentes útiles. (Teoría de Tjonov).....	18
Conclusiones del capítulo 2.....	21
CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	22
3.1 Caracterización granulométrica.....	22
3.2 Caracterización química.....	24
3.3. Variación del contenido de los elementos químicos en las diferentes fracciones granulométricas.....	25
3.4. Caracterización mineralógica.....	26

3.4.1. Se puede resumir del análisis mineralógico lo siguiente:	27
3.5. Estudio por difracción de RX.....	28
3.6 Análisis del beneficio según el tamaño de las partículas.	28
3.7. Análisis del beneficio según el tamaño y la susceptibilidad magnética.....	30
3.8. Cálculo y análisis de los índices tecnológicos del beneficio.....	31
3.9. Planteamiento de un esquema para el análisis y toma de muestra de los escombros lateríticos.....	34
Conclusiones del capítulo 3.....	36
CONCLUSIONES GENERALES	37
RECOMENDACIONES	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

INTRODUCCIÓN

Los minerales lateríticos de la región de Moa, Cuba, destinados a la extracción de níquel más cobalto están valorados en grandes volúmenes de mineral; la laterita compuesta por alto y bajo por ciento de elementos valiosos se encuentra por debajo de la capa vegetal, los cuales son considerados escombros lateríticos.

Estos desechos con normalidad no se tienen en cuenta en la obtención de níquel, ya que el porcentaje mínimo de este elemento no alcanza los requerimientos necesarios para su procesamiento.

Muchos de los estudios realizados a estos escombros están verificados a la producción de hierro y acero por la gran cantidad de Fe que este posee, arrojando como características que: desde el punto de vista mineralógico, los escombros se componen de maghemita, goethita y cantidades menores de hematites, cromo espinelas, cuarzo y gibsita. En la región de Moa, (este de Cuba), existen importantes reservas de yacimientos lateríticos que se explotan desde hace más de 50 años, con lo cual se han generado más de 100 millones de toneladas de escombros. (López, 2006). Grandes volúmenes de mineral de hierro en este caso.

Hace pocos análisis realizados por investigadores del centro de estudios del níquel por sus siglas (CEDINIQ) de conjuntos con profesores de la Universidad Dr C. Antonio Núñez Jiménez evalúan las diferentes fases de hierro presente en la laterita, colas rojas y negras con el objetivo de obtener un método que permita abrir una nueva brecha en el desarrollo de las energías renovables, enfocados en la síntesis de hidróxido de hierro para ser utilizado como ánodo en baterías de Ni/ Fe.

Tras haber investigado el desarrollo de un cátodo como electrodo, se obtuvieron resultados favorables en este sentido, logrando sintetizar un hidróxido de níquel funcionalizado con manganeso con propiedades electroquímicas prometedoras. No es de ocultar que debido a la falta de combustibles fósiles en nuestro país nos vemos en la necesidad de crear nuevas vías en cuanto a la sustitución o uso necesario de este.

El desarrollo de las energías limpias en la actualidad es en el mundo un tema de debate, ya que la quema de estos combustibles fósiles trae consigo el aumento de contaminantes a nuestra atmósfera y con ello la degradación de la capa de ozono, por lo que impulsados por

el deseo de cuidar el medio que nos rodea y de avanzar en nuevos campos de la investigación proponemos el análisis de estas materias primas para la obtención del electrodo de hierro.

Muchos han sido los investigadores que han trabajado en el desarrollo de estas baterías de Ni/Fe por sus características distintivas en cuanto al resto de producciones (baterías recargables), refiriéndonos a algunas de estas características podemos decir que: (Julian Allera, 2017)

- Estas baterías tienen una esperanza de vida más larga en comparación con otras tecnologías, con una garantía mínima de 25 años y una vida promedio de 30-40 años
- Las baterías de níquel-hierro son robustas y pueden soportar abusos eléctricos y mecánicos.
- Permiten descargas más profundas que las baterías convencionales de plomo-ácido sin afectar su vida útil.

Estas características hacen que los acumuladores de níquel-hierro sean una opción a considerar para aplicaciones donde la durabilidad, la resistencia y la capacidad de descarga profunda son fundamentales, como en sistemas de almacenamiento de energía solar, aplicaciones fuera de la red, entre otros.

Por lo que debido a su gran prestación y teniendo en cuenta los enormes volúmenes de hierro presente en nuestro territorio, además de la capacidad de grandes estudiosos del tema solo nos queda el reto de desarrollar tal investigación. Por lo que a partir de esta evaluación proponemos como **situación problémica:** el insuficiente conocimiento de los escombros lateríticos de la región de Moa y su composición mineralógica para su posterior fin como materia prima electrodo negativo (FeOOH) en baterías de Ni/Fe.

Objeto de estudio: Escombros lateríticos de la región de Moa.

Campo de acción: Evaluar el comportamiento de las principales fases de hierro presentes en los escombros lateríticos para la obtención de hidróxido de hierro

Objetivo general:

- Estudio y análisis de las literaturas existente sobre la composición mineralógica de los escombros lateríticos de la región de Moa.
- Evaluar las diferentes fases de hierro presentes en los escombros lateríticos para la síntesis de electrodos de hierro (FeOOH) basada en la literatura existente.

Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica exhaustiva de estudios previos sobre la mineralogía de los escombros lateríticos de la región de Moa.
- analizar datos sobre las diferentes fases de hierro presentes en los escombros lateríticos.
- Identificar las fases de hierro para la síntesis de electrodos de (FeOOH) en baterías de Ni/Fe.

Hipótesis:

Si se caracterizan y evalúan las diferentes fases de hierro presentes en los escombros lateríticos de la región de Moa, se podrán identificar las fases más adecuadas para la síntesis de electrodos de hierro (FeOOH) y como esta beneficiaría el desarrollo de baterías de Ni/Fe.

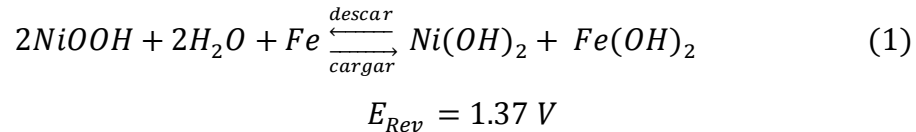
CAPITULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

El primer capítulo expondremos los aspectos fundamentales que tuvimos en cuenta para el desarrollo de la investigación en cuanto al estado actual del arte, estudio de los escombros, caracterización de las baterías, su diseño y el porqué del análisis de la laterita. Además, de tener en cuenta que todo el desarrollo de la investigación va dirigido a revisiones bibliográficas, sobre trabajos referentes con la mineralogía, estructura cristalina y composición químicas de la laterita.

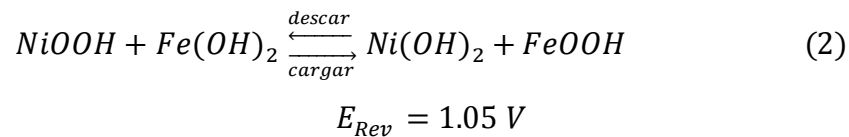
Las demandas energéticas están en constante crecimiento por lo que la asesoría de información sobre la mineralogía de los escombros (laterita) podría darnos aún más posibilidad en cuanto al área de beneficio de estos, a partir de esta búsqueda bibliográfica evaluaremos cuáles de los depósitos es más factible en la obtención de un concentrado de hierro para ser utilizado como ánodo en las baterías de Ni/Fe.

1.1 Fundamentos de las baterías Ni-Fe

La batería Ni-Fe se basa en el uso de oxihidróxido de níquel (NiOOH) en el electrodo positivo y hierro en el electrodo negativo. Las reacciones de carga-descarga de la batería son:



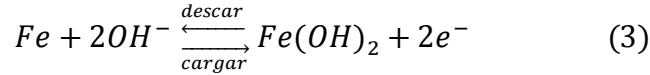
Bajo descarga profunda, una celda de Ni-Fe con una configuración limitada negativa experimentará una reacción de descarga adicional a un potencial menor que el primer paso representado por la reacción (1), es decir



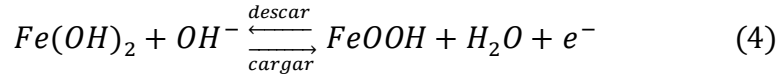
Las reacciones de la celda son altamente reversibles en el electrolito alcalino, particularmente si la descarga se limita al primer paso. La reversibilidad en los dos electrodos confiere un largo ciclo de vida de carga-descarga de la batería. Los dos conjuntos de electrodos están dispuestos alternativamente y entrelazados con separadores porosos, generalmente de cloruro de polivinilo, polietileno, poliamida o polipropileno. Toda la pila de electrodos se mantiene sumergida en una solución de electrolito alcalino (30 % en peso de KOH acuoso). Los terminales de celda y los enlaces generalmente están hechos de acero dulce niquelado. Las celdas están provistas de venteos, que pueden ser de diferentes diseños, para evitar derrames y carbonatación mientras permiten el escape de los gases producidos en la celda. Las

células de Ni-Fe limitadas en positivo producen un mejor ciclo de vida (Linden, Manual de baterías y celdas de combustible, 1983)

Las reacciones de carga-descarga en el electrodo negativo de la celda de Ni-Fe ocurren en dos pasos representados como

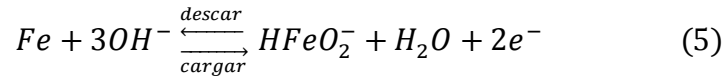


$$E^0 = -0.88 V$$

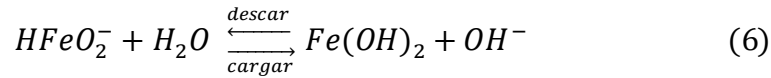


$$E^0 = -0.56 V$$

El mecanismo de reacción del electrodo (3) involucra tanto fases sólidas como líquidas (mecanismo heterogéneo) con HFe_2^- como el ion intermedio disuelto que, en una descarga adicional, se convierte en $Fe(OH)_2$. Por lo tanto, el curso real de la reacción del electrodo (3) es

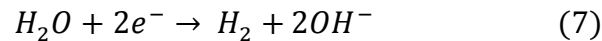


Seguido por



Durante la descarga prolongada del electrodo de hierro, hay un cambio continuo en la composición del $Fe(OH)_2$ activo a $\delta - FeOOH$ y, similar al electrodo positivo de níquel, el mecanismo de la reacción del electrodo implica la difusión de protones entre las redes sólidas de $Fe(OH)_2$ y $\delta - FeOOH$ (Linden, Manual de baterías y celdas de combustible, 1983).

