



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

**METODOLOGÍA PARA EL INVENTARIO DE LOS PASIVOS
AMBIENTALES MINEROS- METALÚRGICOS, GENERADOS POR
LAS INDUSTRIAS DEL NÍQUEL EN MOA.**

Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Metalúrgico

Anthony Ganesh Persaud

**Moa
2014**



Instituto Superior Minero Metalúrgico “Dr. Antonio Núñez Jiménez ”

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

**METODOLOGÍA PARA EL INVENTARIO DE LOS PASIVOS
AMBIENTALES MINEROS- METALÚRGICOS, GENERADOS POR
LAS INDUSTRIAS DEL NÍQUEL EN MOA.**

Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Metalúrgico

Diplomante: Anthony Ganesh Persaud

Tutor: Prof. Titular. Ing. José Alberto Pons Herrera, Dr.C.

Moa

2014



Declaración de Autoridad:

Yo: Anthony Ganesh Persaud

Autor de este trabajo de diploma, certifico su propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Nuñez Jiménez", el cual podrá hacer uso del mismo con la finalidad que estime conveniente.

Anthony Ganesh Persaud

Dr.C José Alberto Pons Herrera



Resumen

El tratamiento y uso de los residuos mineros industriales constituye uno de los principales retos del mundo contemporáneo, sin embargo no todos los países cuentan una metodología que permita conocer los detalles de estos recursos. En Cuba no existe una metodología que garantice el conocimiento y uso eficiente de los pasivos ambientales minero – metalúrgicos.

En el presente trabajo de diploma se analizan los principales pasivos ambientales sólidos de las empresas de Níquel dentro del municipio de Moa. La Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, Empresa Moa Nickel Pedro Sotto Alba S.A y Empresa Ferroníquel Minera S.A. (FEMSA).

A partir de las principales características físicas – químicas, mineralógicas y térmicas de estos pasivos, se establece una metodología que permite contar en un solo documento con los tipos de pasivos sólidos existen en las empresas de Níquel de Moa, sus características, clasificación e inventario de estos recursos minerales.

Se elaboraron las fichas técnicas de cada uno de los pasivos ambientales estudiados y se establece una clasificación, en dependencia de la matriz de importancia.

Palabras Claves

Pasivos Ambientales Minero-Metalúrgicos sólidos, Rechazos y residuos industriales, Rehabilitación



Summary

The treatment and use of industrial mining and metallurgical residuals constitute one of the main challenges in this contemporary world, never the less not all countries count on a methodology that allows them to recognize the details of these resources. In Cuba there's no methodology that guarantee the knowledge and efficient use of industrial mining and metallurgical wastes/residuals.

In the present thesis the main industrial mining and metallurgical wastes/residuals from the nickel enterprises in the Moa municipal, the Commandant Ernesto Che Guevara Enterprise, Moa Nickel Pedro Sotto Alba Enterprise and the Ferronickel Mine Corporation (FEMSA).

A methodology was established that allows us to depend on one document with the different types of industrial wastes and residuals that exist in the nickel enterprises of Moa, their characteristics, classification and inventory of these mineral resources starting from the chemical, mineralogical and thermal characteristics of these industrial wastes.

Technical records were elaborated for each one of the industrial wastes/residuals and a general Clarification, depending on the importance matrix.

Key Words

Solid Industrial Mining and Metallurgical wastes/residuals, Industrial Wastes and Residuals, Rehabilitation



PENSAMIENTO

"El hombre no solo debe ambicionar el logro de la propia felicidad, sino también buscar la felicidad de todos los seres humanos".

Si el hombre crea, solamente para sí mismo podrá ser un famoso científico, un gran sabio, un excelente poeta, pero jamás será realmente un ser grande y perfecto.

Carlos Marx



DEDICATORIA

-  *A mis padres: Darla y Bridgemohan Persaud y a mi abuela: Elma Grant que me han deseado lo mejor en mis empeños.*
-  *A mis hermanos: Nicholas, Kenrick y Ronella Persaud*
-  *A mis tios: Levoy Taljit, Dr. Azad Hussain y Sirpaul Sookram*
-  *A mis tias: Ms. C. Saleema Hussain, Debbie Sookram y Tessa Grant*
-  *A mis primos: Alvin Sookram y Camile Lindo*



Agradecimientos

Agradezco a todos los que me han ayudado en el cumplimiento de mi trabajo de diploma y llegar tan lejos en mi formación como ingeniero metalúrgico:

- + Al gobierno de mi país Guyana por darme la oportunidad de realizar mis estudios en Cuba.*
- + A la revolución cubana por haberme dado la oportunidad de completar y obtener mi título como Ingeniero Metalúrgico.*
- + A mí querido familia que me ha apoyado y ayudado en todo lo que quise cumplir en mi vida.*
- + A mi tutor Dr. C. Alberto José Pons Herrera, todos los profesores del departamento de metalurgia, de la facultad de Metalurgia y Electro-mecánica y otros del ISMM por su contribución en mi formación como metalúrgico y para su contribución a la realización de este trabajo.*
- + A todos mis amigos y compatriotas: Deon, Francisco (Paco), Emilio, Esbiel, Daniel, Dennys, Yosbel, Yannelis (Nelita), Joaquín, Redel, Alexy, Osmar, Boubacar, Koffi, Salom, Malakia, el conjunto de 4to año Metalurgia, etc.*



Índice

Introducción.....	1
Objetivo General	2
Objetivos específicos	3
Tareas de la investigación	3
Capítulo I: Estado del Arte y Estudio Teórico	4
1.1. Antecedentes y estado actual de la temática tratada.....	4
1.2. Definición de los PAMMs, generados por las industrias del Níquel en Cuba.	8
Conclusiones del Capítulo I.	9
Capítulo II: Metodología de investigación	10
2.1. Selección y preparación de la información.....	10
2.2. Análisis químicos	10
2.3. Análisis mineralógico por Difracción de rayos X	11
2.4. Análisis térmico	11
2.5. Análisis Termogravimétrico	12
2.6. Ficha Técnica de cada uno de los pasivos ambientales	12
Conclusiones del capítulo II.	16
Capítulo III. Características y clasificación de los Pasivos Ambientales Minero Metalúrgicos sólidos, generados en la industria del Níquel en Moa.....	17
3.1. Caracterización de los Pasivos Ambientales Minero-Metalúrgicos sólidos de la Minería y Plantas Metalúrgicas en Moa	17
3.2. Identificación de las fuentes de los PAMMs generados por las industrias del níquel en Moa.....	17
3.3. Pasivos Ambientales Minero Metalúrgicos sólidos de la Empresa Ernesto Che Guevara. Tecnología CARON	19
3.3.1. Pasivo Concreciones Ferruginosas. Características físico-químicas y mineralógicas	20
3.3.2. Pasivo Rechazo planta de preparación de mineral. Características físico-químicas y mineralógicas.....	22
3.3.3. Pasivo Serpentina fuera de balance. Características físico-químicas y mineralógicas.	23
3.3.4. Pasivo Colas del proceso CARON. Características físico – químicas y mineralógicas	25
3.4. Pasivos Ambientales Minero Metalúrgicos sólidos de la Empresa Pedro Soto Alba. Tecnología HPAL.	29
3.4.1. Pasivo Concreciones Ferruginosas (Escombros Lateríticos). Características físico-químicas y mineralógicas.....	29
3.4.2. Pasivo Rechazo Planta de Preparación de Mineral (Planta de Pulpa). Características físico-químicas y mineralógicas.....	32
3.4.3. Pasivo serpentina fuera de balance. Características físico-químicas y mineralógicas.	34



3.4.4. Pasivo Colas del proceso HPAL. Características físico-químicas y mineralógicas.....	35
3.5. Pasivos Ambientales Minero Metalúrgicos sólidos de la Empresa Ferroníquel Minera S.A. Tecnología RKEF.....	38
3.5.1. Pasivo Coraza Ferruginosa (Escombros Lateríticos). Características físico-químicas y mineralógicas.	39
3.5.2. Pasivo Serpentina fuera de Balance. Características físico-químicas y mineralógicas.	39
3.5.3. Pasivo Escorias de Ferroníquel. Características físico-químicas y mineralógicas.....	40
3.6. Clasificación de los Pasivos Ambientales sólidos	42
3.7. Usos definidos de los PAMMs.....	43
Conclusiones parciales del capítulo.....	46
Capítulo IV: Evaluación de los PAMMs	47
4.1. Conformación de las fichas técnicas de los PAMMs	47
4.1.1. Escombros Lateríticos de la empresa ECG, PSA y FEMSA	48
4.1.2. Serpentina fuera de balance de las empresas ECG, PSA y FEMSA	49
4.1.3. Colas de los procesos CARON (ECG) y HPAL (PSA).....	51
4.1.4. Rechazo de las plantas de preparación de mineral (ECG y PSA)...	54
4.1.5. Escorias del Proceso de Producción de Ferroníquel (FEMSA).	57
Conclusiones parciales del capítulo IV.....	59
Conclusiones Generales	60
Recomendaciones.....	61
Anexos	67



Introducción

Planteamiento del problema

Cuba posee uno de los complejos ofiolíticos más grandes del mundo, ubicados básicamente, en el macizo montañoso, Mayarí – Baracoa. En el mismo se destacan grandes reservas de minerales de cromo y de lateritas ferroniquelíferas. Las minas del cromo de la región de Moa – Baracoa, fueron explotadas desde inicios del siglo pasado, hasta los primeros años de la década del 2000 de este siglo. Como resultados de más de 100 años de explotación han quedado diferentes residuos, tanto mineros como de los procesos de beneficio de los minerales de cromo.

Por su parte los minerales lateríticos, con relativamente altos contenidos de Níquel, Hierro y Cobalto, entre otros metales, constituyen una de las mayores reservas del mundo, las cuales son procesadas actualmente, a través de dos (2) plantas metalúrgicas, que emplean las tecnologías de lixiviación ácida a presión (HPAL, por sus siglas en inglés) y carbonato amoniacal (Proceso CARON). Una tercera planta metalúrgica, ubicada en Nicaro y que utilizaba esta última tecnología, cerró sus operaciones durante el año 2013, dejando una gran cantidad de residuos mineros e industriales, como resultados de más de setenta (70) años de procesamiento de minerales de níquel.

Se prevé para los próximos años la implementación de otra planta metalúrgica, para el procesamiento de mezclas de minerales limoníticos y saprolíticos, para la producción de Ferroníquel.

Las empresas actualmente en operación y ubicadas en la región de Moa, explotan de una manera selectiva y procesan minerales limoníticos con proporciones diversas de la mena saprolítica. Este sistema de procesamiento de minerales, genera un volumen inmenso de residuos sólidos, los que sin dudas son, una de las principales fuentes de contaminación y destrucción ecológica de la zona.

La realidad que vive un país de tercer mundo como Cuba, exige la necesidad de producir más, pero de forma tal que el aprovechamiento de todos sus recursos se realice de una manera sostenible.

A pesar de los ingentes esfuerzos que se realizan para lograr un uso eficiente de los recursos minerales, en el país no existe una metodología para la



rehabilitación de los rechazos industriales de las minas y de las plantas metalúrgicas, especialmente dentro del municipio de Moa, en consecuencia no existe una metodología específica para el inventario y utilización de estos desechos industriales, los cuales se presentan, tanto en estado sólido, líquido, como en forma de gas y/o mezclado con polvo.

Al no ser recuperado estos rechazos, ellos permanecen dentro el entorno que rodea la fuente que los genera, que son las plantas que los rechazan y al mismo tiempo destruyen no solo el medio ambiente circundante, sino también afectan a las personas que viven en las urbanizaciones cercanas. Atendiendo a la actual situación económica del país, que exige la búsqueda de materias primas, así como de métodos, vías y soluciones para la sustitución de importaciones y su abasto (ya sea total o parcial) a los consumidores industriales, unido al desequilibrio generado en el ecosistema producto de la explotación de los yacimientos lateríticos, se presenta esta **Situación Problemática** en el municipio de Moa, específicamente con los pasivos ambientales minero metalúrgicos sólidos, generados por las industrias del Níquel en Moa, que constituyen la esencia de esta investigación.

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado asumimos que el **Problema** a resolver es, la inexistencia de una metodología que permita inventariar y clasificar los pasivos ambientales minero-metalúrgicos sólidos, asociados a las industrias de níquel en Moa, que posibilite evaluar su posible rehabilitación y conversión en activos industriales.

De ahí que la **Hipótesis** consiste en: Conociendo las características físicas, químicas y mineralógicas, de los pasivos ambientales minero-metalúrgicos sólidos, generados por las industrias del Níquel en Moa, es posible el diseño y establecimiento de una metodología que permita inventariar, clasificar, definir y establecer una estrategia para la posible utilización.

El **objeto de nuestra investigación** son los Pasivos Ambientales Mineros Metalúrgicos sólidos (PAMMs), de la industria del Níquel en Moa.

Objetivo General

Establecer una metodología para la clasificación, inventario y posible utilización los Pasivos Ambientales Minero-Metalúrgicos sólidos de la industria del Níquel en Moa.



Objetivos específicos

1. Desarrollar una definición propia de los Pasivos Ambientales Minero-Metalúrgicos sólidos para definir los rechazos empresariales del municipio de Moa y que pueden ser aplicados para todas las demás empresas minero-metalúrgicas del país.
2. Diseñar y establecer la propuesta de metodología a utilizar para el inventario de los PAMMs.
3. Identificar e inventariar los Pasivos Ambientales Minero-Metalúrgicos sólidos de la industria del Níquel en Moa.
4. Caracterizar y clasificar integralmente los PAMMs de las industrias del Níquel de Moa.
5. Conformar las fichas técnicas de PAMMs, incluyendo sus posibles usos industriales.

Tareas de la investigación

1. Recopilación bibliográfica sobre los PAMMs en las industrias de níquel en Moa.
2. Organización de la información obtenida.
3. Definición del método de investigación a utilizar.
4. Establecer un método para la evaluación del impacto ambiental de los PAMMs.
5. Conformar una base de datos para los PAMMs estudiados.

La importancia práctica y ecológica está dada por:

1. Ampliación del conocimiento sobre los pasivos ambientales sólidos, generados por las Empresas del Níquel en Moa.
2. Organización de los pasivos ambientales sólidos, generados por las industrias del Níquel en Moa, que permitan la definición de una estrategia para su utilización.
3. Conformación de una metodología, para la caracterización, clasificación y posible recuperación de los pasivos ambientales de las industrias del Níquel en Moa, de acuerdo a su matriz de importancia.
4. La contribución a la definición de una estrategia que permita convertir los PAMMs generados por la industria del Níquel en activos, contribuyendo de esta forma a la disminución del impacto ambiental sobre el ecosistema de la región de Moa.

Capítulo I: Estado del Arte y Estudio Teórico

La literatura recoge importantes resultados en el campo de la caracterización y de la aplicación de métodos para el aprovechamiento de los integral de los recursos lateríticos cubanos. La búsqueda de alternativas que posibiliten la utilización de los residuos de la minería y de los procesos tecnológicos del níquel, sin afectar el medio ambiente, debe significar un reto a los investigadores, para lo cual es necesario fundamentar los problemas científicos existentes, a partir de las contribuciones de la bibliografía existente.

El área de estudio de esta investigación comprende la región de Moa, específicamente, las industrias del Níquel Ernesto Che Guevara, Pedro Sotto Alba y Ferroníquel Minera S.A (ver figura I.1).

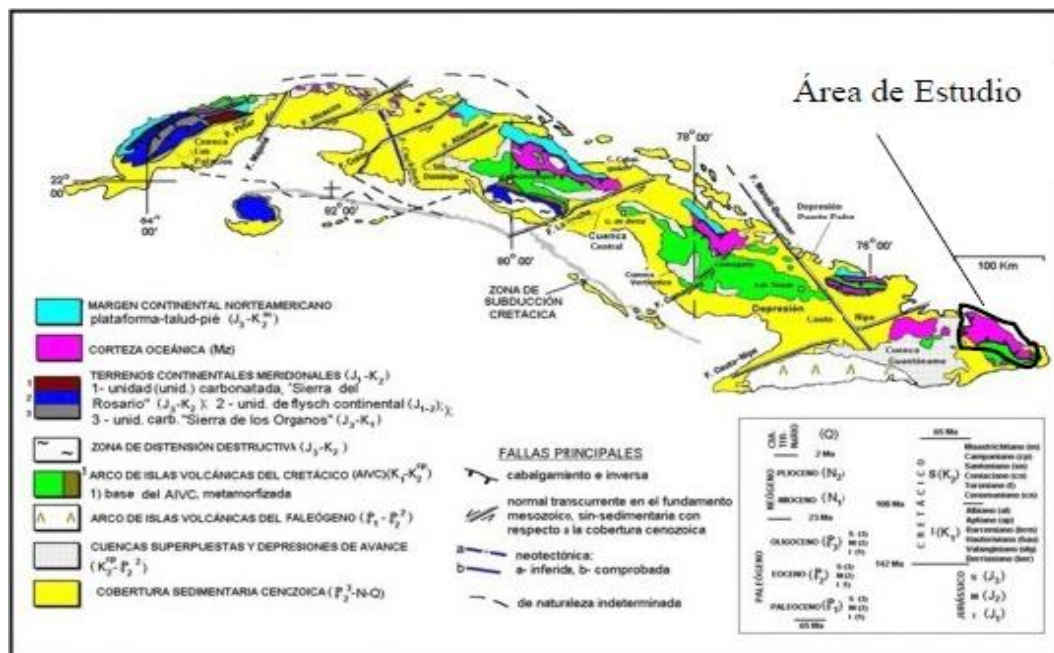


Figura I.1: Área donde se enmarca el objeto de estudio de la investigación. A continuación se establece el estado del arte en el tratamiento de los pasivos ambientales minero metalúrgicos sólidos, generados por la industria del Níquel en Moa y las perspectivas para su utilización. Se fundamentan los problemas científicos y se elaboran las hipótesis de la investigación.

1.1. Antecedentes y estado actual de la temática tratada.

En un mundo donde persiste una gran exigencia para el uso eficiente de los recursos industriales, la mayoría de estas industrias o empresas de países de



tercer mundo no tiene en cuenta el 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/o la mina. Estos desechos, si no sean tratados se convierten en pasivos ambientales. El objetivo de este trabajo de diploma es desarrollar una metodología para el inventario de los pasivos ambientales sólidos de las industrias o empresas minero-metalúrgicas (PAMMs) del Níquel en Moa y de esta forma contribuir a la disminución de sus influencias perjudiciales hacia el ecosistema circundante. La metodología que se emplea ayudará a incrementar el conocimiento sobre estos recursos minerales y el efecto que provocan hacia el medio ambiente. De esta manera se investigará una forma de inventariar los rechazos industriales sólidos, que contribuya a definir los usos industriales que podrían tener en un futuro.

Según 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. Cuba es un país de tercer mundo en desarrollo y al tener en cuenta que lentamente su entorno está siendo destruido y que no hay mucho empleo de métodos para el aprovechamiento de sus rechazos industriales, surge la necesidad de desarrollar sus propios métodos para controlarlo. En el municipio de Moa existen algunas 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 de forma de polvo y/o gas. Por el momento en este trabajo solo se estudian los residuales sólidos, mientras que los líquidos y gaseosos, serán objeto de análisis en otras investigaciones futuras.

Al consultar bibliografía, se obtiene varias definiciones que definen el concepto de pasivos ambientales. Algunos ejemplos sobre estas definiciones se muestran a continuación. En la Consultoría Ambiental de CEPESA (Compañía Española de Petróleo S.A.) de España el Capítulo 5 dice: *“El pasivo ambiental puede definirse como aquella situación ambiental 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, animales y plantas.”* y la ley no. 29134 dice: *“Se consideran pasivos ambientales a los pozos e instalaciones mal abandonados, suelos contaminados, los efluentes,*



emisiones, restos o depósitos de residuos, ubicados en cualquier lugar del territorio nacional, incluyendo el Zócalo marino, producidos como consecuencia de operaciones en el sub”. En Perú se considera 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.” En Bolivia se consideran como: “todos 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 minería abandonada o inactiva, constituyen un riesgo potencial permanente para la salud de la población y el medio ambiente.”

En Cuba no existe una definición específica para los pasivos ambientales mineros metalúrgicos, aunque existen varios criterios sobre su denominación, ya que las leyes existentes no lo definen claramente.

Los pasivos ambientales minero metalúrgicos sólidos (PAMMs), generados por la industria del níquel, aunque no han sido llamados de esta forma, sí se conocen sus principales características físico-químicas y algunos posibles usos, como resultado de un gran número de investigaciones, a lo largo de más de 50 años.

La gran mayoría de estos estudios se han realizado de forma aislada, por diferentes entidades científicas, centros de investigación y el sector empresarial, sin embargo no han seguido un programa centralmente organizado ni orientado al estudio integral, de los pasivos ambientales existentes en la industria del Níquel, que permitan establecer políticas para el tratamiento y uso de estos recursos (Rodríguez, R.P. 2011).

A continuación se resumen los principales pasivos ambientales mineros sólidos, que genera la industria del níquel en Moa y los estudios más destacados:

Los escombros lateríticos u coraza ferruginosa, es generalmente caracterizada en los yacimientos de origen, sin embargo posteriormente al no ser utilizadas



por la industria procesadora, son almacenadas en las llamadas escombreras, mezcladas con minerales de diferentes frentes de explotación, careciendo de valor la información inicialmente obtenida durante su estudio geológico. No obstante los trabajos de Palacios, A. 2001, Palacios A. R y E. García. 2013, demostraron las posibilidades de extracción de cobalto a partir de la lixiviación de estos recurso.

Por su parte Pons, J y otros investigadores entre 1995 y 1997 estudiaron el tratamiento y uso de los escombros con fines siderúrgicos, mientras que Ramírez, M, J. Pons y otros investigadores, entre el año 2000 y 2006, investigaron las características y posibles usos de los escombros lateríticos de la Zona A de la Mina de la Pedro Sotto Alba Moa Nickel S.A, llegándose a resultados significativos a través del trabajo de Ramírez, M., 2010 demostrando científicamente, el uso de estos pasivos como material oxidante en los procesos de obtención de aceros.

Los rechazos de las plantas de preparación de mineral de las plantas metalúrgicas, Pedro Sotto Alba y Ernesto Che Guevara, han sido estudiados con vistas a su utilización, principalmente, como material de construcción, algunos de estos trabajos no han sido publicados, pero se destacan las investigaciones de Leyva C y E. Montero, 2007, demostrando las perspectivas del uso del rechazo serpentinitico de la Empresa Pedro Sotto Alba, como árido para la construcción. Igualmente se comprobó el uso de este material en trabajos de movimiento de tierra de la planta Ferroníquel, Pons J 2009.

