



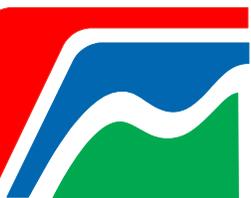
Instituto Superior Minero Metalúrgico
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia y Química

*Caracterización del pasivo ambiental
“Piscina de sedimentación” del
yacimiento Moa Oriental de la Empresa
Pedro Sotto Alba.*

*Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero
en Metalurgia y Materiales.*

Autor(a): Lianet Lobaina Pineda

Moa
2019





Instituto Superior Minero Metalúrgico
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia y Química

*Caracterización del pasivo ambiental
“Piscina de sedimentación” del
yacimiento Moa Oriental de la Empresa
Pedro Sotto Alba.*

*Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero
en Metalurgia y Materiales.*

Autor(a):

Lianet Lobaina Pineda

Firma: _____

Tutores:

Dr.C. María Caridad Ramírez Pérez. Profesora Auxiliar.

Firma: _____

Dr.C. José Alberto Pons Herrera. Profesor Titular.

Firma: _____

Moa

2019



DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Lianet Lobaina Pineda

Autora del Trabajo de Diploma Caracterización del pasivo ambiental "Piscina de sedimentación" del yacimiento Moa Oriental de la Empresa Pedro Sotto Alba, declaro la propiedad intelectual al servicio del Instituto Minero Metalúrgico de Moa para que disponga de su uso cuando considere conveniente.

Lianet Lobaina Pineda

Dr.C. María Caridad Ramírez

Dr.C. José Alberto Pons Herrera

AGRADECIMIENTOS

A través de los siglos el ser humano ha sido capaz de lograr grandes cosas gracias a personas que estuvieron en los momentos importantes para apoyarlo. Es por esta razón que dedico estas palabras a todo aquel que de una manera u otra hizo posible este logro en mi vida.

- ❖ *Quisiera empezar agradeciéndole a dios y a mi madre por ser mis guías en este camino que es la vida.*
- ❖ *A mi hermano por apoyar cada una de mis decisiones y porque a pesar de tener tan poca edad estuvo ahí siempre que lo he necesitado.*
- ❖ *A Joel Zaldívar Nogueira por su entrega incondicional y voluntaria.*
- ❖ *A aquellos que se consideraron mi familia y que se han comportado como tal durante todos estos años.*
- ❖ *A mis compañeros por brindarme apoyo, afecto, odio, cariño, sonrisas y lágrimas durante este trayecto.*
- ❖ *Al claustro de profesores por enseñarme a ser la profesional que soy y seré.*
- ❖ *A Falconerys Leyva Vilche por guiar mis pasos y ser un ejemplo de amigo durante estos años.*
- ❖ *A Yosbel Guerra, Roger Almenares y Yunior Correa por apoyarme en estos momentos difíciles.*
- ❖ *A mis tutores por confiar en mi para llevar a cabo este trabajo que será la puerta de entrada a una nueva etapa en mi vida.*

A todos por confiar en mi...

GRACIAS

DEDICATORIA

Con este trabajo culmino hoy una etapa importante de mi vida dándome la oportunidad de comenzar a construir un nuevo porvenir. Y en este momento donde quiero declarar mi amor a todos aquellos que en mi pasado, presente y futuro siempre se encontraran para seguir apoyándome. Por lo tanto, dedico cada una de estas páginas y todos mis logros alcanzados a:

- ❖ Mi madre que es la única y verdadera inspiración de cada paso que doy a diario y de las metas que me propongo para ser mejor persona.*
- ❖ Mi hermano por ser parte importante y fuente de cariño durante toda mi vida.*
- ❖ Joel Zaldívar Nogueira que me hizo con su amor y paciencia la mujer que soy y seré a pesar de las adversidades.*
- ❖ A Leidy Laura y Ana Rita que me acompañaron en esta etapa como hermanas para salir adelante.*
- ❖ Y a dios que propició a todas estas personas en mi vida para convertirme en quien soy.*

GRACIAS A TODOS POR EXISTIR EN MI VIDA ...

PENSAMIENTO

“El futuro de nuestra patria tiene que ser necesariamente un futuro de hombre de ciencia, tiene que ser un futuro de hombres de pensamiento, porque precisamente es lo que más estamos sembrando.”

Fidel Castro Ruz

RESUMEN

La investigación tuvo como propósito determinar las características del Pasivo Ambiental Minero “piscinas de sedimentación” del yacimiento Moa Oriental de la Empresa Pedro Sotro Alba, como vía de facilitar la toma de decisiones sobre su posible uso industrial. Para ello se realizaron los análisis químicos mediante espectrofotometría de absorción atómica, los mineralógicos mediante la difracción de rayos x y los granulométricos mediante el tamizado por vía seca. Se comprobó que los elementos mayoritarios son el hierro y el silicio con 39,04 y 11,72 %, respectivamente, con contenidos de níquel (0,65%), cobalto (0.070%), magnesio (4,15%), manganeso (0,41%), cromo (1,21%) y aluminio (4,89%) que forman fases mineralógicas como la gibbsita, goethita y la serpentina. Se comprobó además que granulométricamente la piscina 1 posee mayor cantidad de partículas gruesas, concentrándose en ambas piscinas la mayor parte del silicio y aluminio en la fracción -1,36 +1. Ambas piscinas pueden ser utilizadas como material de construcción específicamente en su utilización para morteros, bloques de hormigón, pavimentos, balastro u otros materiales, teniendo en cuenta la presencia de minerales de serpentina, que la industria actualmente considera como rechazos.

Palabras claves: Piscinas de sedimentación, Pasivos Ambientales

ABSTRACT

This research has as a purpose to determine the characteristics of The Environmental Mining liabilities of pools of sedimentation in the deposit Moa Oriental of the Factory Pedro Sotro Alba, as a way to make easy the decisions for his possible industrial use. For this purpose, chemicals analysis was carried out by means of atomic absorption spectrophotometry, mineralogical analysis using X-rays diffraction and the granulometrical analysis by means of dry sieved. It was verified that the majority elements are represented by iron and silicon with 29.495 and 6.675 %, respectively, with contents of nickel (0,643 %), cobalt (0,090 %), magnesium (6,275 %), manganese (0,402 %), chrome (1,34 %) and aluminum (3,81 %) that conform mineralogical phases like the gibbsita, goethite and the serpentines. It was also established that granulometrically the pool 1 possesses bigger quantity of coarse particles, concentrating on both pools the greater part of silicon and aluminum in the fraction - 1.36 +1.

Key words: Pools of sedimentation, Environmental Pasives

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO	4
1.1 Introducción.....	4
1.2 Definición y origen de los Pasivos Ambientales	4
1.2.1 Definición de los Pasivos Ambientales	4
1.2.2 Origen de los Pasivos Ambientales	6
1.3 Caracterización de los pasivos ambientales mineros (PAM)	7
1.4 Tipos de pasivos ambientales existentes en la Empresa Pedro Sotto Alba	9
1.5 Antecedentes del uso de los PAMMs.....	10
1.6 Piscinas de Sedimentación	15
1.6.1 Características generales.....	15
1.6.2 Diseño de lagunas de sedimentación	15
1.6.3 Tipos de estructuras	16
1.6.4 Ubicación del área de estudio.....	16
1.6.5 Operaciones necesarias para la construcción de las piscinas de sedimentación	16
1.6.6 Importancia de la piscina de sedimentación	17
1.7 Conclusiones del capítulo 1	17
CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	18
2.1 Selección y toma de las muestras	18
2.2 Preparación de la muestra.....	20
2.3 Ensayos analíticos realizados	21
2.3.1 Análisis físicos.....	21
2.3.2 Análisis Químicos	22

2.3.3	Análisis químicos por fracciones de tamaño	23
2.3.4	Análisis Mineralógicos	23
2.4	Conclusiones del capítulo 2.....	24
CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y APLICACIÓN		25
3.1	Características del proceso natural de decantación de las piscinas de sedimentación 25	
3.2	Resultados de los ensayos analíticos realizados	26
3.2.1	Características físicas	26
3.2.2	Características químicas de las piscinas de sedimentación	28
3.2.2.1	Características químicas de las piscinas de sedimentación por fracciones de tamaño.....	28
3.2.3	Características mineralógicas de las piscinas de sedimentación del yacimiento Moa Oriental.....	34
3.1	Posibilidades del uso sostenible de los PAMMs estudiados	35
3.2	Conclusiones del capítulo 3.....	36
CONCLUSIONES GENERALES		37
RECOMENDACIONES		38
BIBLIOGRAFÍA		39
ANEXOS		42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Principales características físicas del Pasivo Ambiental “Piscinas de sedimentación”	26
Tabla 2: Composición granulométrica por vía seca, de la piscina de sedimentación No,1 del yacimiento Moa oriental.....	27
Tabla 3: Composición granulométrica por vía seca, de la piscina de sedimentación No,2 del yacimiento Moa oriental.....	27
Tabla 4: Composición Química promedio (%) de las Piscinas de Sedimentación estudiadas	28
Tabla 5: Composición química promedio (%) de la piscinas de sedimentación # 1 :	28
Tabla 6: Composición química promedio (%) de la piscina de sedimentación # 2.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de la mina de la empresa Moa Nickel SA Pedro Sotto Alba	18
Figura 2: Piscinas de sedimentación a y b pertenecientes a las áreas 36 y 11 respectivamente	19
Figura 3: Muestras experimentales en proceso de preparación.	20
Figura 4: Tamizadora eléctrica empleada en los análisis granulométricos	22
Figura 5: Espectrómetro Fotométrico de Absorción Atómica, empleado en la ejecución de los análisis químicos.	23
Figura 6: Equipo de Difracción de Rayos X empleado en los análisis mineralógicos	24
Figura 7: Proceso natural de decantación de finos entre las piscina de sedimentación.	25

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1:Composición química por fracciones de tamaño de la piscina 1	29
Gráfico 2:Composición química del Ni y el Co en la piscina 1	30
Gráfico 3:Composición química del Al, SiO ₂ y el Mg en la piscina 1	30
Gráfico 4:Composición química del Cr y el Mn en la piscina 1	31
Gráfico 5:Composición química por fracciones de tamaño de la piscina 2	32
Gráfico 6:Composición química del Ni y el Co en la piscina 2	33
Gráfico 7:Composición química del Al, SiO ₂ y el Mg en la piscina 2	33
Gráfico 8:Composición química del Cr y el Mn en la piscina 2	34
Gráfico 9:Difractograma de las piscinas de sedimentación del yacimiento Moa oriental, ..	35

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Sesión fotográfica de la toma de muestras.....	42
Anexo 2: Aval elaborado por la Empresa Pedro Sotto Alba	43

INTRODUCCIÓN

La minería es la obtención selectiva de los minerales y otros materiales de la corteza terrestre. También se denomina así a la actividad económica primaria relacionada con la extracción de elementos de los cuales se puede obtener un beneficio económico. Dependiendo del tipo de material a extraer la minería se divide en metálica y no metálica. Los métodos de explotación pueden ser a cielo abierto o subterráneo. Los factores que lo determinarán serán entre otros, la geología y geometría del yacimiento y las características geomecánicas del mineral y el estéril. La misma es una actividad económica que se desarrolla en el mundo desde el principio de los siglos explotando metales diversos que no siempre generan residuos.