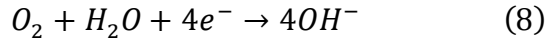
Como la transformación de $Fe(OH)_2$ a $\delta - FeOOH$ es una característica masiva, el mecanismo involucrado durante el segundo paso de descarga es de naturaleza homogénea. El potencial de circuito abierto del electrodo de hierro alcalino cargado es siempre más catódico que la reacción del electrodo de hidrógeno en la misma solución. En consecuencia, el hierro es termodinámicamente inestable y sufre corrosión (AK Shukla, 2001) a través de células locales con reacción de evolución de hidrógeno



$$E^0 = -0.83 V$$

como reacción conjugada.

Además, el oxígeno disuelto en una solución alcalina también puede provocar una reacción de reducción de oxígeno.



$$E^0 = -0.83 V$$

Debido a estas reacciones de corrosión, los electrodos de hierro alcalino experimentan una autodescarga de aproximadamente 1 a 2 % de su capacidad nominal por día a 25 °C. El desprendimiento de hidrógeno también ocurre concomitantemente mientras se cargan los electrodos de hierro alcalino y produce una disminución en la aceptación de carga. El grado de utilización (o eficiencia Faradaica) del electrodo de hierro, basado en la reacción (3), varía desde alrededor del 30 % para electrodos de hierro comercialmente puro hasta el 60 % para electrodos que comprenden hierro de alta pureza (AK Shukla, 2001).

El perfil de autodescarga de una celda de Ni-Fe 6 indica que la tasa de autodescarga podría llegar al 8-10 % de la capacidad nominal por día a una temperatura operativa de aproximadamente 40 °C. Por lo tanto, a altas temperaturas ambientales, la batería de Ni-Fe es útil solo para aplicaciones donde el programa de trabajo permite una recarga al menos en aproximadamente en días alternos, a fin de que durante la descarga esté disponible un mínimo del 80 % de la capacidad nominal. A las 20 °C y por debajo, la tasa de autodescarga de la celda de Ni-Fe es, sin embargo, considerablemente menor. A estas temperaturas operativas, el intervalo entre recargas podría ser de un mes o más para que la batería pueda entregar al menos el 80 % de su capacidad nominal en cualquier momento.

A temperaturas operativas < 30 °C el ciclo de vida de carga-descarga de las baterías de Ni-Fe es del orden de 3000 ciclos en condiciones normales de uso en vehículos de tracción industrial y servicio de vagones de ferrocarril que involucran descargas profundas entre ciclos, vibraciones moderadas y choques con bastantes horarios regulares de trabajo. En condiciones de uso similares, se ha logrado una vida útil de unos 20 años para las baterías de Ni-Fe. Pero a temperaturas operativas de alrededor de 45 °C, la vida útil de la batería de Ni-Fe es de casi 1500 ciclos de carga y descarga con alrededor de 8 años de vida útil. La vida útil húmeda de las baterías de Ni-Fe en estado descargado supera los 2 años. La batería proporciona el ciclo de vida normal de carga y descarga incluso después de un período continuo de almacenamiento húmedo en su estado descargado. La vida útil en húmedo se puede extender a 10 años o más con un ciclo de reacondicionamiento cada 6 meses aproximadamente. Por lo tanto, incluso con programas de trabajos irregulares o períodos de negligencia en condiciones de campo, la vida útil real de las baterías de Ni-Fe no se ve afectada. La única operación de mantenimiento de rutina para las baterías en servicio es la adición de agua para compensar las pérdidas durante la sobrecarga (Unido, 1992).

Por tanto, las baterías Ni-Fe tienen una larga vida útil, son resistentes a la corrosión y pueden soportar altas temperaturas, lo que las hace ideales para su uso en sistemas de energía solar, eólicos y otros equipos que tengan sensibilidad por estas. En cuanto al medio ambiente son más respetuosas, ya que no emiten gases tóxicos durante su uso y no contienen ácido sulfúrico. Por lo que, son una opción atractiva para aquellos que buscan una fuente de energía sostenible y segura para sus necesidades de energía de respaldo o almacenamiento de energía renovable (Torres, 2023).

1.2 Ejemplos de trabajos donde se concentró hierro a partir de los escombros

A finales de los años 80 y principios de los 90, investigadores del Departamento de Metalurgia del Instituto Superior Minero Metalúrgico realizaron un grupo importante de trabajos encaminados al beneficio de las lateritas y sus escombros con varios enfoques, que han quedado resumidos en los trabajos de (Hernández, Mazar, Carbonell, & Matos, 1997); (Velázquez, Mazar, Flores, & Serrano, 1998).

En el Centro de investigaciones para la industria minero metalúrgica (CIPIMM) y el Centro de Investigaciones siderúrgicas (CIS) de Nicaro se realizaron pruebas a escala de laboratorio y semindustrial utilizando escombros lateríticos de Moa, sin embargo, no se definieron esquemas tecnológicos para el beneficio integral de estos materiales. En tanto que, la caracterización química y granulométrica de los escombros de la zona Atlántica, la realizó Ramírez, B, 1994; mientras que Hernández, M, en 1994 caracterizó, desde el punto de vista magnético, esta materia prima.

Coello, A, en 1998 realiza un análisis fraccional de los escombros lateríticos utilizando, como propiedades físicas para la separación de componentes, el diámetro y la susceptibilidad magnética de las partículas. En el mismo se caracteriza el escombros laterítico para su preconcentración mecánica a través de la determinación de las funciones de distribución γ (ξ) y β (ξ ,) planteándose que, de acuerdo a las regularidades que siguen las funciones de distribución considerando una sola propiedad, solo es posible separar fracciones enriquecidas en níquel e hierro por el tamaño y níquel, cobalto, hierro y manganeso, tomando como propiedad de separación la susceptibilidad magnética, sin embargo, ninguno de los casos responde a las exigencias tecnológicas de un preconcentrado. La utilización del enfoque fraccional por más de una propiedad de separación, pronostica la posibilidad de su procesamiento mecánico para la obtención de un preconcentrado de hierro y cobalto; las funciones de distribución γ (L,I) y β (L,I) por el tamaño y la susceptibilidad magnética así lo demuestran. Se exponen, además, los modelos de

distribución según los cuales, teóricamente, se pueden establecer los principales índices tecnológicos de la separación (Velázquez, Mazar, Flores, & Serrano, 1998).

(Persauld, 2014), los minerales que no utilizó la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba”, en la composición química de estos destaca el alto contenido de hierro hasta un 72 %, el óxido de silicio con 3,2 %, mientras que el contenido de cromo son de 3 % y el óxido de magnesio de 1 %. Los escombros lateríticos de esta zona, pertenecen también al yacimiento Moa Occidental, y han sido almacenados, en dos grandes escombreras, y reforestadas como alternativa de rehabilitación, sin embargo, no han sido utilizados los más de 5 MM de toneladas de estos residuales, a pesar de los estudios preliminares que se han realizado, entre los que destacan los trabajos de Huaraca Taype. (Pérez M. C., 2002).

Almaguer, A y V, Zamarzy 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:

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

El beneficio granulométrico en el tratamiento tecnológico de las menas con la obtención de tamaños de granos apropiados para diferentes fines, trae aparejado ventajas económicas a la industria y al aprovechamiento integral de las lateritas. Coinciden, además con otros autores 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 las gibbsita. El comportamiento del níquel es similar al hierro por lo que se puede asegurar que estas fases también son portadoras de este elemento (Furnaguera & Zamarzy, 1993).

Falcón, J y A, Hernández en 1993, estudiando la preparación y el beneficio de los minerales lateríticos para el proceso de lixiviación ácida a presión, demuestran que, en el escombros los contenidos de níquel, hierro, óxido de cromo y cobalto son: 0,43 %; 50,1 % ; 2,95 % y 0,029 %, respectivamente y que el aumento del hierro en la clase mayor de 0,83 mm es debido a la separación de los perdigones constituidos por aglomerados naturales con elevados contenidos de hierro, siendo la salida de esta clase 38,5 %. También se observan contenidos elevados de este metal en las clases más finas (Hernández & Flores, 1993).

Vershinin, S. A., et. al, en 1984 destaca que: en una gran parte del horizonte de lateritas y de ocre inestructurales está desarrollado en forma de una capa independiente de mena compleja de níquel, cobalto y cromo – hierro. Una gran parte de las reservas en ellas (más de mil millones de toneladas), permiten considerar las lateritas como una fuente de materia prima segura, para la metalurgia ferrosa. Un producto intermedio puede ser la producción de perdigón (es necesario previamente el cribado de los fragmentos grandes hematita – goethita, su molienda y mezcla con la masa de ocre). El siguiente paso sería la aplicación de un esquema de reducción (fundición) en hornos giratorios tubulares y eléctricos y en convertidores. Otra vía de utilización la constituye el uso de las serpentinas para la producción de ferroníquel (Pérez M. C., 2002).

