



Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

Facultad de Metalurgia y Electromecánica

Departamento de Metalurgia y Química

**Caracterización física-química, mineralógica y
térmica del pasivo ambiental “escombros
lateríticos” del Yacimiento Camarioca Norte,
Zona 12**

*Tesis presentada en opción al título de
Ingeniero en Metalurgia y Materiales*

Aislen Ramos Anache

Moa, 2018





Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

Facultad de Metalurgia y Electromecánica

Departamento de Metalurgia y Química

**Caracterización física-química, mineralógica y
térmica del pasivo ambiental “escombros
lateríticos” del Yacimiento Camarioca Norte,
Zona 12**

*Tesis presentada en opción al título de
Ingeniero en Metalurgia y Materiales*

Autora: Aislen Ramos Anache

Firma.....

Tutores: Dr.C. María Caridad Ramírez Pérez

Firma.....

Dr.C. José Alberto Pons Herrera

Firma.....



Declaración de autoridad

Yo: Aislen Ramos Anache

Autora del Trabajo de Diploma titulado caracterización físico-química, térmica y mineralógica de los escombros lateríticos para su posible uso industrial, declaro la propiedad intelectual al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, para que disponga de su uso cuando considere conveniente.

Aislen Ramos Anache

Dr.C María Caridad Ramírez Pérez

Dr.C José Alberto Pons Herrera

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado primeramente a Dios por haberme fortalecido durante este período. A mi madre, ese ser tan especial, por ser mi motor impulsor para lograr alcanzar esta meta, la cual ha dedicado su vida a mi cuidado y protección. También dedico este trabajo a mi padre y mi padrastro Rolando Ramos y Julio Cruz, a mis tres hermanos Yusmel Ramos, Aliannis Ferrer y Julio César Cruz, los cuales me brindaron su cariño haciéndome olvidar el dolor de los golpes de la vida y volver a levantarme para formarme en mi vida profesional.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por su paz y su gracia para con mi vida. A mi madre Petronila Anache por su dedicación y comprensión.

Agradezco a mis hermanos en la fe que me dieron aliento para lograr esta meta, ellos son: Mis pastores Neuris Cedeño Espinosa y Marbelis Hernández, a Belkis García, Yanmaris Paumier, Mauris Leyva y al matrimonio de Eleane Pobeda y Alexei Frómeta los cuales me adoptaron como hija y me brindaron su amor y cariño como tal.

Un agradecimiento especial para Almira Irina José Ferreira Gamboa, Lukénia Luemba de Lucas, Dayanis Revé, Dairelís Duquesne Piti, Niuris Hernández, Libia y a mi princesa Maridelmis Parra Leyva.

Gracias a mis hermanos Salder Sánchez Hechavarría, Carlos Alfredo Moreno y Yunier que oraban por mí y siempre estuvieron para mí.

A Carlos Moreno y Hermes Parra los cuales me aman como a una hija.

También agradezco a mis tutores Dr.C María Caridad Ramírez Pérez y Dr.C José Alberto Pons Herrera por su dedicación y paciencia durante este proceso de realización del trabajo de diploma. A mis tres hermanos biológicos y amigos a la vez, Yusmel Ramos, Aliannis Ferrer, Julio César Cruz y a mi familia en general que de una forma u otra creyeron posible el cumplimiento de este sueño.

Gracias a todos mis profesores que me impartieron las materias para formarme en mi vida profesional, y a mis compañeros de aula, que fueron más que eso, fueron mi familia los cuales compartimos estos años, apoyándonos unos a otros para llegar hasta este gran final en la universidad y comenzar nuestras vidas laborales.

A todos muchas gracias.

Pensamiento

Haciendo el bien nutrimos la planta divina de la humanidad; Formando la belleza, esparcimos las semillas de lo divino.

Schiller

(1759-1805) Escritor alemán

Resumen

El objetivo de este trabajo es caracterizar los escombros lateríticos del Yacimiento Camarioca Norte, Zona 12 pertenecientes a la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba Moanickel S.A”, con el fin de proponer posibles usos en la industria. Para la preparación de la muestra se aplicó el método de cono y anillo, y la caracterización de dichos escombros se realizó por las técnicas de Espectrofotometría de Absorción Atómica, Volumetría, Difracción de Rayos X y Análisis Termogravimétrico. Mediante el análisis granulométrico de este pasivo ambiental se demostró la presencia de partículas mayores de 0,1 mm que representan el 98,4 %, entre las que se destaca la fracción $- 1,4 + 0,5$ mm con un contenido de 34 %; mientras que las mayores de 1,4 mm constituyen el 51 % de la muestra total. El análisis químico mostró que están compuestos fundamentalmente, por óxidos de hierro y de aluminio, lo que corrobora las fases mineralógicas principales, maghemita, magnetita y gibbsita, cuyos contenidos son: 53,2 %, 18,6 % y 12,7 % respectivamente. Los cambios de masa observados en la curva de Termogravimetría durante el estudio térmico, están asociados a las transformaciones de los oxihidróxidos de hierro y aluminio y al reordenamiento estructural de los óxidos de hierro presente en el material.

Palabras Clave: Escombros lateríticos, transformaciones de fases

Abstract

The objective of this work is to characterize the lateritic debris of Camarioca Norte, Area 12, belonging to the Company "Commandant Pedro Sotto Alba Moanickel S.A", in order to propose possible uses in the industry. For the preparation of the sample the cone and ring method was applied, and the characterization of said debris was carried out by Atomic Absorption Spectrophotometry, Volumetric, X-ray Diffraction and Thermogravimetric Analysis techniques. By means of the granulometric analysis of this environmental liability, the presence of particles greater than 0.1 mm representing 98.4% was demonstrated, among which the fraction - 1.4 + 0.5 mm with a content of 34% stands out; while those larger than 1.4 mm make up 51 % of the total sample. The chemical analysis showed that they are mainly composed of iron and aluminum oxides, which corroborates the main mineralogical phases, maghemite, magnetite and gibbsite, whose contents are: 53.2 %, 18.6 % and 12.7 % respectively. The mass changes observed in the thermogravimetry curve during the thermal study are associated with the transformations of iron and aluminum oxyhydroxides and the structural rearrangement of the iron oxides present in the material.

Key words

Keywords: Lateritic debris, phase transformations

ÍNDICE	pág.
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	5
1.1 Antecedentes y estado actual de los escombros lateríticos en Cuba	5
1.1.1 Consideraciones generales sobre los Pasivos Ambientales Mineros Metalúrgicos.....	6
1.1.1.2 Conceptualización de Pasivos Ambientales Mineros	8
1.1.2 Tratamiento a los escombros lateríticos cubanos.....	9
Conclusiones del capítulo I.....	12
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS	13
2.1 Selección y preparación de las muestras	13
2.1.1. Caracterización granulométrica	15
2.2 Técnicas y equipos empleados para la caracterización química, mineralógica y térmica.	19
2.2.1 Caracterización química.....	19
2.2.1.1 Fundamentos del método de Absorción Atómica.....	19
2.2.2 Caracterización mineralógica.....	20
2.2.2.1 Fundamento del método de Difracción de Rayos X	21
2.2.3 Caracterización térmica.....	21
Conclusiones del capítulo II.....	24
CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	25
3.1 Análisis de la caracterización de los escombros del Yacimiento Camarioca Norte, Zona 12 perteneciente a la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba Moanickel S.A”	25
3.1.1 Resultados de la caracterización física y química.....	25
3.1.1.1 Resultados de los análisis granulométricos	25
3.1.1.2 Resultados de la caracterización química	26
3.1.2 Resultados de la caracterización mineralógica y térmica de los escombros del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12	28
3.1.1.2 Resultados de la caracterización mineralógica	28
3.1.1.3 Resultados de la caracterización térmica	29
3.2 Análisis comparativo de las características de los escombros lateríticos	31

3.3 Análisis comparativo de las características mineralógicas de los escombros lateríticos de la región Mayarí-Moa	33
3.4 Análisis comparativo de las características térmicas de los escombros lateríticos de la región Mayarí-Moa.....	35
Conclusiones del Capítulo III.....	38
CONCLUSIONES GENERALES	40
RECOMENDACIONES	42
BIBLIOGRAFÍA	43

Índice de figuras

Figura 1: Área donde se enmarca el objeto de estudio de la investigación. Tomado de (Miranda, 2017).....	5
Figura 2 Procedimiento para la homogeneización y cuarteo de la muestra inicial.	13
Figura 2.1 Muestra cuarteada realizado a los escombros lateríticos del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12.....	14
Figura 2.2 Esquema empleado para la selección de las muestras de la investigación	15
Figura 2.3 Tamices utilizados en el análisis granulométrico	16
Figura 2.4 Esquema utilizado en el análisis granulométrico de las muestras	18
Figura 2. 5 Balanza utilizada para el pesaje de las muestras.....	19
Figura 2.6 Espectrofotómetro de Absorción Atómica ATI utilizado para la caracterización química.	20
Figura 2.7 Difractómetro de rayos-X utilizado para la caracterización mineralógica de la muestra.	21
Figura 2.8 Equipo de análisis térmico empleado en la investigación.....	22
Figura 3 Resultado del análisis granulométrico.	26
Figura 3.1 Difractograma de la muestra de escombros lateríticos del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12. (M: maghemita; G: goethita; Gb: gibbsita; H: hematita; Mt: magnetita). .	29
Figura 3.2. Termograma de escombros lateríticos del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12	30

Índice de Tablas

Tabla 1	Masa de las muestras utilizadas para el desarrollo del análisis granulométrico....	17
Tabla 2	Condiciones de trabajo durante el análisis térmico	22
Tabla 3	Resultados de la caracterización química.	26
Tabla 4	Intervalos de temperatura en que ocurren las principales pérdidas de masa.	31
Tabla 5	Composición química (%) de diferentes tipos de escombros lateríticos de la región de Moa	32
Tabla 6	Composición mineralógica de escombros lateríticos de diferentes yacimientos de la región de Mayarí-Moa.	34
Tabla 7	Características térmicas de escombros lateríticos de diferentes yacimientos de la región de Mayarí-Moa.	36
Anexo 1	Resultados del análisis granulométrico promedio del Pasivo Ambiental estudiado.	41

INTRODUCCIÓN

La minería es una de las actividades más antiguas que ha desarrollado la humanidad, casi desde el principio de la edad de piedra, hace 2,5 millones de años o más, ha sido la principal fuente de materiales para la fabricación de herramientas. Se puede decir que la minería surgió cuando los predecesores de los seres humanos comenzaron a recuperar determinados tipos de rocas para tallarlas y fabricar herramientas. (García, 2011)

Como consecuencia de esta actividad minera, y también minero-industrial, en la mayoría de los países quedaron numerosas minas e instalaciones en estado de abandono sin que se hayan sometido a un proceso adecuado de cierre, lo que ha significado que en la actualidad haya numerosos lugares en los que se presentan escenarios de riesgo para la seguridad y salud de las personas y para el medio ambiente. (ASGMI (Asociación de Servicios Geología y Minería Iberoamericanos), 2010)

Una riqueza mineral enorme se encuentra distribuida en los grandes depósitos de lateritas, localizadas en las regiones tropicales del mundo. En Cuba los depósitos de lateritas constituyen unas de las mayores reservas de níquel en el mundo. (Ferreiro, G,Y; et al, 2007)

Las reservas de níquel asociadas a estos yacimientos cubanos representan el 12 % de las reservas mundiales de níquel en depósitos lateríticos sobre peridotitas. Según los estudios de las empresas cubanas, las reservas de níquel probadas son de 800 millones de toneladas y las estimadas de 2000 millones de toneladas. En el caso del cobalto, las reservas de Cuba son el 25 % de las reservas mundiales. (Rodríguez, 2006)

Cuba es hoy uno de los diez principales productores mundiales de níquel y cobalto; las mayores reservas se encuentran localizadas fundamentalmente en la región de Mayarí – Moa perteneciente a la provincia de Holguín, ubicada en la parte oriental de la Isla. Al noroeste de esta provincia están situadas actualmente las dos industrias metalúrgicas que procesan los minerales lateríticos, una de ellas con la tecnología carbonato amoniacal, la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” y la otra empresa, “Comandante Pedro Sotto Alba Moanickel S.A” con la tecnología ácida a presión, que recupera el 95 % de níquel y algo más del 90 % de cobalto.

La Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba” logró la primera producción de concentrado de sulfuro de níquel más cobalto el 8 de noviembre de 1959; fue construida por la compañía

Moa Bay Mining, subsidiaria de Freeport Sulfur, y en 1960 pasó a manos del gobierno cubano. En 1994 tuvo lugar la formación de una empresa mixta con Canadá, con una tecnología considerada a nivel internacional como la más eficiente en la recuperación de níquel. Fue diseñada para recuperar anualmente 22 mil toneladas de níquel y 2 mil de cobalto, en forma de sulfuro concentrado que serían procesadas en una refinería especialmente construida en Port Nickel, Louisiana, para la extracción del níquel y el cobalto en forma metálica, con la limitante de solo procesar la capa limonítica del depósito minero, que contiene porcentajes de magnesio inferior al 1%; valor exigido para evitar el sobre consumo del agente lixivante (ácido sulfúrico). Existen otras capas minerales no explotadas por su alto contenido de magnesio (capa serpentínica) o por su baja ley de níquel (laterita fuera de balance). (Roché González, 2017)

Teniendo en cuenta el planteamiento anterior de la autora (Roché González, 2017), se puede considerar que la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba Moanickel S.A”, es una empresa que garantiza una recuperación de níquel con eficiencia, ubicándose en un mejor lugar en la tabla de posiciones respecto a las empresas recuperadoras de níquel. Al incrementar los volúmenes de lateritas de balance que se están procesando por esta industria, incrementa también el volumen de lateritas fuera de balance que son depositadas en las escombreras, generando grandes cantidades de desechos sólidos, entre los que se encuentran los escombros lateríticos.

Los pasivos ambientales mineros son aquellos que, generándose por la minería y por procesos metalúrgicos, constituyen desechos sólidos que ocasionan daños al ecosistema. Estos desechos o residuos actualmente son estudiados para luego ser procesados y proponer posibles usos en la industria, dentro de los cuales se encuentran los escombros lateríticos.

Como resultado de la actividad minera desarrollada, en la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba Moanickel S.A” se genera una gran cantidad de estos materiales de desechos, pasivos ambientales mineros (PAM) debido a que solo se utiliza la capa limonítica, por sus contenidos de níquel y cobalto y el bajo porcentaje de magnesio, este último, alto consumidor de ácido sulfúrico durante la etapa de lixiviación. Las lateritas fuera de balance, por el bajo contenido de estos metales no es procesada, generándose un problema de almacenamiento en condiciones no adecuadas de estabilidad, seguridad e integración en

el entorno, además provoca la contaminación de los ríos y el mar por el arrastre de estos materiales (sedimentos finos) aumentando la turbiedad del agua y con ello evita la entrada de la luz. (Roché González, 2017)

Según la expresión de (Roché González, 2017) se entiende que: los escombros lateríticos, que son las lateritas fuera de balance, ocasionan daños colaterales al medio exterior al que está expuesto, hombre y las vías fluviales.

Los Pasivos Ambientales Mineros (PAM) son obligaciones financieras para la reparación de daños causados al entorno y el incumplimiento de la legislación minera y ambiental existente. Su análisis es casi nulo en Cuba entre autoridades, especialistas y dirigentes empresariales, debiéndose tratar si concierne a la creación de empresas mixtas con entidades extranjeras. Deben ser analizados si se trata de fusiones o traspasos de bienes raíces entre las ramas de nuestra economía. (Ponce Seoane & Comesañas Díaz, 2011).

Según (Ponce Seoane & Comesañas Díaz, 2011), se les debe prestar gran atención a los PAM porque estos no solo se limitan a lo que sucede dentro de los límites de propiedad o concesión minera activa en cuestión, sino que sobrepasan a estos límites, por tanto, es necesario identificarlos con prontitud debido a que muchos de estos pasivos son procesos activos. Ejemplo de esto es la emisión de polvo o partículas, propias de la minería, la contaminación a las aguas superficiales y/o subterráneas, las cuales podrían estar dañando la salud de comunidades vecinas y/o zonas aledañas.

Muchas han sido las definiciones dadas a Pasivos Ambientales por diversos autores, debido a esto se considera que pasivo ambiental es aquella actividad extractiva de yacimientos metálicos y no metálicos. Estas actividades pueden encontrarse activas o no, lo que provoca daños al medio ambiente debido a las emisiones de residuos o sustancias sólidas al entorno, por lo cual es necesario la toma de decisiones para su procesamiento y propuesta para su uso industrial, dentro de estas sustancias sólidas se encuentran los escombros lateríticos.

Aunque se han desarrollado disimiles estudios sobre los escombros lateríticos, no se ha profundizado en las características físico- químicas, mineralógicas y térmicas de los escombros lateríticos pertenecientes al yacimiento Camarioca Norte Zona 12 de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba Moanickel S.A”, lo que imposibilita las propuestas para su posible uso industrial.

El **problema**: El desconocimiento de las características físico-químicas, mineralógicas y térmicas de los escombros del Yacimiento Camarioca Norte, zona 12, de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba Moanickel S.A”, limita las propuestas de utilización industrial.

El **objeto de la investigación** lo constituyen los escombros del Yacimiento Camarioca Norte, zona 12, de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba Moanickel S.A”.

Como **campo de acción** se establecen las características físico – químicas mineralógicas y térmicas de los escombros del Yacimiento Camarioca Norte, zona 12, de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba Moanickel S.A”.

Como **Hipótesis** se plantea: Con la determinación de las características físico-químicas, mineralógicas y térmicas de los escombros lateríticos del Yacimiento Camarioca Norte, Zona 12, de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba Moanickel S.A”, es posible hacer propuestas de usos a este pasivo ambiental.

El objetivo general de la investigación es: Caracterizar desde el punto de vista físico, químico, mineralógico y térmico, el pasivo ambiental “escombros lateríticos” del Yacimiento Camarioca Norte, Zona 12, de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba Moanickel S.A”, para su posible uso industrial.

Objetivos específicos:

- ✓ Determinar las características físico-químicas, mineralógicas y térmicas del Pasivo Ambiental escombros lateríticos del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12.
- ✓ Comparar las características físico-químicas, mineralógicas y térmicas del Pasivo Ambiental escombro laterítico del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12 con otros pasivos ambientales existentes en la región de Moa.
- ✓ Identificar y proponer posibles usos en la industria, del Pasivo Ambiental estudiado, a partir de la comparación de sus características con las de otros escombros de la región.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

En la actualidad se realizan investigaciones con el fin de tratar a los pasivos ambientales y determinar su utilización, principalmente en la zona región de Moa perteneciente a la provincia de Holguín, ubicada en la parte oriental de la Isla.

En este capítulo se hace referencia a las características generales del Pasivo Ambiental Minero (PAM) “escombros lateríticos” del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12, perteneciente a la Empresa “Comandante Pedro Sotillo Alba Moanickel S.A”. También se describen las propiedades físicas, químicas, térmicas y mineralógicas de dicho pasivo ambiental. En la figura 1 se muestra el área de estudio donde se enmarca el objeto de la investigación.



Figura 1: Área donde se enmarca el objeto de estudio de la investigación. Tomado de (Miranda, 2017)

A continuación, se establece el estado del arte para el tratamiento de los pasivos ambientales minero - metalúrgico, generados por la industria del Níquel en la región de Moa y las perspectivas para su utilización, lo cual posibilita la fundamentación de la hipótesis.

1.1 Antecedentes y estado actual de los escombros lateríticos en Cuba

Es necesario destacar los daños que ocasionan los pasivos ambientales al medio ambiente al que están expuestos, de los cuales las empresas y fábricas del tercer mundo no son conscientes.

Las capas superiores de los yacimientos, inmediatamente por debajo de la capa vegetal, se les denomina comúnmente “escombros lateríticos”, que por no ser utilizados por las industrias metalúrgicas, son considerados materiales de desechos (Palacios Rodríguez, 2001), (Ramírez Pérez, 2010). Los escombros lateríticos pertenecientes a Yacimientos que ya no están en explotación pueden ser considerados como pasivos ambientales, a partir de las definiciones que al respecto dan muchos países en el mundo, principalmente países de América Latina, España y Cuba. Por ello resulta de interés ampliar el conocimiento sobre los pasivos ambientales, conocer cómo se conceptualizan y la forma de tratarlos. (Roché González, 2017).

Las lateritas y los escombros lateríticos han sido utilizados para producir hierro y acero de forma industrial; (Ortiz Bárcenas, 2015, pág. 9) realizó sus investigaciones solo por la vía de horno rotatorio y alto horno dado su contenido de hierro y compleja composición mineralógica. Los resultados despejan la duda del autor acerca de la selección de la tecnología a utilizar.

Suwardjo Widodo en 1982 desarrolló un trabajo a escala de laboratorio relacionado con el beneficio y posibilidad de utilización siderúrgica de los minerales lateríticos cubanos. El autor logró obtener por primera vez un concentrado de hierro a partir de los escombros lateríticos con una ley en hierro superior al 60,00 % y recuperaciones de 74,00 %, 60,00 %, 53,80 % para hierro, cromo y níquel, respectivamente. La principal dificultad de este esquema es que se incluye un ciclo de tostación magnetizante, molienda y separación magnética y no se logran altas recuperaciones de los elementos deseados. Adicionalmente se obtiene un rechazo de la separación magnética que formaría un dique de colas, que dañaría el medio ambiente. El trabajo no menciona aspectos mineralógicos del mineral.(Ortiz Bárcenas, 2015)

1.1.1 Consideraciones generales sobre los Pasivos Ambientales Mineros Metalúrgicos

Las actividades minera metalúrgicas, a través del tiempo, dieron origen a la formación de los pasivos mineros; entre esas actividades se encuentran: “las labores subterráneas de la mina, labores de tajo abierto, depósitos de desmontes, depósitos de relaves, generación de aguas ácidas, descarga de sedimentos, residuos metalúrgicos, instalaciones de talleres de

mantenimiento, estaciones de combustible, alteración del paisaje y deforestación”, (Sotomayor, 2015, pág. 6).