Situación Problemática

El manejo inadecuado de estos residuos como también la inexistencia de normas precisas que regulen el cierre de minas, ha devenido en la acumulación de pasivos ambientales mineros a lo largo de extensas áreas y provocado contaminación de recursos naturales cuyo uso puede poner en riesgo la salud pública. “En el mundo se desarrollan actividades minero metalúrgicas que generan pasivos ambientales para lo cual cada país tiene su ley de evaluación del impacto ambiental que estos y otros desechos provocan.” (Taype, 2018).

Las piscinas de sedimentación son un ejemplo de lugar donde se acumulan los pasivos ambientales; mundialmente estas piscinas son un método utilizado para el trabajo en la minería. En Cuba la Oficina Nacional de Recursos Minerales exige su uso para evitar la pérdida de minerales valiosos debido a las precipitaciones, las lluvias o los procesos de minería. Su objetivo es retener el mineral que es arrastrado evitando su pérdida en los ríos. Actualmente no se posee conocimiento de los minerales que componen estas piscinas siendo esto un problema para la industria ya que no se aprovechan los minerales recuperados en la misma.

Formulación del Problema

Problema: Insuficiente conocimiento de las características físicas, químicas y mineralógicas de los minerales contenidos en el Pasivo Ambiental “piscinas de sedimentación” del yacimiento Moa Oriental, de la Empresa Pedro Sotto Alba que limitan la toma de decisiones sobre su posible utilización industrial.

Objeto de Investigación: Piscinas de sedimentación del yacimiento Moa Oriental

Campo de acción: Características físicas, químicas y mineralógicas del pasivo ambiental “piscinas de sedimentación” del yacimiento Moa Oriental, Empresa Pedro Sotto Alba de Moa.

Hipótesis de la investigación

Al determinar la caracterización integral del pasivo ambiental “piscinas de sedimentación” del yacimiento Moa Oriental de la Empresa Pedro Sotto Alba, será posible la toma de decisiones sobre su posible utilización industrial.

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Determinar las principales características del Pasivo Ambiental Minero “piscinas de sedimentación” del yacimiento de Moa Oriental, de la Empresa Pedro Sotto Alba, que faciliten la toma de decisiones sobre su posible uso industrial.

Objetivos Específicos

- Determinar las características físicas y químicas del pasivo ambiental “piscina de sedimentación” del yacimiento de Moa Oriental.
- Determinar las características mineralógicas del pasivo ambiental “piscinas de sedimentación” de la Empresa Pedro Sotto Alba.

- Proponer posibles usos de estos residuales a partir de las características físicas, químicas y mineralógicas del pasivo ambiental “piscinas de sedimentación” del yacimiento de Moa Oriental.

Resultados esperados

- Caracterización física, química y mineralógica del pasivo ambiental minero “piscinas de sedimentación” del yacimiento Moa Oriental de la Empresa “Pedro Sotto Alba”.
- Proponer variantes de utilización del pasivo ambiental estudiado a partir de su caracterización integral.
- A partir de los resultados de este trabajo de investigación contribuir a la disminución de la contaminación ambiental que actualmente generan estos residuales al ecosistema de la región de Moa.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO

1.1 Introducción

En este capítulo se describen las características principales de los elementos que conforman esta investigación los cuales se detallarán a continuación.

En el presente capítulo se lleva a cabo un estudio de la bibliografía referente a los principales aspectos teóricos que se ayudaron al desarrollo de la investigación. Los mismos están relacionados con la caracterización y uso de los Pasivos Ambientales Mineros Metalúrgicos sólidos (PAMMs) generados por las empresas metalúrgicas en Cuba y el mundo, teniendo como objetivo disponer de esta información básica y de los problemas presentes en el mundo actualmente para llevar a cabo la investigación que nos proponemos.

1.2 Definición y origen de los Pasivos Ambientales

1.2.1 Definición de los Pasivos Ambientales

Un pasivo ambiental podría definirse 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. (Energia, 2004).

Desde otro punto de vista la conceptualización de pasivos ambientales mineros generalmente está relacionada “con los impactos negativos generados por las operaciones mineras abandonadas o suspendidas por largos períodos de tiempo con o sin dueño u operador identificables, y en donde no se haya realizado un cierre de minas regulado y certificado por la autoridad correspondiente, en los casos en los que ello es necesario.” (González, 2008).

Además, se puede plantear que el pasivo ambiental “está relacionado con el cierre de las explotaciones; para aquellos casos en los cuales el proyecto minero esté activo aún y la gestión ambiental realizada sobre este no sea la adecuada, los impactos producidos no son considerados como tales porque aún se podría internalizar los costos sin necesidad de un gasto adicional en la remediación.” (González, 2008).

Estos desechos “provocan diversos daños al ecosistema natural, como resultado de la propia actividad del hombre, sobresaliendo las actividades mineras y metalúrgicas”, (Arranz González, y otros, 2007).

Por otro lado, el informe preliminar (Ministerio de Energía y Minas Dirección General de Minería, 2006), define como Pasivo Ambiental Minero, a todas las instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad.

La (Asociación de servicio de Geología y Minerías Iberoamericanas, 2010), define los pasivos ambientales mineros como instalaciones, edificaciones, superficies afectadas por vertidos, depósitos de residuos mineros, tramos de cauces perturbados, áreas de talleres, parques de maquinarias o parques de mineral que estando en la actualidad en entornos de minas abandonadas o paralizadas, constituyen un riesgo potencial permanente para la salud y seguridad de la población, para la biodiversidad y para el medio ambiente.

En Chile, según el proyecto de Ley de la Remediación de pasivos Ambientales Mineros los definen como, aquellas faenas mineras abandonadas o paralizadas, incluyendo, sus residuos, que constituyen un riesgo significativo para la vida o salud de las personas o para el medio ambiente, (Estudio comparativo de la gestión de los pasivos ambientales mineros en Bolivia, Chile, Perú y Estados Unidos, 2008).

También en el (Estudio comparativo de la gestión de los pasivos ambientales mineros en Bolivia, Chile, Perú y Estados Unidos, 2008) consideran a los PAM, como todas aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras actualmente abandonadas o inactivas, que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad.

En México, los pasivos ambientales se definen como: aquellos sitios contaminados por la liberación de materiales o residuos peligrosos que no fueron remediados oportunamente para impedir la dispersión de contaminantes, pero que implican una obligación de remediación. En esta definición se incluye además la contaminación generada por una emergencia, lo cual es recogido por (Ríos Azahares, 2015) en su trabajo investigativo.

(Ríos Azahares, 2015), plantea además que, en Bolivia, de acuerdo a la Ley Nro. 1333- Ley de Medio Ambiente, un pasivo ambiental es el conjunto de impactos negativos perjudiciales para la salud y/o el medio ambiente, ocasionado por determinadas obras y actividades

existentes en un determinado período de tiempo y los problemas ambientales en general no solucionados, por determinadas obras o actividades en ejecución.

En nuestro país no se ha elaborado como tal una definición específica para los pasivos ambientales mineros metalúrgicos, aunque actualmente existen diversos criterios sobre su conceptualización ya que las leyes existentes no la definen claramente. Sobre este tema (Ganesh Persaud, 2014) establece que, 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.

Los Pasivos Ambientales Mineros Metalúrgicos sólidos (PAMMs), generados por las industrias del níquel, aunque no han sido llamados de esta forma de manera oficial, sí se conocen algunas de sus principales características físicas - químicas, pero son insuficientes para poder definir sus posibles usos, como resultado de las investigaciones realizadas en los últimos años (Navarro Breffe, 2017).

Al estudiar los conceptos de PAMMs adquiridos de autores de diversos países de América Latina, incluyendo Cuba, podemos llegar a la conclusión de que son cúmulos de residuos que afectan la sociedad y la economía de cualquier país en el que se encuentre presente, siendo un el foco de atención de aquellos que buscan mejorar la eficiencia de las empresas mineras.

1.2.2 Origen de los Pasivos Ambientales

Según (Energía, 2004) los Pasivos Ambientales se originan a partir de las causas siguientes: En el pasado no existían una serie de elementos con los cuáles sí se cuenta hoy en día. Los avances tecnológicos, el conocimiento científico y el marco normativo correspondiente permitieron a las empresas y las personas realizar sus actividades sin pensar que tal vez podrían causar daño al ambiente. El proceso de industrialización a lo largo del siglo pasado y la urbanización descontrolada produjo también problemas ambientales más difusos, no circunscriptos a un sitio específico. Esta situación del pasado se acentúa por el abandono de instalaciones o zonas ambientales degradadas sin un manejo que evite su presencia negativa. De esta manera se va degradando el ambiente generando la pérdida progresiva de la

capacidad de algunos recursos naturales para prestar bienes y servicios a la humanidad, así como la del medio físico para mantenerse en condiciones adecuadas.

El abuso de las tecnologías y los agentes químicos en el medio ambiente conllevan al deterioro del mismo trayendo en ocasiones la pérdida de recursos minerales valiosos para el ser humano. El mal cierre de empresas donde se realizan tratamientos químicos es hoy una preocupación para las organizaciones protectoras del medio ambiente, pues son las vías que se prestan para el envenenamiento del ecosistema a causa del desinterés propio de sus directivos.

1.3 Caracterización de los pasivos ambientales mineros (PAM)

El 2 de julio del año 2004 el estado promulgó la Ley N° 28271, donde en el artículo N°2 establece a los pasivos ambientales producto de la actividad minera como: “todas las instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen la propiedad”, (Cedrón Lassús, 2013), entre los cuales se tienen:

Bocamina:

Es un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y es el espacio físico por donde se hace el ingreso a una mina subterránea. Se puede decir que es el límite entre el espacio exterior y el espacio interior donde se realizan las actividades mineras de explotación de minerales. Sus características están en función al tamaño (ancho x alto) que le dan facilidades para los accesos de los trabajadores, los equipos de transporte para la extracción del mineral y/o los camiones.

Chimenea:

Es una perforación que se ejecuta en la roca y que tiene la misión de comunicar a más de una galería en el interior de las minas subterráneas, las que salen a superficie generalmente sirven para la ventilación de la mina.

Cortes:

Es el área cercana a la bocamina (ingreso), que por su estructura y composición es similar a un rajo.

Depósito de desmonte:

Es el área ocupada por los materiales extraídos del interior de la mina o del área de explotación a cielo abierto, que no contiene valores extraíbles u/o que su extracción no es económica, por lo que se han dispuesto en un lugar donde no se realizan actividades de explotación.

Depósito de relave o relaveras:

Es el área ocupada por los materiales (de grano fino) sin valor, que se obtiene, como producto de los procesos de concentración de minerales por el método de flotación, estos relaves se han dispuesto en forma de pulpa, eliminando el agua después de la sedimentación de los sólidos. Sus características son de material fino de fácil erosión por la acción del viento y de las escorrentías. Su disposición exige generalmente la construcción de una presa de sostenimiento, la misma que por lo general se construye con el mismo material grueso que está contenido en la pulpa. Las ubicaciones son diversas de acuerdo generalmente a las características del terreno que se usa, pudiéndose ubicar en laderas, quebradas o pampas.

Edificaciones e instalaciones:

Son los espacios como: planta concentradora, laboratorios, campamentos, oficinas, talleres, almacenes, suministro de energía y agua.