Pons, J; S, Andrade y D, Gutiérrez, en 1995 realizaron un estudio preliminar de los escombros lateríticos del yacimiento Atlantic, para su posible utilización con fines siderúrgicos, utilizando esquemas que combinan diferentes operaciones de Beneficio como: lavado, cribado y beneficio gravitacional en mesas de concentración. Los resultados muestran que los mayores contenidos de hierro se encuentran en el espectro de partículas con diámetros entre 10 y 4 mm (52 – 53 %) y que los mayores valores de salidas corresponden a las fracciones $-4 +2,3$ mm (23,73 %) y $-2,3 +0,83$ mm (22,34 %); mientras que las mejores recuperaciones de hierro y cromo se obtienen en la fracción granulométrica $- 4 + 2,3$ mm (Pérez M. C., 2002).

Los métodos clásicos para el estudio de la beneficiabilidad del escombro laterítico no permiten obtener la información real de su posible tratamiento mecánico dada la complejidad mineralógica del material. La separación de este material en varios componentes considerando una sola propiedad de separación es imposible, (Velázquez, Mazar, Flores, & Serrano, 1998). Una vía para el análisis teórico del beneficio de los minerales la constituye la Teoría de separación del profesor O. N. Tjonov la cual se sustenta en la distribución fraccional de los componentes y las fases minerales, en función de las propiedades físicas y físico – químicas y las características de separación (Velázquez, Mazar, Flores, & Serrano, 1998).

1.3 Análisis bibliográfico en cuanto a las características de los escombros

Teniendo en cuenta las investigaciones de la universidad Dr.C. Antonio Nuñez Jiménez u otros vinculados a el estudio de los escombros lateríticos debido a su potencial como fuente de explotación como es el caso del CEDINIQ. Estos en determinados análisis han podido demostrar por diferentes vías las composiciones mineralógicas, químicas, granulométricas y características físicas de estos residuos sólidos teniendo algunos datos tales como:

1.3.1 Composición Mineralógica

Se ha demostrado que, mineralógicamente en los escombros lateríticos de Moa (sectores Atlantic y Yamanigüey), predominan las fracciones mayores 80 micrones y las fases goethita, hematita, magnetita, maghemita e hidrargilita (hidróxidos de aluminio) (Pérez M. C., 2002).

Con el objetivo de determinar las principales fases mineralógicas presentes en cada una de las fracciones granulométricas obtenidas, se realizó el análisis mineralógico a través de la técnica de difracción de rayos X, más detalles al respecto en los capítulos posteriores.

1.3.2 Composición Química

Por medio del beneficio químico se puede lograr la preconcentración de algunos de los componentes de los minerales, tal es el caso del trabajo realizado por Menocal, y Rivero, M, 1995, donde por medio de la lixiviación ácida se logra recuperar el 25,9 % de manganeso y el 30,6 % del cobalto presentes en la fracción $-0,47 +0,074$ mm de los escombros lateríticos. En esta fracción se encuentran, en mayor medida, los minerales de manganeso (asbolanas) (Purón, 1994).

Como se puede observar, resulta insuficiente el conocimiento que se tiene, en cuanto a propiedades físicas y físico – químicas, de los escombros lateríticos de Zona A, lo que impide establecer las regularidades de los escombros lateríticos de la región de Moa para la selección de métodos y esquemas de beneficio que permitan el aprovechamiento de los elementos valiosos presentes en ellos.

Con el objetivo de determinar el contenido de los elementos químicos presentes, en las muestras de cabeza, en los productos del análisis granulométrico y de la separación magnética, fueron realizados los análisis químicos en el laboratorio central de la empresa Pedro Sotto Alba de Moa, utilizándose la técnica de fluorescencia de Rayos X que permitió determinar, con una alta confiabilidad, los contenidos de los siguientes elementos: hierro, níquel, cobalto, cromo, magnesio, manganeso, aluminio, dióxido de silicio, cinc y cobre (Pérez M. C., 2002).

1.3.3 Granulometría de los escombros

La determinación de la composición granulométrica del material se realizó por vía húmeda y por vía seca para un espectro de diámetro de partículas entre 8 y 0,074 mm. Los tamices fueron escogidos según la serie de Taylor 2 y teniendo en cuenta investigaciones similares realizadas por Ramírez, B., 1994; (Velázquez, Mazar, Flores, & Serrano, 1998) y (Rodríguez, 2001) en el tratamiento de los escombros lateríticos. El análisis granulométrico permitió comparar la distribución de las partículas en todo el

material, así como el comportamiento de las partículas finas principales portadoras de los minerales de níquel y otros elementos valiosos como el aluminio.) (Furnaguera A. A., 1995).

Conclusiones del capítulo 1

- La batería Ni-Fe se basa en el uso de oxihidróxido de níquel (NiOOH) en el electrodo positivo y hierro en el electrodo negativo. Las reacciones de carga-descarga de la batería son altamente reversibles en el electrolito alcalino, lo que le confiere un largo ciclo de vida.
- Los escombros lateríticos, generados por la industria del níquel en Nicaro y Moa, han sido estudiados con vistas a sus posibles usos, los escombros lateríticos de Moa, están compuestos por aglomerados hematínicos, goethitas, serpentinas, espinelas cromíferas y óxidos de hierro (68,50 %), que lo convierten en una posible fuente de materia prima para la industria siderúrgica cubana.

Diversos estudios han explorado el beneficio de los escombros lateríticos, ricos en hierro, para su aprovechamiento en aplicaciones siderúrgicas. Estos trabajos han caracterizado la composición química y granulométrica de estos materiales, así como evaluado esquemas de beneficio por métodos físicos.

Los escombros lateríticos de Moa (sectores Atlantic y Yamanigüey) tienen una composición mineralógica dominada por fracciones mayores de 80 micrones y fases como goethita, hematita, magnetita, maghemita e hidrargilita. La composición química de estos escombros incluye un alto contenido de hierro, manganeso, cobalto y otros elementos valiosos.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo se describen los materiales y los métodos empleados para llevar a cabo la investigación en cuanto a la caracterización físico-química y mineralógica de los escombros lateríticos. La información estudiada está sobre las bases de la tesis de maestría de (Pérez M. C., 2002) y el artículo de (Pérez, Priego, Herrera, & Rodríguez, 2006) principalmente.

En el caso de estos dos trabajos que son los más completos en cuanto al estudio de los escombros lateríticos las muestras fueron analizadas granulométricamente por vía seca y húmeda, y se realizaron análisis fraccional magnético y mineralógico utilizando técnicas como difracción y fluorescencia de rayos X. Además, se utilizaron equipos como el Difractómetro automático para texturas, Microscopio Electrónico de Barrido y analizador DSC-50 para determinar la composición química y mineralógica de los escombros.

La caracterización mineralógica se efectuó mediante difracción de rayos X y la identificación de las fases se hizo utilizando ficheros de difracción de rayos X y manuales de búsqueda de patrones experimentales. Se utilizaron también técnicas de calorimetría diferencial de barrido para estudiar la cinética de descomposición de los materiales.

2.1 Selección y preparación de las muestras

(Pérez M. C., 2002), en su tesis de maestría demostró que. La muestra estudiada fue tomada de diferentes pozos representativos, desde el punto de vista litológico, de la zona A en la mina de la empresa comandante “Pedro Sotto Alba” Moa Nickel S.A. que se encuentra situada al sur del campo menífero Moa.

La muestra experimental, con una masa de 80 kg, fue sometida a un proceso de homogeneización en el laboratorio de beneficio de minerales del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, aplicándose el

método del cono y el anillo según se muestra en la figura 1.

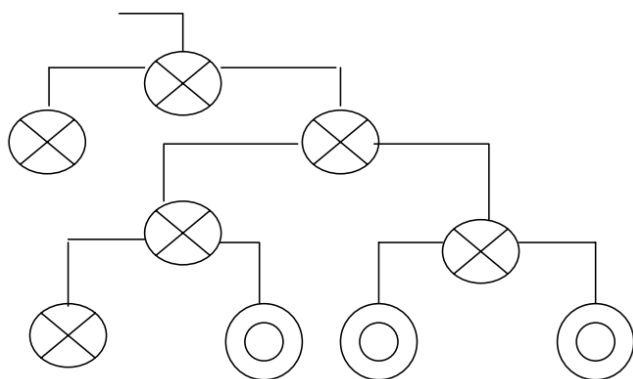


Figura 1. Método de cuarteo empleado.

Las muestras fueron analizadas granulométricamente por vía seca y húmeda. El análisis fraccional magnético se realizó en un separador tubular (tubo de Davi) y en uno electromagnético del tipo de rodillo.

Tanto las fracciones de tamaño, como las de intensidades del campo magnético, se sometieron a análisis químico y mineralógico, utilizándose las técnicas de difracción y fluorescencia de rayos X, respectivamente.

En el caso de (Pérez, Priego, Herrera, & Rodríguez, 2006) como parte de su metodología la muestra que emplearon para su investigación. Este dado por escombreras del Sector A, de la Empresa Pedro Soto Alba. Moa Nickel S.A. en Moa, Cuba. Se tomaron 1000 kg de escombros lateríticos. Las muestras fueron homogeneizadas, cuarteadas. A partir de este proceso fue seleccionada la muestra representativa. Posteriormente se efectuó un tamizado con el objetivo de obtener las fracciones granulométricas +10; '10 +8; -8 +6; -6 +4; -4 +2; -2 +0.83 y -0.83 mm) deseadas para la investigación. Las fracciones, así como una muestra sin tamizar, fueron pulverizadas, por separado, en un molino de bolas para lograr el tamaño de partículas micrométricas de acuerdo a los análisis químicos y las técnicas analíticas a emplear.