Los Pasivos Ambientales Mineros son aquellos elementos, tales como instalaciones, edificaciones, superficies afectadas por vertidos, depósitos de residuos mineros, tramos de cauces perturbados, áreas de talleres, parques de maquinaria o parques de mineral que, estando en la actualidad en entornos de minas abandonadas o paralizadas, constituyen un riesgo potencial permanente para la salud y seguridad de la población, para la biodiversidad y para el medio ambiente. (ASGMI (Asociación de Servicios Geología y Minería Iberoamericanos), 2010)

Un artículo de la revista Desarrollo Ambiental y Social Sostenible, (2005) plantea que: El impacto negativo y acumulativo de operaciones mineras y de fundición (los pasivos ambientales mineros o PAMs) que se ubican a lo largo de todo el territorio peruano constituye un serio perjuicio para la salud y es una importante causa de malestar social entre las comunidades locales. La inadecuada disposición de relaves y desmontes, así como los métodos inapropiados para la disposición de efluentes peligrosos y materiales contaminantes de las operaciones mineras, ya han causado casos graves de filtraciones, drenaje ácido y contaminación de cuerpos acuíferos, así como otros efectos negativos en la biodiversidad y los ecosistemas.

Los pasivos ambientales pueden acumularse en el tiempo y afectar a la calidad ambiental (personas y/o ecosistemas), alterando su equilibrio. Pueden contaminar aguas (subterráneas o superficiales) suelos, subsuelos, cubiertas vegetales, etc. Como ejemplos de pasivos ambientales se tienen: almacenamientos de desechos en condiciones no adecuadas, vertimientos incontrolados, vertimientos a cauces de ríos, al mar, áreas mal abandonadas o clausuradas, zonas industriales afectadas, etc.

Como no todos los impactos son perjudiciales para la salud, el medio ambiente y el patrimonio, en algunos países, en particular en Suramérica, se usa el riesgo como criterio diferenciador (Oblasser y Chaparro, 2008). La definición adoptada es "un área donde existe la necesidad de restauración, mitigación o compensación por un daño ambiental o impacto no gestionado, producido por actividades mineras inactivas o abandonadas que pone en riesgo la salud, calidad de vida o bienes públicos o privados"(Arango, 2012).

1.1.1.2 Conceptualización de Pasivos Ambientales Mineros

Según la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía describe a los pasivos ambientales como aquella situación ambiental que, generada por el hombre en el pasado y con deterioro progresivo en el tiempo, representa actualmente un riesgo al ambiente y la calidad de vida de las personas.

También expone que los pasivos ambientales son complejos y complicados para su recuperación, debido a las características físico químicas, los elevados costos para su control y rehabilitación, la falta de identificación de responsables y por el incipiente desarrollo tecnológico para su recuperación.

El término pasivos ambientales mineros, empleado comúnmente para referirse a la minería abandonada en Iberoamérica, hace referencia a los impactos ambientales generados por las operaciones mineras abandonadas, con o sin dueño u operador identificables, y en donde no se hayan realizado un cierre de minas reglamentado y certificado por la autoridad competente. Aunque cada vez más comienza a existir cierto consenso en considerar el riesgo como un factor definitorio, de tal forma que sólo se consideran pasivos ambientales mineros (PAM) a aquellos elementos asociados a actividades mineras abandonadas que representen un riesgo potencial permanente sobre la salud y seguridad de las personas, la biodiversidad y el medio ambiente (Moreno & Chaparro, 2008).

La Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanas (ASGMI, 2010) considera necesario, o cuando menos aconsejable, que se tomen medidas para enfrentar esta amenaza para la salud y el medio ambiente, dando pasos para la solución o mitigación del riesgo, desde el inventariado y caracterización de los sitios mineros abandonados, pasando por la evaluación del riesgo que entrañan, hasta la propuesta de medidas de remediación o, al menos, mitigación de tales amenazas.

Esta Asociación conceptualiza a los PAM como aquellos elementos, tales como instalaciones, edificaciones, superficies afectadas por vertidos, depósitos de residuos mineros, tramos de cauces perturbados, áreas de talleres, parques de maquinaria o parques de mineral que, estando en la actualidad en entornos de minas abandonadas o paralizadas, constituyen un riesgo potencial permanente para la salud y seguridad de la población, para la biodiversidad y para el medio ambiente.

En el IV Congreso Cubano de Minería (Ponce Seoane & Díaz Comesañas, 2011) plantearon que los PAM son obligaciones financieras para la reparación de los daños causados al entorno por la actividad minera e impactos ambientales provocados por ella, así como por el incumplimiento de la legislación minera y ambiental al respecto existente en Cuba, (Roché González, 2017).

Los PAM ocasionan daños, ya sea a las vías fluviales o a los suelos como tal, los cuales son provocados por las actividades mineras producidas por el hombre, esto se debe en ocasiones al desconocimiento o negligencias.

A lo largo de la historia de la minería en Cuba, la actividad extractiva de yacimientos no metálicos y metálicos ha sido y es intensa, fundamentalmente las referidas al níquel. Los yacimientos que ya no se encuentran activos por razones técnicas, económicas o sociales, agrupan los PAM y constituyen huellas dejadas en el entorno que reclaman la toma de medidas para su rehabilitación.

1.1.2 Tratamiento a los escombros lateríticos cubanos.

La mayoría de las industrias o empresas minero metalúrgicas de países en vías de desarrollo, no toman importancia del nivel de destrucción que infligen los rechazos y/o residuales industriales hacia el medio ambiente, debido a su enfoque constante del rendimiento de la planta y la mina. Estos desechos, si no son tratados se convierten en Pasivos Ambientales.

Las primeras investigaciones sobre los escombros lateríticos de la región de Mayarí-Punta Gorda, se desarrollaron en el Centro de Investigaciones Metalúrgicas (CIME) y estuvieron dirigidas fundamentalmente, al estudio de los yacimientos niquelíferos de Pinares de Mayarí y Mina Martí, con vista a la obtención de concentrados de hierro para la producción de arrabio y aceros. De manera centralizada se acometieron acciones para el rescate de los pasivos mineros. Se plantea que es a nivel de territorio, en primera instancia, donde deben emprenderse acciones para la rehabilitación de éstos, rescatándolos en función de sus necesidades y con los recursos financieros, materiales y humanos disponibles en los mismos.(2015)

Para Demostrar la efectividad del uso de los escombros lateríticos de Zona A, yacimiento Moa Occidental, en el proceso de descarburización de los aceros, (Ramírez Pérez, 2010) hace una caracterización físico- química y térmica, fundamentando científicamente el empleo de los escombros lateríticos de Zona A, como descarburizante en la producción de aceros sin afectar su calidad, a través de su caracterización, estudios termodinámicos y cinéticos de su descomposición térmica y establece un procedimiento tecnológico para el uso de estos escombros en este proceso.

Más tarde,(Ortiz Bárcenas, 2015), hace un estudio profundo de los escombros de Mina Martí de Nicaro, para la obtención de un producto prerreducido para la producción de arrabio con níquel (Nickel Pig Iron), donde hace una caracterización química, física y mineralógica de dichos escombros lateríticos como mineral de hierro para usos siderúrgicos, así como el estudio termodinámico de la reducción carbotérmica de los óxidos de hierro y níquel que los componen.

Según Ganesh Persaud, (2014), Cuba es un país en vías de desarrollo, por la tanto, tiene la necesidad de desarrollar sus propios métodos para controlar las afectaciones que provocan al medio ambiente las emanaciones de residuales, y que el nivel de desarrollo de un país se determina si hay posibilidades para la inversión en nuevos métodos para el aprovechamiento de sus desechos industriales. En el municipio de Moa, existen plantas metalúrgicas y minas que impactan al medio ambiente, debido a la emisión continua de Pasivos Ambientales. Estos recursos pueden estar en estado sólido, líquido o en forma de polvo y/o gas.

Beltrán Guilart, Penedo Medina, & Falcón Hernández, (2010), consideran que en un futuro los minerales de baja ley, como los escombros lateríticos, representarán fuentes importantes para obtener níquel y cobalto.

En las investigaciones desarrolladas por Palacios Rodríguez, (2001), se plantea que al lixiviar los escombros lateríticos de zona A con soluciones de ácido sulfúrico y sulfato de hierro, se puede alcanzar una alta recuperación de cobalto, de manera que esta puede constituir una variante para el tratamiento de los escombros en lugar de recuperar el cobalto que contiene.

Como se refiere hasta aquí, los escombros de Camarioca norte, Zona 12, no han sido investigados lo suficiente, como para hacer propuestas de usos y aprovechar los valores útiles que puedan contener.

Conclusiones del capítulo I

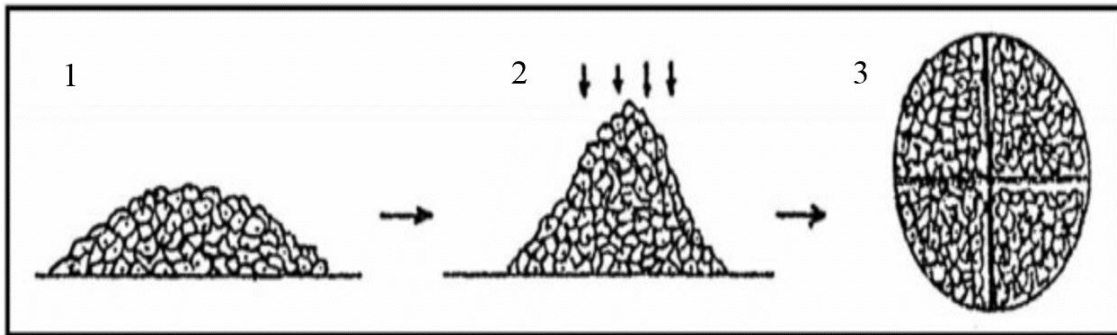
1. En Cuba no existe una definición aprobada oficialmente para referirse a los Pasivos Ambientales Mineros (PAMM); las definiciones dadas por algunas instituciones en el mundo, se restringen a aquellos residuos de minas cerradas o abandonadas y edificaciones no utilizadas en la actualidad. Lo anterior evidencia la necesidad de desarrollar investigaciones para conceptualizarlos.
2. Como regularidad, los escombros lateríticos cubanos están constituidos mayoritariamente por óxidos de hierro y aluminio, y las fases reportadas por los estudios de Difracción de rayos X (maghemita, goethita, gibbsita) están en correspondencia con los contenidos de estos óxidos.
3. Los escombros lateríticos, por su contenido de hierro, pueden ser utilizados como materia prima para la industria siderúrgica, esencialmente como material oxidante de los aceros y para la obtención de arrabio.
4. No existen evidencias de la caracterización físico-química y térmica de los escombros del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12 perteneciente a la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba Moanickel S.A”, lo que limita la propuesta de usos a este PAMMs y justifica el desarrollo de esta investigación.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

Este capítulo tiene como objetivo mostrar la metodología empleada para la caracterización físico-química, mineralógica y térmica de los escombros lateríticos del Yacimiento Camarioca Norte zona 12 de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba Moanickel SA “.