Media barreta:

Son labores de exploración que cuentan con dimensiones menores a las bocaminas y de poca profundidad.

Rajo:

Es el área de explotación por lo general de los afloramientos de minerales de veta y que tienen dimensiones pequeñas.

Socavón:

Es el espacio vacío que queda después de la explotación de la mina, cuya ubicación es inmediatamente después de la Bocamina. Estos pueden ser muy superficiales como profundos dependiendo del volumen del mineral que se ha extraído.

Tajo:

Es el espacio vacío dejado por la explotación de minerales a cielo abierto; este ha quedado generalmente delimitado por caminos de acceso y plataformas de circulación de los camiones. Son espacios mucho mayores que los rajos.

1.4 Tipos de pasivos ambientales existentes en la Empresa Pedro Sotto Alba

Esta situación ambiental definida como pasivos ambientales se encuentran dispersos en la Empresa Pedro Sotto Alba de distintas maneras dándonos ejemplos como los que se analizarán a continuación.

Gabro:

Según (Ramírez Matos, 2001) las principales características del Gabro son:

Es una roca ígnea intrusiva de origen magmático, su composición química es máfica o básica es decir que tiene entre 42% al 52% de sílice (SiO_2), presenta textura fanérita, su color es oscuro o melanocrática debido a que se encuentra enriquecido en minerales máficos. Se encuentra conformado por minerales principales o dominantes de: piroxenos (augita) y plagioclasas cálcica (anortita, bitownita), los minerales accesorios son: anfíbol y olivino, los usos principales se encuentran en la industria de la construcción, la roca ígnea análoga es el basalto. Resiste bastante bien a la intemperie, el desgaste y el desgarro, lo que lo convierte en una roca muy deseable, ya que requiere la menor cantidad de mantenimiento en comparación con otros tipos de rocas utilizadas para los mismos productos. También puede contener cantidades muy pequeñas de algunos metales raros como el mineral ilmenita, níquel, cromo o platino.

El gabro es una roca rica en magnesio, aluminio y silicio por esta razón y además por la caracterización expuesta anteriormente es dañina para el proceso pues provoca un gasto mayor de ácido produciendo pérdidas a la empresa.

Escombros Lateríticos

Varios autores han logrado caracterizar a los escombros como una mena de Hierro con contenidos altos de níquel, cobalto y cromo, así como (Palacios Rodríguez, y otros, 2013), donde se aprecia que en la composición mineralógica de los ocres predominan la goethita, la aluminogoethita, la maghemita, la hematita y la hidrargirita, coincidiendo estos con los trabajos desarrollados por Rojas en 1995, quien demostró que los principales minerales portadores de níquel y de cobalto en el corte laterítico del yacimiento Moa son, la goethita y la hidrargirita.

(Ramírez Pérez, 2010) demostró la efectividad del uso de los escombros lateríticos del área 1, yacimiento Moa Occidental perteneciente a la fábrica Comandante Pedro Sotto Alba, en el proceso de descarburización del acero ACI HK-40, fundamentado en la caracterización química, física, mineralógica y térmica de esos escombros; en esta investigación, se comprobó, además, que estos materiales, están compuestos fundamentalmente, por óxido de hierro.

1.5 Antecedentes del uso de los PAMMs

Los Pasivos Ambientales Minero-Metalúrgicos sólidos (PAMMs), a pesar de los intentos por ser utilizados en la industria metalúrgica cubana, a través de varias investigaciones científicas, aún no se ha logrado la obtención de un producto técnica y económicamente factible para emplear de manera industrial en Cuba, además en Nícaro se obtuvieron lupias de arrabio, a partir del tratamiento metalúrgico de las colas de Nícaro, (Ferreiro Guerrero, 2014); arrabio con Níquel (NPI), a partir del tratamiento de los escombros lateríticos de Mina Martí, (Ortiz Bárcenas, 2015) y descarburantes a partir de los escombros de Moa Occidental en Moa, (Ramírez Pérez, 2010). Estos trabajos constituyen los principales antecedentes del uso por vía pirometalúrgica de los pasivos ambientales, generados por la industria del níquel en Cuba, los cuales se detallan a continuación.

En el informe de (Ferreiro Guerrero, 2014), encontramos que entre los elementos de aleación más importantes, se tienen la presencia del carbón, entre 4,32 y 5,10 %, estos elevados valores se justifican, debido principalmente a la presencia del cromo en las lupias (entre 1,786 y 1,931 %), cuya presencia permite que el hierro asimile elevados contenidos de carbono,

debido a la formación de un doble carburo de cromo e hierro, lo que trae consigo que el arrabio obtenido tenga una elevada capacidad de absorción de carbono, contrarrestando el efecto grafitizador del níquel, cuyo contenido en las lupias se encuentran entre 0,608 y 0,621 %.

De acuerdo a la composición química de las lupias obtenidas, sería posible sustituir hasta un ocho por ciento de chatarras de acero por este material, en la elaboración de aceros al carbono, según lo reportado (Obtención de metalizados de hierro a partir de los residuos sólidos de la industria del níquel en Nicaro, Cuba, 2012) , por lo que el mayor uso que se le podría dar a este material, sería para la obtención del “Acero Mayarí” o NPI, así como para la elaboración de aceros inoxidable, para el que se podría emplear más del 80 % como material de carga (Ferreiro Guerrero, 2014). A pesar de estos resultados obtenidos a escala de banco, no se han realizado otras pruebas a una mayor escala, que garanticen el uso de este residual en la industria siderúrgica cubana.

Por otra parte, las investigaciones sobre la obtención de un producto prerreducido para la producción de arrabio con níquel (Nickel Pig Iron), a partir del tratamiento de los escombros lateríticos de Mina Martí de Nícaro, es el trabajo más reciente publicado, sobre el posible uso de los PAMMs en la industria siderúrgica cubana.

En este sentido, el informe de (Ortiz Bárcenas, 2015), concluye que el arrabio obtenido, como resultado del tratamiento de los escombros laterítico de Mina Martí, puede utilizarse en caliente en un horno para la fundición de acero, en una cantidad que corresponde al 50 % de la carga metálica de la acería de Acinox Las Tunas, lo que significa emplear alrededor de 6000 t de arrabio con níquel al mes, entidad que pudiera economizar 4000,00 MGwatt/mes de electricidad, que significan alrededor de 712 000 USD/mes.

Por otra parte, (Ganesh Persaud, 2014), desarrolló una metodología para el inventario de los Pasivos Ambientales Mineros- Metalúrgicos, generados por las industrias de níquel en Moa, y estudió específicamente los principales PAMMs, generados por las Empresas Comandante Ernesto Che Guevara, Moa Nickel Pedro Sotto Alba S.A y Ferroníquel Minera S.A., (FEMSA); donde 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 existentes en estas empresas, sus características, clasificación e inventario de estos recursos minerales.

Con la realización este trabajo se logró, además, elaborar las fichas técnicas de cada uno de los pasivos ambientales estudiados y se establece una clasificación, en dependencia de su matriz de importancia. (Ganesh Persaud, 2014).

A pesar de que los resultados del tratamiento y uso de los PAMMs han tenido un gran impulso investigativo en los últimos años, aun estos son insuficientes, para demostrar la viabilidad técnica y económica del uso de estos residuales. En este sentido, las Colas de Nícaro (CN) se consideran un verdadero yacimiento artificial de níquel y, sobre todo, de cobalto situado en la parte sureste de la ensenada Arroyo Blanco de la Bahía de Nipe, al oeste y en las cercanías de la antigua planta de Nícaro; depósito que data desde el año 1943 y se estima que asciendan a más de 80 millones de toneladas, la cantidad de estos pasivos, depositados en esta presa de colas, (Ortiz Bárcenas, 2015).

Por su parte (M. Bustamante Sánchez; G. Samalea Martínez, 2007), trabajaron con estos residuales con vistas a sus usos en la industria química, y consideran que las características granulométricas, con gran cantidad de fino, constituyen un aspecto favorable para su utilización industrial, sin embargo, para el posible uso siderúrgico este aspecto es una desventaja, porque ocasiona problemas de operación a las instalaciones metalúrgicas que emplearán estos materiales en sus procesos productivos.

(Hechavarría Tamayo, 2016) evaluó el mineral de hierro contenido en las colas rojas de la Empresa Che Guevara de Moa, a través de un estudio tecnológico y de mercadotecnia, para su posible comercialización con fines siderúrgicos, que repercute en el desarrollo local y socio- económico del municipio; genera nuevas fuentes de ingresos, empleo y puede llegar a sustituir importaciones al país, plantea además que, estos pasivos se pueden procesar mediante la tecnología de fusión-reducción, aprovechando la disponibilidad de hierro contenidos en estos residuos, que superan los 36,0 millones de toneladas, lo que garantizaría

la creación de nuevas fuentes de empleo por más de 18 años, con una estimación de producir alrededor de 640,0 toneladas anuales de palanquillas con una concentración de hierro de 90%. Estos trabajos demuestran las posibilidades de producir productos siderúrgicos a partir del tratamiento de pasivos ambientales, generados por las industrias del níquel en Cuba, específicamente con la introducción de palanquillas de hierro como resultado de la diversificación de la minería en el mercado internacional, (Abreu Cutiño, 2015).

Las tecnologías que se utilicen para el tratamiento de los PAMMs, deben ser capaces de considerar las ventajas y desventajas que poseen estos residuales industriales, de forma tal que garanticen la protección del medio ambiente y evitar así, el agotamiento o degradación de los recursos naturales del país. Por tanto, la principal finalidad de las tecnologías que se propongan, debe ser la de transformar el entorno humano (natural y social), para adaptarlo mejor a las necesidades y deseos humanos (Hechavarría Tamayo, 2016).

De forma general, todos los trabajos realizados hasta el momento con las colas de los procesos metalúrgicos de producción de níquel en Nícaro y Moa, constituyeron puntos de partida, para la realización de este trabajo de investigación, al ser tomados en cuenta, los aspectos positivos y negativos de las mismas.

Otras investigaciones realizadas con el objetivo de ampliar conocimientos acerca de los pasivos ambientales dentro de nuestro país fueron:

(Castillo Alejo, 2008) realizó una investigación sobre el análisis de la influencia del proceso metalúrgico y el contacto geológico en el riesgo ambiental de los residuos mineros de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión. España. Con el objetivo de realizar una investigación sobre el análisis de la influencia del proceso metalúrgico y el contacto geológico en el riesgo ambiental de los residuos mineros de la Sierra Minera de Cartagena-La Unión. Donde se obtuvo como resultado que en la Sierra Minera de Cartagena-La Unión de acuerdo con la información consultada existe 9 tipos de residuos y la densidad de las partículas sólidas al igual que la granulometría presentan una gran variedad y dispersión en un rango entre 1,8 y 3,4 g/cm³. Pero no se realizó la construcción de un sistema de drenaje en la zona de cabecera

de la subcuenca de cada depósito que lo necesita que deriva las aguas de escorrentía fuera del depósito de lodo.