2.2. Equipos y técnicas empleadas en la caracterización de los escombros

(Pérez M. C., 2002) realizó un análisis mineralógico donde se llevaron a cabo en el laboratorio central de la empresa Pedro Soto Alba de Moa, empleándose un Difractómetro de marca Phillips tipo PW1840 con $K\alpha$ de cobre, bajo las siguientes condiciones de trabajo:

$\frac{3}{4}$ Rendija (detector): 0,05 mm

$\frac{3}{4}$ Tiempo por pasos: 1.000 s

¾ Números de pasos: 2750

¾ Velocidad de exploración: 0,02 0 2 θ /S

¾ Condiciones eléctricas: 30 mA y 40 kV

¾ Se empleó un campo de exploración 2θ , con un ángulo de variación de 5-60 θ

¾ Tamaño de partículas menores de 44 μm (tamiz No. 325 de la serie A.S.T.M.).

Para el procesamiento de los diferentes difractograma obtenidos se utilizó el software "REGINTEL", Torres, O, 1996, acoplado al equipo de difracción de rayos X.

Se realizó además una separación magnética con la variación de los contenidos de los elementos químicos en función de la intensidad de corriente aplicada, fue analizada a través de un análisis fraccional magnético realizado en el laboratorio de beneficio de minerales del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Las intensidades de corriente estudiadas fueron: 0,5 A; 1 A; 2 A y 3 A. El análisis se realizó por vía seca para las fracciones: -3,15 +2,2 mm; -2,2 +1,25 mm; -1,25 +0,51 mm y -0,51 +0,25 mm utilizando un separador de Rodillo marca 13b-C δ con alimentación inferior. Este separador sirve para el enriquecimiento en seco de pequeñas muestras pesadas de minerales y materiales débilmente magnéticos.

El separador tiene un rodillo de 100 mm de diámetro y 80 mm de longitud; la intensidad del campo alcanza 950 k A/m; la corriente en el drenado varía hasta 4 A y el peso del separador es 149 Kg. Las dimensiones exteriores son las siguientes:

¾ Longitud ----- 900 mm.

¾ Ancho ----- 520 mm.

¾ Altura ----- 545 mm.

Las fracciones finas: -0,25 +0,074 mm y -0,074 mm fueron separadas por vía húmeda en un analizador tubular (tubo de Davis), el cual presenta un núcleo magnético de hierro blando que está asegurado al banco del equipo. La bobina es alimentada por corriente de 110 V desde un rectificador de corriente en que se realiza su regulación a través de un reóstato. Entre los polos magnéticos del núcleo se coloca el tubo de vidrio montado sobre carriles tensores, bajo un ángulo de 45 grados. El motor eléctrico, mediante la transmisión correspondiente, pone en movimiento alternativo los carriles tensores.

La conveniencia de emplear la separación magnética por vía húmeda, para partículas muy finas, radica en la posibilidad de incurrir en errores cuando estas son sometidas a la separación en seco (Pérez M. C., 2002)

2.2.1 Equipos y técnicas empleadas en la caracterización de los escombros

(Pérez, Priego, Herrera, & Rodríguez, 2006). La composición química de los elementos de interés, se determinó en un equipo de Absorción Atómica de Llama, Spectr AA-220FS, VARIAN. El contenido de los elementos en forma de óxidos fue determinado en un Espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X por Dispersión de longitudes de Onda (FRX-dī), PHILIPS, PW1404. Se utilizó el método de las cápsulas compactadas con lecho de ácido bórico.

La caracterización mineralógica se efectuó en un Difractómetro automático para texturas, Difraktometer D5000 Siemens, con monocromador para has difractado LIF (LIF 100), un goniómetro de alta precisión. Los difractogramas se registraron con una constante de tiempo de 5 segundos y con una velocidad de exploración del papel de 0.030 %. Para la identificación de las fases se utilizaron los ficheros Powder Diffraction File. Hanawalt Search Manual for Experimental Patterns Inorganic Phases. ISO 9001. Años: 1941-2001 y los datos de JCPDS.

Un Microscopio Electrónico de Barrido marca JEOL-JXA-840 con Difractómetro de rayos X acoplado, se utilizó para observar la morfología de los granos de mineral y sus colonias. Con el mismo equipo se realizó el análisis cualitativo y semicuantitativo de los componentes del grano en las muestras. De cada ensayo realizado se obtiene una imagen de la muestra y análisis puntuales o totales de la composición de un grano o de un sector de este. Las probetas fueron embutidas en frío con resina epoxi, desbastadas con papeles abrasivos de tamaño de grano decreciente y finalmente, pulidas con pasta de diamante para obtener una superficie plana libre de relieves (Pérez M. C., 2002).

Antes de ser examinadas, las probetas fueron recubiertas con una película fina de grafito con lo cual se logra la conductividad de las mismas. Éste es un requisito indispensable, pues en caso contrario, se acumula carga negativa neta en su superficie como consecuencia del barrido electrónico. Esta carga desvía el haz electrónico haciendo imposible la observación (Pérez, Priego, Herrera, & Rodríguez, 2006).

Las fracciones granulométricas, así como la muestra sin tamizar, la que denominaremos de aquí en adelante, entera, fueron estudiadas por la técnica de calorimetría diferencial de barrido (CDB), desde la temperatura ambiente (22 °C) hasta 650 °C en atmósfera de Ar para evitar procesos de oxidación y reducción en el mineral. La velocidad de flujo del gas fue 20 mL/min y la velocidad de barrido 20 °C/min. La masa de las muestras empleada era entre 26.33 y 35.68 mg, pesadas todas en crisoles de

alúmina. Las mediciones de flujo de calor fueron realizadas en un analizador DSC – 50, de la firma japonesa ZHIMATZU.

Hemos de señalar que la calorimetría diferencial de barrido, junto con otras técnicas de análisis térmico, ha sido ampliamente utilizada para la caracterización de varios materiales, sólidos residuales de los procesos de lixiviación, residuos y mezclas de compuestos, caracterización de zeolitas y lateritas, así como para la investigación térmica de la reducción directa de hierro, las transformaciones de fases de las lateritas, descomposición térmica de mezclas de carbonatos y óxidos, de oxalatos y para el estudio de la cinética de descomposición de diferentes materiales. Entre estos podemos citar un gran número de trabajos (Pérez, Priego, Herrera, & Rodríguez, 2006) .

2.2.2 Teoría de separación de componentes útiles. (Teoría de Tijonov)

Los procesos de beneficio tienen como objetivo primordial separar, por métodos mecánicos, los minerales útiles de la materia prima. Esta separación ocurre de acuerdo a las propiedades físicas de las partículas que integran el material inicial. Las partículas con determinadas características pasan al concentrado mientras que otras quedan en la cola o desecho.

El esquema de beneficio puede tener en cuenta sólo una propiedad física (densidad, tamaño, susceptibilidad magnética, etc.) o actuar sobre varias de ellas pudiendo medirse la efectividad del proceso analizando la distribución inicial del componente útil en la materia prima y su distribución en el concentrado final.

La propiedad física ξ se puede considerar como una variable aleatoria, al tomar muestras de partículas de forma casual y midiendo ξ para cada una de ellas, los resultados serán diferentes y aleatorios expresando con ello la heterogeneidad del mineral inicial con respecto a ξ .

La función $\varepsilon (\xi)$ es la característica principal de cualquier separador; conociendo $\varepsilon (\xi)$ y la distribución de probabilidades $\gamma (\xi)$, se pueden predecir los resultados de la separación, las concentraciones del mineral útil en el concentrado y en las colas, y otros parámetros necesarios para evaluar la efectividad del beneficio.

El porcentaje en masa de partículas que pasan al concentrado con respecto a la masa total será:

$$\bar{\gamma}_{conc} = 100 \int_{\rho \min}^{\rho \max} \gamma (\xi) \varepsilon (\xi) d(\xi) \quad (1)$$

La concentración del componente útil en el mineral inicial y en el concentrado final se obtienen a través de:

$$\bar{\beta}_{inic} = 100 \int_{\xi_{min}}^{\xi_{max}} \beta(\xi) \gamma(\xi) d(\xi) \quad (2)$$

$$\bar{\beta}_{conc} = \frac{100}{\bar{\gamma}_{conc}} \int_{\rho_{min}}^{\rho_{max}} \beta(\xi) \varepsilon(\xi) \gamma(\xi) d(\xi) \quad (3)$$

La suma de estas proporciones equivale a la cantidad de todo el concentrado con respecto a la alimentación inicial y la multiplicación por 100 permite expresar este valor en porcentaje. De esta manera los parámetros de partida resultan las funciones $\gamma(\xi)$ y $\beta(\xi)$ que caracterizan las partículas de la materia prima mineral por sus propiedades físicas y por el contenido de componente útil en ellas. Estos valores junto a $\varepsilon(\xi)$, que resulta la característica principal del equipo de beneficio, no solo permiten el cálculo de los indicadores clásicos del beneficio, sino también se puede realizar el pronóstico de los índices tecnológicos de cualquier esquema de beneficio: la salida $\bar{\gamma}_{conc}$, el contenido $\bar{\beta}_{conc}$ y la recuperación $\bar{\varepsilon}_{conc}$.

$$\bar{\varepsilon}_{conc} = \frac{\bar{\gamma}_{conc} \cdot \bar{\beta}_{conc}}{\bar{\beta}_{inic}} \quad (4)$$

Independientemente de la propiedad de separación.