2.1 Selección y preparación de las muestras

El equipo de Geología- Minería de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba Moanickel SA “fue el encargado de la toma de la muestra que fue extraída de la zona menífera del Yacimiento Camarioca Norte, Zona 12. La masa total fue de 26,3 kg, la que posteriormente se trasladó hacia la Planta de Beneficio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, donde fue homogeneizada y cuarteada a través del método del cono y el anillo (figura 2). Como aspecto físico, esta presenta color pardo rojizo, lo que denota su alto contenido de hierro.



Fuente: (Roché González, 2017)

Figura 2 Procedimiento para la homogeneización y cuarteo de la muestra inicial.

1-muestra sin homogeneizar; 2-muestra homogeneizada, 3- muestra cuarteada.

Para realizar la preparación manual de la muestra se utilizaron herramientas garantizando su desarrollo con eficiencia, estas herramientas fueron:

- ✓ Una pala
- ✓ Una cuchara de albañil

El procedimiento utilizado para el cuarteo manual es el siguiente:

1. Se coloca la muestra de campo sobre una superficie plana, dura y limpia, donde no pueda haber pérdida de material ni contaminación con materias extrañas.
2. Se homogeniza el material haciendo un cono depositando cada paleada sobre la anterior y luego haciendo un anillo, seguidamente se forma nuevamente el cono.
3. Por medio de la pala, se ejerce presión sobre el vértice, aplanando con cuidado la pila hasta obtener un espesor y un diámetro uniformes. El diámetro obtenido deberá ser aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor del material.
4. Seguidamente se divide la pila aplanada en cuatro partes iguales con la pala o la cuchara de albañil. (Ver figura 2.1)



Figura 2.1 Muestra cuarteada realizado a los escombros lateríticos del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12.

Elaborado por: Aislen Ramos Anache

Se separan, unen y guardan como reserva dos de las partes diagonalmente opuestas, incluyendo todo el material fino. Se puede utilizar una brocha o cepillo para incorporar el material fino a la muestra respectiva, otra de las partes queda de reserva para la realización del análisis por vía húmeda y la otra para dicho análisis por vía seca, luego de realizar el procedimiento de homogeneización y cuarteo.

La masa de la muestra que se utilizó para el análisis granulométrico, mineralógico y químico es de 11,8 kg, la cual fue pesada en una pesa analítica ubicada en la planta de

Beneficio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Para el tamizado se realizaron tres réplicas y luego se les efectuó el pesaje.

La figura 2.2 muestra el esquema utilizado para la selección de la muestra y los testigos (reservas de investigación), para el desarrollo de la caracterización granulométrica, química, mineralógica y térmica.

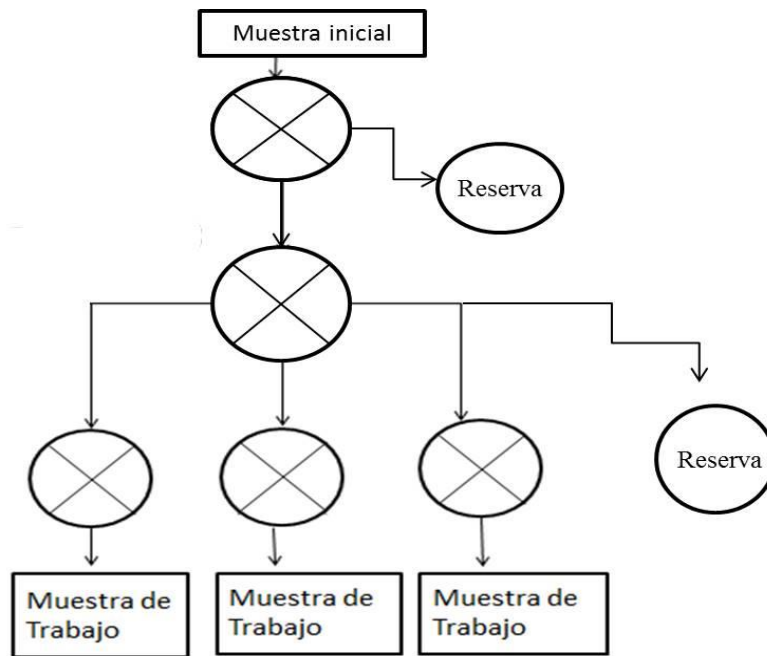


Figura 2.2 Esquema empleado para la selección de las muestras de la investigación

Elaborado por: Aislen Ramos Anache

A continuación, se describen los métodos y las técnicas empleadas para la caracterización granulométrica, química, mineralógica y térmica de los escombros objeto de estudio.

2.1.1. Caracterización granulométrica

El tamizado es un método que se realiza con el objetivo de separar las partículas teniendo en cuenta su granulometría. De cada tamiz se obtienen dos fracciones, una la constituye el retenido que son las partículas que se quedan en la superficie del tamiz y el otro, el cernido, el cual es aquel que siendo de granulometría más pequeña atraviesa los orificios del tamiz. Este es el método más sencillo que se utiliza para la clasificación del material según su granulometría. Este proceso requiere de la sucesividad del paso del material por una serie

de tamices que posean orificios o mallas progresivamente decrecientes. El material que pasó a través de un tamiz y ha sido retenido en el siguiente porque sus orificios son de tamaño menor que el anterior, suele considerarse como de tamaño igual a la media aritmética de la abertura de ambos tamices, éste valor representa el "tamaño medio" o diámetro medio". El material que no atraviesa los orificios del tamiz se designa como rechazo o fracción positiva (retenido), y el que lo pasa se llama tamizado o fracción negativa (cernido).

Los tamices utilizados en el análisis granulométrico se muestran en la siguiente figura:



Figura 2.3 Tamices utilizados en el análisis granulométrico

Elaborado por: Aislen Ramos Anache

El análisis granulométrico constituye un aspecto indispensable para la caracterización de los escombros lateríticos objeto de esta investigación. Este se realizó por vía seca, seleccionando el juego de tamices según la serie de Taylor (Adreiev, 1987) y por la experiencia en el tratamiento de los escombros lateríticos cubanos. Las fracciones resultantes fueron: +10 mm, -10+8mm, -8+5 mm, -5+1,4 mm, -1,4+0,50 mm, -0,5+0,10 mm, -0,10 +0,088 mm, -0,088+0,074 mm (la causa por la cual hay un cambio en la sucesión del

diámetro de los tamices, según la serie de Taylor, se debe a la ausencia de estos a la hora ejecutar el tamizado en el ISMMM).

Las masas de las réplicas utilizadas para el análisis granulométrico, las cuales fueron pesadas en la balanza analítica ubicada en el comedor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa para realizar el análisis de tamiz, se representan en la tabla 1

Tabla 1 Masa de las muestras utilizadas para el desarrollo del análisis granulométrico

Réplicas	Masa (Kg)
1	2,51
2	2,48
3	2,84
TOTAL	7,83

La figura 2.4 muestra el esquema del análisis granulométrico realizado a las muestras.

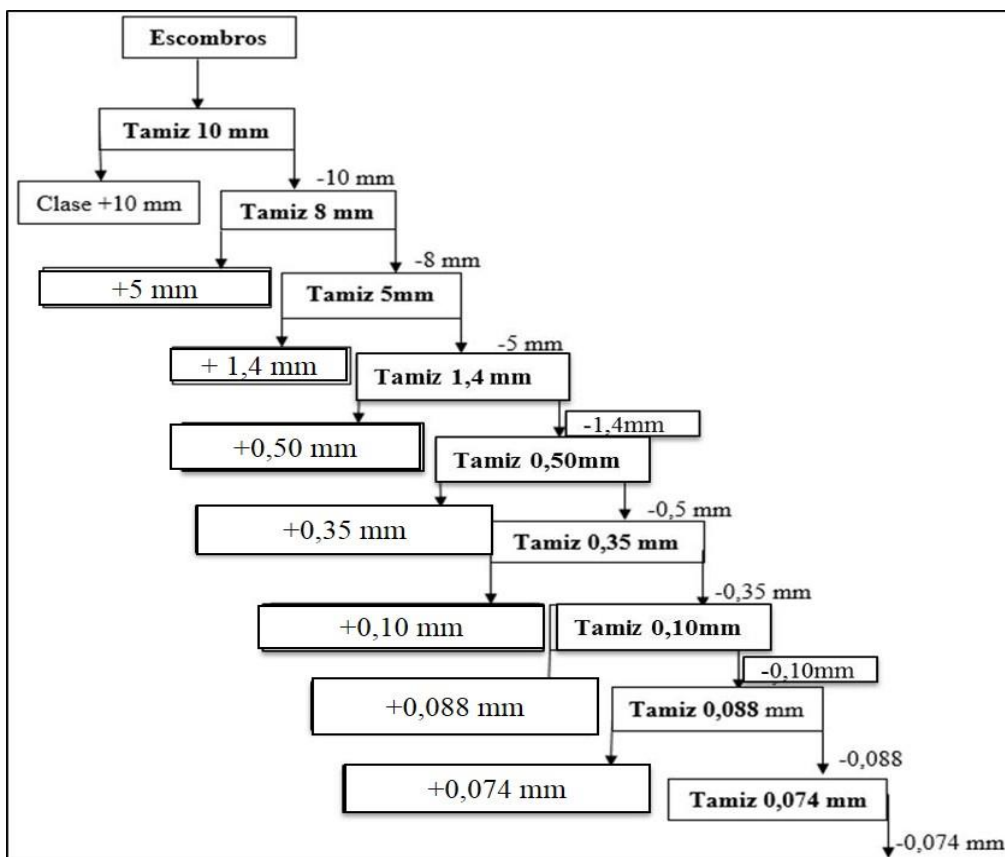


Figura 2.4 Esquema utilizado en el análisis granulométrico de las muestras

Elaborado por: Aislen Ramos Anache

Para determinar las masas de los productos del análisis granulométrico, se utilizó una balanza digital modelo Sartorius BS 124S (figura 2.5), ubicada en los laboratorios del departamento de Metalurgia y Química del ISMM, con una capacidad máxima de 120 g y una desviación de 1 mg.