(Cedrón Lassús, 2013) realizó una investigación sobre la elaboración de criterios para la transformación de pasivo minero en activo socio-ambientales sostenibles con el objetivo de establecer los criterios adecuados para que la etapa de cierre de minas culmine con la generación de un activo minero que puede ser una fuente de generación de recursos donde se obtuvo como resultado que el cierre de una mina puede producir un impacto mucho más dramático que el que se produce al cerrar un negocio en cualquier otra industria por el peso que suelen tener en la economía local, especialmente en lugares remotos, pero se recomendó que hacia el final de la vida de la mina pero con por lo menos dos años de anticipación, implementar parcelas de experimentación.

(Evaluación de impactos ambientales provocados por la actividad minera en la localidad de Santa Lucía, Pinar del Río, 2013) realizó una investigación sobre la evaluación de impactos ambientales provocados por la actividad minera en la localidad de Santa Lucía, Pinar del Río con el objetivo de establecer el plan de acción que permita mitigar los impactos generados por las actividades minero - metalúrgicas y su interacción con la localidad Santa Lucía donde se obtuvo como resultado que según la Matriz de Leopold se identificaron un total de 37 impactos ambientales, de ellos, tres son de carácter positivo y 34 negativos. Se determinó que en orden ascendente las variables ambientales más afectadas son: vegetación, fauna, paisaje, medio socio-económico, suelo, hidrogeología, geología y geomorfología.

Como ya se conoce los yacimientos lateríticos de la región de Moa son diversos debido a que presentan diferentes materiales y por lo tanto diferentes características. Uno de esos recursos que hoy no se utilizan y que se generan dentro de los yacimientos lateríticos son las piscinas de sedimentación que solamente se encuentran para aglutinar y sedimentar los materiales que existen debido al proceso de minería.

1.6 Piscinas de Sedimentación

1.6.1 Características generales

Actualmente se conoce que los yacimientos lateríticos de la región de Moa son diversos ya que presentan diferentes minerales y por lo tanto distintas características. Uno de estos recursos que se generan actualmente son las piscinas de sedimentación, las cuales se encuentran dentro de estos yacimientos lateríticos, pero no son explotadas adecuadamente.

Las mismas se utilizan para aglutinar o sedimentar materiales que existen debido al propio proceso de minería. Otra manera de definir a las piscinas de sedimentación es como “una excavación artificial destinada a la acumulación de sólidos y líquidos con alto contenido de sedimentos, cuya función principal es permitir la decantación de los sólidos en suspensión en un determinado período de tiempo.” (Ministerio de Minas y energía, 2015).

1.6.2 Diseño de lagunas de sedimentación

Para el diseño de las lagunas de sedimentación se debe tener en cuenta la cantidad de agua que será retenida para que se lleve a cabo correctamente el proceso de sedimentación., donde “el factor principal que influye para el cálculo del volumen de la laguna, es la sedimentación de las partículas que son arrastradas por las aguas de escorrentía durante un aguacero fuerte”, (Moncaleano, y otros, 2013).

La laguna de sedimentación está diseñada para que operen en un amplísimo rango de caudales, debido a “que ellos concentran las lluvias que se precipiten directamente sobre los botaderos y las zonas de drenajes que generan aportes de sedimentos, de tal manera, que pueden retener todo el sedimento aportado”, (Moncaleano, y otros, 2013).

En la práctica es más favorable utilizar varias piscinas por las siguientes razones:

- El paso de una piscina a otra mejora el tiempo de retención.
- Su construcción es más fácil.
- Su limpieza es más sencilla y se puede hacer por métodos convencionales.
- Presenta menores problemas de inestabilidad. (Moncaleano, y otros, 2013).

1.6.3 Tipos de estructuras

Existen dos tipos de estructuras de sedimentación “las excavadas en el propio terreno con o sin revestimiento y las construidas como pequeñas presas de tierra”, (Moncaleano, y otros, 2013).

1.6.4 Ubicación del área de estudio

La ubicación de un sistema de lagunas está principalmente determinada “por la posición del colector terminal y también por la disponibilidad del terreno. El área a escogerse debe ser suficientemente plana. Deben ubicarse en un área suficientemente extensa y fuera de las influencias de cauces sujetos a torrentes y avenidas.” (Moncaleano, y otros, 2013).

1.6.5 Operaciones necesarias para la construcción de las piscinas de sedimentación

Según (Moncaleano, y otros, 2013) los pasos para la construcción de una piscina de sedimentación son:

Movimientos de tierras

- Se deben realizar las perforaciones necesarias para caracterizar el tipo de suelo del lugar escogido para la ubicación de las lagunas
- El despalme consiste en el retiro del material que se considera inapropiado, ya sea para el fondo de la laguna o para la fundación de los diques, tuberías u obras de arte.

Excavación y escarificación

- Las excavaciones se ejecutan con el objeto de obtener los niveles deseados para el fondo, así como para formar las secciones del proyecto. Algunas entidades admiten una tolerancia máxima de 10 cm, entre los cortes proyectados y los ejecutados.
- La escarificación consiste en la rotura de unos 15 cm del terreno sobre el cual se van a formar los terraplenes. Se entiende que estos 15 cm son después de efectuado el despalme. La escarificación se realiza con el fin de lograr una liga íntima entre el terreno natural y el material de los terraplenes.

Impermeabilización del fondo

- Los estudios de conductividad hidráulica y permeabilidad del material encontrado en el fondo, serán los que indiquen si a este se le deberá hacer algún tratamiento especial o revestirlo con algún material impermeable natural (arcilla) o artificial (membranas sintéticas).
- La preparación del terreno en el cual se ubicará una piscina de sedimentación natural depende en gran medida de la ubicación teniendo en cuenta el suelo, sus características y del material que contendrá.

1.6.6 Importancia de la piscina de sedimentación

Las piscinas de sedimentación constituyen una medida exigida por la Oficina Nacional de Recursos Naturales (ONRM) de Cuba, que entre sus principales funciones tiene las siguientes:

Previene, corrige y mitiga el impacto ambiental que se produce sobre un cuerpo de agua, por las descargas de aguas residuales provenientes de los procesos de operación. Controla las aguas residuales con carga de sólidos. Control de aguas residuales ácidas o alcalinas. Control de aguas de escorrentía.

Evita el aumento en la concentración de sólidos en suspensión. La contaminación de cuerpos de agua con grasas y aceites. El aumento en la temperatura de los cuerpos de agua. No se debe realizar ningún tipo de vertimiento líquido, sin tratamiento, a cuerpos de agua.

1.7 Conclusiones del capítulo 1

- ✓ Existe gran variedad de información sobre la conceptualización de los PAMMs, conociendo que de forma general constituyen residuos sin una utilidad definida, que afectan al medio ambiente.
- ✓ A pesar de los estudios realizados con las piscinas de sedimentación alrededor del mundo, aún no se cuenta con los elementos técnicos y económicamente factibles para confirmar su uso en la industria metalúrgica cubana.
- ✓ Existe insuficiente conocimiento de las características físicas, químicas y mineralógicas de las piscinas de sedimentación en la Empresa Pedro Sotto Alba de Moa, que permitan tomar decisiones sobre su posible uso en la industria metalúrgica nacional

CAPÍTULO 2: MATERIALES Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

2.1 Selección y toma de las muestras

Para la realización de la investigación en conjunto con la dirección de minería de la Empresa Pedro Sotto Alba de Moa, se seleccionaron y extrajeron muestras representativas del objeto de investigación. Las áreas seleccionadas para los estudios fueron las 36 y 11, pertenecientes al yacimiento Moa Oriental, zona que en los últimos cinco años es la principal fuente de exploración y explotación de los recursos minerales que se utilizan para la alimentación a la planta de preparación de mineral de la empresa, como se muestra en la figura 1.



Figura 1: Mapa de la mina de la empresa Moa Nickel SA Pedro Sotto Alba

En la figura 2 se muestra las piscinas de sedimentación de las cuales se extrajeron las muestras pertenecientes a las áreas 36 y 11 respectivamente.



(a)



(b)

Figura 2: Piscinas de sedimentación a y b pertenecientes a las áreas 36 y 11 respectivamente

La extracción de las muestras de la zona anteriormente explicada se realizó mediante un muestreo por puntos, garantizando que la muestra fuese lo más representativa posible del objeto de estudio, dándole validez a los análisis que se realizaran a partir de ellas.

Muestreo por puntos

Para la selección de la muestra se utiliza el método de redes y puntos como ya mencionábamos anteriormente aplicado a un sector de las piscinas. Primeramente, se selecciona la zona de las piscinas a muestrear, se traza una red cuadrada con una distancia entre sus líneas de 1,5 m; donde los nudos son los puntos escogidos para realizar la toma del mineral a procesar. Luego con la ayuda de una pala se realizan 10 pozos, los mismos se realizan con una profundidad de 1,0 m con el objetivo de acceder a las muestras en la parte más profunda de cada uno de ellos. En cada pozo se toman alrededor de 100 g, siendo la masa total de aproximadamente 1000 g.

2.2 Preparación de la muestra

Las muestras extraídas fueron trasladadas hasta la nave de beneficio ubicada en el instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, donde se realizó el proceso de preparación de las mismas, con vistas a la realización de los análisis físico-químicos planificados.

Las muestras primeramente fueron secadas eliminando así toda la humedad externa para luego realizarle un proceso de homogenización, a través del método del cono y el anillo; posteriormente fueron secadas y se comenzó la obtención de las informaciones preliminares, como el contenido de humedad natural, y los siguientes pasos hasta la conformación de las muestras experimentales y testigos, como se aprecia en la figura siguiente.



Figura 3: Muestras experimentales en proceso de preparación.

El procedimiento utilizado para la homogenización por el método del cono y el anillo es el siguiente:

- Se coloca la muestra sobre una superficie plana, limpia y dura donde no haya pérdida del material ni contaminación con materias extrañas.
- Se homogeniza el material haciendo un cono depositando cada cuchara de albañil sobre la anterior y luego haciendo un anillo, seguidamente se forma nuevamente el cono.
- Por medio de la cuchara de albañil, se ejerce presión sobre el vértice, aplanando con cuidado la pila hasta lograr un espesor y un diámetro uniforme. El diámetro debe ser aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor del material.
- Seguidamente se divide la pila aplanada en cuatro partes iguales con la cuchara de albañil.

- Se separan, unen y guardan como reserva dos de las partes diagonalmente opuestas incluyendo todo el material fino. Se puede utilizar una brocha o cepillo para incorporar el material fino a la muestra respectiva, otra de las partes queda de reserva para realizar otro tipo de muestreo y análisis.

2.3 Ensayos analíticos realizados

Para el desarrollo de la investigación, después de seleccionadas y preparadas, las muestras fueron sometidas a ensayos para la caracterización físico – química y mineralógica. Las técnicas y equipos utilizados se describen a continuación.

2.3.1 Análisis físicos

Para la caracterización física se preparó la muestra con el fin de realizarle un análisis granulométrico por vía seca. Este análisis se realizó en los laboratorios del Centro de Investigaciones y de Desarrollo del Níquel (CEDINIQ), utilizando los siguientes juegos de tamices:

- + 10 mm
- -10 mm +8 mm
- -8 mm +6 mm
- -6 mm +4 mm
- -4 mm +2 mm
- -2 mm +1 mm
- -1 mm +0,83 mm
- -0,83 mm +0,5 mm
- -0,5 mm +0,4 mm
- -0,4 mm +0,3 mm
- -0,3 mm +0,2 mm
- -0,2 mm +0,1 mm
- -0,1 mm +0,074 mm
- -0,074 mm +0,045 mm
- -0,045 mm

Luego de homogenizada y cuarteada la muestra, por el método mencionado anteriormente, fueron analizadas el resto de las características físicas de la misma, y comprobado el grado

de inicial de homogeneización, que posteriormente sería validado con los resultados de los análisis químicos.