Por tal razón, las funciones $\gamma(\xi)$ y $\beta(\xi)$, constituyen un medio sencillo y suficiente para la caracterización de cualquier materia prima mineral o producto. Cualquier otro método resulta excesivamente complicado, como es el caso de las curvas de beneficiabilidad, cuando los componentes se diferencian por más de dos propiedades físicas como es el caso de los minerales lateríticos. Si el proceso de separación tiene en cuenta más de una propiedad física, éste se expresa mediante un vector $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$, para lo cual las fórmulas correspondientes serían entonces:

$$\bar{\gamma}_{conc} = 100 \iiint \dots \int \gamma(\xi_1, \dots, \xi_n) \varepsilon(\xi_1, \dots, \xi_2) d\xi_1, \dots, d\xi_n \quad (5)$$

$$\bar{\beta}_{inc} = \iint \dots \int \beta(\xi_1, \dots, \xi_n) \gamma(\xi_1, \dots, \xi_2) d\xi_1, \dots, d\xi_n \quad (6)$$

$$\bar{\beta}_{conc} = \frac{100}{\bar{\gamma}_{conc}} \iint \dots \int \beta(\xi_1, \dots, \xi_n) \varepsilon(\xi_1, \dots, \xi_2) \gamma(\xi_1, \dots, d\xi_n) d\xi_1, \dots, d\xi_n \quad (7)$$

De esta forma se pudo analizar el beneficio de esta materia prima, tomando como propiedades físicas: el diámetro y la susceptibilidad magnética de las partículas, determinándose los principales índices tecnológicos del proceso (salida, contenido y recuperación) para los elementos: níquel, cobalto, cromo, hierro y aluminio.

Conclusiones del capítulo 2

- Las muestras utilizadas según la investigación realizadas por (Pérez M. C., 2002) y (Pérez, Priego, Herrera, & Rodríguez, 2006) fueron seleccionadas de manera representativa de la zona A de la mina de la empresa comandante “Pedro Sotro Alba” Moa Nickel S.A.
- La homogeneización y cuarteo de las muestras permitieron obtener una muestra experimental de 80 kg que fue sometida a análisis granulométrico, fraccional magnético y mineralógico.
- Los equipos utilizados incluyeron un difractómetro automático para texturas, un microscopio electrónico de barrido, un analizador DSC – 50 y un espectrómetro de fluorescencia de rayos X.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El presente capítulo se centra en el análisis y discusión de los resultados obtenidos en el estudio de los escombros lateríticos de la Zona “A” en Moa. El análisis se divide en cuatro secciones: caracterización granulométrica, caracterización química, variación del contenido de los elementos químicos en las diferentes fracciones granulométricas, y caracterización mineralógica.

- Granulométrica: Partículas mayores de 80 μm agrupan el 60,83 % del material, y las de tamaños medios entre 0,38 mm y 2,2 mm alcanzan el 39,62 %.
- Química: Hierro (45 – 47 %), aluminio, níquel, cobalto y cromo en las partículas más gruesas; contenido de hierro disminuye en las partículas más finas.
- Hierro: Mayor contenido en las fracciones gruesas (+8, -8 +6.3, -6.3 +5 y -5 +3,15 mm), disminuyendo hacia las más finas.
- Fases principales: Goethita, hematita, cromoespineles y cromitas.

Este capítulo presenta un análisis detallado de los resultados obtenidos en el estudio de los escombros lateríticos de la Zona “A” en Moa, proporcionando una visión completa de las propiedades del material y su composición química y mineralógica. Estos resultados serán fundamentales para entender mejor la composición y las propiedades de los escombros lateríticos y para desarrollar estrategias de beneficiabilidad efectivas para estos materiales.

3.1 Caracterización granulométrica

(Pérez M. C., 2002), las muestras seleccionadas, fueron sometidas al análisis granulométrico por las vías seca y húmeda, enmarcándose el espectro de partículas estudiadas entre 8 mm y 0,074 mm. La realización de este análisis por dos vías diferentes, permite hacer una comparación de los resultados obtenidos y analizar la distribución de las partículas finas presentes en este material. Como se puede apreciar, en el análisis granulométrico por vía seca (ver tabla 1), la salida de la clase $-1,25 +0$ mm representa el 45,07 % de todo el material, sin embargo, en el análisis realizado por vía húmeda (tabla 1), la salida de esta clase aumenta hasta un 66,13 %, lo que evidencia una distribución de las partículas finas en todo el espectro granulométrico estudiado, aspecto que corrobora los resultados obtenidos por diferentes autores al estudiar materias primas similares en la región de Moa.

La distribución de las partículas de diferentes tamaños, representa la característica parcial del material estudiado. En ella se observa que, de igual forma que en los escombros lateríticos de otros yacimientos de la

región de Moa, estos están caracterizados por partículas mayores de 80 μ m agrupando el 60,83% de todos los granos que componen el material; en estas partículas se encuentran en mayor cuantía las de tamaños medios entre 0,38 mm y 2,2 mm que alcanzan el 39,62 % de todo el material, es decir, existe un predominio de partículas con estos tamaños (Pérez M. C., 2002).

En resumen, los escombros lateríticos del yacimiento Zona A están caracterizados por partículas mayores de 80 μ m entre las que predominan las de tamaños medios entre 0,38 mm y 2,2 mm (Pérez M. C., 2002).

Tabla 1. Composición granulométrica promedio del escombros de Zona “A “. Vía húmeda

Clases de tamaño (mm)	Salida γ (%)	Salida sumaria (%)	
		Retenido	Cernido
+8	9,22	9,22	100
-8,0 +6,3	1,47	10,69	90,78
-6,3 +5,0	2,32	13,01	89,31
-5,0 +3,15	5,15	18,16	86,99
-3,15 +1,25	15,71	33,87	81,84
-1,25 +0,51	12,35	46,22	66,13
-0,51 +0,25	11,56	57,78	53,78
-0,25 +0,074	3,05	60,83	42,22
-0,074	39,17	100	39,17
Total	100		

(Pérez, Priego, Herrera, & Rodríguez, 2006) Los intervalos de fracciones granulométricas escogidas para el trabajo son las siguientes: +10; -10 +8; -8 +6; -6 +4; -4+2; -2 +0.83 y -0.83 mm. Este amplio espectro de diámetros de partículas permite caracterizar tanto las partículas gruesas que conforman estos escombros, como las más finas. La característica granulométrica parcial del material estudiado.

Los escombros lateríticos están caracterizados por partículas mayores de 0.83 mm agrupando el 57.76 % de los granos que componen el material; en las que predominan las de tamaños entre 0.83 y 4 mm que representan el 41 % (Furnaguera A. A., 1995). En las partículas mayores de 2 mm se concentran los llamados perdigones, utilizados experimentalmente en los procesos siderúrgicos y que constituyen objeto de actuales investigaciones con vistas a darles un uso más eficiente. Estas partículas se caracterizan por presentar un elevado contenido de

hierro (entre 51 y 54 %) y otros elementos en forma oxidada como níquel, cobalto y cromo. Estas partículas agrupan el 35.866 % del mineral.

La fracción 2 a +0.83 mm representa el 21.9 % y es rica en aluminio, cromo y níquel, aunque las menores de 0.83 mm superan a esta fracción en cuanto a contenido de estos elementos. El contenido de hierro es elevado, 48,66%, pero menor que en las partículas más gruesas. En resumen, los escombros lateríticos del Sector “A” están caracterizados por partículas mayores de 0.83 mm entre las que predominan las de tamaños medios entre 4 y 0.83 mm (Pérez, Priego, Herrera, & Rodríguez, 2006).

3.2 Caracterización química

(Pérez M. C., 2002), los resultados de los análisis químicos realizados a la muestra inicial y a las fracciones granulométricas aparecen reflejados en la tabla 2.

En las partículas mayores de 1,25 mm se concentran los llamados perdigones, utilizados experimentalmente en los procesos siderúrgicos y que constituyen objeto de actuales investigaciones con vistas a darles un uso más eficiente. Estas partículas se caracterizan por presentar un elevado contenido de hierro (entre 45 y 47 %) y otros elementos en forma oxidada como níquel, cobalto, y cromo, como se puede apreciar en la tabla 2.

Tabla 2. Composición química promedio del escombros de la Zona “A”

Clases de tamaño (mm)	Contenido de los elementos químicos, β (%)									
	Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO ₂	Cr	Mn	Cu	Zn
+8	0,45	0,016	47,4	0,22	6,90	1,69	2,20	0,07	0,010	0,023
-8 +6,3	0,39	0,012	45,7	0,27	7,71	1,68	2,01	0,07	0,008	0,021
-6,3 +5	0,39	0,011	46,3	0,23	7,54	1,68	2,12	0,06	0,009	0,019
-5 +3,15	0,38	0,010	45,2	0,22	8,10	1,58	1,92	0,07	0,008	0,019
-3,15 +1,25	0,39	0,010	44,9	0,22	8,57	1,60	2,00	0,07	0,009	0,019
-1,25 +0,51	0,36	0,007	44,4	0,22	8,59	1,56	2,04	0,06	0,008	0,021
-0,51 +0,25	0,35	0,008	43,1	0,22	8,85	1,56	1,73	0,07	0,010	0,019
-0,25 +0,074	0,35	0,010	41,8	0,24	8,35	1,70	1,53	0,08	0,010	0,023
-0,074	0,35	0,010	41,4	0,26	8,42	1,76	1,6	0,09	0,011	0,022
Cabeza	0,40	0	43,5	0,25	8,27	1,75	1,99	0,17	0,008	0,019

(Pérez, Priego, Herrera, & Rodríguez, 2006). La presencia mayoritaria del hierro y su amplia distribución en el perfil granulométrico estudiado justifican, en cierto modo, la presencia de goethita, hidrogoethita y hematita o maghemita como fases principales en los escombros lateríticos.