Figura 2. 5 Balanza utilizada para el pesaje de las muestras

2.2 Técnicas y equipos empleados para la caracterización química, mineralógica y térmica.

Para la caracterización química, mineralógica y térmica, se contó con el financiamiento del Proyecto “Rehabilitación de PAMMs generados por la industria del Níquel en Moa”

P 104LH001-024.

De las fracciones granulométricas tamizadas, se tomaron pequeñas porciones que fueron pulverizadas y enviadas a los laboratorios de análisis, pertenecientes al Centro de Desarrollo e Investigación del Níquel en Moa (CEDINIQ). Los métodos y equipos utilizados en cada caso se describen a continuación.

2.2.1 Caracterización química

Para la determinación de la composición química de cada una de las muestras tomadas en esta investigación, se utilizaron los métodos de Espectrofotometría de Absorción Atómica, Volumetría y Gravimetría.

2.2.1.1 Fundamentos del método de Absorción Atómica

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.

Las mediciones se realizaron en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica ATI UNICAM SOLAR 929 (DOBLE RAYO DE LUZ) como se muestra en la figura 2.6.



Figura 2.6 Espectrofotómetro de Absorción Atómica ATI utilizado para la caracterización química.

2.2.2 Caracterización mineralógica

Para la caracterización mineralógica de la muestra inicial (sin tamizar) se utilizó el método de Difracción de Rayos X. El análisis se realizó en los laboratorios de Metalurgia y Materiales del Instituto Politécnico Nacional de México.

El equipo utilizado es un Difractómetro de rayos-X, modelo Bruker AXS D8 Focus, como se muestra en la figura 2.7

Las condiciones de trabajo son las siguientes:

Óptica primaria:

Voltaje: 35 kV

Corriente: 25 mA

Tubo Cu $K\alpha$

Slit: 0.6 mm.

Cu-Absorber: 0.05 mm



Figura 2.7 Difractómetro de rayos-X utilizado para la caracterización mineralógica de la muestra.

Para el tratamiento de los datos mineralógicos y la cuantificación de las fases, se empleó el software High Score Plus de Panalytical (Versión 3.0B). 01.02.2011. Para la identificación de las fases se utilizó la base de datos PDF2 Año 2015.

2.2.2.1 Fundamento del método de Difracción de Rayos X

Esta técnica se emplea para la identificación de forma cualitativa de las distintas fases que componen las muestras objeto de estudio. La esencia del análisis es que a partir de la radiación emitida por un tubo de rayos X, la misma se difracta en la muestra, a partir de la cual se emiten haces con diferentes longitudes de onda, según la ley de Bragg, cuya expresión es: $n \lambda = 2 d \cdot \sin \alpha$.

2.2.3 Caracterización térmica

El análisis térmico fue realizado en el Centro de Investigaciones para la Industria Minero-Metalúrgica (CIPIMM), en La Habana, empleando un equipo de la firma alemana NTEZSCH, modelo STA 449 F3, como se muestra en la figura 2.8.

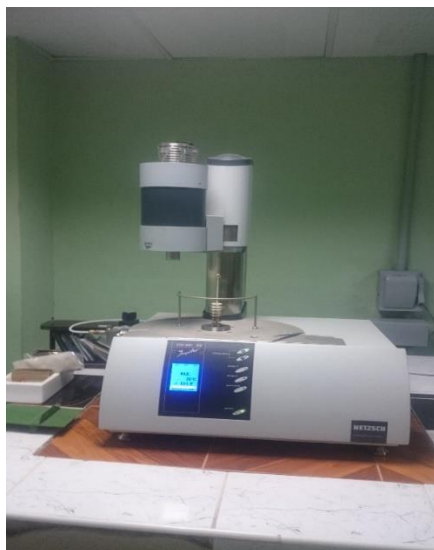


Figura 2.8 Equipo de análisis térmico empleado en la investigación

Las condiciones de trabajo utilizadas en el análisis térmico se reflejan en la tabla 2. El análisis se realizó a través de la Termogravimetría (TG) y la Derivada de la Termogravimetría (DTG).

Tabla 2 Condiciones de trabajo durante el análisis térmico

Régimen de calentamiento	Dinámico
Masa de muestras	Se especifica en el termograma
Masa del material de referencia	60,20 mg (Al_2O_3)
Tipo de crisoles	Al_2O_3 (tamaño estándar)
Material del horno	SiC (T.amb. – 1500 °C)
Gas utilizado en la cámara de calentamiento	Ar
Flujo del gas protector de la termobalanza	20,0 ml/min (Ar)
Velocidad de calentamiento	10,0 °C /min
Sensibilidad de la termobalanza	0,001 mg – 35.0 g
Sensibilidad de la curva TG	-0,001 - 5000 $\mu\text{V}/\text{mg}$
Tiempo total de medición	1h:37 min
Rango de temperatura de trabajo	27-1000 °C

Los datos de las curvas termogravimétricas (TG) y su derivada (DTG) se convirtieron en termogramas continuos con el empleo del programa “Proteus” para el procesamiento de datos de Análisis Térmico, en su versión 5.2.1/07.04.2001, el cual suministra el fabricante del equipo, compatible a su vez con Windows para Office, obteniéndose además por esta misma vía los termogramas (TG/ DTG) de las velocidades de cambio de masa (dm/dt), que experimentan los escombros analizados durante el calentamiento continuo.

Conclusiones del capítulo II

1. La preparación de la muestra, así como los métodos y técnicas analíticas empleados, garantizan la confiabilidad de los resultados de la caracterización físico – química, mineralógica y térmica de los escombros del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12, perteneciente a la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba Moanickel S.A”.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se realiza la discusión de los resultados de la caracterización química, granulométrica, mineralógica y térmica de los escombros del Yacimiento Camarioca Norte, Zona 12, de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba Moanickel S.A”. Además, se efectúa una comparación con otros escombros pertenecientes a la región Mayarí-Moa y se hacen propuestas de uso a partir de las investigaciones precedentes.

3.1 Análisis de la caracterización de los escombros del Yacimiento Camarioca Norte, Zona 12 perteneciente a la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba Moanickel S.A”

A continuación, se discuten los resultados de la caracterización granulométrica, química, mineralógica y térmica de estos Pasivos Ambientales.

3.1.1 Resultados de la caracterización física y química

La caracterización física de los escombros lateríticos pertenecientes al yacimiento Camarioca Norte, Zona 12, de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba Moanickel S.A”, se desarrolla teniendo en cuenta su composición granulométrica, luego de realizado el cribado con los tamices seleccionados, desde 10 mm hasta 0,074 mm. La caracterización química se realiza con una fracción de la muestra testigo, en el laboratorio del CEDINIQ; los resultados obtenidos se discuten a continuación.

3.1.1.1 Resultados de los análisis granulométricos

Los resultados promedios del análisis de tamiz realizado a las tres réplicas de la muestra del escombro, se refleja en el anexo 1. La tabla contiene las salidas de cada una de las clases de tamaño y la salida acumulativa, por el retenido y por el cernido.

En la figura 3 se ilustra el resultado del análisis granulométrico realizado. Como se observa, las partículas mayores de 0,1 mm representan el 98,4 % de la masa del total de la muestra, mientras que las menores constituyen el 1,6 %. Lo anterior es un comportamiento característico de los escombros generados por la industria del níquel, mayor contenido de partículas gruesas respecto a las de menores diámetros.

Al continuar el análisis de la figura 3 se evidencia que, entre las mayores de 0,1 mm, las partículas con tamaños entre 0,35 mm y 1,4 mm representan el 49 % del total, entre las que

predomina la fracción – 1,4+ 0,5 mm con un contenido de 34 %; mientras que las mayores de 1,4 mm constituyen el 51 %.

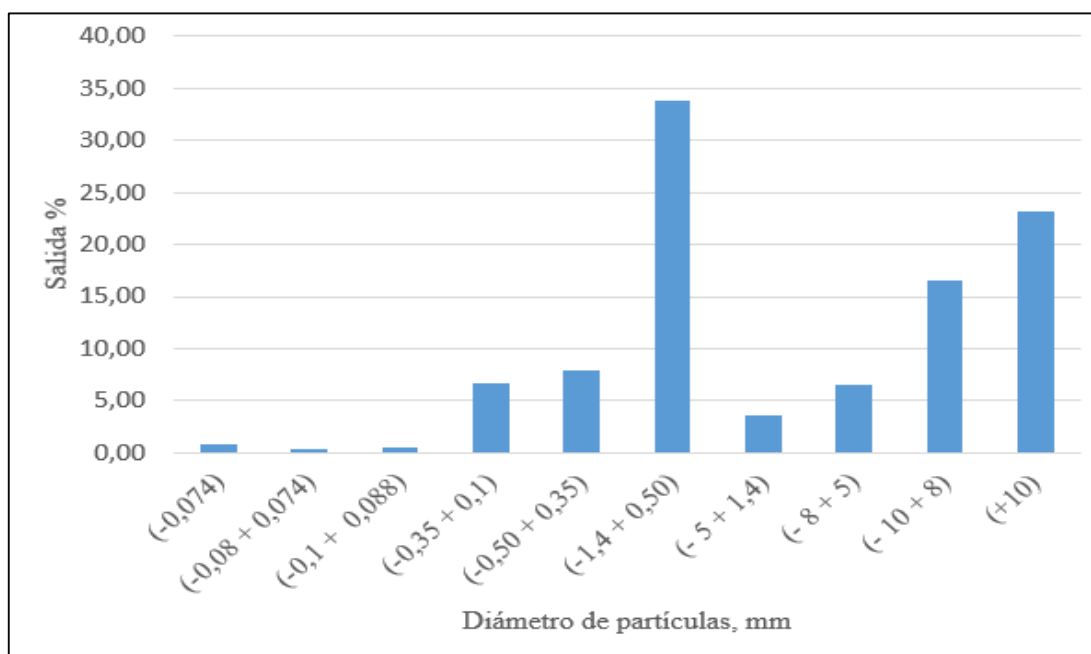


Figura 3 Resultado del análisis granulométrico.

Elaborado por: Aislen Ramos Anache

Los resultados del análisis granulométrico de los escombros objeto de esta investigación, corroboran los obtenidos por, (Ramírez Pérez, 2010), (Roché González, 2017) y (Huaraca Taype, 2018), en los cuales se obtienen mayor contenido de partículas gruesas respecto a las de menores tamaños, constituyendo una regularidad de los escombros lateríticos.

3.1.1.2 Resultados de la caracterización química

Los resultados obtenidos en el análisis químico se representan en la siguiente tabla 3.

Tabla 3 Resultados de la caracterización química.