Para la realización de los análisis granulométricos, se utilizó una tamizadora eléctrica, la cual se muestra en la figura 4. El procedimiento empleado consistió en el desarrollo de un movimiento lateral y vertical del tamiz, acompañado de una acción de sacudida, de manera que la muestra se moviera continuamente sobre la superficie de los tamices, con un tiempo de tamizado promedio de 15 minutos.



Figura 4: Tamizadora eléctrica empleada en los análisis granulométricos

2.3.2 Análisis Químicos

Las fracciones granulométricas obtenidas como resultado de estos análisis, fueron enviadas al laboratorio de análisis químico del CEDINIQ para su caracterización química.

Los análisis químicos fueron realizados empleando un espectrómetro fotométrico de absorción atómica, ubicado en el laboratorio central del CEDINIQ), como se muestra en la siguiente figura.



Figura 5: Espectrómetro Fotométrico de Absorción Atómica, empleado en la ejecución de los análisis químicos.

2.3.3 Análisis químicos por fracciones de tamaño

Luego de realizada la separación granulométrica de la muestra enviada al CEDINIQ se llevó a cabo un análisis químico de cada fracción de tamaño. Para la realización de estos análisis se utilizaron varias metodologías en dependencia de lo que se deseaba obtener. En primer lugar, se llevó a cabo la determinación de Fe^{2+} y las pérdidas por ignición se obtuvieron por el método gravimétrico. Mientras que por la técnica de absorción atómica se determinó el silicio, aluminio, magnesio, níquel, cobalto, manganeso, cromo e hierro.

2.3.4 Análisis Mineralógicos

Las muestras para los análisis mineralógicos, formaron parte del composito preparado para el desarrollo de todos los análisis de caracterización realizados. En el caso de los análisis mineralógicos, se realizaron en el laboratorio de caracterización del Instituto Politécnico Nacional (IPN), de México, empleando el equipo de Difracción de Rayos X que se muestra a continuación.



Figura 6: Equipo de Difracción de Rayos X empleado en los análisis mineralógicos

2.4 Conclusiones del capítulo 2

1. La caracterización del pasivo ambiental minero, “piscinas de sedimentación”, del yacimiento Moa Oriental, demuestran que el mismo, están vinculados a los grados de intemperismo o meteorización que poseen los minerales de la región de Moa-Baracoa.
2. La selección y preparación de las muestras de las piscinas de sedimentación del yacimiento Moa Oriental, se corresponden con la metodología existente, garantizando la selección adecuada de las fracciones granulométricas y la confiabilidad de los resultados de la caracterización realizada.
3. Los métodos y técnicas de caracterización empleadas, permiten ampliar el conocimiento sobre las particulares físicas, químicas y mineralógicas del PAMMs estudiado.

CAPÍTULO 3: RESULTADOS Y APLICACIÓN

La caracterización del pasivo ambiental minero estudiado, demostró que, las piscinas de sedimentación del yacimiento Moa Oriental, poseen contenidos de níquel, cobalto, hierro, cromo y otros elementos químicos, que los convierten en una materia prima perspectiva para la industria metalúrgica cubana, que como resultado de los años de explotación de los minerales lateríticos, solamente empleados para la producción de níquel y cobalto, desecha y no aprovecha de manera sostenible el resto de los componentes minerales, que están presentes en los recursos naturales que poseemos. A continuación, se exponen los resultados obtenidos en esta investigación.

3.1 Características del proceso natural de decantación de las piscinas de sedimentación



Figura 7: Proceso natural de decantación de finos entre las piscina de sedimentación.

Este proceso de decantación a que están sometidos los minerales lateríticos, se desarrolla de manera natural en las piscinas de sedimentación, conformadas en la mayoría de los casos por una indicación y exigencia de la Oficina Natural de Recursos Minerales (ONRM) de Cuba, chequeada de manera sistemática por esta institución, pero que los recursos que se acumulan

en ellas no son luego aprovechados por la industria, con el argumento principal de que son muy poco los recursos que posee para emplear recursos mineros en ella.

Esta decisión provoca que se acumulen y en varios casos se pierdan importante cantidad de recursos minerales presentes en las llamadas “piscinas de sedimentación”, que pueden ser empleados por las industrias productoras de Níquel y generar recursos financiero importantes para el país.

3.2 Resultados de los ensayos analíticos realizados

3.2.1 Características físicas

Las piscinas de sedimentación se caracterizan por poseer una humedad promedio de 32 % y una densidad de 1,32 g/cm³, característico de los minerales lateríticos de la región de Moa y Nícaro, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 1: Principales características físicas del Pasivo Ambiental “Piscinas de sedimentación”

Muestras	Humedad (%)	Densidad (g/cm ³)	Tamaño promedio de partículas (mm)	Otras características
Piscina 1 (p-1)	32,20	2,04	5	Color rojo intenso, con gran cantidad de material fino menor de 1 mm y aglomerados
Piscina 2 (p-2)	33,80	1,32	2,38	Color rojo amarillento, con mayor cantidad de material fino menor de 1 mm que la p-1
Promedio	33,8	1,68	3,69	Coloración y finura característico de minerales lateríticos cubanos

La piscina de sedimentación No, 1, se caracteriza por presentar un contenido de las fracciones mayores de 1 mm, superior al 81 %, con predominio de las clases +10 mm y -9,50 +6,3 mm, como se aprecia en la tabla 3.

Tabla 2: Composición granulométrica por vía seca, de la piscina de sedimentación No,1 del yacimiento Moa oriental.

P-1			Valores Promedio	
			Peso Inicial:	1105,77
Tamiz (mm)	Peso (g)	% Peso		
10,00	374,50	32,70		
9,50	31,83	3,22		
6,30	133,00	12,65		
5,00	84,77	7,42		
4,00	32,27	2,92		
3,15	59,67	5,71		
2,38	58,73	5,55		
1,60	66,80	5,86	Mayor de 1 mm	81,88
1,00	63,93	5,68	Menor de 1 mm	18,11
0,71	39,60	3,58		100,00
0,50	28,77	2,60		
0,25	41,37	3,74		
0,15	19,97	1,75		
0,075	24,17	2,30		
-0,075	46,40	4,33		
Total	1105,78	100,00		

Por su parte, la piscina de sedimentación No, 2, se caracteriza por presentar un contenido de las fracciones mayores de 1 mm, superior al 66,56 %, con predominio de las clases +10 mm y -0,15 +0,075 mm, como se aprecia en la tabla 3.

Tabla 3: Composición granulométrica por vía seca, de la piscina de sedimentación No,2 del yacimiento Moa oriental.

P-2			Valores Promedio	
			Peso Inicial:	1072,900
Tamiz (mm)	Peso (g)	% en Peso		
10,000	256,270	23,870		
9,500	20,500	1,920		
6,300	87,830	8,190		
5,000	65,430	6,090		
4,000	27,370	2,550		

3,150	54,030	5,030		
2,380	57,900	5,390		
1,600	72,030	6,710		
1,000	73,070	6,810	Mayor de 1 mm	66,56
0,710	44,130	4,120	Menor de 1 mm	33,44
0,500	32,030	2,990		100
0,250	50,330	4,690		
0,150	39,670	3,700		
0,075	117,730	10,980		
-0,075	74,570	6,960		
Total	1072,900	100,000		

3.2.2 Características químicas de las piscinas de sedimentación

Las piscinas de sedimentación estudiadas se caracterizan por presentar contenidos de níquel, cobalto, hierro, silicio, magnesio, aluminio, cromo y manganeso. Con una concentración de hierro 33,54 % y 25,45 % para las piscinas 1 y 2, respectivamente, siendo esta la mayor concentración dentro de la muestra y una concentración de 0,073 % y 0,106 % de cobalto como menor contenido.

Tabla 4: Composición Química promedio (%) de las Piscinas de Sedimentación estudiadas

Código	Ni	Co	Fe	Si	Mg	Al	Cr	Mn	Fe ²⁺	Fe ³⁺
P-1	0,76	0,07	44,17	7,29	1,95	4,82	1,20	0,41	1,24	42,48
P-2	0,54	0,06	33,90	16,14	6,34	4,96	1,22	0,40	1,61	32,29
Promedio	0,65	0,07	39,04	11,72	4,15	4,89	1,21	0,41	1,43	37,39

3.2.2.1 Características químicas de las piscinas de sedimentación por fracciones de tamaño

Piscina # 1

Los resultados de los análisis químicos realizados a las diferentes fracciones granulométricas obtenidas como resultado de los ensayos físicos por vía seca a la piscina de sedimentación # 1, permitieron comprobar que no existen diferencias significativas en la concentración de los principales elementos químicos estudiados y que son de interés para las empresas productoras de níquel en Moa, como se aprecia en la tabla 5.

Tabla 5: Composición química promedio (%) de la piscinas de sedimentación # 1 :

Fracciones Granulométricas (mm)	Al	SiO ₂	Cr	Fe ²⁺	Fe ³⁺	Ni	Co	Mg	Mn
-0,075	4,47	3,19	1,26	0,85	46,09	0,77	0,07	2,09	0,45
-0,15 +0,075	4,67	3,56	1,72	2,24	44,81	0,78	0,07	1,61	0,45
-0,25 +0,15	4,58	4,94	1,25	0,96	45,20	0,77	0,06	1,32	0,38
-0,50 +0,25	4,59	4,88	1,24	1,39	47,72	0,82	0,06	1,18	0,42
-0,71 +0,50	4,55	4,92	1,27	2,27	44,63	0,77	0,06	1,38	0,39
-1 +0,71	4,64	4,86	1,33	0,54	48,54	0,73	0,06	1,43	0,42
-1,60 +1	7,83	41,46	0,35	2,43	5,53	0,69	0,19	9,11	0,51
-2,38 +1,60	4,59	5,21	1,23	0,54	47,66	0,82	0,06	1,43	0,411
-3,15 +2,38	4,67	5,32	1,16	1,16	34,45	0,56	0,04	0,93	0,31
-4 +3,15	4,56	4,76	1,17	1,23	45,41	0,79	0,05	1,04	0,38
-5 +4	4,55	4,72	1,24	0,73	48,12	0,79	0,05	2,91	0,40
-6,3 +5	4,54	4,69	1,14	0,42	47,99	0,82	0,05	0,93	0,40
-9,5 +6,3	4,46	4,75	1,14	1,66	40,54	0,80	0,05	1,01	0,41
-10 +9,5	4,73	4,80	1,35	0,89	47,99	0,79	0,05	0,99	0,42

El gráfico 1 muestra las características químicas por fracciones de tamaño de la piscina 1, donde se observa que en la fracción -1,60 + 1 el contenido de silicio es de 41,46 %, el magnesio tiene un 9,11 % y el aluminio 7,83 %. En esa misma fracción es donde menor contenido de Fe³⁺ hay con un contenido de 5,53 %.