El aluminio es el segundo de los elementos mayoritarios en el escombros, su contenido aumenta en la medida que disminuye el diámetro de las partículas, aunque se puede observar un ligero aumento en su contenido en la fracción mayor de 10 mm. Esta composición justifica que las fases presentes sean consideradas como óxidos de hierro con diferentes grados de inclusión de aluminio o una mezcla de hidróxidos de hierro y aluminio (Pérez, Priego, Herrera, & Rodríguez, 2006).

Tabla 3. Contenido de los óxidos de interés en los escombros de la Pedro Soto Alba Moa Nickel S.A. Zona “A”

Fracciones granulométricas (mm)	Contenido de óxidos de los elementos (% en peso)							
	Fe_2O_3	NiO	CoO	Cr_2O_3	Al_2O_3	SiO ₂	MnO	MgO
+10	73.16	0.70	0.16	2.80	11.66	4.02	0.924	0.15
-10 + 8	77.13	0.68	0.13	3.21	10.53	1.75	0.676	0.25
-8 + 6	77.18	0.68	0.13	3.21	10.15	1.80	0.683	0.17
-6 + 4	75.87	0.70	0.13	3.36	10.72	1.65	0.707	0.17
-4 + 2	74.14	0.68	0.16	3.36	13.54	1.60	0.785	0.18
-2 +0,83	69.60	0.70	0.15	3.50	17.11	1.80	0.768	0.23
- 0,83	68.51	0.70	0.15	3.65	18.80	2.31	0.707	0.33
Muestra entera								
	71.54	0.70	0.13	3.36	15.23	2.22	0.729	0.21

3.3. Variación del contenido de los elementos químicos en las diferentes fracciones granulométricas.

La figura 2 muestra la variación del contenido de hierro en las diferentes fracciones de tamaño.

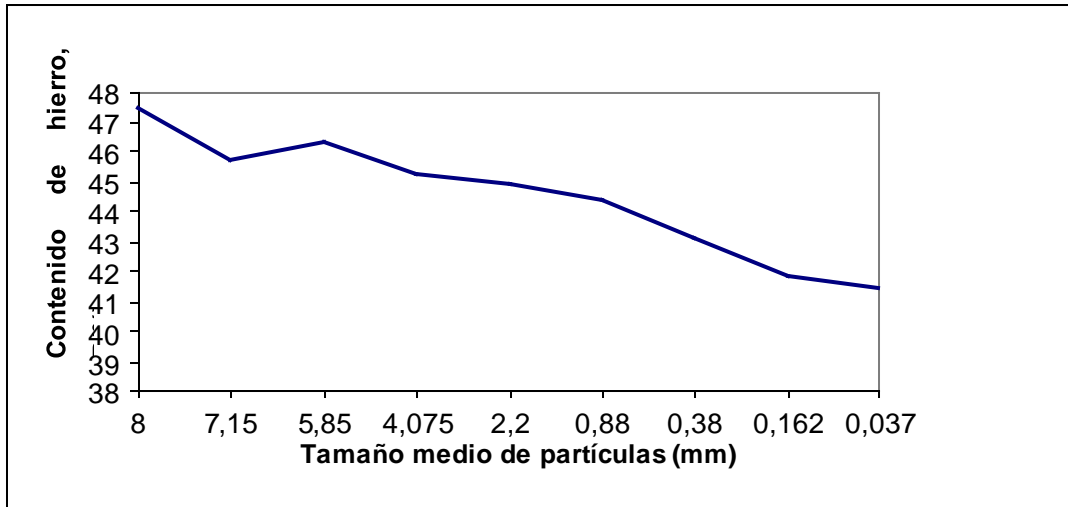


Figura 2. Contenido de hierro en las fracciones granulométricas

Los mayores contenidos de este elemento (45 % - 47 %) se encuentran principalmente en las fracciones gruesas (+8, -8 +6.3, -6.3 +5 y -5 +3,15 mm), disminuyendo hacia las más finas, hasta alcanzar valores de 41,4 %. Este comportamiento del hierro es característico de este tipo de material y coincide con trabajos realizados anteriormente. La presencia mayoritaria del hierro y su amplia distribución en el perfil granulométrico estudiado justifican, en cierto modo, la presencia de goethita, hidrogenoethita y hematita como fases principales en los escombros lateríticos. (Pérez M. C., 2002).

3.4. Caracterización mineralógica.

(Pérez M. C., 2002) Los resultados del estudio por difracción de rayos X, realizado a las diferentes fracciones granulométricas de los escombros lateríticos de zona A, permitió identificar las principales fases mineralógicas presentes en estos materiales. Su descripción se muestra a continuación.

Fracción +10 mm.

En el difractograma correspondiente a esta fracción aparecen picos con distancias interplanares de 4,15 Å; 2,68 Å y 2,43 Å correspondientes a la fase goethita, mineral portador de hierro. Se observan, además, otros valores de distancias igual a 2,68 Å; 2,50 Å y 1,71 Å que indican la presencia de la fase hematita, que de la misma forma que la goethita, corresponde a un mineral de hierro.

Teniendo en cuenta el resultado de los análisis químicos realizados, podemos asegurar que estas fases están presentes en esta fracción granulométrica pues los mayores contenidos de hierro se encuentran en las partículas más gruesas.

Las cromoespinelas son minerales a los que se encuentran asociados el hierro, el cromo y el aluminio. Su pico más intenso de 2,52 Å y otros de menor intensidad como 4,82 Å y 1,60 Å, aparecen en esta figura indicando la presencia de estos minerales en la fracción granulométrica que analizamos.

Fracción -10 +8 mm.

El análisis mineralógico realizado a esta fracción granulométrica arrojó resultados similares a la clase +10 mm. La fase principal que aparece es la goethita con varios picos característicos, entre ellos 4,15 Å que es el más intenso. Solo aparecen dos valores de distancias que pudieran indicar la presencia de hematita, sin embargo, por el contenido de hierro tan elevado en estas fracciones, además de níquel y cobalto (0,45 y 0,016 % respectivamente) que están asociados a la hematita, se puede afirmar la presencia de esta fase en la clase de tamaño -10 +8 mm.

Fracción -8 +6 mm.

El difactograma correspondiente a esta fracción al igual que en las fracciones anteriores, la presencia de goethita y de hematita como fases principales. En las fracciones mayores de 6 mm es donde se encuentran los mayores contenidos de cromo (2,20 y 2,01 %), este hecho confirma la existencia de esta fase en esta fracción.

3.4.1. Se puede resumir del análisis mineralógico lo siguiente:

Las principales fases mineralógicas presentes en los escombros lateríticos de la zona A, las constituyen la goethita, la hematita, la gibbsita, y las cromoespinelas. Ostroumov, M.N y Rojas, A, 1985 han demostrado que, mineralógicamente en los escombros lateríticos de Moa (sectores Atlantic y Yamanigüey), predominan además de las fases mencionadas anteriormente, la magnetita y la maghemita. Con relación a estas últimas, los valores de distancias interplanares correspondientes son: 2,50 Å; 2,51 Å; 2,98 Å y 2,08 Å; sin embargo, estos valores no se han reportado con frecuencia en las clases de tamaños estudiadas en esta materia prima, apareciendo solo algunos como: 2,507 Å; 2,508 Å o 2,05 Å de poca intensidad y que coinciden con las fases hematita y cromitas. Por lo que no se cuenta, hasta el presente, con criterios que aseguren que en los escombros objetos de este trabajo, estén presentes la magnetita y la maghemita como fases principales.

Las investigaciones realizadas en los últimos años en el campo de la beneficiabilidad de los minerales lateríticos en Cuba, aplicando la teoría de separación de componentes útiles, del profesor Tijonov, han estado dirigidas fundamentalmente, por Coello, A y Hernández, A y otros en el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (Pérez M. C., 2002).

3.5. Estudio por difracción de RX

(Pérez, Priego, Herrera, & Rodríguez, 2006). El estudio se realizó a las muestras en estado natural, o sea, sin tratamiento térmico previo, y a las muestras calentadas a 200 y 330 C°. Los difractogramas correspondientes a los diferentes tamaños de partículas, así como a la muestra entera, sin calentamiento.

Se observan picos con altas intensidades que indican la presencia de las fases cuarzo y la maghemita (γ -Fe₂O₃) y goethita (α -FeO.OH) como las mayoritarias. La existencia de esas fases se corresponde con los elevados contenidos de hierro en los escombros lateríticos, entre 47.91 y 53.97 %. Los análisis por FRX indican contenidos de los óxidos de hierro entre 68 y 77%.

Se puede inferir, por la intensidad de estos picos, que los mayores contenidos de esta fase se encuentran en las partículas con diámetros entre 10 y 4 mm. Este comportamiento corrobora los resultados de los análisis químicos y de FRX que indican contenidos de óxidos de hierro en estas partículas de 77.13; 77.18 y 75.87% respectivamente (tabla 3).

La presencia mayoritaria del hierro y su amplia distribución en el perfil granulométrico estudiado justifican, en cierto modo, la presencia de goethita, hidrogoethita y maghemita como fases principales en los escombros lateríticos. Estos resultados son coherentes con los trabajos de (Pérez M. C., 2002) y (Pérez, Priego, Herrera, & Rodríguez, 2006).