Contenido de escombro laterítico expresado como óxido (%)											
NiO	CoO	MnO	MgO	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ²⁺	Fe ³⁺	PPI	Ni/Co	SiO ₂ /MgO
0,983	0,121	0,558	0,808	2,823	2,79	10,11	5,2	34,24	8,05	8,124	3,453

Los análisis químicos realizados a la muestra sin tamizar o de cabeza, del escombros del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12 indican, como se evidencia en la tabla anterior, que está compuesto fundamentalmente por óxidos de hierro y de aluminio, además de otros óxidos como: óxido de níquel(II), óxido de cobalto(II), óxido de magnesio(II), óxido de cromo(III) y dióxido de silicio.

En relación al hierro, el contenido de óxidos de este elemento en los escombros de diferentes yacimientos de la región de Moa, oscila entre 60 % y 74 % aproximadamente, (Ramírez Pérez, 2010), (Ganesh Persaud, 2014), (Palacios Rodríguez, 2001), (Huaraca Taype, 2018), sin embargo, el contenido de hierro total, que es la suma de óxido de hierro(III) más óxido de hierro(II), en el escombros estudiado es 39,44 %, valor inferior a los de otros yacimientos. Si se tiene en cuenta la investigación desarrollada por (Roché González, 2017) con escombros de este mismo yacimiento pero de las áreas 1 y 2, en que la autora demostró que el contenido de hierro no supera el 45 %, puede establecerse entonces una regularidad entre los escombros del yacimiento Camarioca Norte en lo referente al contenido de este metal, pues aunque la presencia de hierro es mayoritaria en estos residuos mineros, el contenido es inferior al otros yacimientos de la región.

El óxido de aluminio es el segundo entre los mayoritarios, con un contenido de 10,11 %. La presencia mayoritaria de hierro y aluminio en los escombros del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12, constituye una regularidad de los escombros cubanos.

Se comprobó la presencia del níquel en la muestra analizada, con un contenido del óxido de níquel(II) igual a 0,983 %, que, aunque algo elevado para este horizonte laterítico, está por debajo de la ley exigida para que pueda incorporarse al proceso extractivo de la industria, pero es un elemento a tener en cuenta en las propuestas de uso.

En lo referente al óxido de magnesio(II), el contenido es de 0,808 %, que junto al aluminio y al silicio (2,79 %), forma parte de los minerales arcillosos. La presencia de los óxidos de estos elementos constituye un elemento a considerar cuando se trata de propuestas de uso de estos residuos, esencialmente para la industria siderúrgica, pues ellos contribuyen a mejorar propiedades, como son; viscosidad y fluidez de las escorias.

El óxido de cromo(III) es otro de los constituyentes de la muestra y su contenido está en el orden de 2,823 %, valor en el que oscila el contenido de cromo en otros yacimientos de Moa.

Los óxidos de cobalto(II) y de manganeso(II) son los minoritarios en cuanto a contenido entre los determinados, 0,121 % y 0,558 %, respectivamente, coincidiendo con las investigaciones realizadas por (Ramírez Pérez, 2010), (Ganesh Persaud, 2014), (Ortiz Bárcenas, 2015), (Roché González, 2017) entre otros. En lo referente al óxido de cobalto(II), el contenido se corresponde con el de la laterita de balance y es superior al reportado en escombros de otros yacimientos, aunque es coincidente con el resultado de (Ramírez Pérez, 2010), al estudiar los escombros de Moa Occidental, específicamente los de la Zona A.

Un aspecto que ofrece información valiosa al hacer propuestas de uso, es la relación Ni/Co y SiO₂/MgO, que se obtiene de la composición química de estos pasivos ambientales (tabla 3.). En el caso de la producción de aceros, la presencia de altos contenidos de cobalto no es recomendable, de modo que mientras mayor sea la relación Ni/Co estará indicando mayores contenidos de níquel y menores de cobalto, lo cual es favorable. La relación SiO₂/MgO es un indicador a considerar, pues como se comentó anteriormente, ellos contribuyen a mejorar viscosidad y fluidez de las escorias.

En resumen, los escombros lateríticos del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12, están constituidos mayoritariamente por óxidos de hierro y aluminio con contenidos que superan al de los restantes elementos que lo componen: níquel, cromo, magnesio, manganeso y silicio, todos en forma de óxidos.

3.1.2 Resultados de la caracterización mineralógica y térmica de los escombros del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12

Para la caracterización mineralógica y térmica se emplearon las técnicas de Difracción de rayos X y de Termogravimetría. Los resultados en cada caso se presentan a continuación.

3.1.1.2 Resultados de la caracterización mineralógica

El difractograma que se muestra en la figura 3.1 es el resultado del análisis mineralógico realizado a la muestra. Las fases identificadas son: maghemita, magnetita, gibbsita,

hematita y goethita. La evidencia de las fases de hierro y de aluminio está en correspondencia con la presencia mayoritaria de óxidos de hierro y aluminio reportados en el análisis químico realizado a los escombros que se investigan.

De acuerdo a la composición cuantitativa, la maghemita, la magnetita y la gibbsita, son las fases mayoritarias, 53,2 %; 18,6 % y 12,7 % respectivamente. En lo referente a la magnetita y su relación con el 5,2 % de hierro(II) reportado en el análisis químico, aunque no se encontraron fases del tipo espinela, quizás por el bajo contenido de magnesio en el escombros, sí se conoce que en estos tipos de minerales, el hierro(II) puede estar formando parte estructural de compuestos como: $Mg(Al,Fe)_2O_4$ o en minerales de cromita.

DIFRACTOGRAMA

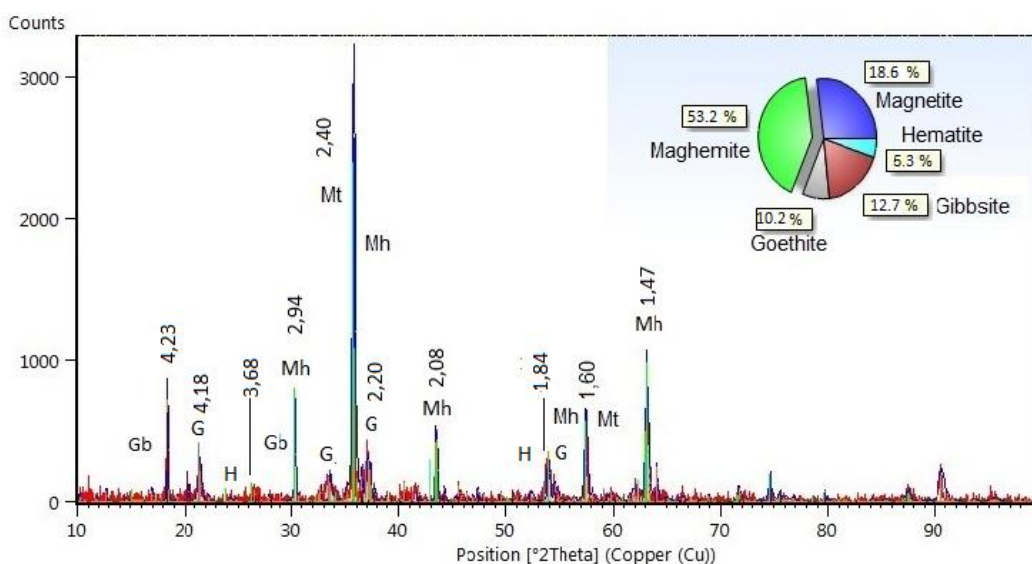


Figura 3.1 Difractograma de la muestra de escombros lateríticos del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12. (M: maghemita; G: goethita; Gb: gibbsita; H: hematita; Mt: magnetita).

Si bien los contenidos de goethita y hematita son minoritarios, la presencia de estas fases se justifica por el contenido de hierro en estos residuales, como se analizó anteriormente.

3.1.1.3 Resultados de la caracterización térmica

El termograma resultante del análisis térmico realizado a la muestra del escombros laterítico estudiado (figura 3.2), expone las pérdidas de masa que experimenta el material al calentar desde 27 °C hasta 1000 °C.

La curva de termogravimetría (TG) exhibe el primer cambio hasta 175 °C aproximadamente, con una pérdida de masa de 4,50 % debido a la salida del agua de hidratación del material, donde la curva de la derivada de TG indica que a 84 °C el material pierde agua con mayor rapidez.

El segundo cambio o escalón en la curva de TG ocurre en el intervalo de temperatura de 200 °C a 400 °C, con una pérdida de masa de 11,59 %; esta pérdida está asociada a la transformación (deshidroxilación) de los oxihidróxidos de hierro y aluminio (goethita y gibbsita) fases reportadas durante la caracterización mineralógica de la muestra estudiada. La curva de DTG en el termograma, indica que 298 °C es la temperatura en que la muestra pierde masa con mayor rapidez.

El tercer y último escalón, con una pérdida máxima de masa de 0,88 % a los 881 °C, como lo indica la derivada de TG, está asociado al reordenamiento estructural de los óxidos de hierro presentes en el material y de los resultantes de las transformaciones previas ocurridas durante el calentamiento.

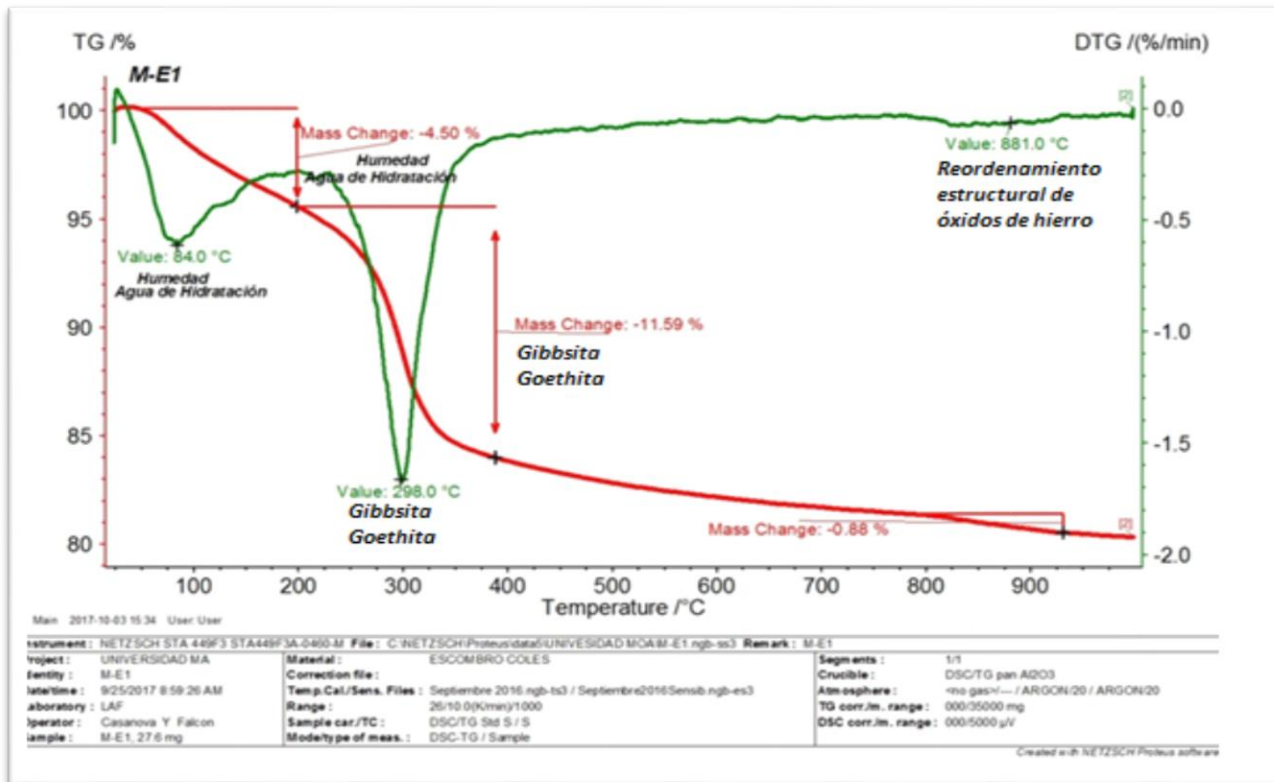


Figura 3.2. Termograma de escombro laterítico del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12