Las presas de cola de los procesos CARON y HPAL, han sido caracterizadas, pero sus posibles usos están muy limitados, entre otras razones por sus bajos contenidos de Níquel y Cobalto, que imposibilitan su recuperación, a través de las tecnologías convencionales.

Se definen por cada de las empresas productoras de níquel, los principales pasivos ambientales sólidos que se generan como resultado de los procesos minero-metalúrgicos. Todos estos materiales son caracterizados en este trabajo, clasificados según sus características físicas, químicas y mineralógicas y mostrados sus principales usos.



1.2. Definición de los PAMMs, generados por las industrias del Níquel en Cuba.

Los Pasivos Ambientales Minero-Metalúrgicos sólidos, generados por las industrias del Níquel, son grandes acumulaciones de residuos y rechazos sólidos con valor económico y social, como consecuencia del desarrollo de las actividades mineras y/o metalúrgicas, que representan un riesgo e impacto para el medio ambiente y la calidad de vida de las personas.



Conclusiones del Capítulo I.

A partir de las fuentes bibliográficas consultadas, se presentan las insuficiencias detectadas que constituyen líneas de trabajo de esta investigación:

1. Aunque se conocen las principales características físicas, químicas y mineralógicas de los pasivos ambientales mineros metalúrgicos sólidos (PAMMs), generados por las industrias del Níquel en Moa, no se cuenta con una metodología para el inventario y clasificación de estos recursos minerales.
2. Los trabajos investigativos sobre los PAMMs se han realizado de formas aisladas, principalmente, por diferentes entidades del territorio de Moa, sin embargo no existe una línea estratégica única, que permita organizar las informaciones generadas por las investigaciones, de forma tal que pueda definirse una estrategia para su conversión en activos.

Capítulo II: Metodología de investigación

2.1. Selección y preparación de la información

La metodología empleada se basó en las experiencias existentes sobre la identificación e inventario de pasivos ambientales, relacionados con los procesos de la minería del cobre y oro, en los países de Sudamérica ASGMI, 2008, 2010 y en España, Conesa V.F. 1997.

También fueron consideradas las experiencias sobre el desarrollo de metodologías elaboradas en el occidente de Cuba, principalmente, en las canteras de la construcción en Matanzas, Fuentes R. S. 2013, así como de otros trabajos relacionados con el manejo y rehabilitación de pasivos ambientales, como los trabajos de Urbino J.R y B. Díaz. 2011, Ponce. N.S y J. Díaz. 2011, Delgado. B.D y otros. 2011, entre otros.

Las etapas de la investigación se desarrollaron en el orden siguiente:

- Identificación y evaluación de las características física, química y mineralógica de los PAMMs de cada una de las industrias del Níquel en Moa.
- Clasificación de los PAMMs, a partir de las características y aspectos comunes de los PAMMs de cada una de las empresas analizadas.
- Elaboración de la ficha técnica de cada uno de los PAMMs estudiados, que incluye el impacto ambiental en el municipio de Moa.
- Conformación de la metodología para el inventario de los PAMMs generados por las industrias del Níquel en Moa.

2.2. Análisis químicos

La composición química de los diferentes pasivos estudiados se obtuvo a partir de los trabajos realizados, siempre tomando diferentes fuentes y técnicas analíticas, entre las que sobresalen el uso de la técnica de absorción atómica de llama, además del espectrómetro de emisión de fluorescencia de rayos X por dispersión de longitudes de onda, utilizándose para la determinación espectrofotométrica, el método de las cápsulas compactadas con lecho de ácido bórico.



2.3. Análisis mineralógico por Difracción de rayos X

Con el objetivo de identificar las fases minerales presentes en los pasivos estudiados, se analizaron diferentes difractogramas, publicados en revistas y eventos en Cuba. La mayoría de los equipos utilizados son difractómetros que poseen monocromador para haz difractado de LiF (100), equipados con ánodo de Cu, lo cual permite mejorar la resolución y la relación pico/fondo. 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.

También se muestran análisis realizados en el laboratorio de mineralogía del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. En este caso se utilizó un difractómetro alemán del tipo HZG-4. Para el tratamiento de los datos y la cuantificación de las fases, se emplearon los softwares ANALYSE y AUTOQUAN, de la SEIFERT X-Ray Technology (Versión 2,26) de procedencia alemana.

Se utilizaron además resultados mineralógicos realizados en el laboratorio de Mineralogía y Análisis de Fases del CIPIMM. En este caso los difractogramas se realizaron por el método de polvo y se registraron en un equipo Philips PW - 1710 con las siguientes características:

Goniómetro	Vertical
Sistema de focalización	Bragg-Brentano
Radiación $K\alpha$	Fe
Filtros	Mn
Diferencia de potencial aplicada	30 kV
Corriente anódica	20 mA
La calibración del equipo se chequea con patrón externo	Silicio
Registro angular	6-60° (2 θ)

2.4. Análisis térmico

Las características térmicas de los pasivos fueron utilizadas, con el objetivo de definir las regularidades de su descomposición térmica e identificar los productos en cada transformación. Se realizó el estudio evaluando los resultados de la combinación de ATG, ATD y CDB. Los equipos de referencia están ubicados en laboratorios de Calorimetría del CENIM, España y el

CIPIMM en Cuba. La figura II.1 muestra uno de los equipos utilizados, para el desarrollo de los análisis térmicos.



Figura II.1: Equipos utilizados en los análisis térmicos. Derecha: Equipo de ATG; Centro: Equipo de ATD; Izquierda: Equipo de CDB (Ramírez, M. 2010)

2.5. Análisis Termogravimétrico

Los análisis termogravimétricos permitieron determinar los intervalos de temperatura en que ocurren las variaciones de masa producidas por el calentamiento de los pasivos. Para ello se tomaron resultados de investigaciones realizadas con el empleo de un analizador TGA – 50, de la firma japonesa ZHIMATZU, con computadora acoplada a la termobalanza que facilita el procesamiento de los datos y la reproducción de los resultados obtenidos.

2.6. Ficha Técnica de cada uno de los pasivos ambientales

Fueron primeramente identificados los pasivos ambientales sólidos, generados en los procesos de la Minería, así como los del proceso industrial, en cada una de las empresas del Níquel en Moa, incluyendo el proyecto Ferroníquel.

Se obtuvieron la información utilizado en la tesis, a partir de los trabajos publicados en revistas científicas, memorias de eventos, así como a través de entrevistas a especialistas en esta temática. Igualmente fueron visitados las áreas de investigación y constatados la ubicación y el estado actual de los pasivos estudiados.



La ficha técnica de cada pasivo estudiado se conformó, tomando como base las características de cada uno de ellos y las experiencias en la aplicación de metodologías similares, principalmente, la aplicación del manual para el inventario de minas abandonadas o paralizadas, publicada por la Asociación de Servicios de Geología y Minería de Iberoamérica (ASGMI) en el año 2010.

Fichas resúmenes de los pasivos, luego de su clasificación fueron elaboradas y se muestran en la memoria de esta investigación, mientras que las fichas generales o primarias se muestran en los anexos.

Teniendo en cuenta el volumen de información recogida y su importancia, hemos decidido mostrar en este trabajo, los principales resultados obtenidos con los pasivos ambientales sólidos y esperamos que esta investigación continúe con el análisis del resto de los residuos, que desafortunadamente se generan anualmente en las industrias del territorio.

Se hace un recorrido detallado de todos los rechazos y/o residuos sólidos emitidos por sus plantas y sus minas respectivas. Los rechazos que se consideran son los que tienen una acumulación considerable a lo largo de los años de producción como: colas, escombros (desechados) y otros rechazos que ha sido acumulado por años explotación Minera y Metalúrgica. Se investiga si estos rechazos y los minerales que están fuera de balance tienen algún valor económico y/o si pueden ser reutilizados no solo para el beneficio de la planta, sino para el desarrollo económico del país. Durante éste recorrido se realizaron encuestas con los trabajadores que se especializan en el análisis de estos rechazos industriales y en la protección del trabajador y el medio ambiente.

Hay que tener en cuenta que los PAMMs que no son rehabilitados tienen una gran posibilidad de afectar al medio ambiente, por ejemplo, al alterarse el perfil del yacimiento y ocurrir las precipitaciones de lluvia, estas penetran las capas de escombros, disolviéndolos y transportando estos compuestos solubles hacia dentro del perfil de la tierra, alterando sus características originales. Igualmente está el hecho de que las plantas metalúrgicas, están ubicadas cerca del Mar y de Ríos, por tanto las partículas finas de muchos pasivos, pueden ser



arrastradas por las corrientes de aire hacia estos reservorios de agua, provocando su contaminación y el daño a las especies que en ellos habitan.

Los PAMMs tienen una intensidad de influencia hacia el medio ambiente circundante, urbanización cercana o hacia los mismos trabajadores en su lugares de trabajo. Se tuvieron en cuenta las metodologías existentes en el mundo para el inventario de pasivos ambientales, utilizadas además para comparar los efectos y su nivel de influencia hacia los PAMMs, generados por las industrias del Níquel en Moa.

En cada fuente que emite uno o más pasivos ambientales minero-metalúrgico sólido existe la posibilidad de la emisión del mismo desecho y por eso se emplean un análisis de composición y características para facilitar su clasificación. En las tablas del capítulo 4 se muestran las fichas técnicas que incluyen por el momento los aspectos siguientes:

1. Localización
2. Origen (Fuentes de su emisión)
3. Descripción
4. Posibles usos
5. Tecnologías para su tratamiento
6. Peligros posibles (hacia los empleados/trabajadores y el medio ambiente)
7. Matriz de importancia
8. Medidas a tomar en su rehabilitación.

Se determinó además la Matriz de importancia de los PAMMs, empleando la metodología de la ASGMI, 2008 y 2010.

La matriz de importancia de los pasivos, se calcula teniendo en cuenta el análisis de los factores siguientes:

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| 1. Intensidad (I) | 6. Área de influencia (AI) |
| 2. Plazo de manifestación (PZ) | 7. Permanencia del efecto (PE) |
| 3. Reversibilidad (R) | 8. Sinergia (S) |
| 4. Acumulación (AC) | 9. Relación Causa-efecto (RCE) |
| 5. Regularidad de manifestación (RM) | 10. Recuperabilidad (RE) |

Esta matriz se determina a partir de la ecuación siguiente:



$$MI=3\cdot(I)+2\cdot(AI)+(PZ)+(PE)+(R)+(S)+(AC)+(RCE)+(RM)+(RE) \quad (1)$$

En el anexo I se muestran y explican los factores que se utilizan para la determinación de la matriz de importancia de los pasivos ambientales.

Los resultados permitieron agrupar los pasivos de acuerdo al valor de su matriz de importancia, favorable o adversa en los siguientes rangos: bajo ($MI < 25$), moderado ($25 < MI < 50$), alto ($50 < MI < 75$) y muy alto ($MI \geq 75$).



Conclusiones del capítulo II.

1. La utilización de la caracterización físico – química y térmicas de los pasivos ambientales minero metalúrgicos sólidos, a partir de una correcta selección de las técnicas analíticas empleadas por diferentes investigadores, garantizan la confiabilidad de los resultados y a su vez, facilitan la selección adecuada de la metodología para el inventario y clasificación de estos recursos minerales.
2. La metodología de investigación empleada, garantiza confiabilidad en los resultados de la evaluación los pasivos ambientales y la comprobación de las hipótesis planteadas.
3. Los aspectos utilizados para la conformación de las fichas técnicas de los pasivos ambientales estudiados, se corresponden con las características que normalmente se usan en el mundo para el inventario y clasificación de los pasivos.



Capítulo III. Características y clasificación de los Pasivos Ambientales Minero Metalúrgicos sólidos, generados en la industria del Níquel en Moa

3.1. Caracterización de los Pasivos Ambientales Minero-Metalúrgicos sólidos de la Minería y Plantas Metalúrgicas en Moa

A pesar de que en el mundo existen leyes y regulaciones, para el manejo de los residuos mineros e industriales, aún no es insuficiente el tratamiento que le brinda sector empresarial a los pasivos generados. En Cuba la ley de Minas y la de medio ambiente, son los principales documentos que rigen la política minera, sin embargo no existe una metodología única que sirva de guía para inventariar y clasificar los pasivos mineros ambientales generados por la sociedad en general. Algunos especialistas e investigadores de sectores de la industria minera, realizan esfuerzos en este sentido, como los de Díaz. B.M. 2013, Delgado. B.D y otros. 2011, que han propuesto variantes metodológicas para la identificación de los pasivos ambientales mineros, este último relacionado con los pasivos asociados a las canteras de materiales de la construcción en la provincia de Matanzas.

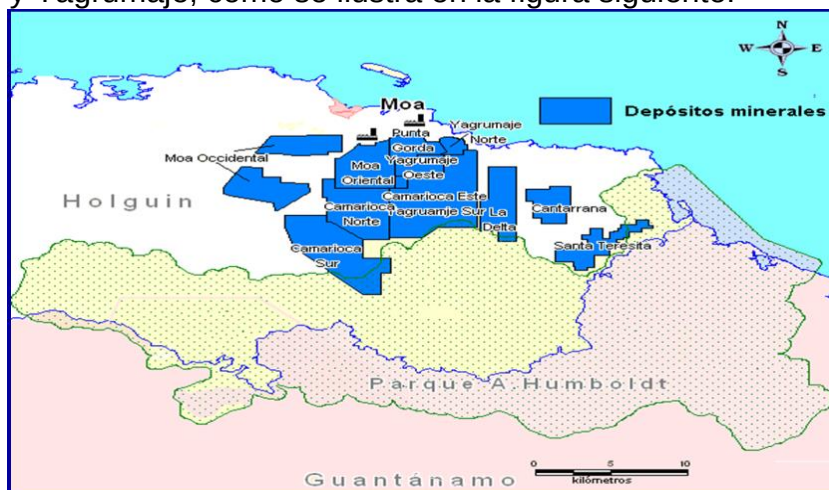
En la industria minero metalúrgica de Moa, a pesar del estudio realizado a los diferentes residuos de este sector de la economía cubana, no existe una metodología, que permita identificar e inventariar los pasivos ambientales minero metalúrgicos, a partir del conocimiento de sus características físico, químicas y mineralógicas. Este es precisamente el objetivo de este trabajo investigativo, que tomando las principales propiedades de los PAMMs generados por la industria del Níquel en Moa, propone una metodología que permita definir estrategias para la utilización de estos recursos minerales.

A continuación se analizan las principales características físicas, químicas y mineralógicas de los PAMMs, generados por cada una de las empresas productoras de Níquel, incluyendo el Proyecto Ferroníquel.

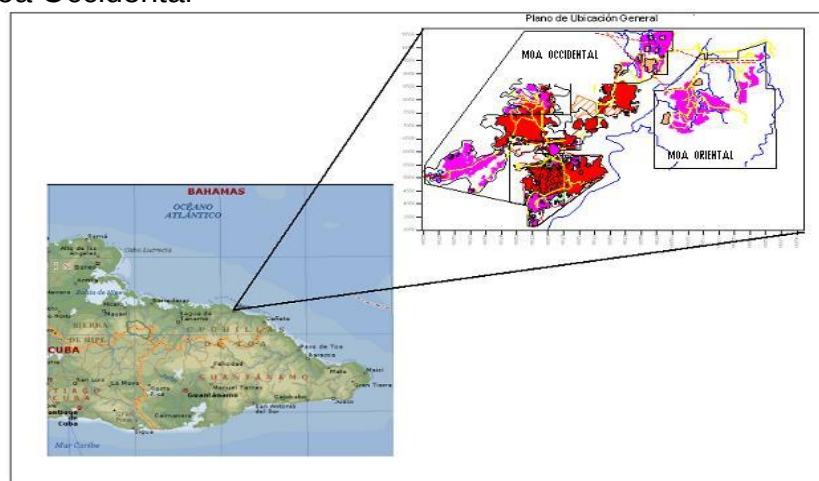
3.2. Identificación de las fuentes de los PAMMs generados por las industrias del níquel en Moa

Los pasivos ambientales sólidos estudiados, se localizan en el municipio de Moa (ver figura III.1 a, b y c), y son generados por las tres empresas productoras siguientes:

a). Empresa Ernesto Che Guevara (ECG), con los yacimientos Punta Gorda, Camariocas y Yagrumaje, como se ilustra en la figura siguiente.



b). Empresa Moa Nickel Pedro Sotro Alba S.A (PSA), con los yacimientos Moa Oriental y Moa Occidental



c). Empresa Ferroníquel Minera S.A (FEMSA), con el yacimiento Moa Occidental.

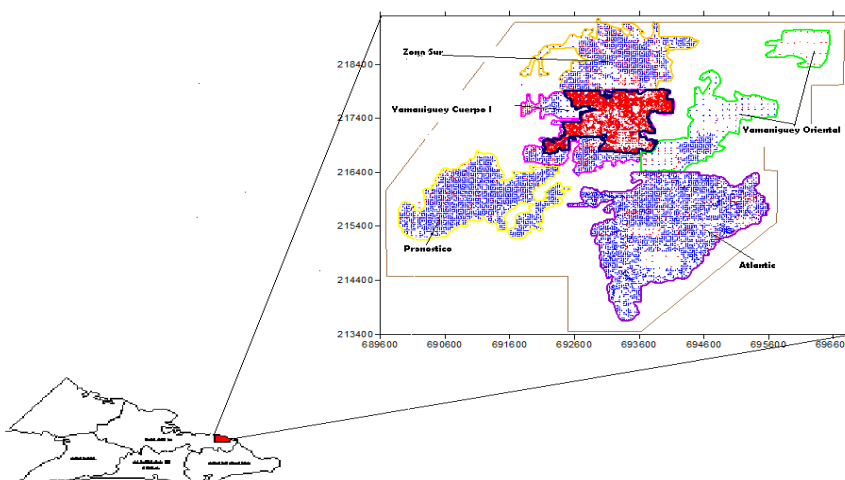


Figura III.1: Áreas de estudio donde se localizan los Pasivos ambientales sólidos estudiados (a- ECG; b – PSA; c – FEMSA).

La columna litológica de los yacimientos ferroniquelíferos de la región de Moa, poseen una distribución bien definida, la cual se muestra en la figura III.2. Esta clasificación ha sido utilizada en el desarrollo de esta investigación para la definición y clasificación de los pasivos ambientales mineros, generados por las industrias del Níquel en Moa.

COLUMNA			PERFIL DE INTEMPERISMO	ZONAS LITOLÓGICAS
1	*	OICP	A) PERFILES LATERITICOS	:
2	-V-	OI		
3	V	OEF		
4	V	OEI	B) PERFILES LATERITICO-SAPROLITICOS	1 y 2
5	@	RML		
6	V	RMA	C) PERFILES SAPROLITICOS:	1 ó 2
	V			
	V		ESTRUCTURAL COMPLETO	1, 2 y 3
	V			
	V		ESTRUCTURAL INCOMPLETO	1 ó 2 y 3
	V			
	V		ESTRUCTURAL COMPLETO	1, 2, 3, 4 y 5
	V			
	V		ESTRUCTURAL INCOMPLETO	1 y 2 y/o 3 y 4 y/o 5
	V			
	V		ESTRUCTURAL COMPLETO	4 y 5
	V			
	V		ESTRUCTURAL INCOMPLETO	4 ó 5
	V			

Figura III.2: Clasificación del perfil litológico de la región de Moa, (según Ariosa Iznaga, J.D., Lavaut, W. 2003).

En el proceso Minero–Metalúrgico fueron identificados los pasivos ambientales sólidos, cuyas principales características se describen a continuación, por cada una de las empresas productoras.

3.3. Pasivos Ambientales Minero Metalúrgicos sólidos de la Empresa Ernesto Che Guevara. Tecnología CARON

Esta industria procesa anualmente alrededor de 3,8 MM toneladas de mineral, base seca, con una producción final promedio de 23 000 t/a en los últimos cinco (5) años. Como resultados de la minería y el proceso metalúrgico de esta industria fueron identificados los pasivos ambientales siguientes: concreciones ferruginosas o escombros lateríticos, minerales fuera de balance, mineral de rechazo del proceso de preparación de mineral y las colas. Las principales características que poseen estos pasivos se muestran a continuación.

3.3.1. Pasivo Concreciones Ferruginosas. Características físico-químicas y mineralógicas

Las concreciones ferruginosas o escombros lateríticos representan alrededor de 2,0 MM toneladas anuales que se extraen de los depósitos mineros de la Empresa Ernesto Che Guevara, y se caracterizan por poseer, relativamente altos contenidos de hierro, con valores de Níquel inferiores a 0,8 %, y por debajo del corte normalmente exigido en los procesos metalúrgicos. La tabla No. III.1 muestra los valores promedio de los principales elementos que componen este pasivo ambiental.

Tabla No. III.1: Composición química promedio de las concreciones ferruginosas de la Empresa Ernesto Che Guevara. (Tomado de Capote y otros, 2004).

Composición	Rango de variación promedio (%)
Ni	0,6 – 0,8
Co	0,025 – 0,136
Fe	43 - 48
SiO ₂	1,7 – 2,5
Al ₂ O ₃	7 - 14
MnO	0,15 – 0,75
Cr	2,7 - 4
MgO	0,73 – 1,2
Cu	0,018 – 0,022

Las características térmicas de este tipo de pasivo, se muestran en la figura III.3, en ella se observan tres (3) efectos endotérmicos. El primero a 130 °C, asociado a la eliminación del agua higroscópica, el segundo entre 300 – 340 °C, asociado a la eliminación del agua estructural y el tercero entre 530 – 580 °C, comportamiento característico de los procesos de deshidratación y deshidroxilación de los óxidos de hierro hidratados como es el caso de la goethita, que alcanzan un efecto exotérmico con un pico máximo a los 910 °C, vinculado a este proceso de descomposición y reestructuración de las espinelas magnetitas – maghemitas y cromitas, presentes en estos pasivos.