La complejidad del análisis de fases de las lateritas por el método de DRX se debe a que las mismas están constituidas por mezclas de minerales estrechamente enlazados con una simetría en su estructura generalmente baja; lo que produce un gran número de reflejos en el difractograma, los cuales se superponen mutuamente. Ejemplo: los reflejos de las cromoespinelas se superponen con los de la magnetita, maghemita y goethita, aun así, varios investigadores han revelado su existencia, principalmente, como fase secundaria, con valores promedios que oscilan entre 2.55 – 2.81 % (Pérez, Priego, Herrera, & Rodríguez, 2006).

3.6 Análisis del beneficio según el tamaño de las partículas.

La función de distribución diferencial γ (ξ) de las partículas de cualquier mezcla con una propiedad física determinada (ξ), es aquella para la cual el producto $\gamma(\xi) d\xi$ es igual a la fracción másica de cualquier intervalo elemental y su incremento $d\xi$; de ahí que la función γ (ξ) no es otra cosa que la función de distribución diferencial de la densidad de distribución del sólido, en las fracciones elementales. (Pérez M. C., 2002).

La distribución de las partículas según su tamaño, para el escombro estudiado, se conoce del análisis granulométrico (3.1) y la función que la caracteriza, γ (I), se muestra en las tablas 4 y 5.

Tabla 4. Resultados experimentales de la función $\gamma(l)$ (vía seca)

Clases de tamaño (mm)	Tamaño de partículas, l (mm)	Magnitud del intervalo de clase, Δl , mm	$\gamma(l)$, 1/mm	$\gamma(l) \cdot \Delta l$
0 - 0,074	0,037	0,074	1,78	0,1321
0,074 - 0,25	0,162	0,176	0,12	0,0216
0,25 - 0,51	0,38	0,26	0,61	0,1582
0,51 - 1,25	0,88	0,74	0,21	0,1588
1,25 - 3,15	2,2	1,9	0,11	0,2039
3,15 - 5,0	4,075	1,85	0,04	0,0692
5,0 - 6,3	5,65	1,3	0,04	0,0489
6,3 - 8,0	7,15	1,7	0,02	0,0362
8,0	8,00	1,7	0,10	0,1711

Tabla 5. Resultados experimentales de la función $\gamma(l)$ (vía húmeda)

Clases de tamaño (mm)	Tamaño de partículas, l (mm)	Magnitud del intervalo de clase, Δl , mm	$\gamma(l)$, 1/mm	$\gamma(l) \cdot \Delta l$
0 - 0,074	0,037	0,074	5,29	0,3917
0,074 - 0,25	0,162	0,176	0,17	0,0305
0,25 - 0,51	0,38	0,26	0,44	0,1156
0,51 - 1,25	0,88	0,74	0,17	0,1235
1,25 - 3,15	2,2	1,9	0,08	0,1571
3,15 - 5,0	4,075	1,85	0,03	0,0515
5,0 - 6,3	5,65	1,3	0,02	0,0232
6,3 - 8,0	7,15	1,7	0,01	0,0147
8,0	8,00	1,7	0,05	0,0922

Como se puede observar, la función de distribución γ (l) resulta diferente por las dos vías evidenciándose una distribución de las partículas finas en todo el espectro granulométrico estudiado; la salida de la clase $-0,25+0$ mm, en el cribado seco, representa el 15,37 % de todo el material, sin embargo, en el análisis realizado por vía húmeda, la salida de esta clase aumenta hasta un 42,22 %.

Tomando en consideración lo planteado por Tijonov en relación a la función de distribución másica y los resultados reflejados en las tablas anteriores, se puede plantear que en estos escombros lateríticos existe una mayor densidad de distribución de las partículas hacia las menores de 2,2 mm, coincidiendo esta tendencia con los resultados de otras investigaciones realizadas.

3.7. Análisis del beneficio según el tamaño y la susceptibilidad magnética

Como se puede observar, la función de distribución por el diámetro y la susceptibilidad magnética, γ (l, I), (ver tabla 6) no sigue una tendencia uniforme, verificándose variabilidad de ésta en cualquier sentido, aunque en las partículas mayores de 1,7 mm se observan valores mayores a intensidades entre 2 y 3 A (0,082 ; 0,067 y 0,24), mientras que, cuando es aplicada una intensidad de corriente de 1 A, los mayores valores (0,25 y 0,78) se alcanzan para las partículas que se encuentran entre 0,88 mm y 0,38 mm. Por su parte, la densidad de distribución de las partículas menores de 0,38 mm teniendo en cuenta las dos propiedades que se analizan, es muy pobre en las fracciones magnéticas, esto es, a intensidades menores de 3 A.

Estos resultados demuestran que la distribución másica de los minerales en intervalos de susceptibilidades magnéticas, es heterogénea en el espectro granulométrico de los escombros lateríticos, lo que corrobora lo planteado por (Velázquez, Mazar, Flores, & Serrano, 1998).

Tabla 6. Resultados experimentales de la función γ (l, I) (Pérez M. C., 2002).

Tamaño de las partículas, l (mm)	Valor de la función de distribución γ (l, I)				
	Intensidad de corriente, A				
	0 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3	>3
2,67	0,026	0,025	0,018	0,067	0,026
1,725	0,051	0,049	0,082	0,24	0,014
0,88	0,019	0,25	0,070	0,022	0,0011
0,38	0,062	0,78	0,37	0,052	0,004

0,162	0,002	0,002	0,002	0,002	0,025
0,037	0,005	0,009	0,0025	0,004	0,06

3.8. Cálculo y análisis de los índices tecnológicos del beneficio.

Para obtener la salida en el concentrado magnético (γ_{conc}) fue necesario calcular las salidas de las fracciones en el mineral (γ_{inic}), la cual se obtiene a través de la ecuación (8) y los resultados se muestran en la tabla 7.

$$\bar{\gamma}_i = (\bar{l}, \bar{I}) = \int_{l \min}^{l \max} \int_{I \min}^{I \max} \gamma(l, I) dl dI \quad (8)$$

Tabla 7. Salidas de las fracciones en el mineral

Tamaño de las partículas, l,mm	$\gamma (I_i , I_i) \Delta I_i \Delta I_i$					$\sum_{i=0,25}^{i=3} \gamma_{inic}$
	Intensidad de corriente, A					
	0 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3	>3	
2,67	0,0123	0,0121	0,017	0,064	0,074	0,18
1,725	0,024	0,023	0,078	0,23	0,04	0,40
0,88	0,007	0,092	0,052	0,017	0,0024	0,17
0,38	0,008	0,102	0,096	0,014	0,003	0,22
0,162	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003	0,013	0,014
0,037	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,013	0,014

Con los resultados obtenidos y por medio de la ecuación 5 (2.2.3), se determinaron las salidas de las fracciones investigadas y con éstas la salida del concentrado, es decir, el producto que se estudió a las intensidades entre 0,5 y 3 A.

Se debe aclarar que, en la ecuación 5 se asumió la característica de separación igual a 1, teniendo en cuenta las experiencias de los especialistas en el tema que consideran que la característica principal de un separador varía

cuando no se controlan eficientemente las variables de operación del equipo en cuestión. Coello, A., comunicación personal.

Tabla 8. Salidas de las fracciones en el concentrado magnético (Pérez M. C., 2002).

Tamaño de las partículas, l (mm)	$\gamma_{inic} (I_i, I_i) \Delta I_i \Delta I_i$					$\sum_{i=0,25}^{i=3} \gamma_{conc}$
	Intensidad de corriente, A					
	0 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3	>3	
2,67	0,006	0,006	0,018	0,061	--	0,091
1,725	0,0114	0,0112	0,0741	0,220	--	0,317
0,88	0,0026	0,0340	0,0385	0,0126	--	0,088
0,38	0,001	0,0133	0,025	0,004	--	0,043
0,162	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	--	$1,4 \cdot 10^{-5}$
0,037	$7 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$	--	$5,0 \cdot 10^{-5}$

De ahí que $\gamma_{conc} = 53,90 \%$.

Como se puede observar, la salida en el concentrado para la fracción mayor de 3 A (fracción no magnética) corresponde a las condiciones ideales de separación, pues al concentrado magnético, teóricamente, no deben pasar partículas con susceptibilidades magnéticas muy pequeñas, aunque a nivel industrial no ocurre exactamente así por errores de clasificación. (Flores, Hernandez, Codorniu, Furnaguera, & Suarez, 2000).

Tabla 9. Característica de separación. $\epsilon (I_i, I_i)$ (Pérez M. C., 2002).

Tamaño de las partículas, l (mm)	$\epsilon_{conc} \cdot \gamma_{conc} (I_i, I_i) / \gamma_{inic} (I_i, I_i)$			
	Intensidad de corriente, A			
	0 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3
2,67	0,26	0,27	0,57	0,51
1,725	0,25	0,26	0,51	0,51

0,88	0,20	0,20	0,41	0,40
0,38	0,067	0,07	0,14	0,15
0,162	0,053	0,053	0,089	0,089
0,037	0,018	0,017	0,026	0,036

El contenido de los elementos en el concentrado se calculó según la ecuación 7 (2.2.3). En la tabla 10, se muestran los resultados obtenidos para el hierro.