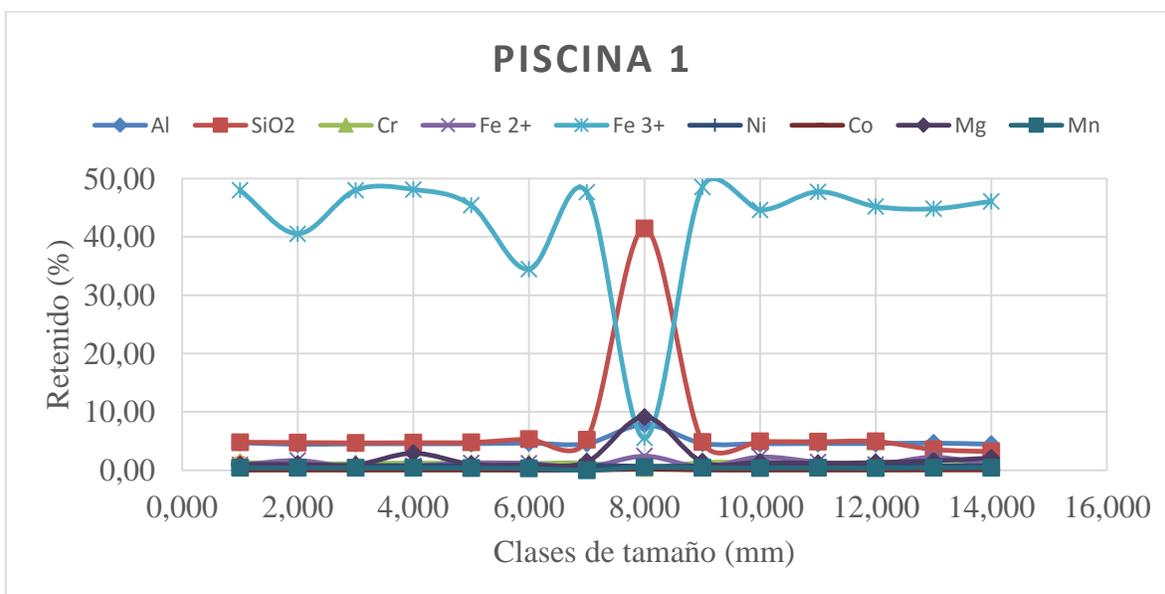


Gráfico 1: Composición química por fracciones de tamaño de la piscina 1

En el gráfico 2 se muestra la comparación entre las composiciones del níquel y el cobalto permitiendo observar que ambas se encuentran concentradas mayoritariamente en las fracciones finas por debajo de 1 mm.

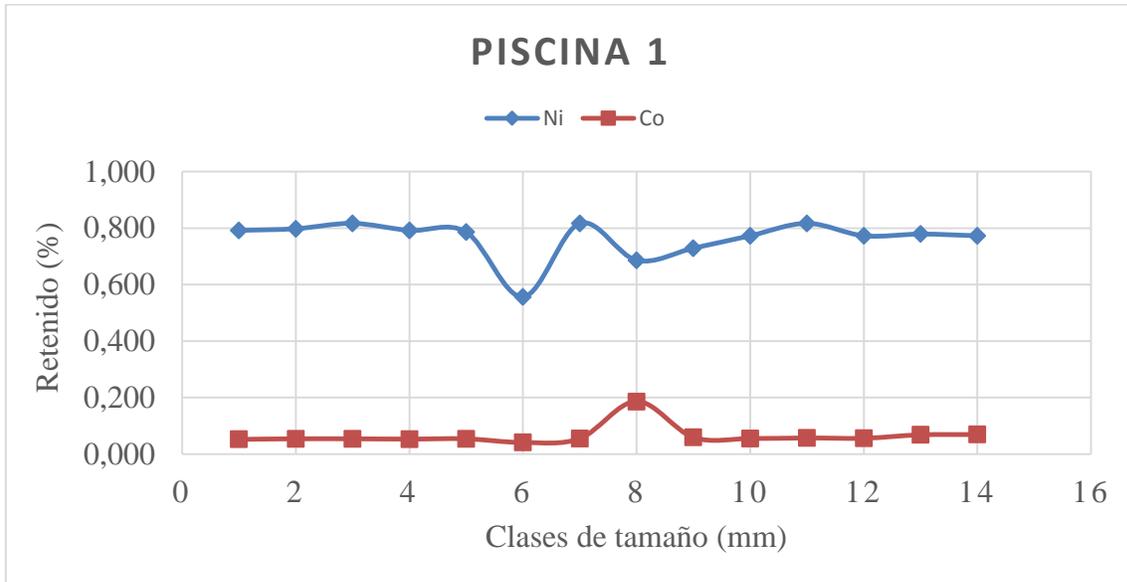


Gráfico 2: Composición química del Ni y el Co en la piscina 1

El gráfico 3 muestra la concentración del aluminio, el silicio y el magnesio mostrándose que en la fracción de tamaño -1,60 +1,00 se encuentran concentrada la mayor cantidad de estos elementos.

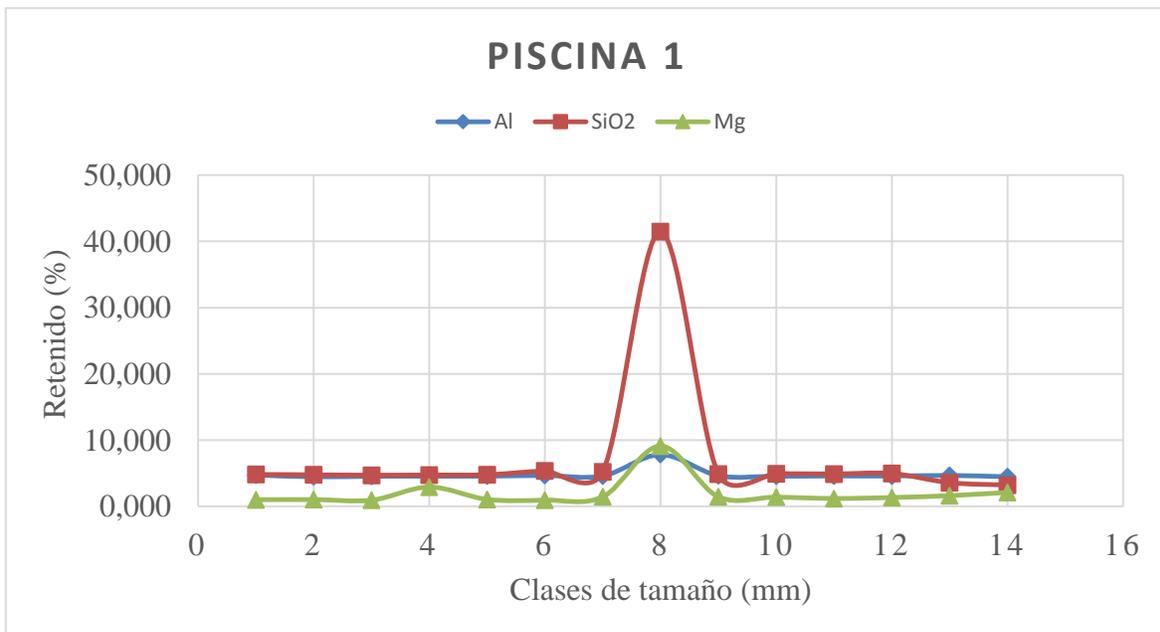


Gráfico 3: Composición química del Al, SiO2 y el Mg en la piscina 1

El gráfico 4 por su parte muestra las concentraciones del cromo y manganeso con comportamientos en general distintos ya que tienen su menor concentración dentro de las fracciones gruesas específicamente en las fracciones de $-2,38+1,60$ para el manganeso y la de $-1,60+1,00$ para el cromo. Por otra parte, el manganeso tiene un comportamiento estable en el resto de las fracciones mientras que el cromo tiene su pico más alto dentro de las fracciones finas ($-0,15+0,075$).

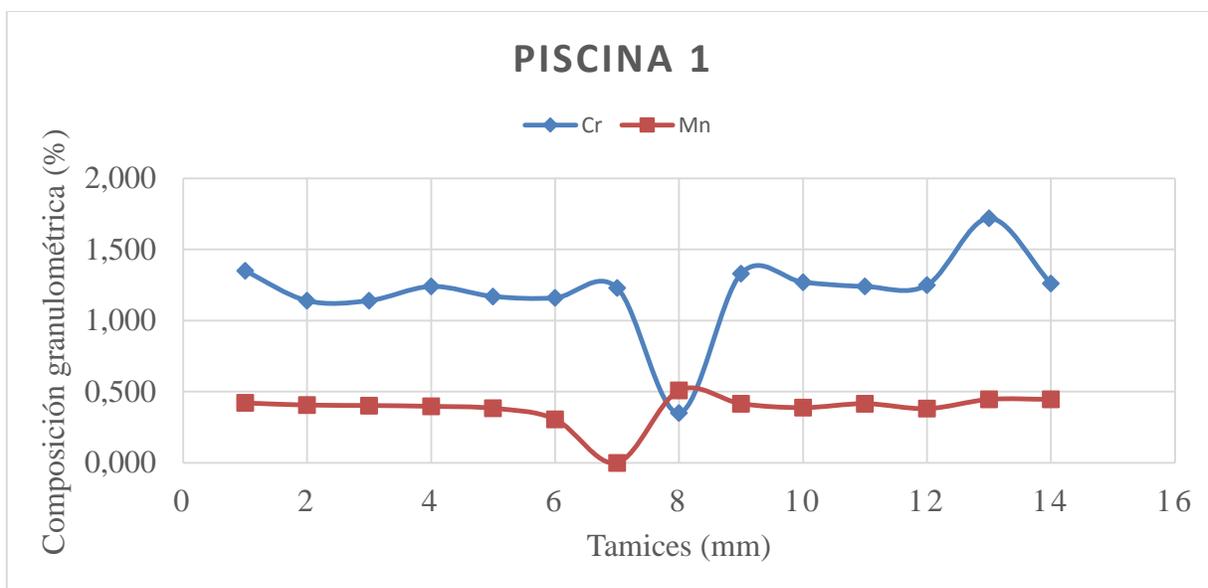


Gráfico 4: Composición química del Cr y el Mn en la piscina 1

Piscina # 2

La piscina de sedimentación # 2, posee también apreciables contenidos de hierro y cromo como elementos más significativos, lo cual está en correspondencia con los análisis químicos y mineralógicos realizados a las muestras compósito analizadas. A continuación, se muestran los resultados de los análisis químicos por fracciones granulométricas estudiadas.