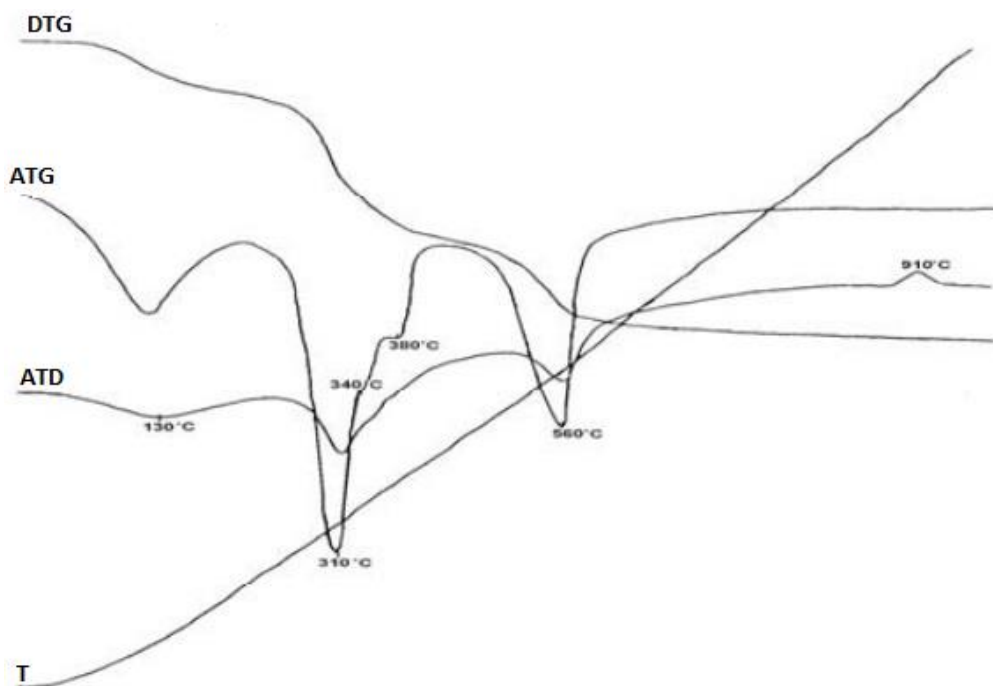


Figura No. III.3: Termograma característico de las concreciones ferruginosas del Yacimiento Yagrumaje, pertenecientes a la Empresa Ernesto Guevara de Moa.

Las características mineralógicas de estos pasivos se caracterizan por la presencia de goethita, como fase principal y de gibbsita, espinelas y asbolanas como fases secundarias, como se muestra en las figura III. 4 y III.5.

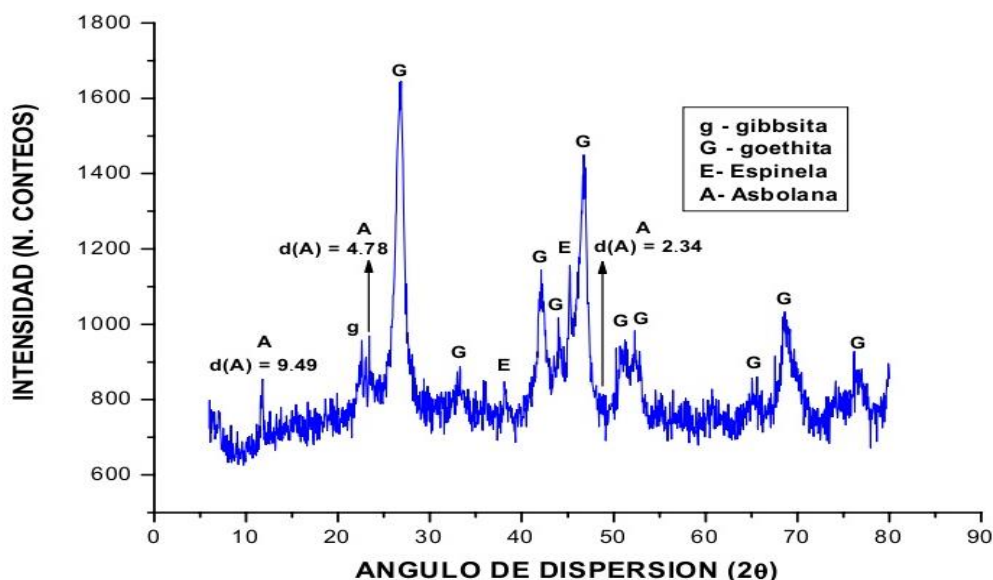
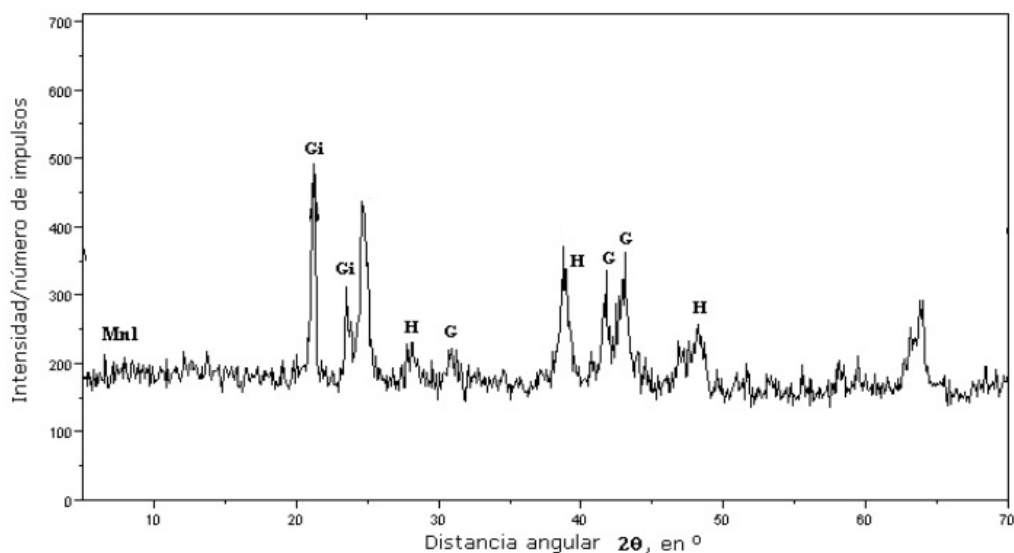


Figura No. III.4: Difractograma típico de las concreciones ferruginosas de la empresa Ernesto Che Guevara de Moa.



Minerales: G: goethita; H: hematita; Gi: gibbsita.

Figura No. III.5: Difractograma típico de las concreciones ferruginosas de la empresa Ernesto Che Guevara de Moa, (Adaptado de Rojas P y otros, 2012).

El pasivo concreciones ferruginosas, con o sin perdigones, se caracterizan por la presencia mayoritaria de minerales de hierro, principalmente, goethita y maghemita, con bajos contenidos Ni y Co, además de otras impurezas como: Cu, MgO, SiO₂, que no afectan su uso en la industria siderúrgica, demostrado por Ramírez, M y Pons, J. con el uso de los escombros lateríticos de los yacimientos de la empresa Pedro Sotto Alba de Moa, Ramírez, M, 2010; Pons, J y otros, 1995, 1996.

3.3.2. Pasivo Rechazo planta de preparación de mineral. Características físico-químicas y mineralógicas.

En este proceso de beneficio se generan dos (2) residuos, uno en la criba estacionaria que rechaza el material mayor de 400 mm proveniente de los frentes de minería y el otro como resultado de la clasificación en la zaranda vibratoria. Estos pasivos representan alrededor del 10 % del mineral alimentado a la planta, lo que representa, aproximadamente, 380 000 toneladas anuales.

Ambos materiales poseen características similares, las cuales se muestran a continuación:

Tabla III. 2: Composición química promedio del pasivo ambiental rechazo de la planta de Preparación de mineral de la Empresa Ernesto Che Guevara.

Compuestos químicos (%)	Valores promedio (%)
SiO ₂	37,73
TiO ₂	0,01
Al ₂ O ₃	1,82
Fe ₂ O ₃	14,5
MnO	0,10
MgO	32,06
CaO	0,31
Na ₂ O	0,06
K ₂ O	0,01
P ₂ O ₅	0,02
Co ₃ O ₄	0,010
Cr ₂ O ₃	0,50
NiO	0,57
P.P.I	12,47

Los estudios de este pasivo han estado dirigidos, fundamentalmente, al posible uso como material de construcción, Montero E., y otros 2007, por lo que no se cuentan con estudios mineralógicos, ni térmicos, que permitan definir otras posibles aplicaciones. La ampliación de sus estudios es una de las recomendaciones de esta investigación.

3.3.3. Pasivo Serpentina fuera de balance. Características físico-químicas y mineralógicas.

Los minerales de serpentina, en la corteza de intemperismo en Moa, poseen relativamente altos contenidos de SiO₂ y MgO, con disminuciones en los contenidos de NiO, en la medida que se desciende en el perfil laterítico. Precisamente las rocas más duras o peridotitas, Lavaut W, 1998, son rechazos de la alimentación a las plantas de los procesos Caron y HPAL, por lo que constituyen pasivos de las industrias del Níquel en Moa. Este pasivo en los yacimientos lateríticos de la Empresa Ernesto Che Guevara, representan alrededor del 8 % de la masa mineral, con una potencia que varía de forma irregular, por lo que no se tiene con exactitud el volumen real de este recurso. No obstante por constituir la roca madre, generalmente permanece sin explotar en los diferentes frentes de minería de esta industria y en el resto de las

empresas del Níquel. En la tabla III.3 se muestra la composición química promedio de estos pasivos mineros.

Tabla No. III. 3: Composición química promedio del pasivo ambiental: serpentina dura (fuera de balance), de la Empresa Ernesto Che Guevara. (Tomado de Rojas Purón y otros, 2012).

Compuestos	Por ciento (%)
SiO ₂	39,4
MgO	36,6
Fe ₂ O ₃	8,9
NiO	0,32
Al ₂ O ₃	0,9
MnO	0,09
Cr ₂ O ₃	0,53
CaO	0,02

La presencia de la antigorita como fase mineralógica principal, demuestran el predominio de los minerales de serpentina en estos pasivos, como se muestra en la figura III.6

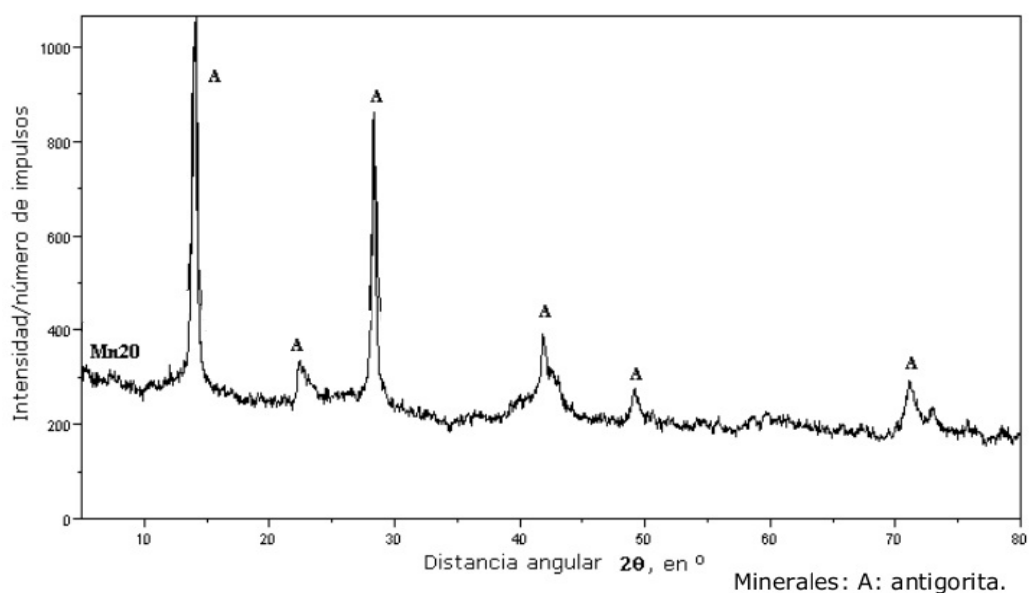


Figura No. III. 6 Difractograma del pasivo ambiental serpentina fuera de balance de los yacimientos de la Empresa Ernesto Che Guevara en Moa, (Adaptado de Rojas Purón y otros, 2012)

El termograma de las serpentinas fuera de balance (Figura III.7) confirman la deshidroxilación de la serpentina a los 641 °C y la cristalización del olivino o enstatita a los 828 °C, Rojas Purón y otros, 2012. Este comportamiento térmico es muy similar al resto de los minerales de serpentina, de la región de Moa – Baracoa, incluyendo las dunitas serpentinizadas presentes en los yacimientos de cromitas de Merceditas y Amores, Pons, J. 2000.

Los minerales de serpentina, asociados a la mineralización de cromo y el níquel en la región de Moa – Baracoa, poseen un comportamiento térmico similar, con dos (2) efectos endotérmicos, asociados a la eliminación del agua higroscópica alrededor de los 100 °C y el segundo más pronunciado escalón, corresponde a la eliminación del agua de constitución, que se verifica entre 570 y 760 °C, vinculado con la pérdida de la mayor cantidad de masa de material.

Las menores pérdidas de masa (0,41 - 0,74 %), se verifican en el rango de temperatura comprendido entre 760 y 850 °C, donde se produce el principal efecto exotérmico acompañado de la transformación de la fase Antigorita en Forsterita, que origina un reordenamiento estructural del olivino. (Pons, J. 2000; Pons, J. y J. Puentes. 1997).

Estos elementos térmicos constituyen regularidades del pasivo serpentina fuera de balance, mayoritario en los recursos minerales de la región de Moa– Baracoa.

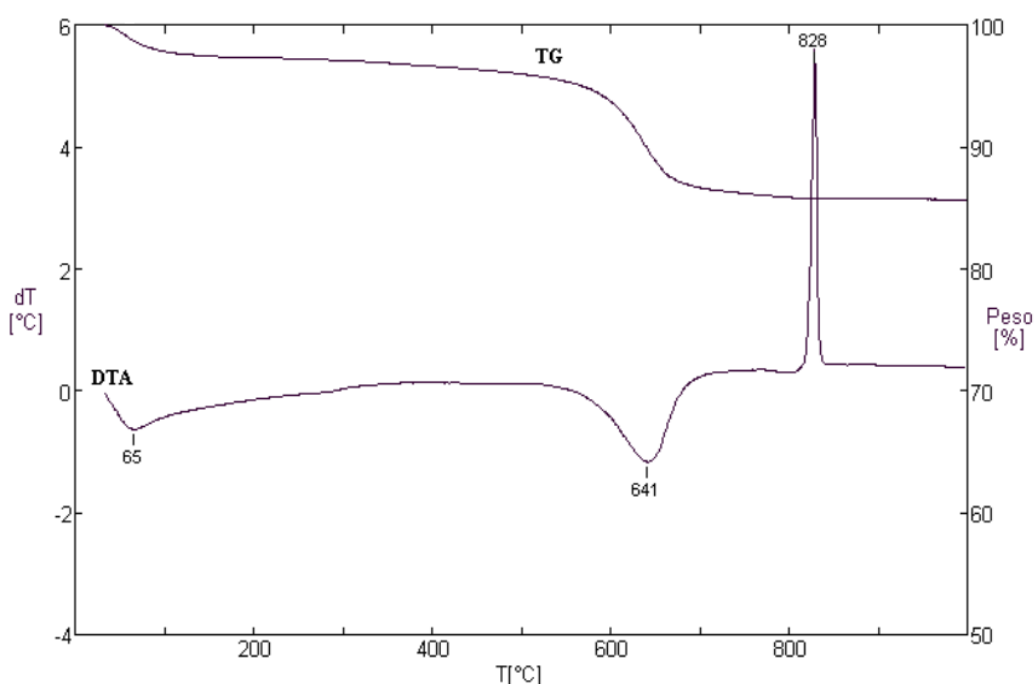


Figura No. III.7 Termograma característico de las serpentinas fuera de balance del Yacimiento Yagrumaje, pertenecientes a la Empresa Ernesto Guevara de Moa, (Tomado de Rojas y otros 2012).

3.3.4. Pasivo Colas del proceso CARON. Características físico – químicas y mineralógicas

Las presas de cola del proceso CARON, se caracterizan por contenidos de níquel, relativamente bajos (0,3 – 0,4 %) y promedio de hierro de 45 %, como se muestra en la tabla III.4. La diferencia en estos elementos y la variabilidad

en el resto de sus componentes, hacen muy compleja la utilización de una tecnología específica, para la recuperación de Ni e Fe, por tanto las variantes tecnológicas se han inclinado a la utilización de la lixiviación, como uno de los métodos más ensayados con estos pasivos, tales son los casos de Falcón J. y otros 2009. También se han empleados métodos de biolixiviación para la recuperación, principalmente, de cobalto, donde sobresalen los trabajos de Capote, N. y otros, 2004; Coto, O y otros, 2002, así como Navarrete C.M y otros. 2009.

Tabla No. III.4: Composición química promedio del pasivo: Colas de la Empresa Ernesto Che Guevara. Proceso CARON. (Tomado de Falcón, J y otros 2009; Penedo y otros 2008; Penedo y otros 2009).

Composición	Rango de variación promedio (%)
SiO ₂	39,4
MgO	3,5 – 4,5
Fe ₂ O ₃	42 - 48
NiO	0,3 – 0,4
Al ₂ O ₃	4 – 4,5
MnO	0,5 – 1,5
Cr ₂ O ₃	2 – 2,5
CaO	0,1- 0,4
CoO	0,04 – 0,09
Cu	0,015
Zn	0,025

Los estudios mineralógicos realizados a las colas de la empresa Ernesto Che Guevara, demuestran la diversidad de fases mineralógicas que caracterizan a estos pasivos, sobresaliendo los óxidos de hierro, representados principalmente, por maghemita - magnetita, como se ilustra en la figura III.8 y la tabla III.5.

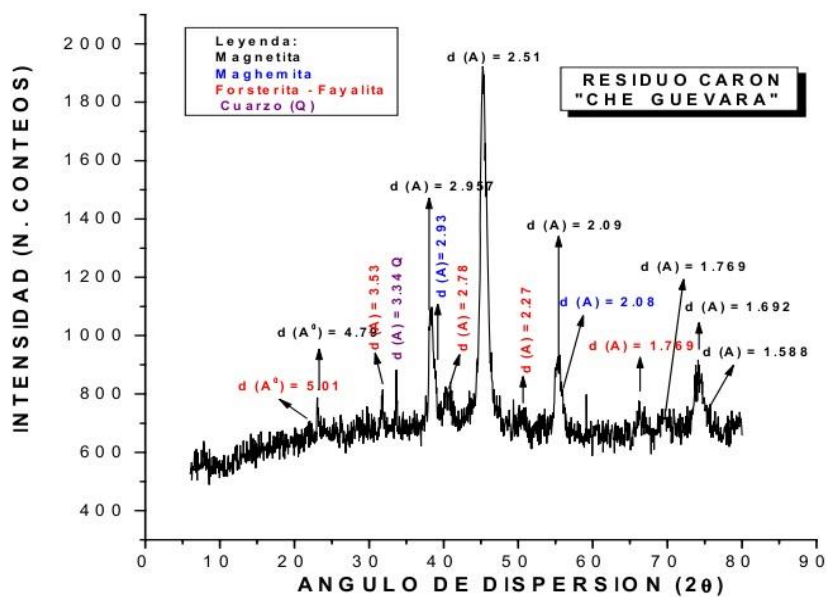


Figura No. III.8 Difractograma de muestra de la presa de colas de la Empresa Ernesto Che Guevara en Moa, (Adaptado de Valdivia G. G y otros. 2013; Capote y otros, 2012).

Tabla No. III.5: Principales fases mineralógicas contenidas en las colas de la empresa Ernesto (Adaptado de Valdivia G. G y otros. 2013; Rojas, A y A. Turro, 2003; Ponce N. y otros, 1986).

Nombre de la fase	Rango de variación promedio (%)
Magnetita	41,03 - 55,71
Maghemita	34,52 – 38,20
Olivino	11,25 - 21,64
Minerales arcillosos	5,45 - 9,66
Cuarzo	0, 48 - 5,12
Cromo espinela	3,98 – 6,81
Minerales de manganeso	0,81 – 2,3

Los trabajos de Rojas y Turro en el 2003, adelantaban la presencia mayoritaria de la maghemita y magnetita en estos pasivos, como se muestra en la figura III.9.

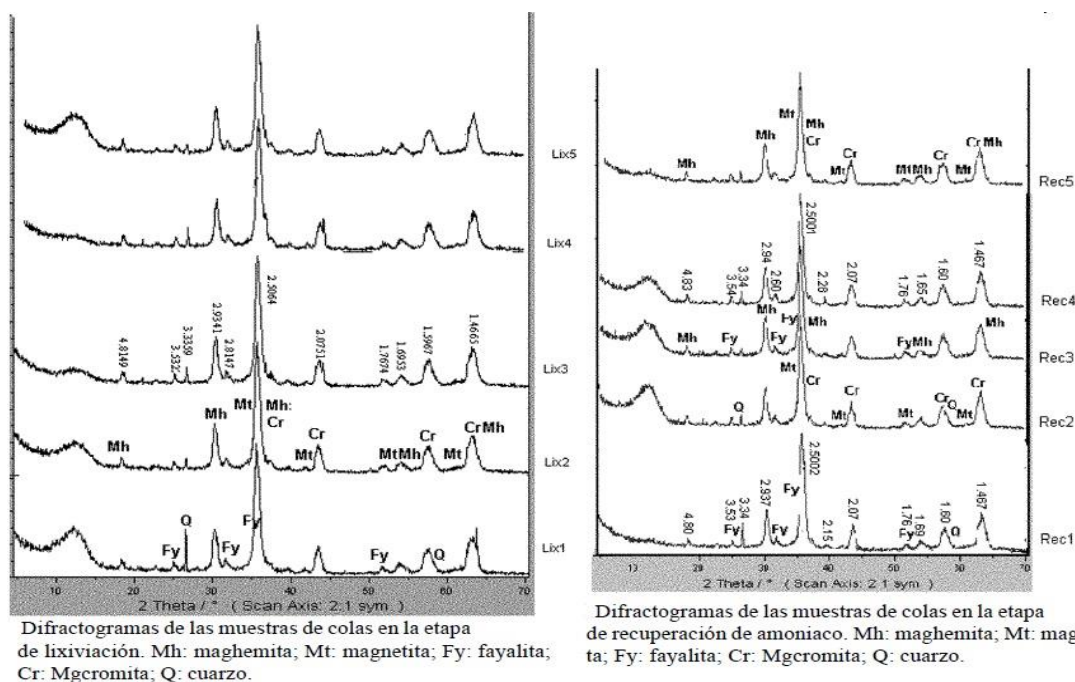


Figura No. III.9: Difractograma del pasivo: colas de la Empresa Ernesto Che Guevara en Moa, (Adaptado de Rojas A y A. Turro 2003).