Tabla 10. Contenido de hierro en las fracciones del concentrado

Tamaño de las partículas, l (mm)	$(100/\gamma_{conc}) \beta(I_i, I_i) \cdot \gamma_{conc} (I_i, I_i) \cdot \varepsilon(I_i, I_i)$					$i=3$
	Intensidad de corriente, A					
	0 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 3	>3	$\sum_{i=0,25} \beta_{conc}$
2,67	0,1310	0,1327	0,8566	2,6275	--	3,7478
1,725	0,2410	0,2470	3,1916	9,4411	--	13,1210
0,88	0,4240	0,5710	1,3000	0,4300	--	2,7520
0,38	0,0520	0,0100	0,2836	0,0500	--	0,4000
0,162	0,0010	0,0010	0,0034	0,0031	--	0,0067
0,037	0,00045	0,00073	0,00046	0,00132	--	0,0030

$$\bar{\beta}_{Fe} = 20,03 \%$$

Los resultados arrojados por los ensayos de la separación magnética, permitieron establecer los principales índices tecnológicos del beneficio, estos se resumen en la tabla 11.

Tabla 11. Resultados de la separación magnética

Productos del beneficio	γ (%)	Contenido (%)					Recuperación (%)				
		Ni	Co	Fe	Al	Cr	Ni	Co	Fe	Al	Cr
Producto 1 *	53,90	0,18	0,003	20,03	3,62	0,9	24,25	6,59	24,78	23,59	24,38
Producto 2 **	46,10	0,66	0,055	70,97	13,71	3,26	46,10	86,02	75,22	46,49	47,18

Alimentado	100	0,40	0,027	43,50	8,27	1,99	100	100	100	100	100
------------	-----	------	-------	-------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----

* Producto obtenido a intensidades entre 0,5 A y 3 A.

** Producto obtenido a intensidades superior a 3 A.

Las salidas de los productos de la separación no muestran una diferencia marcada; como se observa en la tabla 11 el producto 1 supera solo en 7,8 % al producto 2, comprobándose que, en la gama de tamaño de partículas estudiadas, el 53,90 % de éstas se separan a intensidades de corriente entre 0,5 A y 3 A.

3.9. Planteamiento de un esquema para el análisis y toma de muestra de los escombros lateríticos.

Basado en la caracterización de las muestras de escombros lateríticos presentada en el trabajo, y los resultados obtenidos por los autores de dichas bibliografías consultadas se propone:

- Un esquema integral para el análisis y toma de muestra de estos materiales. El enfoque se centra en identificar las partículas de hierro con tamaños mayores y menores a 10 micrómetros.
- Un análisis granulométrico detallado, tanto por vía seca como húmeda, complementado con técnicas de difracción de rayos X para determinar las fases mineralógicas, esto dado por la meteorización del mineral y el tiempo que ha pasado tras ver hecho estos análisis, para así cuantificar nuevamente los porcentos existente de hierro fundamentalmente.
- Una separación magnética para clasificar las partículas según su susceptibilidad, y capacidad de magnetizad.
- De acuerdo a las los autores citados, las partículas gruesas ($> 10 \mu\text{m}$) presentan los mayores contenidos de hierro, entre 45-47%, mientras que las partículas finas ($< 10 \mu\text{m}$) tienen un menor contenido, alrededor del 41%. Por lo tanto, se recomienda aprovechar las partículas gruesas ricas en hierro, mientras que las partículas finas con bajo contenido metálico podrían requerir un procesamiento adicional para su valorización.

Este esquema o propuesta de trabajo permitirá determinar la distribución de las partículas de hierro en función de su tamaño y propiedades magnéticas, lo cual es clave para identificar aquellas fracciones con mayor contenido de hierro que puedan ser aprovechadas de manera más eficiente en procesos posteriores, en contraposición a las partículas finas con bajo contenido metálico. No es de descartar que con el paso de los años las técnicas son mucho más eficientes, por tanto si tenemos en cuenta esto y podemos hacer nuevos

análisis estos podrían corroborar la exactitud de los ante expuesto o podría esclarecer algunas lagunas en la investigación.

Conclusiones del capítulo 3.

- El presente capítulo se ha presentado un análisis detallado de los resultados obtenidos en el estudio de los escombros lateríticos de la Zona “A” en Moa. Los resultados de la caracterización granulométrica, química y mineralógica. Estos han proporcionado una visión completa de las propiedades del material y su composición química y mineralógica.
- Química: Hierro (45 – 47 %), aluminio, níquel, cobalto y cromo en las partículas más gruesas; contenido de hierro disminuye en las partículas más finas.

CONCLUSIONES GENERALES

- La batería Ni-Fe se basa en el uso de oxihidróxido de níquel (NiOOH) en el electrodo positivo y hierro en el electrodo negativo. Las reacciones de carga-descarga de la batería son altamente reversibles en el electrolito alcalino, lo que le confiere un largo ciclo de vida.
- Los escombros lateríticos, generados por la industria del níquel en Nicaro y Moa, han sido estudiados con vistas a sus posibles usos, los escombros lateríticos de Moa, están compuestos por aglomerados hematínicos, goethitas, serpentinas, espinelas cromíferas y óxidos de hierro (68,50 %), que lo convierten en una posible fuente de materia prima para la industria siderúrgica cubana.
- Los escombros lateríticos de Moa (sectores Atlantic y Yamanigüey) tienen una composición mineralógica dominada por fracciones mayores de 80 micrones y fases como goethita, hematita, magnetita, maghemita e hidrargilita. La composición química de estos escombros incluye un alto contenido de hierro, manganeso, cobalto y otros elementos valiosos.
- La homogeneización y cuarteo de las muestras permitieron obtener una muestra experimental de 80 kg que fue sometida a análisis granulométrico, fraccional magnético y mineralógico.
- Los equipos utilizados incluyeron un difractómetro automático para texturas, un microscopio electrónico de barrido, un analizador DSC-50 y un espectrómetro de fluorescencia de rayos X.
- Granulométrica: Las partículas mayores de 80 μm agrupan el 60,83 % del material, y las de tamaños medios entre 0,38 mm y 2,2 mm alcanzan el 39,62 %.
- Química: Hierro (45-47 %), aluminio, níquel, cobalto y cromo en las partículas más gruesas; contenido de hierro disminuye en las partículas más finas. Uso de los Perdijones: Las partículas más gruesas, ricas en hierro, podrían ser utilizadas en procesos siderúrgicos.

RECOMENDACIONES

- Investigación Futura: Se recomienda continuar investigando sobre las propiedades y composición de los escombros lateríticos para mejorar la comprensión de su comportamiento en diferentes procesos y aplicaciones.
- Realizar un estudio granulométrico más exhaustivo: Ampliar el rango de tamaños de partícula analizado, incluyendo fracciones más finas (< 0.074 mm) y más gruesas (> 8 mm), para tener una visión integral de la distribución de tamaños y su relación con la composición mineralógica y química.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AK Shukla, V. H. (2001). Baterías recargables a base de níquel. fuentes de energía.
- Flores, A. H., Hernandez, J. F., Codorniu, R. T., Furnaguera, A. A., & Suarez, M. M. (2000). ANALISIS TEORICO DEL BENEFICIO DE LA MENA LATERITICA. *Minería y Geología*, 73-78.
- Furnaguera, A. A. (1995). Corteza de interemperismo. Algunas partículas finas. *Minería y Geología*, 9-19.
- Furnaguera, A. C., & Zamarzy, V. (1993). Estudio de la distribución del Hierro Niquel y cobalto en los tamaños de granos que componen el perfil de las cortezas de intemperismo de las rocas ultramáficas hasta su desarrollo laterítico y su relación con la mineralogía. *Minería y Geología*, 16-25.
- Hernández, J. F., & Flores, A. H. (1993). Preparación y Beneficio de minerales lateríticos en el proceso de lixiviación ácida a presión. *Minería y Geología*, 50-55.
- Hernández, J. F., Mazar, P. E., Carbonell, E. A., & Matos, M. M. (1997). Sedimentación De la Pulpa Cruda en la empresa Moa-Niquel S.A . *Minería y Geología*, 31-36.
- Julian Allera, R. R. (2017). *BATERÍAS SAS PERMA*. Obtenido de BATERÍAS SAS PERMA: <https://www.perma-batteries.com/es/devis-autonomie-solaire>
- Linden. (1983). *Manual de baterías y celdas de combustible*. Nueva York: McGraw-Hill.
- López, R. L.-D. (2006). ESTUDIO CINÉTICO DE LA DESCOMPOSICIÓN TÉRMICA DE ESCOMBROS LATERÍTICOS. *IBEROMET*, 282.
- Pérez, M. C. (2002). *Estudio de Beneficiabilidad de los escombros lateríticos de Moa*. Moa.
- Pérez, M. C., Priego, F. A., Herrera, J. A., & Rodríguez, A. C. (2006). Caracterización Físico Química de los Estériles Mineros: Yacimiento Moa. Holguín. Cuba . *Los Residuos MINEROS-METALURGICOS en el Medio Ambiente*, 177-194.
- Persauld, A. G. (2014). *Metodología para el inventario de los pasivos ambientales mineros-metalúrgicos generados por la industria del Níquel en Moa*. Moa.
- Purón, A. L. (1994). *Principales fases minerales portadoras de níquel en los horizontes lateríticos del yacimiento Moa*. Moa.
- Rodriguez, A. P. (2001). *Extracción de cobalto mediante la lixiviación ácida de los escombros lateríticos* . Moa.

- Torres, D. C. (2023). *Evaluación electroquímica del hidróxido de níquel (II) dopado con manganeso*. Moa.
- Unido, D. d. (1992). *Environmental Aspects of Battery and Fuel Cell Technologies*.
- Velázquez, A. L., Mazar, P. E., Flores, A. H., & Serrano, B. R. (1998). Distribución fraccional de los valores metálico en el escombreción laterítico . *Minería y Geología*, 17-43.