Tabla 6: Composición química promedio (%) de la piscina de sedimentación # 2

Fracciones Granulométricas (mm)	Al	SiO ₂	Cr	Fe ₂₊	Fe ₃₊	Ni	Co	Mg	Mn
-0,075	4,50	20,16	1,00	2,97	25,69	0,51	0,08	7,30	0,47
-0,15 +0,075	4,67	16,22	1,43	1,46	31,09	0,50	0,06	5,23	0,41
-0,25 +0,15	4,80	15,51	1,16	0,85	33,33	0,53	0,09	9,36	0,54
-0,50 +0,25	4,81	13,40	1,25	1,08	35,10	0,55	0,08	6,61	0,46
-0,71 +0,50	4,83	13,50	1,26	1,46	35,44	0,51	0,06	6,05	0,41
-1 +0,71	4,86	12,60	1,32	0,85	37,29	0,52	0,06	5,80	0,37

-1,60 +1	7,10	45,42	0,30	2,77	4,43	0,56	0,05	5,26	0,37
-2,38 +1,60	4,81	13,11	1,27	1,70	35,46	0,56	0,10	10,30	0,33
-3,15 +2,38	4,91	13,49	1,22	1,31	35,95	0,59	0,06	5,60	0,37
-4 +3,15	4,78	12,48	1,29	0,96	37,80	0,57	0,05	5,65	0,36
-5 +4	4,77	12,09	1,29	1,54	36,78	0,55	0,05	5,36	0,37
-6,3 +5	4,92	12,78	1,29	2,42	35,48	0,54	0,05	5,10	0,37
-9,5 +6,3	4,76	12,93	1,35				0,05	4,81	0,35
-10 +9,5	4,93	12,24	1,67	1,54	35,93	0,54			

En la piscina 2 la fracción -1,60 + 1 contiene un 45,42 % de silicio y 7,10 % de aluminio. En la misma fracción es donde menor contenido de Fe³⁺ hay con una concentración de 4,43 %.

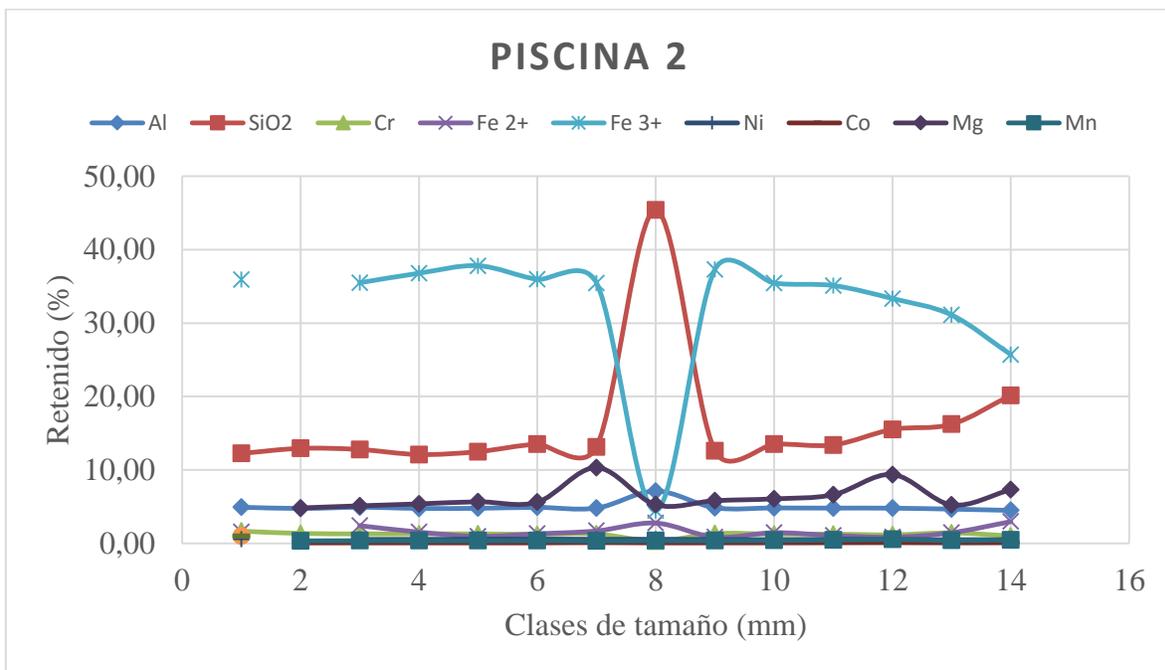


Gráfico 5: Composición química por fracciones de tamaño de la piscina 2

El gráfico 6 contiene la composición del níquel y el cobalto para la piscina #2 demostrando un comportamiento estable dentro de las fracciones de tamaño para este caso variando de forma mínima en las fracciones finas.

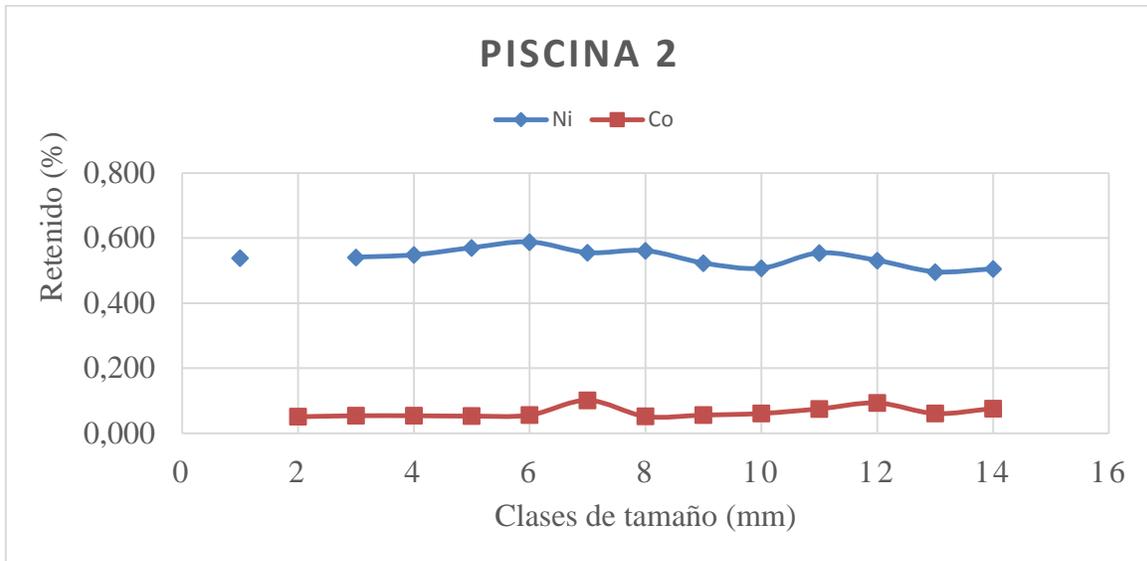


Gráfico 6: Composición química del Ni y el Co en la piscina 2

En el caso del gráfico 7 donde se encuentran las concentraciones de aluminio, silicio y magnesio se observa un comportamiento similar para el aluminio y el silicio ya que tienen su mayor concentración en la misma fracción de tamaño (-1,60+1,00) y el magnesio tiene mayor concentración en los tamices -2,38+1,60 y -0,25+0,15.

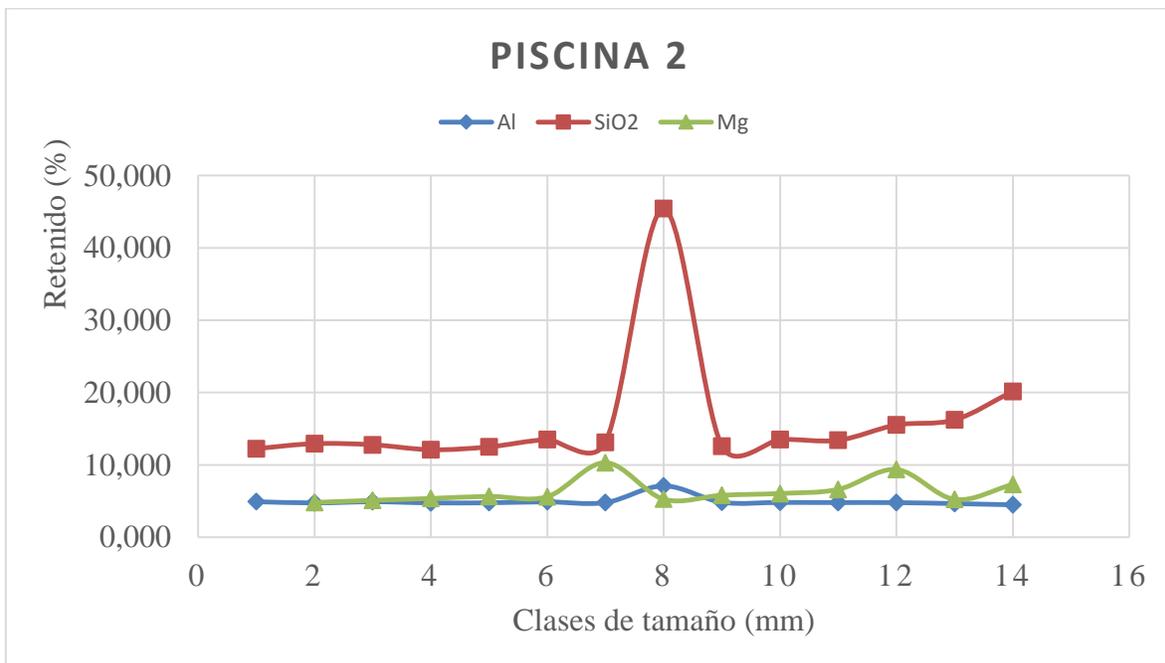


Gráfico 7: Composición química del Al, SiO₂ y el Mg en la piscina 2

El gráfico 8 muestra la composición del cromo y el manganeso observando las diferencias entre ambas. El manganeso tiene un comportamiento estable durante todas las fracciones

variando de forma mínima dentro de las fracciones finas. El cromo por otro lado tiene grandes variaciones ejemplo de ello es la fracción $-1,60+1,00$ donde se encuentra su menor concentración y $-10+9,50$ y $-0,15+0,075$ donde presenta sus mayores concentraciones.

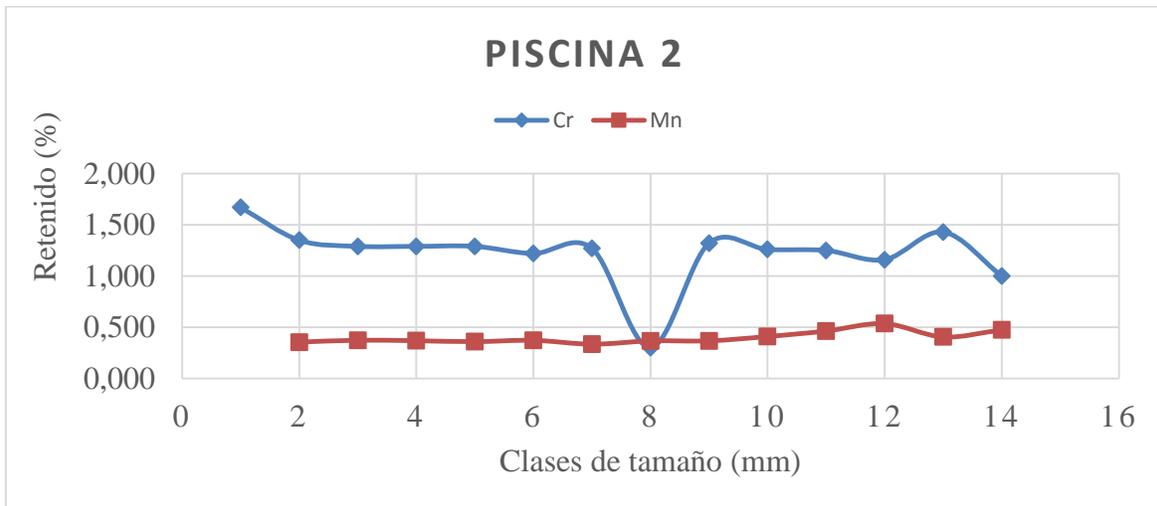


Gráfico 8: Composición química del Cr y el Mn en la piscina 2

3.2.3 Características mineralógicas de las piscinas de sedimentación del yacimiento Moa Oriental

Mineralógicamente las piscinas de sedimentación se caracterizan por la presencia de minerales de hierro y de serpentina, lo que coincide con los resultados de los análisis químicos, comprobándose, además, que los contenidos de Níquel, Hierro y Cobalto, son posibles de recuperar si se decide la alimentación futura de estos residuales a la planta productora.