Esto se refuerza con el hecho de que las curvas de ATD obtenidas para colas de estos depósitos (Ponce y otros, 1986), exponen picos exotérmicos de alrededor de los 780 °C, atribuibles a la transformación de la fase maghemita ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$) en Hematita ($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$), (ver figura III.10)

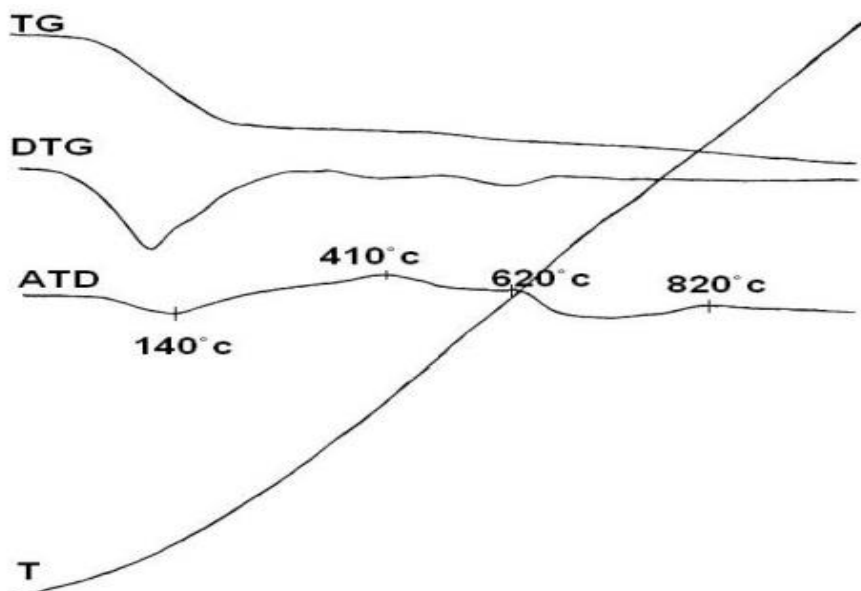


Figura No. III.10: Termograma del pasivo: colas de la Empresa Ernesto Che Guevara en Moa, (Adaptado de Ponce y otros, 1986).

Las colas generadas en el proceso CARON se reconocen físicamente como un material de color negro, brillo semimetálico, predominantemente magnéticos, de granulometría fina, donde más del 66 % es menor de la fracción - 0,044 mm, tanto en la empresa Ernesto Che Guevara (Rojas, A y A. Turro, 2003), como en las colas de la empresa René Ramos Latour de Nicaro, (Ponce 1979). Esta característica favorece los procesos de tratamiento premetalúrgico, principalmente, beneficio, lixiviación, sin embargo para su procesamiento pirometalúrgico, es necesaria la aplicación de métodos de aglomeración.

3.4. Pasivos Ambientales Minero Metalúrgicos sólidos de la Empresa Pedro Soto Alba. Tecnología HPAL.

Esta industria procesa anualmente alrededor de 4,0 MM toneladas de mineral, bases seca de diferentes frentes de explotación conformando mezclas de los yacimientos Moa Oriental y Moa Occidental. Su producción final promedia las 28 000 toneladas al año, utilizando para el procesamiento de sus minerales la tecnología de lixiviación ácida a presión. Los pasivos ambientales de la minería y el proceso metalúrgico de esta industria, fueron identificados como: concreciones ferruginosas o escombros lateríticos, serpentina fuera de balance, mineral de rechazo del proceso de preparación de mineral y las colas.

Las principales características que poseen estos pasivos se muestran a continuación.

3.4.1. Pasivo Concreciones Ferruginosas (Escombros Lateríticos). Características físico-químicas y mineralógicas

Las concreciones ferruginosas de los yacimientos Moa Occidental y Moa Oriental no poseen diferencias significativas en sus propiedades físico, químicas, Pons J. 1998. Los volúmenes de este pasivo que se generan anualmente, superan como promedio los 2,0 MM de toneladas teniendo en cuenta los incrementos productivos de esta empresa en los últimos años.

En el caso de los escombros de Zona A, que han sido los más estudiados de esta empresa (Ramírez M, 2010), se confirman las regularidades estos tipos de pasivos, compuestos químicamente, por óxido de hierro, cuyos contenidos promedio, independientemente del tamaño de las partículas, es de 73,65 %, como se puede constatar en la tabla III.6.

Tabla III.6: Composición química promedio del pasivo Concreciones ferruginosas de Zona A, perteneciente a la Empresa Pedro Sotro Alba de Moa (Adaptado de Ramírez, M, J. Pons y R. Rodríguez. 2011)

Contenido expresado como óxido (%)							
Fe ₂ O ₃	NiO	CoO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MnO	MgO
73,65	0,69	0,14	3,30	13,22	2,13	0,75	0,21

Los estudios mineralógicos, por su parte, confirman que las fases principales en las concreciones ferruginosas son los óxidos de hierro, representados fundamentalmente, por maghemita (γ -Fe₂O₃) y goethita (α -FeO.OH), como lo evidencia la figura III.11. El predominio de esas fases está en correspondencia con la presencia mayoritaria del hierro y su amplia distribución en el perfil laterítico de esta zona.

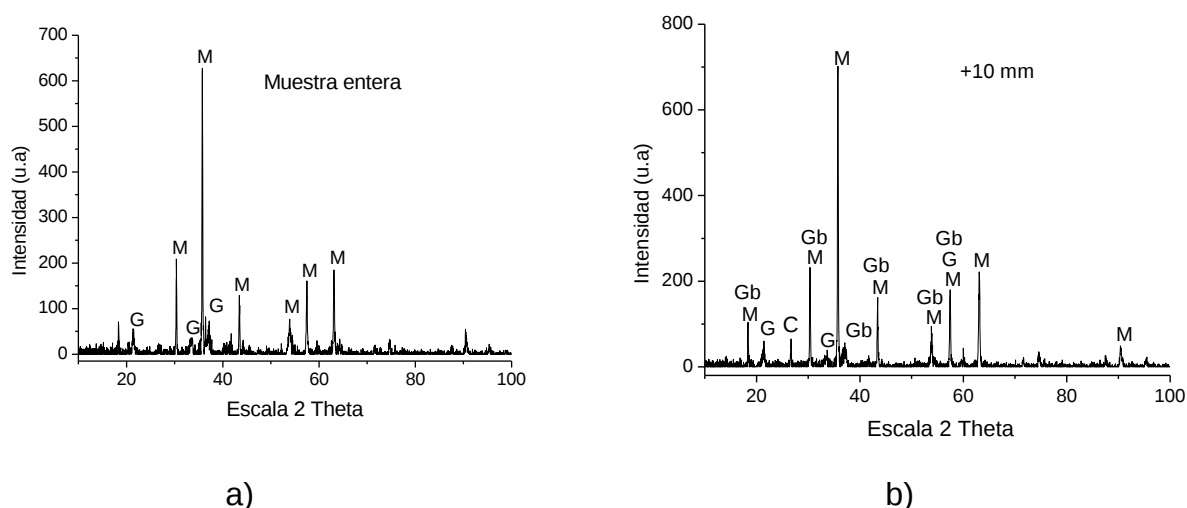


Figura III.11: Difractogramas típicos de los escombros lateríticos de Zona A de la Empresa Pedro Sotro Alba de Moa (Ramírez, M. 2010).

a) Muestra natural, b) Muestra fracción granulométrica mayor de 10 mm
M: maghemita; G: goethita; Gb: gibbsite; C: cuarzo.

Térmicamente estos pasivos, independientemente de las fracciones granulométricas que lo componen, se caracterizan por un efecto endotérmico con máximo a los 100 °C, que se corresponde con la disminución de masa de agua que posee, así como de dos efectos endotérmicos consecutivos cuyo pico principal aparece a los 300 °C (ver figura III.12). La aparición de este doble efecto está relacionado con la deshidroxilación de la goethita (Ramírez M. 2010).

Un efecto exotérmico, con máximo a 876,2 °C, en la curva de ATD, es característico de los procesos de cristalización de los óxidos presentes en estos pasivos. En el intervalo entre 720 y 850 °C, se produce la aglomeración de las partículas y el inicio de la sinterización, formándose en el caso de los compuestos de hierro, partículas de $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$. Esta segunda etapa en la descomposición térmica del escombros de Zona A, es una regularidad de estos pasivos, corroborada por los resultados de Oliveira y otros, 2001 y Ponce y otros, 1986, durante la caracterización de lateritas ocrosas, del yacimiento Punta Gorda y de colas del proceso CARON, de la Empresa Ernesto Che Guevara de Moa.

Finalmente, entre 1200 y 1400 °C se observa en los registros de TG, una última disminución de masa con valor medio de 2,42 %, que coincide con un efecto endotérmico a 1345 °C medido sobre la curva de ATD. Este efecto confirma la presencia de $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ en estos residuos mineros y la posibilidad de su utilización para los procesos siderúrgicos (Pons y otros 1998).

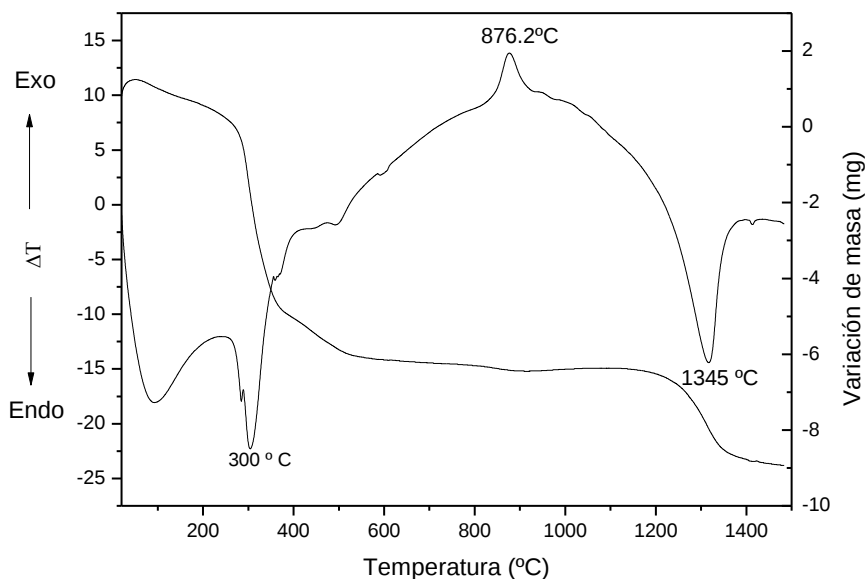


Figura III.12: Curvas representativas de ATD/TG del pasivo ambiental: Escombros Lateríticos de la concesión Minera de las empresas Pedro Sotto Alba y Ferroníquel Minera S.A de Moa, (Ramírez, M. 2010).

Los resultados de los análisis cuantitativos mostrados en la tabla III.7, demuestran la presencia mayoritaria de las fases de Hierro en estos pasivos ambientales, sobresaliendo la maghemita y goethita, que constituyen las fases

principales, con contenido promedio de 72,1 % y 15,5 %, en las fracciones mayores de 2 mm, respectivamente.

Tabla III.7: Composición mineralógica cuantitativa de las diferentes fracciones granulométricas de las concreciones ferruginosas, del yacimiento Zona A, de la Empresa Pedro Sotro Alba, (Ramírez, M. 2010).

Fracciones Granulométricas (mm)	Contenido de las fases mineralógicas (%)					
	Goethita	Maghemita	Gibbsita	Cuarzo	Magnetita	Hematita
+10	17,80	69,40	9,30	3,49	-	-
-10+8	12,54	77,60	8,42	-	-	1,40
-8+6	13,90	74,50	9,60	-	-	2,06
-6+4	12,54	71,50	9,51	-	-	1,48
-4+2	20,60	67,40	10,10	-	-	1,87
-2+0,83	27,90	10,80	16,57	-	37,00	7,71
-0,83	31,60	43,13	16,37	-	-	8,86

3.4.2. Pasivo Rechazo Planta de Preparación de Mineral (Planta de Pulpa). Características físico-químicas y mineralógicas.

La planta de pulpa de la Empresa Pedro Sotro Alba, procesa minerales de los yacimientos Moa Oriental, desde 1985 y Moa Occidental. Los rechazos de esta planta representan entre 25 y 30 % del mineral alimentado, lo que significa alrededor de 2,989, 77.49 toneladas al año.

Estos pasivos ambientales con altos contenidos de serpentinitas (más del 60 %), se clasifican como ligeramente meteorizadas, con un peso volumétrico que oscilan entre, 2,5 - 2.74 g/cm³, según Casal C., 1986. El predominio de estos minerales es confirmado por los contenidos de SiO₂, MgO y Fe₂O₃, (ver tabla III.8), presentes en estos residuos industriales.

Tabla No. III.8: Composición química promedio del pasivo: rechazo de la planta de pulpa de la Empresa Pedro Sotto Alba (Adaptado de, Montero E., y otros 2007; Sariol, E., y otros 2012).

Compuestos	Por ciento (%)
SiO ₂	30,75
MgO	29,35
Al ₂ O ₃	3,95
Fe ₂ O ₃	17,22
FeO	2,38
CaO	0,28
MnO	0,12
Cr ₂ O ₃	0,20
NiO	0,85
CoO	0,010
PPI	16,60
Otros	12,89

A pesar de que no se cuenta con amplios estudios mineralógicos, los resultados preliminares (Pons. J y E. Montero. 2014), muestran que en la composición mineralógica de estos pasivos, aparecen los minerales del grupo de la serpentina (crisotilo, lizardita, antigorita, etc.), cuyo contenido comúnmente alcanza el 60 %. Los minerales primarios representan entre 5 - 30 % y en ocasiones pueden alcanzar hasta 50 %. En pequeñas cantidades aparecen en su composición cromoespinelas y magnetita, en forma de granos independientes y pequeños agregados.

A partir de estos resultados se ha evaluado el uso de estos pasivos como material de construcción. Los resultados obtenidos hasta el momento demuestran que este rechazo no reacciona con el álcalis del cemento, su pérdida de peso por reacción con los sulfatos se comporta dentro del rango (11,7) permitido por la norma 251 del 2002 y tiene buena resistencia a la acción del intemperismo. Todo esto demuestra que es factible utilizar este rechazo como árido en la confección de hormigones hasta de 20 MPa, Montero E., C. Leyva y J. Pons 2007.

Se ha comprobado que este pasivo no presenta reactividad ante los álcalis del cemento y tiene buen comportamiento ante las condiciones de intemperismo, lo cual hace factible su utilización como árido en la producción de hormigones, Montero E., C. Leyva y J. Pons 2007. Por tanto es recomendable su utilización

en hormigones hasta 20 MPa, los cuales no requieren áridos con especificidad de resistencia mecánica, ni se destinan a obras donde están sometidos a abrasión.

3.4.3. Pasivo serpentina fuera de balance. Características físico-químicas y mineralógicas.

La Empresa PSA en los últimos años, ha mejorado su tecnología y actualmente procesa los minerales de serpentina alterada, que anteriormente eran considerados rechazos mineros, por sus relativamente altos contenidos de elementos nocivos, como SiO_2 y MgO . Esta situación nos llevó a considerar como pasivos ambientales a la serpentina dura o peridotitas, que no son incorporadas a la masa minera que actualmente procesa esta industria.

Estos pasivos, se caracterizan por la presencia mayoritaria de harzburgitas serpentinizadas, confirmada químicamente por los contenidos mayoritarios de SiO_2 y MgO , como se ofrecen en la tabla III.9.

Tabla No. III.9: Composición química promedio de las serpentinas fuera de balance de la Empresa Pedro Sotillo Alba (Adaptado de, Montero E., C. Leyva 2007; J. Pons y E. Montero 2014).

Compuestos	Moa Oriental (%)	Moa Occidental (%)
SiO_2	39,07	38,06
MgO	35,06	33,75
Al_2O_3	0,63	0,58
Fe_2O_3	7,73	8,05
FeO	1,51	1,48
CaO	0,38	0,40
MnO	0,11	0,10
Cr_2O_3	0,26	0,25
NiO	0,33	0,40
CoO	0,018	0,02
Otros	14,90	16,91

Mineralógicamente se destaca la presencia de minerales del grupo de la serpentina (crisotilo, lizardita, antigorita, etc.), cuyo contenido promedio supera el 60 %, aparecen además pequeñas cantidades de cromoespinelas y magnetita en forma de granos independientes y pequeños agregados. Existen evidencias de cuerpos de gabroides, caracterizados por una estructura masiva, siendo rocas densas y compactas. También existen dunitas, asociadas a lentes de cromitas, todo lo cual demuestra la variada composición mineralógica de estos pasivos, muy similar a los de la empresa Ernesto Che Guevara.

Esta litología es la que más aporta a la generación del pasivo serpentinitico, que se acumula en el rechazo de la planta de pulpa, de la Empresa Pedro Sotto Alba de Moa.

Desde el punto de vista térmico (ver figura III.13), este pasivo tiene un comportamiento muy similar a las rocas duníticas y serpentiniticas de la región Moa – Baracoa (Pons J. 2000), con efectos endotérmicos entre 100 y 300 °C, asociados a la pérdida de agua higroscópica, y a la presencia de la goethita en estos pasivos. Posteriormente similar efecto a los 630 °C, es producto de la eliminación del agua estructural y por el último el efecto exotérmico a los 780 °C, característico de la restructuración del olivino, con la formación de Forsterita, expresado a través de la expresión III.1, la cual se verifica normalmente entre 600 y 700 °C.

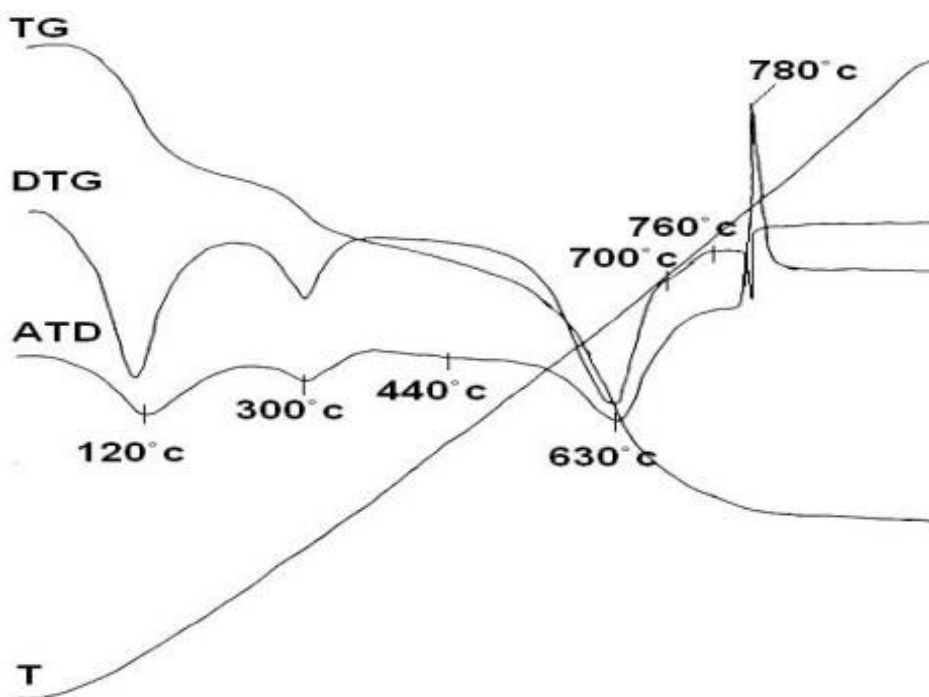
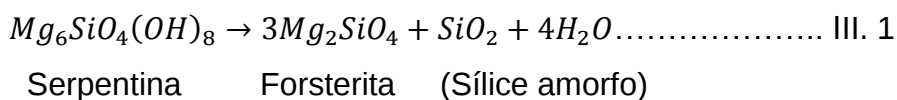


Figura III. 13: Termogramas del pasivo serpentina fuera de balance o basamento de los yacimientos de Moa Oriental.

3.4.4. Pasivo Colas del proceso HPAL. Características físico-químicas y mineralógicas.

La Empresa PSA, posee dos presas de colas, donde los volúmenes totales acumulados superan los 200 millones de toneladas, según estadísticas de

producción. Estos pasivos se caracterizan al igual que las colas de la Empresa Ernesto Che Guevara, por relativamente, altos contenidos de hierro, como se observa en la tabla siguiente.

Tabla III.9: Composición química promedio del pasivo Colas de la Empresa Pedro Sotro Alba de Moa. (Adaptado de Falcón J., M. Penedo y otros. 2009).

Compuestos	Estudio Geológico (%)	Estudio Mineralógico (%)
Fe ₂ O ₃	67,9	69,22
Al ₂ O ₃	6,42	6,92
SiO ₂	4,26	4,83
FeO	0,25	0,29
MgO	0,37	0,51
CaO	1,42	1,24
MnO	0,56	0,72
Na ₂ O	0,05	0,196
K ₂ O	0,05	0,197
NiO	0,09	0,126
CoO	0,016	0,019
Cr ₂ O ₃	2,44	2,84
SO ₃	7,75	8,32
S	2,89	2,95
PPI	12,78	3,82
Ni/Co	5,62	6,63

Granulométricamente estos pasivos son muy finos con predominio de las fracciones menores de 0,1 mm. Estudios realizados a estos pasivos confirman la presencia mayoritaria del hierro, entre los elementos principales, Falcón J y otros 2009, como puede observarse en la tabla III.10.

Tabla III.10: Composición química por fracciones del pasivo ambiental: Colas del Proceso HPAL (Adaptado de Falcón J., M. Penedo y otros. 2009)

Componentes	Mayor 149 μm	74 - 149 μm	Menores 74 μm
Ni	0,4225	0,419	0,414
Co	0,0855	0,086	0,074
Zn	0,0525	0,051	0,056
Mg	4,56	4,255	3,646
Mn	0,7065	0,726	0,684
Cu	0,0255	0,024	0,0131
Fe	39	42,45	42,75
Al	5,495	4,7	4,796
Cr	1,94	2,015	2,09
Si	6,295	4,75	4,32

Mineralógicamente se caracterizan por la presencia de Hematita como fase principal, confirmando el predominio del hierro en estos pasivos, lo que constituye un depósito estratégico para la obtención de productos siderúrgicos. La figura III.14 muestra un difractograma característico de este tipo de pasivo ambiental, que ocupa un gran volumen en el balance de la industria PSA de Moa, con su consiguiente impacto ambiental.