La segunda y la tercera transformación durante el calentamiento de la muestra del escombros estudiado, han sido reportadas en investigaciones precedentes, entre las que se pueden citar a (Ramírez Pérez, 2010) y (Ortiz Bárcenas, 2015), estudios térmicos realizados con escombros de la región de Mayarí-Moa. Los autores demostraron que entre 200 °C y 600 °C la goethita se transforma en maghemita y luego a hematita, y en ese mismo intervalo, la gibbsita se transforma en bohemita.

En la tabla 4 se muestran las magnitudes de las pérdidas de masa en el material calentado, así como los intervalos de temperatura en que tuvieron lugar y los efectos a los que están asociados.

Tabla 4 Intervalos de temperatura en que ocurren las principales pérdidas de masa.

Intervalos de Temperatura (°C)	Temperatura de pérdida de masa (°C)	Magnitud de la pérdida de masa (%)	Asociada a:
50-150	84	4,50	Agua de hidratación
200-300	298	11,59	Agua de constitución gibbsita, goethita
800-950	881	0,88	Reordenamiento estructural de los óxidos de hierro

Elaborado por: Aislen Ramos Anache.

3.2 Análisis comparativo de las características de los escombros lateríticos

En la tabla 5 se reflejan las características químicas de escombros de diferentes yacimientos.

Como se observa en la tabla, el elemento mayoritario de estos pasivos ambientales pertenecientes a diferentes yacimientos de la región de Moa y de Mina Martí en Nicaro, es el hierro. Entre los escombros que se comparan, los de Zona A del yacimiento Moa

Occidental, tienen un contenido de este elemento superior al resto, 73,65 %, mientras los de Mina Martí y los de Moa Occidental pertenecientes a FEMSA, poseen un 68 % de hierro total. Como se reportó anteriormente, los escombros de Camarioca Norte, Zona 12, tienen un contenido de hierro total igual a 34,24 %, el más bajo entre los comparados en esta investigación.

En todos los escombros que se comparan, el segundo de los mayoritarios es el óxido de aluminio, que varía entre 6 % y 13 %, observándose que en los del yacimiento Mina Martí el contenido es el menor entre todos los analizados.

Tabla 5 Composición química (%) de diferentes tipos de escombros lateríticos de la región de Moa

Pasivos	Composición química promedio (%)								
	CoO	MgO	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe total	NiO	Fuentes
Zona A, PSA	0,144	0,211	0,750	2,130	13,000	3,296	73,655	0,691	(Ramírez Pérez, 2010)
Mina Martí	0,221	6,004	0,346	8,261	6,271	2,150	68,193	0,800	(Ortiz Bárcenas, 2015)
Camarioca Norte, Área 1	0,021	0,366	0,645	3,051	12,809	2,601	44,771	0,451	(Roché González, 2017)
Moa Occidental FEMSA	0,087	1,09	0,48	3,51	13,45	3,07	68,2	0,61	(Huaraca Taype, 2018)
Camarioca Norte, Zona 12	0,121	0,808	0,558	2,79	10,11	2,823	34,24	0,983	(Ramos, 2018)

Elaborado por: Aislen Ramos Anache

Por otra parte, no existe una diferencia significativa en los contenidos de óxido de níquel(II) y óxido de cromo(III) en los escombros estudiados; los contenidos del primero

oscilan entre 0,451 % en Camarioca Norte Área 1 y 0,840 % en los de FEMSA, sin embargo, en el caso de Camarioca Norte Zona 12, el contenido es superior al resto y está muy próximo al exigido por las empresas extractivas que operan en la actualidad en Moa, aspecto de interés y que merece tenerse en cuenta para las propuestas de uso de este pasivo. En lo que respecta al cromo, los contenidos oscilan entre 2 % y 3,3 % aproximadamente, con muy poca diferencia entre unos y otros.

En lo referente al dióxido de silicio, el contenido en los escombros de Moa está en el orden de 2 y 3 % con muy poca variación, sin embargo, en los de Mina Martí el contenido asciende a 8,26 % que junto con el elevado contenido de óxido de magnesio (6,004 %), marcan la diferencia entre los escombros de ese yacimiento y los de la región de Moa, aspecto de interés para la industria siderúrgica.

En todos los escombros que se comparan, el óxido de cobalto(II) es el que se encuentra en menor cuantía entre los elementos que se analizan, aspecto que es común para los escombros lateríticos cubanos, el contenido está entre 0,012 % y 0,22 %. Los yacimientos que tienen un valor más elevado de este elemento son los de Mina Martí y los de Camarioca Norte, Zona 12.

De la comparación se puede resumir como regularidad química, que los elementos mayoritarios en los escombros, en cuanto a contenidos de sus óxidos, son el hierro y el aluminio; que el contenido de cobalto, de manganeso, de níquel y de cromo no varía significativamente de un yacimiento a otro, mientras que el contenido de magnesio y de silicio es superior en los escombros de Mina Martí en Nicaro, yacimiento en que el contenido de óxido de aluminio es contrastante con los demás escombros comparados.

3.3 Análisis comparativo de las características mineralógicas de los escombros lateríticos de la región Mayarí-Moa

En la tabla 6. se muestran los resultados de diferentes investigaciones en cuanto a la composición mineralógica de distintos yacimientos de la región de Moa y Mina Martí.

Tabla 6 Composición mineralógica de escombros lateríticos de diferentes yacimientos de la región de Mayarí-Moa.

Yacimiento/ Fuente	Goethita	Gibbsita	Maghemita	Hematita	Magnetita	Cuarzo
Zona A (Ramírez Pérez, 2010)	20	11	59,19	3,90	37	3,90
Mina Martí (Ortiz Bárceñas, 2015)	12-30	--	60 - 70	10-70,20	--	--
Camarioca Norte, Área 1 (Roché González, 2017)	--	--	17,67	20,03	--	--
Moa Occidental FEMSA (Huaraca, 2018)	5,94	19,20	72,50	2,36	--	--
Camarioca Norte, Zona 12 (Ramos, 2018)	10,2	12,7	53,2	5,3	18,6	--

Como se evidencia, los escombros de Moa y de Nicaro contienen comúnmente las fases maghemita, hematita y goethita, siendo la maghemita entre ellas la mayoritaria en casi todos los yacimientos, con un contenido que oscila entre 17 % y 72 %. La presencia de estas fases, junto con la magnetita reportada en dos de los escombros que se comparan, está en correspondencia con el hecho de que el hierro es el mayoritario en estos residuos mineros.

La fase gibbsita no se ha reportado en los escombros de Mina Martí en Nicaro, lo cual puede estar asociado al bajo contenido de óxido de aluminio en ese yacimiento, como se analizó en el epígrafe anterior. Tampoco hay evidencia de gibbsita en el yacimiento Camarioca Norte, Área 1, lo cual, a juicio de la autora de este trabajo, debe ser una errada

interpretación del difractograma, pues el contenido de óxido de aluminio en esos escombros está en el orden de 12,8 %.

Por otra parte, la fase magnetita solo se reporta en los escombros de zona A, pertenecientes a la empresa Moanickel SA Pedro Soto Alba en Moa y en los estudiados en la presente investigación.

Se puede resumir entonces, que en los escombros lateríticos de Moa y Mina Martí en Nicaro, las fases principales son las de hierro en correspondencia con los contenidos de óxidos de este elemento en estos residuos. Entre estas fases, la principal en todos los casos es la maghemita.

3.4 Análisis comparativo de las características térmicas de los escombros lateríticos de la región Mayarí-Moa

En la tabla 7, se muestran las características térmicas de los escombros lateríticos de los yacimientos de la región Moa y Nicaro que se comparan.

Los estudios de caracterización térmica no son muy abundantes entre las investigaciones realizadas con los escombros de la región. Para realizar la comparación, se toman los resultados obtenidos por diferentes autores al caracterizar los pasivos de yacimientos de la región Mayarí-Moa y los obtenidos en esta investigación.

En la tabla se evidencia que las variaciones de masa medidas en las curvas de TG hasta 200 °C aproximadamente, se deben a la pérdida del agua de hidratación que acompaña al material.

Mientras el material continúa calentándose, se verifican una serie de efectos endotérmicos medidos sobre las curvas de ATD, a lo que les acompañan pérdidas de masa que son atribuibles a la transformación de fases como: goethita, gibbsita y antigorita. Aunque en la investigación de Huaraca, 2018 y en la presente no se pueden mostrar los registros de Análisis Térmico Diferencial (ATD), la presencia de las fases goethita y gibbsita en los escombros estudiados en las mismas, justifica la posibilidad de que se verifiquen estos efectos endotérmicos asociados a las transformaciones de ambas fases, como fue reportado por Ramírez, 2010.

Tabla 7 Características térmicas de escombros lateríticos de diferentes yacimientos de la región de Mayarí-Moa.