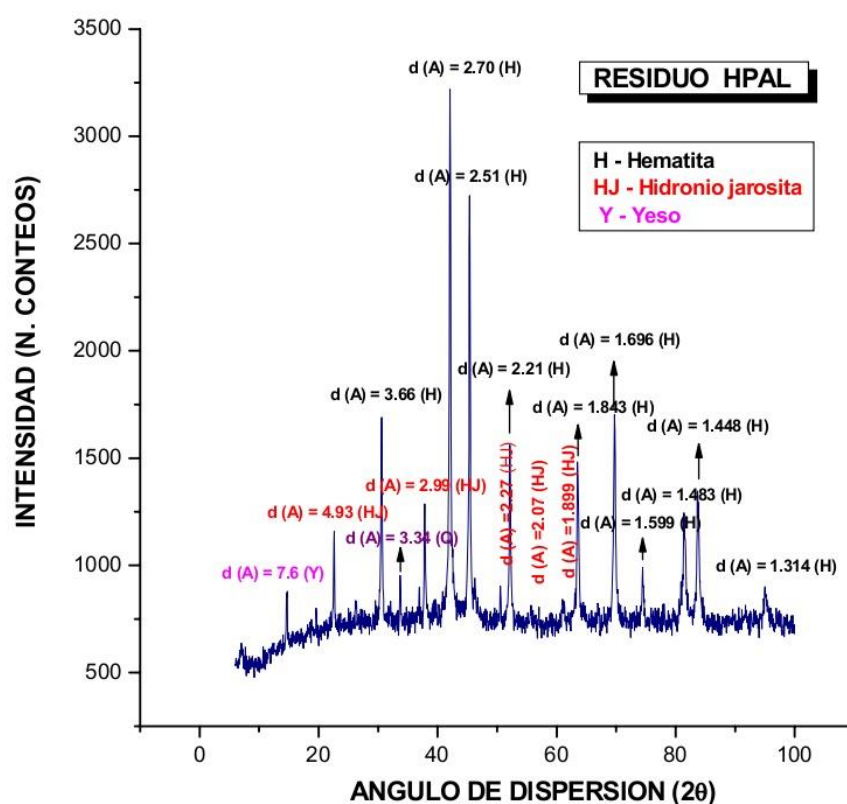


Figura III.14: Difractograma característico del pasivo: Colas del proceso HPAL en Moa.

Térmicamente este pasivo confirma la presencia de tres efectos endotérmicos significativos, asociados los dos primeros (170 °C y 400 °C), a la pérdida del agua, producto de la disociación de compuestos que componen este pasivo y otro efecto entre 750 y 770 °C, característico de la descomposición de los minerales de hierro y serpentina, presente también en este material (ver figura III.15). Por su parte el efecto exotérmico entre 790 y 820 °C, con un máximo a los 800 °C, es típico de la transformación de la fase Antigorita en Forsterita, que origina un reordenamiento estructural del olivino, presente en pequeñas proporciones en este residuo industrial.

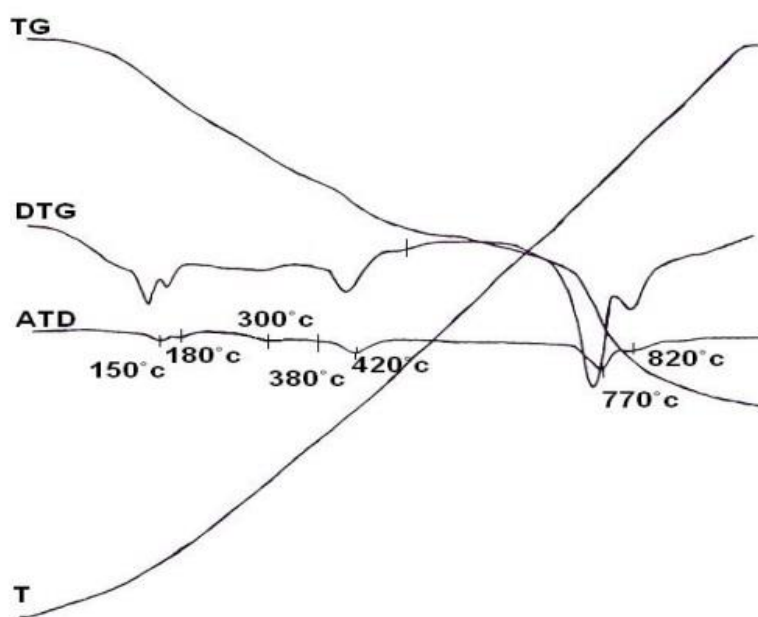


Figura III.15: Termograma característico del pasivo: Colas del proceso HPAL en Moa.

3.5. Pasivos Ambientales Minero Metalúrgicos sólidos de la Empresa Ferroníquel Minera S.A. Tecnología RKEF.

A pesar de que esta Empresa se encuentra en la fase de proyecto, hemos decidido incorporarla al estudio de los pasivos ambientales, teniendo en cuenta que aunque procesará mezclas de minerales limoníticos y serpentiniticos, generará pasivos mineros (coraza ferruginosa y serpentina fuera de balance) e industriales (escorias).

Otra particularidad de esta empresa es que, su concesión minera es sobre los minerales que no utilizó la Empresa PSA, principalmente, las corazas

ferruginosas y la roca madre o serpentina dura (fuera de balance). Los diferentes depósitos estudiados se muestran en la figura siguiente.

A continuación se exponen las principales características de los PAMMs que generará esta industria.

3.5.1. Pasivo Coraza Ferruginosa (Escombros Lateríticos). Características físico-químicas y mineralógicas.

Estos pasivos en la actualidad se ubican en los yacimientos otorgados a la Empresa Ferroníquel Minera S.A, o sea, Moa Occidental; los mismos fueron estudiados con anterioridad para su uso siderúrgico, Pons J y otros 1998, pero en aquel momento pertenecían a la Empresa PSA.

Como resultado del proceso minero han quedado en los yacimientos, grandes reservas de estos pasivos, volúmenes que ascienden a 1,364, 097.7 m³, la mayoría de los cuales han sido depositados en escombreras.

Sus relativamente altos contenidos de hierro, así como la presencia de minerales arcillosos, son sus principales atributos químicos, como se muestra en la tabla III.11.

Tabla III.11: Composición química promedio del pasivo coraza ferruginosa de los diferentes depósitos del yacimiento Moa Occidental. (Informes geológicos EGMO, para FEMSA)

Pasivos	Composición química (%)						
	Ni	Co	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	MgO
Atlantic	0,6 – 0,9	0,05-0,08	60 - 72	7,0 -10	2,0 - 2,5	3,0-3,5	0,3-0,8
Pronostico	0,50 – 0,85	0,06–0,11	58 - 70	7,5 - 12	1,8-2,6	3,1-3,8	0,35-1,0
Zona Sur	0,55 – 0,85	0,05 -0,10	56 - 72	7,5 - 10	2,1–3,2	2,8-3,6	0,3 – 0,9
Yamanigüey	0,5 – 0,85	0,05–0,11	45 - 70	7,0 - 12	0,9-3,0	3,0-4,0	0,33–1,1

3.5.2. Pasivo Serpentina fuera de Balance. Características físico-químicas y mineralógicas.

Estos pasivos se caracterizan al igual que los de la Empresa Che Guevara por los relativamente altos contenidos de MgO y SiO₂ (ver tabla III.12), característico de los minerales de serpentina. Los bajos contenidos de Níquel y Cobalto y sus propiedades físicas (dureza), principalmente, hacen de estos pasivos los menos utilizados y rehabilitados por la minería e industria del Níquel.

Tabla No. III. 12: Composición química promedio del pasivo Serpentina fuera de balance de la Empresa FEMSA.

Pasivo	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	NiO	CoO	MgO	TiO ₂	Cr ₂ O ₃
Serpentina fuera de balance	38,18	1,23	7,07	0,56	0,015	36,38	0,034	0,43

Mineralógicamente este pasivo posee como promedio más de 75 % de minerales de serpentina y pequeñas proporciones de otros minerales portadores de níquel como la goethita. En la figura III.16 se demuestra esta regularidad de las serpentinas fuera de balance, en dos de los principales yacimientos de FEMSA.

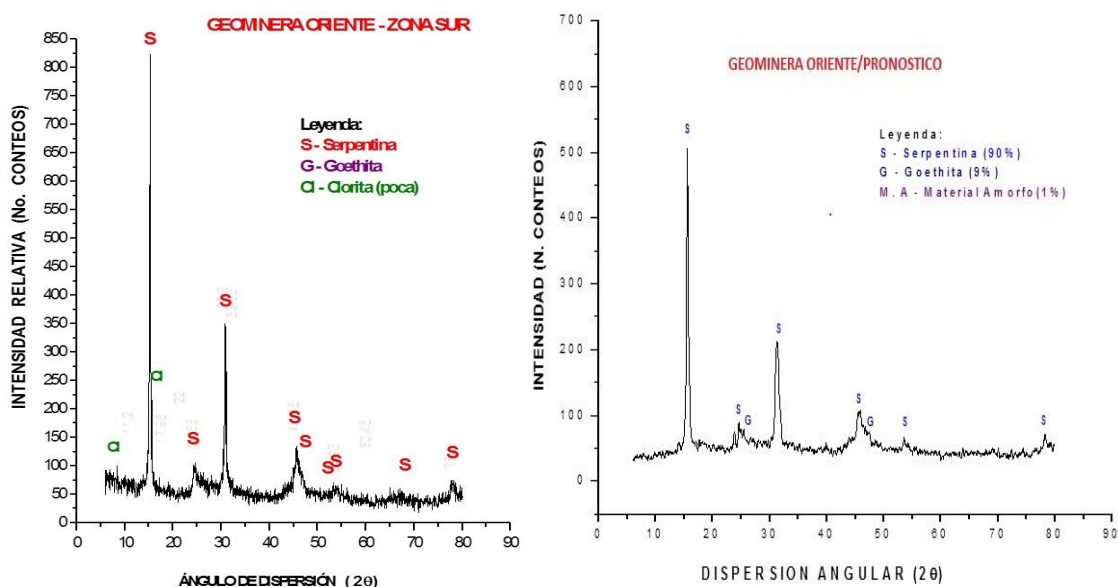


Figura III. 16 Difractogramas de muestras de serpentina fuera de balance de los yacimientos Zona Sur y Pronóstico de la Empresa FEMSA.

No se cuentan con análisis térmicos de estos pasivos, característica que debe conocerse a través de trabajos futuros, con vistas a definir su comportamiento y posible uso industrial.

3.5.3. Pasivo Escorias de Ferroníquel. Características físico-químicas y mineralógicas.

Se identificaron dos tipos de escorias, de los procesos de Fundición y de Refinación. La composición química de las escorias de fundición se caracteriza por presentar relativamente altos contenidos de SiO₂, MgO e Fe, como puede observarse en la tabla III.13. Los estudios realizados preliminarmente muestran la posibilidad de emplear este pasivo como material de construcción, sandblasting, componente para la fabricación de cemento, mezclas asfálticas, entre otros usos, Pons J. 2010.

Tabla III.13: Rango de variación de la composición química (%), de las escorias de los procesos de fundición y refinación de FEMSA (Tomado de Pons. J. 2010).

Compuestos	Por ciento (%)
NiO	0,10 – 0,20
CoO	0,010 – 0,10
FeO	18,3 – 22,5
SiO ₂	35,0 - 40,3
MgO	30 - 35,32
Cr ₂ O ₃	0,56 - 0,80
Al ₂ O ₃	2,5 - 3,7
Mn ₃ O ₄	2,0 - 4,32
CaO	2,0 - 2,85

Los resultados mineralógicos demuestran que la escoria está compuesta, principalmente, por silicatos de magnesio e hierro (figura III.17), presentes generalmente en forma de clinoenstatita ($(\text{Mg},\text{FeO})\text{SiO}_3$), además de minerales de olivino, fundamentalmente forsterita (Mg_2SiO_4).

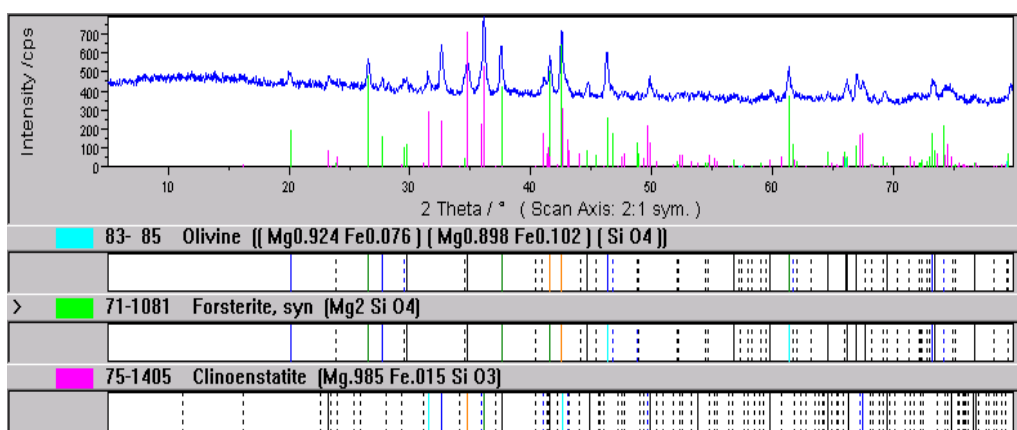


Figura No III.17: Diffractograma de escorias del proceso de fundición de ferromniquel de Moa, (Ramírez Y., y otros 2013)

Estas fases silicatadas magnesianas son típicas de condiciones de formación a altas temperaturas, por encima de los 800 °C, conocidos como minerales refractarios. La presencia del hierro justifica el tipo de silicato presente como el olivino, fayalita ($\text{Fe}_2\cdot\text{SiO}_4$) y la clinoenstatita.

Las escorias de fundición de ferromniquel de Moa, de acuerdo a sus propiedades físicas, pueden ser utilizadas como material abrasivo, material de construcción y refractario, al ser similares a la de otras plantas de ferromniquel del mundo, Ramírez Y. y otros 2013.

El uso de las escorias de fundición de ferroníquel en Moa permitirá el aprovechamiento de este pasivo y por consiguiente disminuir el efecto negativo que sobre el ecosistema tendrá su vertimiento.

Térmicamente las escorias presentan un comportamiento similar a los productos fundidos y granulados como se muestra en la figura III.18, donde la pérdida de la humedad adquirida, producto al proceso de granulación, así como la porosidad de este material son evidentes. A pesar de los resultados que se tienen, se considera necesario incrementar al grado de estudio de estos pasivos, con vistas a ampliar sus conocimientos y definir sus posibles usos industriales.

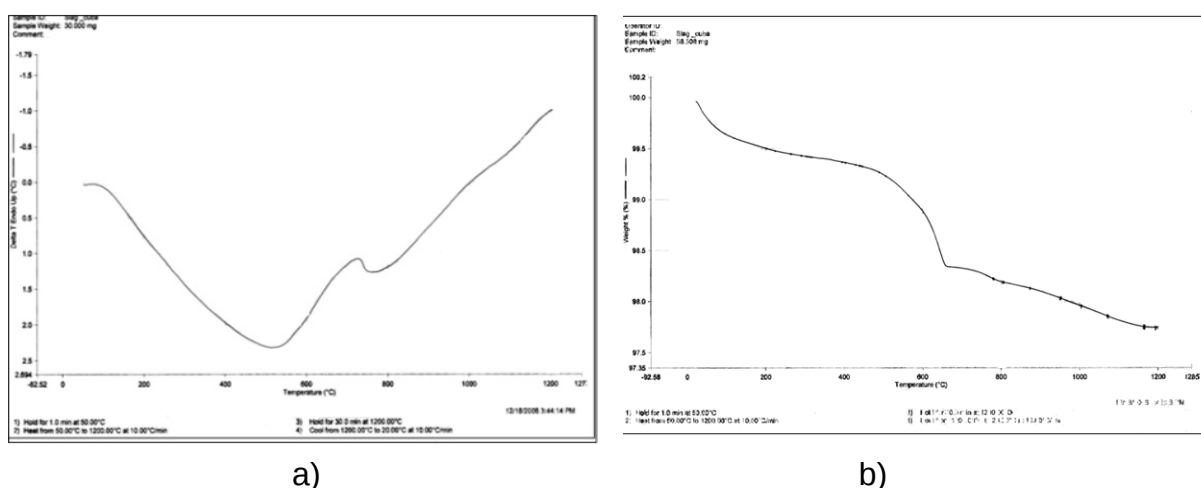


Figura III.18 Termogramas (a- ATD; b- ATG) de escorias de fundición del proceso de obtención de Ferroníquel. (Tomado de Pons J. 2006).

3.6. Clasificación de los Pasivos Ambientales sólidos

Luego del proceso de caracterización de los pasivos ambientales sólidos estudiados, se establece la clasificación de estos en las denominaciones siguientes:

1. Pasivos Mineros:

- a) Corazas Ferruginosas o Escombros Lateríticos: Incluye los pasivos generados por las empresas Ernesto Che Guevara, Pedro Sotto Alba y Ferroníquel Minera. poseen características muy similares, lo que permite clasificarlo en uno de los principales pasivos mineros de la Minería del territorio, cuyos volúmenes estimados superan los 5,0 MM de toneladas anuales, uno de los más abundantes en este proceso. Usos

- b) Serpentinillas Fuera de Balance o Serpentina Dura: Incluye los pasivos de las tres empresas del Níquel en Moa. Sus características físicas, químicas y mineralógicas constituyen una regularidad de los depósitos mineros de la región de Moa.

2. Pasivos Metalúrgicos:

- a) Rechazos de las plantas de preparación de mineral: Aunque poseen características similares, estas aún son insuficientes y las particularidades del proceso de extracción en los frentes de explotación, hacen necesario por el momento su diferenciación para un mejor estudio y definición de sus posibles usos en los tipos siguientes:
- Rechazo planta de preparación de mineral de la ECG.
 - Rechazo planta de preparación de mineral de la Empresa PSA.
- b) Colas del proceso CARON: Poseen características típicas de los residuales de la tecnología de lixiviación carbonato amoniacal.
- c) Colas del proceso HPAL: Se caracterizan por relativamente altos contenido de azufre y hierro, producto de la tecnología de lixiviación ácida a presión, que se utiliza en esta planta.
- d) Escorias de Ferroníquel (Fundición y Refinación): Estas poseen características diferentes por lo que se diferenciarán en:
- Escorias del proceso de fundición, que representarán alrededor de 1,3 MM t/a del rechazo de la planta.
 - Escorias del proceso de refinación, alcanzarán las 8 000 t/a

3.7. Usos definidos de los PAMMs.

Los PAMMs, generados por las industrias del Níquel han sido objeto de diversas investigaciones, muchas de ellas para evaluar sus posibles usos, sin embargo no se cuenta actualmente con ninguna tecnología implementada, que permitan el tratamiento y uso de estos recursos; en ello han incidido varios factores, pero el principal es la falta de financiamiento para llevar a escala industrial los resultados obtenidos. En la tabla III.14 se exponen las principales propuestas de usos de los pasivos estudiados, lo que demuestra la necesidad de continuar las investigaciones dirigidas a convertirlos en activos.

Tabla No. III.14: Propuestas de usos de los PAMMs y las principales investigaciones realizadas.

Pasivos	Propuestas de Usos	Tecnologías propuestas	Autores	Estado actual
Pasivos Mineros				
Corazas Ferruginosas	Material oxidante en proceso de descarburización de aleaciones ferrosas.	Beneficio granulométrico	Ramírez M. 2010; Pons J. 1995, 1998	Sin implementar
	Extracción de cobalto	Lixiviación ácida	Palacios A. 2001	Sin implementar
	Recuperación de Ni y Co contenido.	Lixiviación con ácidos orgánicos	Bruguera N. 2000	Sin implementar
	Obtención de concentrados de hierro	Beneficio granulométrico	Pons J, 1995 - 1998	Sin implementar
	Extracción de Ni, Co, Fe y Mn	Lixiviación empleando ácidos piroleñosos y ácido sulfúrico	Falcón J.H., M. Penedo, J. Muñoz y A. Ballester. 2009.	Sin implementar
	Recuperación del cobalto	Lixiviación con ácido tartárico	Ballester-Pérez, A y otros. 2005	Sin implementar
Serpentina Fuera de Balance	Material de construcción y Refractario	Preparación mecánica, clasificación y conformación de mezclas	Pons y otros, 1999, 2000.	Sin implementar
Pasivos Metalúrgicos				
Rechazo Planta PPM Empresa Che Guevara	Material de construcción	Beneficio granulométrico y conformación de mezclas	Leyva C, 2010	Investigación en Proceso
	Material Refractario	Beneficio y conformación de mezclas	Pons J y otros 2013	Investigación en Proceso
Rechazo Planta PPM Empresa Pedro Sotto Alba	Material de construcción	Beneficio y conformación de mezclas	Montero E y otros 2007	Investigación en Proceso
	Recuperación de Ni contenido.	Beneficio y lavado usando instalaciones de Planta de Pulpa	Sánchez D.J, 2011. Sariol, 2011	Sin implementar
Colas del proceso CARON	Recuperación de Ni y Co contenido.	Bioliixiviación	Navarrete, C y otros. 2009	bioliixiviación de colas de la planta Ernesto Che Guevara con cepa de

				Aspergillus Níger aislada. (Sin implementar)
	Aprovechamiento del Ni, Co, Cr y otros metales	Evaluación de tecnologías para el Obtención de concentrados de Cr_2O_3 .	Programa de aprovechamiento económico de los residuales de la industria del Níquel (PRAERIN) 2006	Se desarrollaron varios talleres. A partir del 2006 no continuo el Proyecto
Colas del proceso HPAL	Aprovechamiento del Ni, Co, Cr y otros metales	Biolixivación	Coto O y otros, 2005.	Sin implementar
Escorias de Ferroníquel (Proceso de Fundición)	Obtención de productos refractarios	Beneficio y conformación de mezclas.	Ramírez Y. 2007. Pons J. 2006	Sin implementar
	Obtención de materiales de construcción y sandblasting	Beneficio y conformación de mezclas.	Pons J. 2010	Investigación en Proceso
Escorias de Ferroníquel (Proceso de Refinación)	Recuperación de Ni contenido.	Beneficio hidrogravimétrico	Pons J. 2009	Investigación en Proceso

A pesar de que se han desarrollado diversas investigaciones sobre el posible uso de los pasivos ambientales, consideramos que no existen tecnologías limpias probadas a escala industrial que permitan establecer una estrategia única para el empleo sostenible de estos recursos minerales. Por lo que debemos continuar organizando y estableciendo las pautas para la conversión de los PAMMs en activos sociales o industriales. Este trabajo constituye un pequeño esfuerzo en lograr este objetivo.



Conclusiones parciales del capítulo.

1. Según las características físicas, químicas y mineralógicas de los pasivos ambientales sólidos, generados por las industrias del Níquel en Moa, estos se clasifican en, Pasivos Mineros: que incluyen, las Coraza ferruginosa (Escombros lateríticos), las Serpentina fuera de balance, o serpentina dura; Pasivos Metalúrgicos compuestos por: los Rechazos de las plantas de preparación de mineral de las Empresas Ernesto Che Guevara y Pedro Sotto Alba, las presas de colas de los procesos CARON y HPAL y las Escorias de Ferroníquel.
2. Las características de los pasivos mineros, permiten establecer regularidades físico – químicas, que contribuyen a definir sus posibles usos industriales.
3. Las características de los pasivos metalúrgicos, generados por las industrias del Níquel en Moa, (Rechazos de la preparación de mineral y las colas), precisan de un mayor grado de estudio, que permitan definir sus usos industriales.
4. A pesar de que se conocen los posibles usos de los PAMMs estudiados, no están implementadas las tecnologías, que permitan su tratamiento y conversión en activos industriales o sociales.

Capítulo IV: Evaluación de los PAMMs

4.1. Conformación de las fichas técnicas de los PAMMs

El próximo paso en el establecimiento de la metodología propuesta, contempla el procesamiento integral de los datos obtenidos. Como resultados de la evaluación de las características de los PAMMs, se logró la conformación de fichas técnicas para cada uno de los pasivos sólidos estudiados, las cuales contienen los aspectos fundamentales, que permiten definir el valor de estos residuos. En el anexo II se muestra el modelo de ficha técnica tomada como base para el desarrollo de las características de los pasivos estudiados.

Inicialmente fueron creadas las fichas técnicas para cada uno de los PAMMs identificados en las empresas del Níquel en Moa. De esta forma es posible observar las regularidades y semejanzas en las características que tienen los mismos, con el objetivo de clasificar los pasivos ambientales minero-metalúrgicos sólidos, así como la creación fichas técnicas generales. Las fichas técnicas individuales de cada pasivo estudiado se muestran en el Anexo III.

Luego de evaluados y conformadas las fichas técnicas de todos los pasivos, se realizó su clasificación y organización, tomando como base las características semejantes estudiadas y las propuestas de utilización que se conocen. Con estos elementos se elaboró una única ficha técnica para los pasivos sólidos, según la clasificación otorgada. Este proceder tiene como objetivo fundamental, integrar en un solo documento, los principales aspectos de cada pasivo ambiental, que permitan actualizar sus datos y a su vez definir estrategias para la implementación de sus usos.

Las fichas técnicas elaboradas, están basadas en las experiencias cubanas y de otras partes del mundo, que han propuestos diversas metodologías para el inventario de pasivos ambientales. Con nuestra propuesta se pretende enriquecer y perfeccionar constantemente todas las informaciones que tributan al conocimiento de los pasivos ambientales, a través de su implementación y validación, utilizando para ello su confrontación ante comité de expertos, instituciones especializadas y los criterios de especialistas en la temática.

A continuación se exponen los elementos que conforman la ficha técnica de cada PAMMs estudiados.

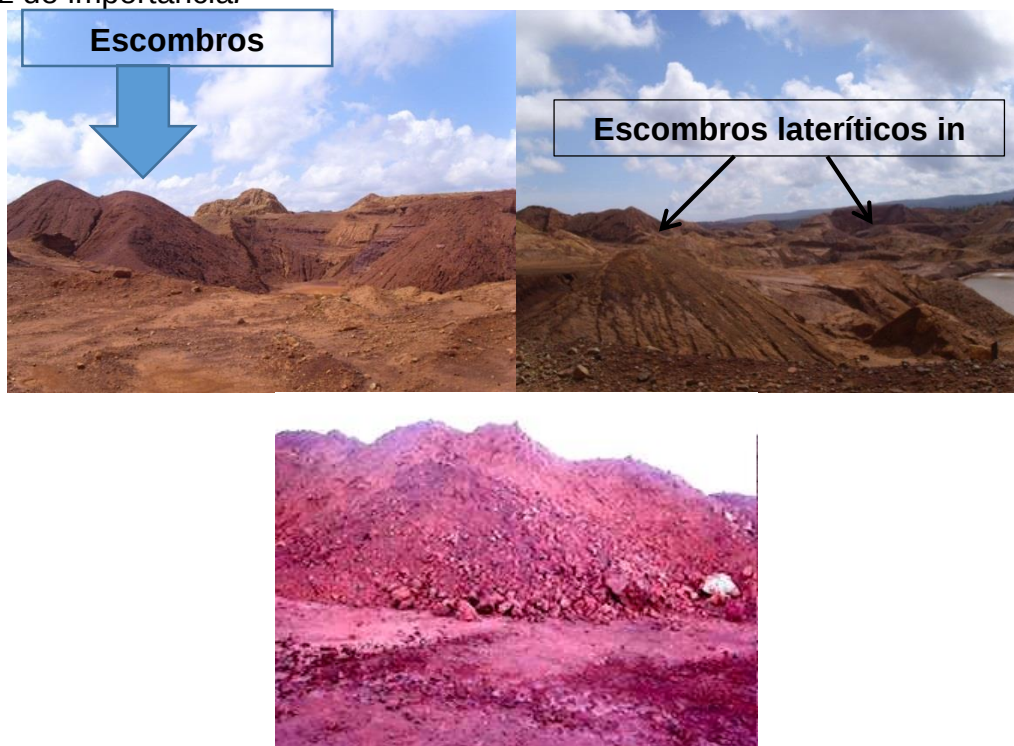
4.1.1. Escombros Lateríticos de la empresa ECG, PSA y FEMSA

Los escombros lateríticos de las empresas Pedro Sotto Alba y Ferroníquel Minera, poseen contenidos de óxidos de hierro similares, alrededor de 75 %, por lo que pueden ser recuperados y procesados, con los mismos fines que han sido evaluados. Por su parte los escombros lateríticos de la ECG aunque su composición de óxidos de hierro oscila entre 40-50 %, igualmente pueden ser clasificados en la misma categoría que los escombros de la PSA y FEMSA, por lo que se les aplicará el mismo proceso de tratamiento. A continuación se expone la ficha técnica general para este pasivo ambiental, de las tres empresas del Níquel.

Tabla IV. 1: Ficha técnica de los escombros lateríticos del municipio de Moa.

FICHA TÉCNICA DE PASIVOS AMBIENTALES MINERO-METALÚRGICOS SÓLIDOS “Coraza Ferruginosa o Escombros Lateríticos”	
1. Localización (Especifique Planta y/o mina): Pasivo Minero. ECG, PSA y FEMSA	
2. Origen: Depósitos Mineros (ECG): Punta Gorda, Yagrumaje, Camariocas; Depósitos Mineros (PSA): Moa Oriental y Moa Occidental y Depósitos FEMSA: Yamanigüey, Pronóstico, Zona Sur y Atlantic.	
3. Descripción: Las tres empresas generan escombros lateríticos que se acumulan diariamente pero con composiciones de óxidos de hierro diferentes donde la ECG (≈45 %), la PSA (≈75 %) y la FEMSA (≈75 %). Este hecho indica que es posible su tratamiento premetalúrgico, fundamentalmente, para la recuperación de hierro y su uso en la industria siderúrgica.	
4. Posibles usos: Las fracciones más gruesas, incluyendo los perdigones, pueden utilizarse como material siderúrgico en los procesos de elaboración de aceros; Obtención de cobalto a partir de su lixiviación ácida u orgánica.	
5. Tecnologías para su tratamiento: Beneficio granulométrico para la obtención de material siderúrgico. Lixiviación con ácidos orgánicos o con ácido sulfúrico, para la recuperación de Ni y Co. Biolixiviación para la obtención de metales, principalmente, Ni, Co e Fe, No hay una tecnología única y probada para su aprovechamiento integral.	
6. Peligros posibles: Por sus características granulométricas (alrededor de 20 % menor de 0,2 mm), constituyen fuente de formación de polvos que son arrastrados por las corrientes de aire, lo cual puede afectar a la salud de los trabajadores mineros y al medio ambiente circundante. Gran impacto al medio ambiente, debido a las actividades mineras donde el perfil del suelo está destruido, lo que dificulta la recuperación o replantación de la capa vegetal. Provocan además alteraciones en el perfil de la tierra, que dificulta la restauración de la capa vegetal.	

7. Matriz de importancia:



Intensidad (I)		Área de influencia (AI)	
Alta	8	Regional	8
Plazo de manifestación (PZ)		Permanencia del efecto (PE)	
Inmediato	4	Permanente	4
Reversibilidad (R)		Sinergia (S)	
Irreversible	4	Sinérgico	2
Acumulación (AC)		Relación causa-efecto (RCE)	
Acumulativo	4	Directo	4
Regularidad de manifestación (RM)		Recuperación (RE)	
Continuo	4	Mitigable	8

Para calcular la Matriz de importancia:

$$MI=3 \cdot (8)+2 \cdot (8)+(4)+(4)+(4)+(2)+(4)+(4)+(4)+(8)$$

$$MI=74$$

Donde resulta: "Alto" ($50 < MI < 75$).

8. Medidas a tomar en su rehabilitación:

Los óxidos de hierro que contienen las menas en conjunto puede ser extraído y procesados, obteniéndose productos siderúrgicos. El hierro tiene una gran demanda en la fabricación de aceros.

4.1.2. Serpentina fuera de balance de las empresas ECG, PSA y FEMSA

Estos pasivos se caracterizan por ser la roca madre de los yacimientos de la región de Moa, lo que los hace muy similares, independientemente de su ubicación en el territorio. En el mismo prevalecen los compuestos de sílice y magnesio, por lo que han sido clasificados en una sola ficha técnica, como Serpentina fuera de balance.

Tabla IV.2: Ficha técnica del pasivo Serpentina fuera de balance de las Empresas de Níquel de Moa.

FICHA DE PASIVOS AMBIENTALES MINERO-METALÚRGICOS SÓLIDOS "Serpentina fuera de balance"			
1. Localización (Especifique Planta y/o mina): Pasivo Minero Áreas de las Minas de las Empresas de ECG, PSA y FEMSA			
2. Origen: Son los desechos de las actividades mineras de las tres empresas de níquel de Moa que han sido acumulados a lo largo de años de producción continua.			
3. Descripción: Estos desechos en acumulación contienen aproximadamente 40 % de SiO ₂ y más o menos 35 % de MgO. Hay otros compuestos pero son insignificante comparados a la composición del óxido de sílice y el óxido de magnesio. Las tres fuentes tienen casi la misma composición debido al hecho que se encuentran en el mismo municipio.			
4. Posibles usos: Por sus características físicas, químicas y mineralógicas, pueden emplearse como material de construcción y en la industria del refractario.			
5. Tecnologías para su tratamiento: Preparación mecánica para la reducción de tamaño, clasificación granulométrica. Conformación de mezclas refractarias. No hay una tecnología única y probada para su aprovechamiento integral.			
6. Peligros posibles: No presenta un problema potencial para los trabajadores y la población, teniendo en cuenta su tamaño (rocas de tamaños grandes). Para su procesamiento en los usos propuestos, debe considerarse el impacto ambiental de los pasivos que se generarán.			
7. Matriz de importancia:			
			
Intensidad (I)		Área de influencia (AI)	
Media	4	Local	4
Plazo de manifestación (PZ)		Permanencia del efecto (PE)	

Inmediato	4	Permanente	4
Reversibilidad (R)		Sinergia (S)	
Medio Plazo	2	Sin sinergismo	1
Acumulación (AC)		Relación causa-efecto (RCE)	
Acumulativo	4	Directo	4
Regularidad de manifestación (RM)		Recuperación (RE)	
Continuo	4	Mitigable	4

Para calcular el índice de importancia:

$$MI=3 \cdot (4)+2 \cdot (4)+(4)+(4)+(2)+(1)+(4)+(4)+(4)+(4)$$

$$MI=47$$

Donde resulta: "Moderado" ($25 < MI < 50$)

8. Medidas a tomar en su rehabilitación:

Evaluar su uso como material de construcción y la industria de los refractarios, teniendo en cuenta los compuestos de SiO_2 y MgO que posee.

4.1.3. Colas de los procesos CARON (ECG) y HPAL (PSA).

En la composición de las colas de la ECG prevalecen los minerales de hierro, con predominio de Hematita (42-48 %) y SiO_2 (39 %), los contenidos de azufre no son altos lo cual favorece el tratamiento y uso siderúrgico. Mientras que las colas de PSA, a pesar de que igualmente prevalecen los minerales de hierro (68 % como promedio), los relativamente altos contenidos de impurezas, como el azufre, constituyen impedimentos para su uso siderúrgico, no obstante las investigaciones realizadas demuestran las posibilidades de recuperar algunos elementos valiosos como el cobalto. La mayor eficiencia metalúrgica de esta planta, comparada con la Che Guevara, hacen que en las colas de PSA, los contenidos de Níquel sean menores. Por estas características se decide conformar las fichas técnicas de estos pasivos de forma separada, según la clasificación realizada.

Tabla IV.3: Ficha técnica del pasivo Colas del proceso CARON de la Empresa Ernesto Che Guevara.

FICHA TÉCNICA DE PASIVOS AMBIENTALES MINERO-METALÚRGICOS SÓLIDOS Colas del proceso CARON	
1. Localización (Especifique Planta y/o mina): Pasivo Metalúrgico.	Áreas aledañas a la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara
2. Origen:	Presa de colas del proceso de Lixiviación Carbonato Amoniacal (CARON)
3. Descripción:	Tiene un contenido de níquel que oscila entre 0,3-0,4 %, con relativamente altos contenidos de hierro (≈ 45 %). El resto de los compuestos que constituyen la mayor parte de este pasivo son: SiO_2 (39 %) y Fe_2O_3 (42-48 %).
4. Posibles usos:	Recuperación de Ni y Co a partir de la lixiviación ácida u orgánica. Igualmente la obtención de concentrados de Fe y Mn para la industria siderúrgica

5. *Tecnologías para su tratamiento:*

Beneficio granulométrico para la obtención de material siderúrgico.

Lixiviación con ácidos orgánicos o con ácido sulfúrico, para la recuperación de Ni y Co.

Biolixiviación para la obtención de metales, principalmente, Ni, Co e Fe,

No hay una tecnología única y probada para su aprovechamiento integral.

6. *Peligros posibles:*

Las características granulométricas de este pasivo (más del 60 % menor de 0,044 mm) y su ubicación, cercana a los asentamientos poblacionales del municipio de Moa, la convierten en un pasivo con incidencias en la población y al medio ambiente circundante. A pesar de que existe un control sobre estas, los peligros de deslizamientos siempre estarán presentes en estos tipos de depósitos. Su cercanía a la bahía de Moa, provocan la contaminación de las aguas marinas, ríos, así como las especies que en ellos habitan. Existen evidencias de catástrofes ocurridas en el mundo, por el deslizamiento de estos pasivos.

7. *Matriz de importancia:*



Intensidad (I)		Área de influencia (AI)	
Muy Alta	12	Local	4
Plazo de manifestación (PZ)		Permanencia del efecto (PE)	
Inmediato	4	Permanente	4
Reversibilidad (R)		Sinergia (S)	
Irreversible	4	Sin sinergismo	1
Acumulación (AC)		Relación causa-efecto (RCE)	
Acumulativo	4	Directo	4
Regularidad de manifestación (RM)		Recuperación (RE)	
Continuo	4	Mitigable	4

Para calcular la Matriz de importancia:

$$MI=3 \cdot (12)+2 \cdot (4)+(4)+(4)+(4)+(1)+(4)+(4)+(4)+(4)$$

$$MI=73$$

Donde resulta: Alto ($50 < MI < 75$)

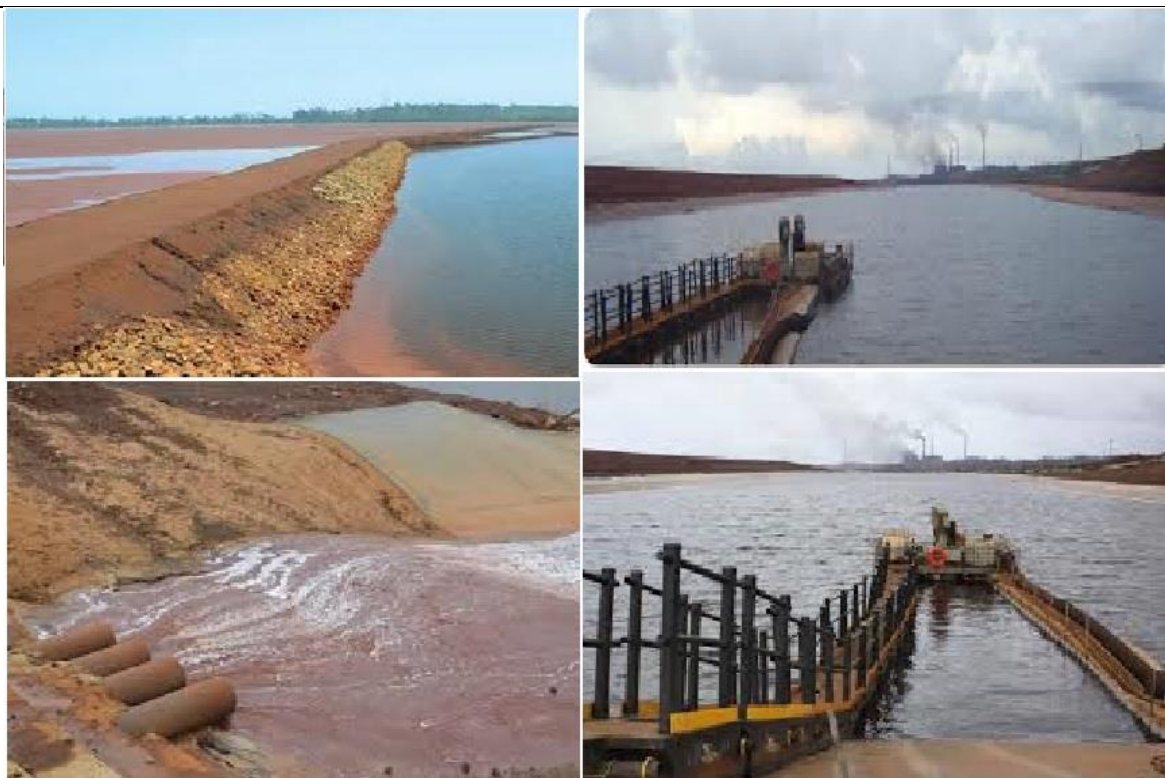
8. *Medidas a tomar en su rehabilitación:*

Control permanente de su comportamiento y estabilidad. Continuar las investigaciones para el aprovechamiento integral de sus elementos químicos. Su posible uso depende de las tecnologías que se desarrollen a partir de las investigaciones realizadas y en proceso.



Tabla IV.4: Ficha técnica del pasivo Colas del proceso HPAL de la Empresa Pedro Sotto Alba.

FICHA TÉCNICA DE PASIVOS AMBIENTALES MINERO-METALÚRGICOS SÓLIDOS Colas del proceso HPAL	
1. Localización (Especifique Planta y/o mina):	Áreas aledañas a la Empresa del Comandante Pedro Sotto Alba (Planta) y en centro del pueblo de Moa.
2. Origen:	Presa de colas del proceso de Lixiviación Ácida a Presión (HPAL)
3. Descripción:	Es producto de dos (2) presas de colas que superan los 200 millones de toneladas almacenadas, cuyas partículas finas menores a 0,1 mm, prevalecen en ellas. Los experimentos han confirmado que el elemento que más predomina es el hierro (Fe_2O_3 : 67,9-69,22 %). Otros compuestos que se encuentran presentes son: Al_2O_3 , SiO_2 , FeO , MgO , CaO , MnO , Na_2O , K_2O , NiO , CoO y Cr_2O_3 .
4. Posibles usos:	Recuperación de Ni y Co a partir de la lixiviación ácida u orgánica. Para la recuperación de Fe y Mn para la industria siderúrgica, son necesarias investigaciones que permitan definir tecnologías que eliminen las impurezas que acompañan a estos pasivos.
5. Tecnologías para su tratamiento:	Lixiviación con ácidos orgánicos o con ácido sulfúrico, para la recuperación de Ni y Co. Biolixiviación para la obtención de metales, principalmente, Ni, Co. No existe una tecnología única y probada para su aprovechamiento integral.
6. Peligros posibles:	Las características granulométricas de este pasivo (más del 60 % menor de 0,044 mm) y su ubicación, cercana a los asentamientos poblacionales del municipio de Moa, la Veguita y Rolo Monterrey, la convierten en un pasivo con incidencias en la población y al medio ambiente circundante. A pesar de que existe un control sobre estas, los peligros de deslizamientos siempre estarán presentes en estos tipos de depósitos. Existen evidencias de catástrofes ocurridas con este tipo de pasivo. Igualmente los ríos cercanos pueden ser contaminados y la flora y fauna dañada.
7. Matriz de importancia:	



Intensidad (I)		Área de influencia (AI)	
Muy Alta	12	Local	4
Plazo de manifestación (PZ)		Permanencia del efecto (PE)	
Inmediato	4	Permanente	4
Reversibilidad (R)		Sinergia (S)	
Medio Plazo	2	Sin sinergismo	1
Acumulación (AC)		Relación causa-efecto (RCE)	
Acumulativo	4	Directo	4
Regularidad de manifestación (RM)		Recuperación (RE)	
Continuo	4	Mitigable	4

Para calcular la Matriz de importancia:

$$MI=3 \cdot (12)+2 \cdot (4)+(4)+(4)+(2)+(1)+(4)+(4)+(4)+(4)$$

$$MI=73$$

Donde resulta: "Alto" ($50 < MI < 75$).

8. Medidas a tomar en su rehabilitación:

Se puede implementar una metodología para la recuperación del hierro presente.

4.1.4. Rechazo de las plantas de preparación de mineral (ECG y PSA)

Los rechazos de las plantas de preparación de mineral de ambas empresas, poseen características muy similares, sin embargo no han sido lo suficientemente estudiadas para garantizar un uso eficiente de estos pasivos. Las principales aplicaciones han estado dirigidas a su empleo como material de construcción y en el mejoramiento de los caminos mineros. Se han preparado fichas técnicas individuales para cada planta de preparación de mineral. Se recomienda incrementar los trabajos de investigación de estos pasivos, de

forma tal que permitan definir posibles tecnologías para su tratamiento y utilización integral.

Tabla IV.5: Ficha técnica del Pasivo Rechazos de la Planta de Preparación de Mineral de la Empresa Ernesto Che Guevara.