Yacimiento/fuente	Curva	Efectos	Temperatura	Pérdida de masa
Zona A (Ramírez Pérez, 2010)	ATD/TG	Endotérmico	100 – 200 °C	Agua de hidratación
		Endotérmico	250 °C – 375 °C	Deshidroxilación de la goethita
		Endotérmico	375 - 500 °C	No supera el 1 %, transformación de la goethita y la gibbsita
		Exotérmico	Máximo a 876,2 °C	Cristalización de óxidos de hierro
		Endotérmico	1345 °C	Valor medio de 2,42 %
Mina Martí Nicaro (Ortiz, 2015)	ATD/TG	Endotérmico	180 °C – 400 °C	Desprendimiento del agua fuertemente ligada de la goethita, (10,00 %)
		No determinado	453 °C de manera continua y lenta	Agua débilmente enlazada
		Endotérmico	550 °C - 670 °C	1,84 % desprendimiento del agua de constitución de la antigorita
		Exotérmico	825 °C	Característico de la antigorita, una variedad de la serpentina
Moa Occidental FEMSA (Huaraca, 2018)	TG/DTG	--	50°C -150 °C	Agua de hidratación
		--	200°C -300 °C	20 % de Gibbsita, agua de constitución
		--	300 °C - 460 °C	33 % de Goethita, deshidroxilación
		--	850 °C - 1000 °C	14 % de talco
Camarioca Norte,	TG/DTG	--	50 °C -150 °C	Agua de

Zona 12 (Ramos, 2018)			hidratación
	--	200 °C -300 °C	Agua de constitución gibbsita, goethita
	--	800 °C -950 °C	Reordenamiento estructural de los óxidos de hierro

Alrededor de los 850 °C tiene lugar una disminución de la masa en todos los escombros estudiados, que para algunos (Zona A y Mina Martí) está acompañada de un efecto exotérmico. Esto es debido a la reorganización estructural y cristalización de los óxidos y antigorita presentes en estos escombros. Alrededor de esa temperatura se ha reportado la presencia de talco en la muestra de Moa Occidental perteneciente a FEMSA, que tiene su explicación por el grado de contaminación con serpentina que presentan estos residuos, como se analizó anteriormente.

Es preciso señalar que el conocimiento del comportamiento de un material cuando es expuesto al incremento de la temperatura, resulta de gran importancia para la toma de decisiones y para las propuestas de uso que se hagan a estos pasivos ambientales.

Propuestas de usos a partir del análisis comparativo con otros escombros

Considerando las características granulométricas, químicas, mineralógicas y térmicas de los escombros de Camarioca Norte, Zona 12, el análisis comparativo con otros yacimientos de la región Mayarí-Moa, y los resultados de las investigaciones desarrolladas para proponer usos a los escombros y convertirlos de PAMMs en Activos, se propone lo siguiente:

1. Utilizar los escombros lateríticos del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12, como material oxidante en los procesos de elaboración de aceros.
2. Emplear estos escombros para la obtención de productos siderúrgicos, esencialmente, arrabio con níquel (Nickel Pig Iron).

Conclusiones del Capítulo III

1. Los escombros de Camarioca Norte, Zona 12 están caracterizados por la presencia de partículas mayores de 0,1 mm que representan el 98,4 %, entre las que se destaca la fracción $- 1,4 + 0,5$ mm con un contenido de 34 %; mientras que las mayores de 1,4 mm constituyen el 51 % de la muestra total
2. Están compuestos fundamentalmente, por óxidos de hierro y de aluminio, además de otros óxidos como: óxido de níquel(II), óxido de cobalto(II), óxido de magnesio(II), óxido de cromo(III) y dióxido de silicio. El contenido de hierro total en el escombros estudiado es 39,44 %, valor inferior a los de otros yacimientos, pero coincidente, en cierta medida, con los resultados obtenidos para el área 1 de este mismo yacimiento, lo cual puede establecerse como una regularidad entre los escombros de Camarioca Norte en lo referente al contenido de este metal, que en todos los escombros lateríticos cubanos su presencia es mayoritaria.
3. El óxido de aluminio es el segundo entre los mayoritarios, con un contenido de 10,11 %. La presencia mayoritaria de hierro y aluminio en los escombros del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12, constituye una regularidad de los escombros cubanos.
4. Mineralógicamente están representados por las fases maghemita, magnetita y gibbsita como las principales, cuyos contenidos son: 53,2 %, 18,6 % y 12,7 % respectivamente. Otras fases como la goethita (10,2 %) y la hematita (5,3 %) también fueron reportadas en el análisis de Difracción de rayos X.
5. Durante el calentamiento de una muestra de estos residuos, el registro de termogravimetría exhibe cambios importantes en la masa del material:
 - El primero, con una pérdida de 4,50 % de la masa, corresponde a la salida del agua de hidratación del material.
 - El segundo cambio en la masa de la muestra, 11,59 %, en el intervalo de temperatura entre 200 °C y 300 °C, aproximadamente, es atribuible a la pérdida de agua de constitución de la gibbsita y la goethita que se transforman en bohemita y hematita respectivamente.
 - Un tercer y último cambio en la masa a los 881 °C, como evidencia la curva de la derivada de termogravimetría, con un valor de 0,88 %, está asociado a al reordenamiento de los óxidos de hierro presentes presentes en el material y de los resultantes de las transformaciones previas ocurridas durante el calentamiento.

6. A partir de las características granulométricas, químicas, mineralógicas y térmicas de los escombros de Camarioca Norte, Zona 12, el análisis comparativo con otros yacimientos de la región Mayarí-Moa, y los resultados de las investigaciones desarrolladas para dar usos a los escombros y convertirlos de PAMMs en Activos, se propone utilizarlos en la industria siderúrgica, como oxidantes en la producción de aceros y como materia prima en la producción de arrabio con níquel.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Desde el punto de vista granulométrico, los escombros de Camarioca Norte, Zona 12 perteneciente a la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba Moanickel S.A”, están caracterizados por la presencia de partículas mayores de 0,1 mm que representan el 98,4 %, entre las que se destacan las mayores de 1,4 mm que constituyen el 51 % de la muestra total.
2. Mineralógicamente están representados por las fases maghemita, magnetita y gibbsita como las principales, cuyos contenidos son: 53,2 %, 18,6 % y 12,7 % respectivamente. Otras fases como la goethita (10,2 %) y la hematita (5,3 %) también fueron reportadas en el análisis de Difracción de rayos X en correspondencia con la presencia mayoritaria de óxidos de hierro y aluminio.
3. Al calentar la muestra hasta 1000 °C se producen cambios en la masa del material que están asociados a la pérdida de agua de hidratación, a la transformación de la gibbsita y la goethita, y al reordenamiento estructural de los óxidos de hierro presentes presentes en el material y de los resultantes de las transformaciones previas ocurridas durante el calentamiento.
4. De las características físico-químicas, mineralógicas y térmicas realizadas a los escombros lateríticos del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12 perteneciente a la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba Moanickel S.A”, y al compararlos con otros escombros de la región de Mayarí-Moa, se propone su uso en la industria siderúrgica como materia prima para producir aceros y para la producción de arabio con níquel (NPI).

Anexo 1. Resultados del análisis granulométrico promedio del Pasivo Ambiental estudiado.

Clase de tamaño (mm)	Peso (g)	Salida γ (%)	Salida acumulativa (%)	
			Por el Retenido γ (%)	Por el Cernido γ (%)
+10	699	23	23	100
(- 10 + 8)	501	17	40	77
(- 8 + 5)	196	7	46	60
(- 5 + 1,4)	110	4	50	54
(-1,4 + 0,50)	1021	.	84	50
(-0,50 + 0,35)	241	8	92	16
(-0,35 + 0,1)	202	7	98	8
(-0,1 + 0,088)	15	0,5	98,9	2
(-0,08 + 0,074)	10	0,3	99,2	1,1
(-0,074)	23	0,8	100	0,8
total (g)	3017	100		0,0

RECOMENDACIONES

1. Ampliar la caracterización química y mineralógica, a las fracciones granulométricas obtenidas en esta investigación.
2. Desarrollar pruebas experimentales que demuestren la posibilidad de utilizar los escombros del yacimiento Camarioca Norte, Zona 12, para los fines propuestos.
3. Continuar las investigaciones pertinentes a los Pasivos Ambientales Mineros, “escombros lateríticos”, semejantes a los estudiados y pertenecientes a áreas de explotación en las industrias Minero-Metalúrgicas de Cuba.

BIBLIOGRAFÍA

- Arango, A. (2012). Problemática de los pasivos ambientales mineros en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 125-133.
- ASGMI (Asociación de Servicios Geología y Minería Iberoamericanos). (2010). Pasivos Ambientales mineros. *Manual para el inventario de minas abandonadas o paralizadas*, 37.
- Azahares Ríos, Y. (2015). *Evaluación ambiental de los Pasivos Ambientales Mineros de la mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- Beltrán Guilart, Y., Penedo Medina, M., & Falcón Hernández, J. (2010). Análisis de la extracción y selectividad en la lixiviación de lateritas fuera de balance con ácido piroleñoso y sus mezclas con ácido sulfúrico. *Tecnología Química*, 90-96.
- Desarrollo Ambiental y Social Sostenible. (2005). Riqueza y sostenibilidad: Dimensiones Sociales y Ambientales de la Minería en el Perú. *Desarrollo Ambiental y Social Sostenible*, 4-5.
- Ferreiro, G,Y; et al. (2007). *Obtención de un concentrado de hierro a partir de los escombros*. Holguín: Ciencias Holguín, Revista trimestral.
- Ganesh Persaud, A. (2014). *Metodología para el Inventario de los Pasivos Ambientales Mineros-Metalúrgicos, generados por las industrias del Níquel en Moa*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- García, G. C. (2011). “*Estudio ambiental de las áreas afectadas por la actividad minera del depósito Santa Lucía*”. Pinar del Río: Universidad de Pinar del Río “ Hermanos Saíz Montes de Oca”.
- Huaraca Taype, S. C. (2018). *Caracterización físico- químico y térmica de los escombros lateríticos para su posible uso industrial*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- Miranda, L. (2017). Moa: CEDINIQ.
- Moreno, C., & Chaparro, E. (2008). *Conceptos básicos para entender la legislación aplicable a la industria minera en los países andinos. División de Recursos Naturales e Infraestructura*. Santiago de Chile : Naciones Unidas CEPAL.

- Ortiz Bárcenas, J. (2015). *Obtención de un producto prerreducido para la producción de Níquel (Nickel pig iron) a partir del tratamiento de los escombros lateríticos de mina Martí de Nicaro*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa .
- Palacios Rodríguez, A. (2001). *Recuperación de cobalto por medio de la lixiviación ácida de los escombros lateríticos*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- Ponce Seoane, N., & Comesañas Díaz, J. L. (2011). *Pasivos Ambientales Mineros en Cuba . Bases Metodológicas*. La Habana: Instituto de Geología y Paleontología, Cuba, Vía Blanca 1002 e/ línea de ferrocarril y prolongación de carretera central.
- Ramírez Pérez, M. C. (2010). *Utilización de los escombros lateríticos de zona A, yacimiento Moa Occidental en el proceso de descarburización del acero ACI HK-40*. Moa : Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- Roché Gonzalez, Y. (2017). *Evaluación de las principales características físico-químicas del pasivo ambiental "escombros lateríticos" para su posible uso industrial*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- Rodríguez, P. (2006). *La Minería del Níquel en Cuba: Pasado, Presente Y Futuro*. España: Departamento de Química. Facultad de Ciencias. Universitat de Girona.
- Sotomayor, A. (2015). *Remediación de Pasivos Ambientales Mineros* . Lima: Consorcio de Universidades "Metas del Perú al Bicentenario".