FICHA TECNICA DE PASIVOS AMBIENTALES MINERO-METALÚRGICOS SÓLIDOS Rechazo Planta de Preparación de Mineral			
1. Localización (Especifique Planta y/o mina): Pasivo Metalúrgico Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (Planta)			
2. Origen: Criba estacionaria y Clasificación en la zaranda vibratoria			
3. Descripción: Representan alrededor de 380 000 toneladas anuales. El rechazo de la criba estacionaria tiene dimensiones superando 400 mm. Los compuestos más predominantes son SiO ₂ (37,73 %) y MgO (32,06 %) con Fe ₂ O ₃ (14,5 %). Los demás compuestos inferiores son: TiO, Al ₂ O ₃ , MnO, CaO, Na ₂ O, K ₂ O, P ₂ O ₅ , Co ₃ O ₄ , Cr ₂ O ₃ y NiO que en conjunto no superan 5 %.			
4. Posibles usos: Material de construcción, recuperación de elementos valiosos que puedan incorporarse al proceso metalúrgico de sus plantas. Material refractario aprovechando los altos contenidos de SiO ₂ y MgO, principalmente.			
5. Tecnologías para su tratamiento: Preparación mecánica y Beneficio. Conformación de mezclas para los usos propuestos.			
6. Peligros posibles: A pesar de que no representan un gran peligro para los trabajadores, las partículas finas que lo acompañan se dispersan en el ambiente laboral donde se procesan y pueden provocar afectaciones a las vías respiratorias de los obreros. Su almacenamiento constante impacta sobre el medio ambiente circundante.			
7. Matriz de importancia:			
Intensidad (I)		Área de influencia (AI)	
Alta	8	Local	4
Plazo de manifestación (PZ)		Permanencia del efecto (PE)	
Inmediato	4	Permanente	4
Reversibilidad (R)		Sinergia (S)	
Medio Plazo	2	Muy sinérgico	4
Acumulación (AC)		Relación causa-efecto (RCE)	
Acumulativo	4	Directo	4
Regularidad de manifestación (RM)		Recuperación (RE)	
Continuo	4	Mitigable	4
Para determinar la Matriz de importancia: MI=3·(8)+2·(4)+(4)+(4)+(2)+(4)+(4)+(4)+(4) MI=62 Donde resulta: Alto (50<MI<75).			
8. Medidas a tomar en su rehabilitación: Aprovechando los contenidos de SiO ₂ y el MgO pueden ser empleados en la fabricación de refractarios y como material de construcción.			

Tabla IV.6: Ficha técnica del Pasivo Rechazo de la planta de preparación de mineral de la Empresa Pedro Sotro Alba.

FICHA TÉCNICA DE PASIVOS AMBIENTALES MINERO-METALÚRGICOS SÓLIDOS <i>Rechazo Planta de Preparación de Mineral</i>			
1. <i>Localización (Especifique Planta y/o mina):</i> Planta de preparación de mineral (Planta de Pulpa) de la Empresa Comandante Pedro Sotro Alba			
2. <i>Origen:</i> Material grueso proveniente de los diferentes frentes de explotación de la Minería. Mayoritariamente compuesto por mineral de serpentina.			
3. <i>Descripción:</i> Representa entre 25 y 30 % del mineral alimentado, lo que representa alrededor de 2 500 000 toneladas al año. Contienen altos contenidos de serpentinitas con un peso volumétrico que oscilan entre, 2,5 – 2,74 g/cm ³ y es confirmado por los contenidos considerables de SiO ₂ (30,75 %), MgO (29,35 %) y Fe ₂ O ₃ (17,22 %).			
4. <i>Posibles usos:</i> Recuperación de elementos valiosos que puedan incorporarse al proceso metalúrgico de sus plantas. Material de construcción. Material refractario aprovechando los altos contenidos de SiO ₂ y MgO, principalmente.			
5. <i>Tecnologías para su tratamiento:</i> Preparación mecánica y Beneficio. Conformación de mezclas para algunos de los usos propuestos.			
6. <i>Peligros posibles:</i> A pesar de que no representan un gran peligro para los trabajadores, por las características del proceso de preparación (vía húmeda), las partículas finas que lo acompañan se dispersan en el ambiente laboral a la descarga de la criba, lo que puede provocar afectaciones a las vías respiratorias de los obreros. Su almacenamiento constante impacta sobre el medio ambiente circundante.			
7. <i>Matriz de importancia:</i>			
			
Intensidad (I)		Área de influencia (AI)	
Alta	8	Local	4
Plazo de manifestación (PZ)		Permanencia del efecto (PE)	
Inmediato	4	Permanente	4
Reversibilidad (R)		Sinergia (S)	
Irreversible	4	Sinérgico	2
Acumulación (AC)		Relación causa-efecto (RCE)	



Acumulativo	4	Directo	4
Regularidad de manifestación (RM)		Recuperación (RE)	
Continuo	4	Mitigable	4

Para calcular la Matriz de importancia:
 $MI = 3 \cdot (8) + 2 \cdot (4) + (4) + (4) + (4) + (2) + (4) + (4) + (4) + (4)$
 $MI = 62$
 Donde resulta: “Alto” ($50 < MI < 75$).

8. *Medidas a tomar en su rehabilitación:*
 Aprovechando los contenidos de SiO₂ y el MgO pueden ser empleados en la fabricación de refractarios, como material de construcción.
 También pueden ser recuperados los elementos valiosos e incorporar a la planta

4.1.5. Escorias del Proceso de Producción de Ferroníquel (FEMSA).

Las escorias de la producción de ferroníquel, se generarán en los procesos de Fundición y Refinación. Por lo que se clasificación es separada. A continuación se muestra la ficha técnica de las escorias de fundición, las cuales han sido obtenidas en diferentes pruebas experimentales y se conocen sus principales características. No ocurre igual con las de Refinación, que no han sido nunca obtenidas, por lo que es imposible elaborar su ficha técnica.

Tabla IV.6: Ficha técnica del pasivo Escorias de la Empresa FEMSA.

FICHA TÉCNICA DE PASIVOS AMBIENTALES MINERO-METALÚRGICOS SÓLIDOS	
Escorias	
1. <i>Localización (Especifique Planta y/o mina):</i>	Pasivo Metalúrgico Empresa Ferroníquel Minera S.A. (Planta)
2. <i>Origen:</i>	Producto de los procesos de fundición y refinación
3. <i>Descripción:</i>	Llevar altos contenidos de SiO ₂ , MgO e Fe y también están presentes otros compuestos complejos como: Clinoenstatita, minerales de olivino y fundamentalmente forsterita.
4. <i>Posibles usos:</i>	Material de construcción: Mezclas asfálticas, graba, rellenos, mezclas para hormigones, etc. Material refractario aprovechando los altos contenidos de SiO ₂ y MgO, principalmente. Sandblasting.
5. <i>Tecnologías para su tratamiento:</i>	Preparación mecánica y Beneficio. Conformación de mezclas para algunos de los usos propuestos.
6. <i>Peligros posibles:</i>	No se presenta ningún peligro ni hacia los empleados ni al medio ambiente circundante.
7. <i>Matriz de importancia:</i>	



Intensidad (I)		Área de influencia (AI)	
Baja	2	Puntual	2
Plazo de manifestación (PZ)		Permanencia del efecto (PE)	
Medio Plazo	2	Temporal	2
Reversibilidad (R)		Sinergia (S)	
Corto plazo	1	Sin sinergismo	1
Acumulación (AC)		Relación causa-efecto (RCE)	
Simple	1	Indirecto	1
Regularidad de manifestación (RM)		Recuperación (RE)	
Periódico	2	Recuperable	2

Para calcular la Matriz de importancia:

$$MI=3 \cdot (2)+2 \cdot (2)+(2)+(2)+(1)+(1)+(1)+(1)+(2)+(2)$$

$$MI=22$$

Donde resulta: Bajo "MI<25"

8. Medidas a tomar en su rehabilitación:

Se puede emplear como material de construcción, sandblasting, fabricación de cemento y mezclas asfálticas.

Como resultado se muestran en la tabla IV.7 el resumen de la matriz de importancia elaborada, a partir del desarrollo de la metodología de inventario de los PAMMs, generados por las Empresas del Níquel en Moa.

Tabla IV.7: Clasificación de los PAMMs según la matriz de importancia elaborada.

No.	PAMMs	Índice de Importancia	
1	Concreciones Ferruginosas o Escombros Lateríticos (ECG)	Alto	62
2	Serpentina fuera de balance (ECG)	Moderado	47
3	Rechazo Planta de Preparación de Mineral (ECG)	Alto	62
4	Colas del proceso CARON	Alto	73
5	Concreciones Ferruginosas o Escombros Lateríticos (PSA)	Alto	62
6	Serpentina fuera de balance (PSA)	Moderado	47
7	Rechazo Planta de Preparación de Mineral (PSA)	Alto	62
8	Colas del proceso HPAL	Alto	73
9	Coraza Ferruginosa o Escombros Lateríticos (FEMSA)	Alto	60
10	Serpentina fuera de Balance (PSA)	Moderado	47
11	Escorias	Bajo	22



Conclusiones parciales del capítulo IV

1. Las fichas técnicas de los PAMMs, permitieron ampliar el grado de conocimiento sobre estos recursos minerales y comprobar las posibilidades de utilización que existen.
2. A pesar del estudio realizado con los pasivos ambientales sólidos generados por las industrias del Níquel en Moa, no existen tecnologías probadas que permitan su uso de forma sostenible. Deben incrementarse las acciones para remediar el impacto de estos recursos al medio ambiente.
3. Según la matriz de importancia, el 70 % de los PAMMs generados por las industrias del Níquel en Moa, se clasifican como de alto impacto en el ecosistema de la región.



Conclusiones Generales

1. A partir del conocimiento de las características físicas, químicas y mineralógicas, de los pasivos ambientales minero-metalúrgicos sólidos, generados por las industrias del Níquel en Moa, se diseñó y estableció una metodología que permite inventariar, clasificar y definir los posibles usos de estos recursos minerales.
2. Se identificaron e inventariaron los Pasivos Ambientales Minero-Metalúrgicos sólidos de la industria del Níquel en Moa, conformándose la ficha técnica de cada uno de ellos, lo que contribuye al incremento del conocimiento de los PAMMs
3. Se estableció la clasificación de los PAMMs en dependencia de las características físicas, químicas y mineralógicas y de la matriz de importancia que estos tienen sobre el medio ambiente.
4. A pesar de que están definidos muchos de los posibles usos de los PAMMs, no se cuenta con tecnologías que garanticen la utilización sostenible de estos recursos minerales.



Recomendaciones

1. Continuar el estudio de las características de los pasivos ambientales analizados, de forma tal que se tenga la mayor cantidad posible de información sobre estos recursos y definir las estrategias de su utilización.
2. Implementar la metodología propuesta al estudio de otros pasivos ambientales existentes en la región de Moa, no relacionado con la industria del Níquel.
3. Validar la metodología propuesta a través de encuestas a productores y entidades especializadas.
4. Evaluar el impacto ecológico de los pasivos ambientales mineros metalúrgicos en el entorno industrial.



Bibliografía.

1. Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos. Pasivos Ambientales Mineros. Manual Para el Inventario de Minas Abandonadas o Paralizadas. Marzo 2010.
2. http://asgmi.igme.es/asambleas/XVIAsamblea/manual_inventario_PAM_aprobado.pdf
3. ASGMI, 2008. Evaluación y Recuperación Ambiental de Espacios Mineros. Pasivos Ambientales Mineros. Acta de Conclusiones y Acuerdos del Seminario de la Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericanos. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. 15 p.
4. Casanova A.G y otros. 2013. Caracterización estructural de ferritas obtenidas a partir de materiales de desecho de la industria del níquel. V Congreso Cubano de Minería (MINERIA'2013).VI Simposio Geología, Exploración y Explotación de las Lateritas Niquelíferas, Geociencias 2013, p. 462-470.
5. Conesa V.F. 1997. Guía Metodológica para la Evaluación de Impacto Ambiental. Editorial Mundi-Prensa. Madrid. España.
6. CUBA, Ley No. 81: Del medio Ambiente, Gaceta Oficial de la República, año XCV, No.7, pp.47-68, La Habana, 1997.
7. CUBA, Ley No.76: Ley de Minas, Gaceta Oficial de la República, No.3, La Habana, 1995
8. Castellanos. J.S y N. Hernández. 2009. Aprovechamiento de las Colas Niquelíferas del proceso carbonato amoniaco. III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. III Congreso de Minería (MINERIA'2009). MINIMETAL Tecnologías para el aprovechamiento de las Colas Niquelíferas. La Habana. Cuba, p. 985-991.
9. Delgado. B.D y otros. 2011. Metodología para inventariar Pasivos Ambientales Mineros. IV Congreso Cubano de Minería. Cierre de Minas y Pasivos Mineros Ambientales. IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. La Habana. Cuba, p.292-303.
10. García E. P. y A. Palacios. 2013. Termodinámica de la lixiviación ácida de los residuales sólidos de la tecnología carbonato amoniaco. V Congreso Cubano de Minería (MINERIA'2013). V Simposio Minería y Metalurgia

- (MINIMETAL). V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. La Habana. Cuba.
11. García C., A.B. Riverón, J. Carmenate y R. Rodríguez. 2006. Buenas prácticas y aplicación de medidas correctoras en áreas afectadas por actividades minero – metalúrgicas. Los Residuos Minero – Metalúrgicos en el Medio Ambiente. Instituto Geológico y Minero de España. Serie Medio Ambiente No. 11. Madrid. España. pp: 555 – 587.
 12. Fuentes R. S. 2013. Propuesta de planes de manejo como instrumento para la rehabilitación de canteras. Estudio de casos: Cantera la Zamora, Matanzas. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.
 13. Oliveira, M., J. Partiti: Ochereous laterite: a nickel ore from Punta Gorda, Cuba. Journal of South American Earth Sciences. 14, 307-317. 2001.
 14. Palacios, A. 2001. Extracción de cobalto mediante la lixiviación ácida de los escombros lateríticos. Tesis presentada en opción al título de Doctor en Ciencias Técnicas. ISMM, Moa. P.110.
 15. Palacios A. R y E. García. 2013. Extracción de cobalto mediante lixiviación ácida de los escombros lateríticos. V Congreso Cubano de Minería (MINERIA´2013). VI Simposio Geología, Exploración y Explotación de las Lateritas Niquelíferas. V Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. La Habana. Cuba
 16. Ponce, N., I. Altarriba., y D. Carrillo. 1986. Composición sustancial del yacimiento artificial Colas de Moa. Revista Tecnológica – Serie Geológica. 16 (2), 66 – 75.
 17. Pons. J y E. Montero. 2014. Características del pasivo ambiental: Rechazo de planta de Pulpa, para su posible uso industrial. Informe Técnico. FEMSA.
 18. Pons J. 2011. Escorias de la producción de FeNi. Perspectivas de utilización. IV Congreso Cubano de Minería (MINERIA´2011). IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. La Habana.
 19. Pons J. 2010. Características y posibles usos de las escorias del proceso de producción de Ferroníquel en Moa. Informe Técnico. FEMSA, p. 15.



20. Pons J. 2006. Estudio de las escorias de Ferroníquel y minerales de olivino de la Región de Moa, para la obtención de refractarios. Informe final. Yamanigüey S.A.
21. Pons, J., I. Pando., Y. Sosa. 1995. Caracterización de las fracciones + 0,83 mm de los escombros lateríticos del yacimiento Atlantic. Informe Técnico. Instituto superior Minero Metalúrgico de Moa. Departamento de Metalurgia.
22. Pons, J., S. Andrade., D. Gutiérrez. 1995. Estudio preliminar de los escombros lateríticos con fines siderúrgicos. Parte I. Informe Técnico. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Departamento de Metalurgia.
23. Pons, J., O. Gallardo., Y. Amador. 1996. Estudio preliminar de los escombros lateríticos con fines siderúrgicos. Parte II. Informe Técnico. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Departamento de Metalurgia.
24. Pons, J., M. Hernández. 1997. Estudio de la posible utilización de la fracción gruesa (+2 mm) de escombros lateríticos en los procesos de fusión. Informe técnico. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Departamento de Metalurgia.
25. Pons J.H. 1998. Regularidades físicas, químicas y mineralógicas de los escombros lateríticos de la región de Moa. Informe técnico. ISMM. Moa, p. 30.
26. Ponce, N., I. Altarriba., D. Carrillo. 1986. Composición sustancial del yacimiento artificial Colas de Moa. Revista Tecnológica – Serie Geológica. 16 (2), 66 – 75..
27. Ponce. N.S y J. Díaz. 2011 Pasivos ambientales mineros en Cuba. Bases Metodológicas. IV Congreso Cubano de Minería. Cierre de Minas y Pasivos Mineros Ambientales. IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. La Habana. Cuba
28. Ramírez Y., y J. Pons. 2008. Tratamiento de la escoria de ferroníquel para la obtención de mezcla refractaria. Informe Técnico. ISMM. Moa.
29. Ramírez Y., A. Rojas y J. Pons. 2013. Caracterización físico – química y mineralógica de la escoria de fundición de ferroníquel en Moa. Minería y Geología. Vol 29 (4) octubre – diciembre. P. 13-28.
30. Ramírez M., J. Pons y M. Romero. 2011. Una alternativa para utilizar las concreciones ferruginosas, del yacimiento Moa Occidental, Zona A. IV



Congreso Cubano de Minería (MINERIA´2011). IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. La Habana.

31. Ramírez, M. 2010. Utilización de los escombros lateríticos de zona a, yacimiento Moa occidental en el proceso de descarburización del acero ACI HK-40. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. ISMM. Moa.
32. Ramírez, M., J. Pons., V. González. 2000. Estudio de las fracciones menores de 1, 18 mm de los escombros lateríticos del sector A de la Mina Pedro Sotto Alba Moa Nickel S.A. Informe Técnico. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Departamento de Metalurgia.
33. Ramírez, M., J. Pons., A. Dos Santos. 2001. Caracterización física, química y mineralógica de los escombros lateríticos del sector A de la Mina de la Pedro Sotto Alba Moa Nickel S.A. Informe Técnico. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Departamento de Metalurgia.
34. Ramírez, M., J. Pons. V. Cesar. 2002. Utilización de los escombros lateríticos de la zona A como material oxidante en los procesos de fundición. Informe Técnico. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Departamento de Metalurgia.
35. Ramírez, M., J. Pons, N. Almira. 2003. Estudio preliminar sobre la cinética y la termodinámica del comportamiento térmico de los escombros lateríticos de Zona A en la región de Moa. Informe Técnico. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Departamento de Metalurgia.
36. Ramírez, M., J. Pons., y Y. Romero. 2006. Evaluación de los escombros lateríticos de la Zona A de la Empresa Pedro Soto Alba, en los procesos de fusión en hornos de arco eléctrico. Informe técnico. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Departamento de Metalurgia.
37. Ramírez M.P., J. Pons y R. Rodríguez. 2011. Mineralogía de los escombros lateríticos de la zona "A" del yacimiento Moa. Holguín. Cuba. IV Congreso Cubano de Minería (MINERIA´2011). Geociencias 2011. La Habana.
38. Rodríguez, R.P. 2011. Transformación de pasivos ambientales mineros (PAM) en Activos mineros, ambientales o sociales (AMAS). IV Congreso Cubano de Minería. Cierre de Minas y Pasivos Mineros Ambientales. IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra. La Habana. Cuba.



39. Montero E., C. Leyva y J. Pons. Caracterización y perspectiva de uso del rechazo serpentinitico de la Empresa Pedro Sotto Alba de Moa como árido para la construcción. Informe Técnico. ISMM. 2007.
40. Lavaut y otros, 2003. Informe sobre la caracterización del mineral de rechazo por el proceso de la Planta de Preparación de Pulpa. Informe técnico. Empresa Geominera de Oriente. Santiago de Cuba.
41. Leyva C., F. Lueges y otros. 2007. Solución al déficit de áridos en el municipio de Moa empleando los desechos serpentiniticos de la empresa comandante Ernesto Guevara de Moa. Informe Técnico. ISMM.
42. Urbino J.R y B. Díaz. 2011. Manual de rehabilitación ambiental minera, una opción holística. IV Congreso Cubano de Minería. Impacto Ambiental y Rehabilitación. Geociencias 2011.



Anexos

Anexo 1: Valoración de los factores que se utilizan para la determinación de la matriz de importancia de los pasivos ambientales.

A continuación están definidos estos factores a través de los cuales se llega a establecer la importancia de los pasivos ambientales:

Intensidad

Se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en que actúa.

Área de influencia

Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto.

Plazo de manifestación

Alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor del medio considerado.

Permanencia del efecto

Se refiere al tiempo que, supuestamente, permanecería el efecto desde su aparición y, a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales, o mediante la introducción de medidas correctoras.

Reversibilidad

Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado por el proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez aquella deja de actuar sobre el medio.

Sinergia

Este atributo contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples.

Acumulación

Se refiere al incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.



Relación causa–efecto

Se refiere a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción.

Regularidad de manifestación

Se refiere a la periodicidad o regularidad de manifestación del efecto.

Recuperabilidad

Se refiere a la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación (parcial o total), por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras).

Esta metodología se utiliza para convertir los datos de los rechazos de las tres empresas del níquel en información y almacenarla de forma organizada para usos futuros. Por ejemplo si hay empresas extranjeras que tienen interés para los PAMMs de Cuba, ya tendremos toda la información procesada para la exhibición pero por el momento la ficha técnica puede ser modificada al profundizar en otras particularidades como sus impactos ambientales, otras medidas para su rehabilitación, su valor económico, etc. A continuación en el próximo capítulo se tiene una implementación teórica de la metodología planteada en este capítulo.



Intensidad (I)		Área de influencia (AI)	
Baja	2	Puntual	2
Media	4	Local	4
Alta	8	Regional	8
Muy Alta	12	Extraregional	12
Plazo de manifestación (PZ)		Permanencia del efecto (PE)	
Largo Plazo	1	Fugaz	1
Medio plazo	2	Temporal	2
Inmediato	4	Permanente	4
Reversibilidad (R)		Sinergia (S)	
Corto plazo	1	Sin sinergismo	1
Medio Plazo	2	Sinérgico	2
Irreversible	4	Muy sinérgico	4
Acumulación (AC)		Relación causa-efecto (RCE)	
Simple	1	Indirecto	1
Acumulativo	4	Directo	4
Regularidad de manifestación (RM)		Recuperabilidad (RE)	
Irregular	1	Recuperable	2
Periódico	2	Mitigable	4
Continuo	4	Irrecuperable	8



Anexo 2: Ficha Técnica de referencia utilizada para realizar las encuestas

Identificación de la planta o la mina									
Nombre de la Planta o la mina: _____									
Empresa/Propietario: _____									
Ubicación		Longitud: _____		Latitud: _____		Altitud (msnm): _____		Datum: _____	
Región: _____		Prov.: Holguín		Comuna/Municipio: Moa		Paraje: _____			
Mapa Topográfico N°: _____		Nombre: _____		Escala: _____		Inaccesible: _____			
Accesibilidad: _____		Con vehículo: _____		A pie: _____					
Tipo de Planta o mina									
Tritur./mol. ☐		Cribado ☐		Lavadero ☐		Flotación ☐		Lixiviación ☐	
Refinación ☐		Tostación ☐		Cianuración ☐		Amalgam. ☐		Fusión/Convers. ☐	
								Precipitación ☐	
								SXEW ☐	
Observaciones: _____									
Depósitos y Residuos (PAMMs)									
Desmonte/botadero ☐		Relaves ☐		Residuos de lixiviación ☐		Residuos de evap./precip. ☐			
Residuos industriales ☐		Escorias ☐		Otros acopios ☐					
Tamaño del despacho (m)									
Ancho		Largo		Altura		Vol. Est. m ³		Color	
Observaciones: _____									
Estado del pasivo ambiental sólido									
Estado Abandonada desde el año Hasta el año:									
Inundada No ☐ Si ☐ Labores accesibles Si ☐ No ☐									
Efluentes No ☐ Si ☐ Color del agua pH									
Tamaño del área de depósito: Ancho: Largo: Prof.: Volumen est. (m ³):									
Observaciones: _____									
Identificación preliminar de impactos ambientales y/o peligros para bienes y personas									
Probabilidad de ocurrencia									
0: NULA.....No puede ocurrir 1: BAJA.....Quizás no ocurra									
2: MEDIANA...Posiblemente ocurra 3: ALTA.....Seguramente ocurra o ha ocurrido									
Procesos Probabilidad Descripción									
Impactos ambientales									
Contaminación de aguas									
Generación de polvo									
Degradación de la cubierta vegetal									
Arrastre de residuos a otras áreas									
Otros									
Procesos geodinámicos u otros presentes en el entorno									
Hundimientos/subsidencia									
Movimientos en masa									
Inundación									
Sismicidad									
Erosión									
Otros									
Problemas de seguridad de las personas									
Caídas en pozos, piques, taludes, etc.									
Accidentes en una galería abierta									
Colapso de paredes, taludes, etc.									
Accidentes en masas de agua									
Accidentes en instalaciones abandonadas									
Otros									
Observaciones: _____									
Situación del entorno Distancia (m) Descripción									
Viviendas									
Infraestructura vial									
Infraestructura urbana									
Áreas agrícolas y/o ganaderas									
Explotación forestal									
Bosque y/o veget. natural									
Especies y ecosist. valiosos									
Otros									
Entorno geológico Descripción									
Rocas del sustrato: Sedimentarias		Volcánicas		Vulcano-sedimentarias		Intrusivas		Metamórficas	
Morfología: Cono deyección		Ladera		Terraza		Altiplanicie		Litoral	
Observaciones: _____									



Anexo 3: Fichas Técnicas de los Pasivos Ambientales Minero-Metalúrgicos sólidos de las Empresas del Níquel

FICHA TÉCNICA DE PASIVOS AMBIENTALES MINERO-METALÚRGICOS SÓLIDOS Concreciones Ferruginosas (Escombros Lateríticos)			
1. <i>Localización (Especifique Planta y/o mina):</i> Empresa del Comandante Ernesto Che Guevara (Pasivo Minero)			
2. <i>Origen:</i> Como resultado del desbroce de la capa superior del perfil laterítico, permanecen en los depósitos Mineros, generalmente formando escombreras.			
3. <i>Descripción:</i> Se generan alrededor de 1 500 000 toneladas anuales, con altos contenidos de Fe (43-48 %) y bajo contenido de Ni (0,8 %), presencia de otros componentes tales como: CoO, SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , MnO, Cr y MgO. Sus principales fases mineralógicas son: Goethita, Maghemita, Gibbsite, Espinelas cromíferas, serpentinas y Asbolana. Compuesto además por partículas muy finas (más del 60 % menor 0,044 mm). Normalmente se deposita en las zonas Mineras, formando escombreras, lo que dificulta su tratamiento, ya que se mezcla con diferentes tipos de escombros y por tanto se alteran sus propiedades iniciales.			
4. <i>Posibles usos:</i> Las fracciones más gruesas, incluyendo los perdigones, pueden utilizarse como material siderúrgico en los procesos de elaboración de aceros; Obtención de cobalto a partir de su lixiviación ácida u orgánica.			
5. <i>Tecnologías para su tratamiento:</i> Beneficio granulométrico para la obtención de material siderúrgico. Lixiviación con ácidos orgánicos o con ácido sulfúrico, para la recuperación de Ni y Co. Biolixiviación para la obtención de metales, principalmente, Ni, Co e Fe, No hay una tecnología única y probada para su aprovechamiento integral.			
6. <i>Peligros posibles:</i> Por sus características granulométricas (alrededor de 20 % menor de 0,2 mm), constituyen fuente de formación de polvos que son arrastrados por las corrientes de aire, lo cual puede afectar a la salud de los trabajadores mineros y al medio ambiente circundante. Provocan además alteraciones en el perfil de la tierra, que dificulta la restauración de la capa vegetal.			
7. <i>Matriz de importancia:</i>			
			
Intensidad (I)		Área de influencia (AI)	
Alta	8	Local	4



Plazo de manifestación (PZ)		Permanencia del efecto (PE)	
Inmediato	4	Permanente	4
Reversibilidad (R)		Sinergia (S)	
Medio Plazo	2	Muy sinérgico	4
Acumulación (AC)		Relación causa-efecto (RCE)	
Acumulativo	4	Directo	4
Regularidad de manifestación (RM)		Recuperación (RE)	
Continuo	4	Mitigable	4

Para calcular la Matriz de importancia:

$$MI=3 \cdot (8)+2 \cdot (4)+(4)+(4)+(2)+(4)+(4)+(4)+(4)+(4)$$

$$MI=62$$

Donde resulta: Alto ($50 < MI < 75$)

8. Medidas a tomar en su rehabilitación:

Pueden ser procesados y utilizados como material siderúrgico. No obstante necesitan de mayor investigación para definir una tecnología única y limpia, que permita su aprovechamiento integral. Se puede implementar una metodología para la recuperación del hierro presente.

FICHA TÉCNICA DE PASIVOS AMBIENTALES MINERO-METALÚRGICOS SÓLIDOS
Serpentina fuera de balance

1. Localización (Especifique Planta y/o mina): Pasivo Minero

Empresa Ernesto Che Guevara. Perfil inferior de los minerales lateríticos cubanos. Se considera la roca madre de los yacimientos de la región de Moa. Permanecen generalmente en su lugar de origen.

2. Origen:

Forma parte de la corteza de intemperismo, característico del macizo Moa – Baracoa. Su formación está asociada al proceso de serpentinización de los minerales lateríticos de la región.

3. Descripción:

Representa como promedio el 8 % de la masa mineral en los yacimientos lateríticos con un volumen sin precisar. Constituyen la roca madre de los yacimientos lateríticos de Moa. Generalmente no es explotada totalmente, por lo que permanece en su lugar de origen. Las porciones que son extraídas como parte del laboreo minero, no forman parte de los minerales de alimentación a las plantas metalúrgicas y pasan a formar rechazos de las plantas de preparación de mineral de estas empresas. Los compuestos más comunes son: SiO₂ (39,4 %) y MgO (36,6 %), así como otros compuestos como: CaO (0,02 %), Cr₂O₃ (0,53 %), MnO (0,09 %), Al₂O₃ (0,9 %), NiO (0,32 %), Fe₂O₃ (9 %). Sus fases mineralógicas principales son Antigorita, Lizardita, crisotilo.

4. Posibles usos:

Como material de construcción y para la elaboración de refractario.

5. Tecnologías para su tratamiento:

Procesos de preparación mecánica para la reducción de tamaño, Beneficio granulométrico para la obtención de material de construcción. No hay una tecnología única y probada para su aprovechamiento integral.

6. Peligros posibles:

No se presente ningún problema ni hacia los empleados ni al medio ambiente circundante, aunque una vez explotados forman parte de los pasivos generados en las plantas de preparación de mineral.

7. Matriz de importancia:



Intensidad (I)		Área de influencia (AI)	
Media	4	Local	4
Plazo de manifestación (PZ)		Permanencia del efecto (PE)	
Inmediato	4	Permanente	4
Reversibilidad (R)		Sinergia (S)	
Medio Plazo	2	Sin sinergismo	1
Acumulación (AC)		Relación causa-efecto (RCE)	
Acumulativo	4	Directo	4
Regularidad de manifestación (RM)		Recuperación (RE)	
Continuo	4	Mitigable	4

Para calcular la Matriz de importancia:

$$MI=3 \cdot (4)+2 \cdot (4)+(4)+(4)+(2)+(1)+(4)+(4)+(4)+(4)$$

$$MI=47$$

Donde resulta: Moderado ($25 < MI < 50$)

8. Medidas a tomar en su rehabilitación:

Imposible su rehabilitación forestal. Pueden ser tratados y comercializados a industrias que fabrican refractarios o como material de construcción. Se recomienda continuar sus estudios, ya que constituye un potencial para el futuro procesamiento de este pasivo.

FICHA TÉCNICA DE PASIVOS AMBIENTALES MINERO-METALÚRGICOS SÓLIDOS
Concreciones Ferruginosas (Escombros Lateríticos)

1. Localización (Especifique Planta y/o mina): Pasivo Minero

Empresa del Comandante Pedro Sotto Alba, localizados fundamentalmente en el yacimiento Moa Oriental, ya que los de Moa Occidental la mayoría ya fueron removidos y actualmente pertenecen a FEMSA.

2. Origen:

Corteza superior del perfil laterítico, forman parte del proceso de intemperismo existente en la Zona de Moa. Como resultado del desbroce de la capa superior del perfil laterítico, permanecen en los depósitos Mineros, generalmente formando escombreras.

3. Descripción:

Se generan alrededor de 2 00 000 toneladas anuales. Están compuestos mayormente por óxidos de hierro (Goethita y maghemita), que representan alrededor del 75 %, además de arcillas (Gibbsita) que varía alrededor de 10 %. Están presentes otros

compuestos en menor proporción como son: NiO, CoO, Cr₂O₃, Al₂O₃, SiO₂, MnO y MgO. Abundan los perdigones y terrones. Los análisis químicos por fracciones no muestran diferencias significativas en cuanto a su quimismo y mineralogía.

4. Peligros posibles:

Por sus características granulométricas (alrededor de 20 % menor de 0,2 mm), constituyen fuente de formación de polvos que son arrastrados por las corrientes de aire, lo cual puede afectar a la salud de los trabajadores mineros y al medio ambiente circundante. Provocan además alteraciones en el perfil de la tierra, que dificulta la restauración de la capa vegetal.

5. Tecnologías para su tratamiento:

Beneficio granulométrico para la obtención de material siderúrgico.

Lixiviación con ácidos orgánicos o con ácido sulfúrico, para la recuperación de Ni y Co.

Biolixiviación para la obtención de metales, principalmente, Ni, Co e Fe,

No hay una tecnología única y probada para su aprovechamiento integral. Deben continuarse las investigaciones que permitan ampliar e implementar sus usos.

9. Matriz de importancia:



Intensidad (I)		Área de influencia (AI)	
Alta	8	Local	4
Plazo de manifestación (PZ)		Permanencia del efecto (PE)	
Inmediato	4	Permanente	4
Reversibilidad (R)		Sinergia (S)	
Medio Plazo	2	Muy sinérgico	4
Acumulación (AC)		Relación causa-efecto (RCE)	
Acumulativo	4	Directo	4
Regularidad de manifestación (RM)		Recuperación (RE)	
Continuo	4	Mitigable	4

Para calcular la Matriz de importancia:

$$MI=3 \cdot (8)+2 \cdot (4)+(4)+(4)+(2)+(4)+(4)+(4)+(4)+(4)$$

$$MI=62$$

Donde resulta: Alto ($50 < MI < 75$)

6. Medidas a tomar en su rehabilitación:

Pueden ser procesados y utilizados como material siderúrgico. No obstante necesitan de mayor investigación para definir una tecnología única y limpia, que permita su aprovechamiento integral. Se puede implementar una metodología para la recuperación del hierro presente.

FICHA TÉCNICA DE PASIVOS AMBIENTALES MINERO-METALÚRGICOS SÓLIDOS

Serpentina fuera de balance

1. Localización (Especifique Planta y/o mina): Pasivo Minero

Áreas de la Mina de la Empresa Comandante Pedro Sotro Alba. Perfil inferior de los minerales lateríticos cubanos. Se considera la roca madre de los yacimientos de la región de Moa. Permanecen generalmente en su lugar de origen.

2. Origen:

Representa como promedio el 5 % de la masa mineral en los yacimientos lateríticos, con un volumen sin precisar. Constituyen la roca madre o peridotitas de los yacimientos lateríticos de Moa. Forma parte de la corteza de intemperismo, característico del macizo Moa – Baracoa. Su formación está asociada al proceso de serpentización de los minerales lateríticos de la región. Su acumulación es producto de las explotaciones en la mina a lo largo más de 55 años de producción de la Empresa PSA.

3. Descripción:

Se considera que son pasivos ambientales a la serpentina dura o peridotitas que no son incorporados a la masa minera. Están compuesto mayormente por SiO_2 ($\approx 40\%$) y MgO ($\approx 35\%$). Sus principales minerales son: antigorita, lizardita y crisotilo.

4. Posibles usos:

Como material de construcción y para la elaboración de refractario.

5. Tecnologías para su tratamiento:

Procesos de preparación mecánica para la reducción de tamaño,
Beneficio granulométrico para la obtención de material de construcción.
No hay una tecnología única y probada para su aprovechamiento integral.

6. Peligros posibles:

No se presenta ningún problema ni hacia los empleados ni al medio ambiente circundante, aunque una parte de estos pasivos una vez explotados en los frentes de Minería, forman parte de los rechazos generados en las plantas de preparación de mineral.

7. Matriz de importancia:



Intensidad (I)		Área de influencia (AI)	
Media	4	Local	4
Plazo de manifestación (PZ)		Permanencia del efecto (PE)	
Inmediato	4	Permanente	4
Reversibilidad (R)		Sinergia (S)	
Medio Plazo	2	Sin sinergismo	1
Acumulación (AC)		Relación causa-efecto (RCE)	



Acumulativo	4	Directo	4
Regularidad de manifestación (RM)		Recuperación (RE)	
Continuo	4	Mitigable	4

Para calcular Matriz de importancia:

$$MI=3 \cdot (4)+2 \cdot (4)+(4)+(4)+(2)+(1)+(4)+(4)+(4)+(4)$$

$$MI=47$$

Donde resulta: Moderado ($25 < MI < 50$)

8. Medidas a tomar en su rehabilitación:

Imposible su rehabilitación forestal. Pueden ser tratados y comercializados a industrias que fabrican refractarios o como material de construcción. Se recomienda continuar sus estudios, ya que constituye un potencial para el futuro desarrollo del país.

FICHA TÉCNICA DE PASIVOS AMBIENTALES MINERO-METALÚRGICOS SÓLIDOS
Coraza Ferruginosa (Escombros Lateríticos)

1. Localización (Especifique Planta y/o mina):

Áreas de la Mina de la Empresa Ferroníquel Minera S.A. fundamentalmente, escombreras formadas a partir de los desechos dejados por la Minería de la PSA en años anteriores, en los yacimientos: Yamanigüey, Pronostico, Zona Sur y Atlantic.

2. Origen:

Corteza superior del perfil laterítico, forman parte del proceso de intemperismo existente en la Zona de Moa. Como resultado del desbroce de la capa superior del perfil laterítico, permanecen en los depósitos Mineros, generalmente formando escombreras.

3. Descripción:

Estos yacimientos poseen un volumen de 1 364 097,7 m³ con composiciones promedios que varían en dependencia del yacimiento explotado. Los 4 depósitos poseen características semejantes, con predominio de la hematita (Fe₂O₃) que representa entre el 45 % y 72 %, además de Al₂O₃ entre 7 % y 12 %. Los otros compuestos inferiores que se encuentra son: Cr₂O₃, SiO₂, MgO, Ni, Co que en total no superan el 8 % de la mena.

4. Posibles usos:

Las fracciones más gruesas, incluyendo los perdigones, pueden utilizarse como material siderúrgico en los procesos de elaboración de aceros; Obtención de cobalto a partir de su lixiviación ácida u orgánica.

5. Tecnologías para su tratamiento:

Beneficio granulométrico para la obtención de material siderúrgico.

Lixiviación con ácidos orgánicos o con ácido sulfúrico, para la recuperación de Ni y Co.

Bioliixiviación para la obtención de metales, principalmente, Ni, Co e Fe,

No hay una tecnología única y probada para su aprovechamiento integral.

6. Peligros posibles:

Por sus características granulométricas (alrededor de 20 % menor de 0,2 mm), constituyen fuente de formación de polvos que son arrastrados por las corrientes de aire, lo cual puede afectar a la salud de los trabajadores mineros y al medio ambiente circundante. Provocan además alteraciones en el perfil de la tierra, que dificulta la restauración de la capa vegetal.

7. Matriz de importancia:



Intensidad (I)		Área de influencia (AI)	
Alta	8	Local	4
Plazo de manifestación (PZ)		Permanencia del efecto (PE)	
Inmediato	4	Temporal	2
Reversibilidad (R)		Sinergia (S)	
Irreversible	4	Sinérgico	2
Acumulación (AC)		Relación causa-efecto (RCE)	
Acumulativo	4	Directo	4
Regularidad de manifestación (RM)		Recuperación (RE)	
Continuo	4	Mitigable	4

Para calcular Matriz de importancia:

$$MI=3 \cdot (8)+2 \cdot (4)+(4)+(2)+(4)+(2)+(4)+(4)+(4)+(4)$$

$$MI=60$$

Donde resulta: "Alto" ($50 < MI < 75$).

8. Medidas a tomar en su rehabilitación:

Pueden ser procesados y utilizados como material siderúrgico. No obstante necesitan de mayor investigación para definir una tecnología única y limpia, que permita su aprovechamiento integral. Se puede implementar una metodología para la recuperación del hierro presente.

FICHA TÉCNICA DE PASIVOS AMBIENTALES MINERO-METALÚRGICOS SÓLIDOS

Serpentina fuera de Balance

1. Localización (Especifique Planta y/o mina): Pasivo Minero.

Áreas de la Mina de la Empresa Ferroníquel Minera S.A. Perfil inferior de los minerales lateríticos cubanos. Se considera la roca madre de los yacimientos de la región de Moa. Permanecen generalmente en su lugar de origen. Se localiza de forma irregular en los diferentes yacimientos

2. Origen:

Corteza superior del perfil laterítico, forman parte del proceso de intemperismo existente en la Zona de Moa. Como resultado del desbroce de la capa superior del perfil laterítico, permanecen en los depósitos Mineros, generalmente formando escombreras

3. Descripción:

Representa como promedio el 5 % de la masa mineral en los yacimientos lateríticos de esta empresa, con un volumen sin precisar. Constituyen la roca madre o peridotitas de los yacimientos lateríticos de Moa. Forma parte de la corteza de intemperismo, característico del macizo Moa – Baracoa. Su formación está asociada al proceso de serpentización de los minerales lateríticos de la región. Tiene bajos contenidos de Níquel pero prevalecen los

minerales de SiO_2 (38 %) y MgO (36 %) con pequeñas porciones de otros compuestos como: Al_2O_3 , Fe_2O_3 , NiO , CoO , TiO_2 , Cr_2O_3 . Mineralógicamente prevalecen los minerales de serpentina: Antigorita y Lizardita.

4. Posibles usos:

Como material de construcción y para la elaboración de refractario.

5. Tecnologías para su tratamiento:

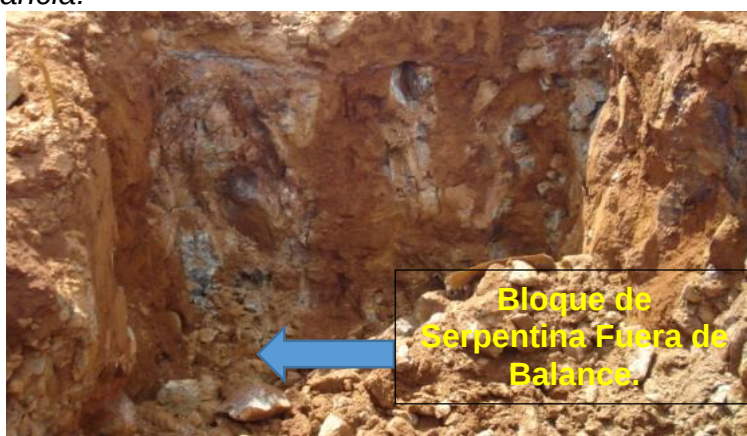
Procesos de preparación mecánica para la reducción de tamaño, Beneficio granulométrico para la obtención de material de construcción.

No hay una tecnología única y probada para su aprovechamiento integral.

6. Peligros posibles:

No se presenta ningún problema ni hacia los empleados ni al medio ambiente circundante, aunque una parte de estos pasivos una vez explotados en los frentes de Minería, forman parte de los rechazos generados en las plantas de preparación de mineral.

7. Matriz de importancia:



Intensidad (I)		Área de influencia (AI)	
Media	4	Local	4
Plazo de manifestación (PZ)		Permanencia del efecto (PE)	
Inmediato	4	Permanente	4
Reversibilidad (R)		Sinergia (S)	
Medio Plazo	2	Sin sinergismo	1
Acumulación (AC)		Relación causa-efecto (RCE)	
Acumulativo	4	Directo	4
Regularidad de manifestación (RM)		Recuperación (RE)	
Continuo	4	Mitigable	4

Para calcular Matriz de importancia:

$$MI = 3 \cdot (4) + 2 \cdot (4) + (4) + (4) + (2) + (1) + (4) + (4) + (4) + (4)$$

$$MI = 47$$

Donde resulta: "Moderado" ($25 < MI < 50$)

8. Medidas a tomar en su rehabilitación:

Imposible su rehabilitación forestal. Pueden ser tratados y comercializados a industrias que fabrican refractarios o como material de construcción. Se recomienda continuar sus estudios, ya que constituye un potencial para el futuro desarrollo del país.