En el difractograma realizado a muestras compo sito se esté residual, se pueden apreciar las principales fases mineralógicas detectadas.

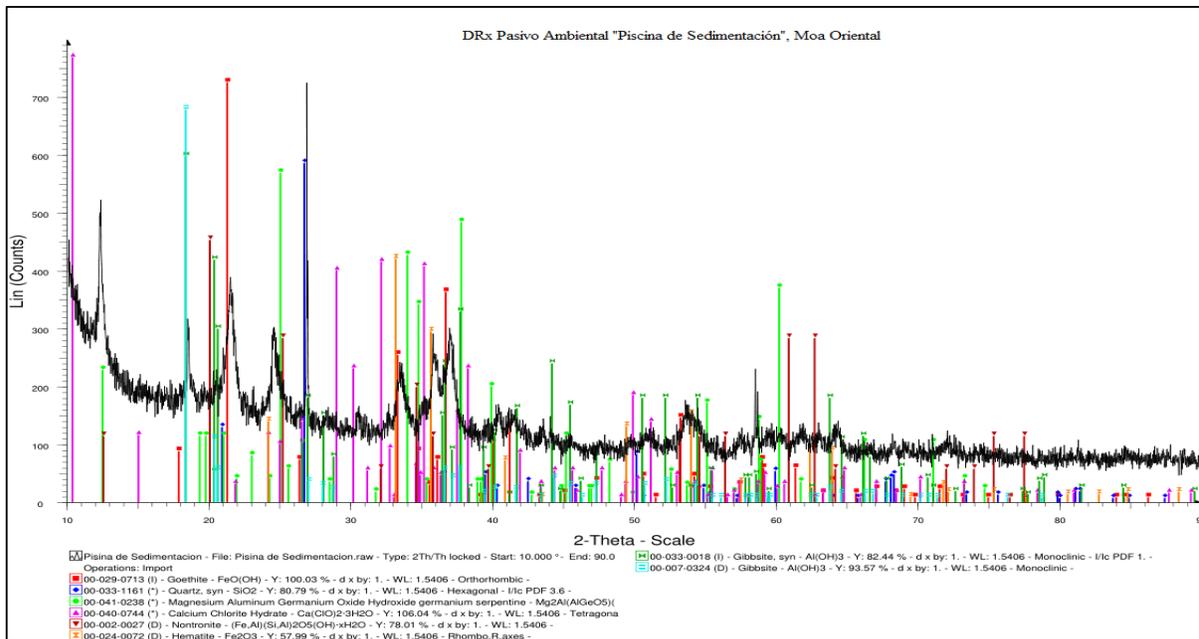


Gráfico 9: Difractograma de las piscinas de sedimentación del yacimiento Moa oriental, Como se observa en el difractograma anterior, las fases mineralógicas presentes en la muestra compósito realizada para las piscinas de sedimentación 1 y 2, son: goethita (■) [FeO(OH)], nontronita (▼) [(Fe,Al)(Si,Al)₂O₅(OH)(H₂O)], serpentina (■) [(SiO₂)(MgO)(H₂O)], clorito de calcio (▲) [Ca(ClO)₂], hematita (■) [(Fe₂O₃)] y gibbsita (■) [Al(OH)₃].

3.1 Posibilidades del uso sostenible de los PAMMs estudiados

El pasivo ambiental estudiado, “piscinas de sedimentación” han sido creadas por el propio hombre, pero sin un estudio profundo sobre sus características físicas, químicas y mineralógicas; lo que limita la toma de decisiones sobre sus posibles usos industriales.

Estas piscinas de sedimentación han sido conformadas de diferentes formas en las zonas mineras, como medida ambiental, exigida y controlada por la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM), pero sin proyecciones de utilización de los recursos minerales que se benefician y concentran, de manera natural en ellas. La caracterización realizada arroja que la piscina 1 por su alto contenido de hierro puede ser utilizado en procesos siderúrgicos que requieran materia prima de este tipo y como pigmento para obtener una coloración donde el rojo predomine. Por otra parte, ambas piscinas pueden ser utilizadas como material de construcción específicamente en su utilización para morteros, bloques de hormigón,

pavimentos, balastro u otros materiales, teniendo en cuenta la presencia de minerales de serpentina, que la industria actualmente considera como rechazos.

3.2 Conclusiones del capítulo 3

- Desde el punto de vista químico las piscinas de sedimentación se caracterizan por la presencia de níquel, cobalto, hierro, silicio, magnesio, aluminio, cromo y manganeso, De forma específica en las fracciones de tamaño de $-1,60 +1$ se encuentra la mayor concentración de silicio y aluminio de toda la muestra.
- Las piscinas poseen diferencias granulométricas significativas, ya que la # 1 se caracteriza por presentar mayor cantidad de material grueso que la # 2, lo cual puede ser empleado como un proceso natural de concentración y separación de tamaños.
- Las principales fases mineralógicas que caracterizan a las piscinas estudiadas, son: Goethita, Gibbsita y minerales de serpentina, lo cual está en correspondencia con los resultados de los análisis químicos realizados.

CONCLUSIONES GENERALES

El Pasivo Ambiental Minero “piscinas de sedimentación” del yacimiento de Moa Oriental de la Empresa Pedro Sotro Alba contiene como elementos mayoritarios el hierro y el silicio con 39,04 y 11,72 % respectivamente, aunque también se puede encontrar en él níquel (0,65%), cobalto (0,07%), magnesio (4,15%), manganeso (0,41%), cromo (1,21%) y aluminio (4,89%) que forman fases mineralógicas como la gibbsita, goethita y la serpentina. A partir de la granulometría en el mineral se puede definir que en la piscina 1 hay mayor cantidad de partículas gruesas concentrándose en ambas la mayor parte del silicio y aluminio en la fracción -1,36 +1. La caracterización permite definir que la piscina 1 por su alto contenido de hierro puede ser utilizada en procesos siderúrgicos que requieran materia prima de este tipo y como pigmento para obtener una coloración donde el rojo predomine. Por otra parte, ambas piscinas pueden ser utilizadas como material de construcción específicamente en su utilización para morteros, bloques de hormigón, pavimentos, balastro u otros materiales, teniendo en cuenta la presencia de minerales de serpentina, que la industria actualmente considera como rechazos.

RECOMENDACIONES

1. Completar la caracterización granulométrica por vía húmeda, que permita ampliar las informaciones sobre las fracciones finas y la concentración de elementos valiosos en ellas.
2. Evaluar el comportamiento térmico de este pasivo ambiental, a partir de la realización de los análisis térmicos en el Centro de Investigación para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM).

BIBLIOGRAFÍA

- Abreu Cutiño, Elaine. 2015.** Moa : Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2015.
- Arranz González, Julio César y Alberruche del Campo, Esther. 2007.** *Minería, Medio Ambiente y Gestión del Territorio.* Madrid : Red DESIR (Desarrollo Sostenible – Ingeniería – Recursos Minerales), 2007.
- Asociación de servicio de Geología y Minerías Iberoamericanas. 2010.** *Pasivos Ambientales Mineros.* Chile : Sociedad Geología y Minerías de Iberoamerica, 2010.
- . **2010.** *Pasivos Ambientales Mineros.* Chile : Sociedad Geología y Minerías de Iberoamerica, 2010.
- Castillo Alejo, Efraín Eugenio. 2008.** *Análisis de la influencia del proceso metalúrgico y el contacto geológico en el riesgo ambiental de los residuos mineros de la Sierra Minera de Cartagena- La Unión España.* Lima, Perú : Universidad Nacional de Ingeniería, 2008.
- Cedron Lassús, Mario Fernando. 2013.** *Elaboración de Criterios para la Transformación de Pasivos Mineros en Activos Socio-Ambientales Sostenibles.* Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 2013.
- Energía, Sociedad Nacional de Minería Petróleo y. 2004.** *Informe quincenal de la snmpe.* Peru : s.n., 2004.
- Ferreiro Guerrero, Yosvany. 2014.** *Obtención de Lupias de Arrabio a partir del tratamiento metalúrgico de las Colas de Nicaro.* Moa : Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2014.
- Ganesh Persaud, Anthony. 2014.** *Metodología para el inventario de los Pasivos ambientales Mineros-Metalurgicos, generados por las industrias del Níquel en Moa.* Moa : s.n., 2014. pág. 8.
- González, Adriana. 2008.** *Diseño de Metodología para la Identificación de Pasivos Ambientales en Colombia.* Medellín : Universidad Nacional de Colombia, 2008.
- Hechavarría Tamayo, Naydelin. 2016.** *Evaluación técnico-económica del mineral de las colas rojas de Moa para su comercialización con fines siderúrgicos.* Moa : Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa, 2016.
- Herrera Casas, Serguey Salvador. 2018.** *Caracterización del rechazo de la planta de preparación mineral del yacimiento Moa Oriental, para su posible uso industrial.* Moa : Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa "Dr. Antonio Nuñez Jimenez", 2018.

- M. Bustamante Sánchez; G. Samalea Martínez. 2007.** *Estudio de la separación del Fe(III) de las disoluciones ácidas de la lixiviación de las colas de Nicaro con los ácidos sulfúricos y clorhídrico.* Habana : Revista Cubana de Química, 2007.
- Ministerio de Energía y Minas Dirección General de Minería. 2006.** *Inventario de Pasivos Ambientales Mineros.* Lima : Dirección General de Minería, 2006.
- Ministerio de Minas y energía. 2015.** *Glosario Técnico Minero.* Bogota : Ministerio de Minas y energía, 2015.
- Moncaleano, Ingrid Paola, Rivera, Omar Alejandro y Giraldo, Ivonne. 2013.** *Diseño de Botaderos y Piscinas de sedimentación.* Bogota : Universidad de Santander, 2013.
- Moncaleano, Ingrid, Rivera, Omar Alejandro y Giraldo, Ivonne. 2013.** *Diseño de Botaderos y Piscinas de sedimentación.* Bogota : Universidad de Santander, 2013.
- Navarro Breffe, Yaimaris. 2017.** *Evaluaciones de las principales características físicas - químicas del pasivo ambiental "colas rojas" para su posible uso industrial.* Moa : Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2017.
- Oblasser, Angela y Chaparro Avila, Eduardo. 2008.** *Estudio comparativo de la gestión de los pasivos ambientales mineros en Bolivia, Chile, Perú y Estados Unidos.* Santiago de Chile : s.n., 05 de 2008, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, págs. 10-20.
- Ortiz Bárcenas. 2015.** *Obtención de un producto Prereducido para la Producción de Arrabio con Níquel (Nickel Pig Iron) a partir del Tratamiento de los Escombros Lateríticos de Mina Martí de Nicaro.* Moa : Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2015. pág. 94.
- Palacios Rodríguez, A y Garcia Peña, E. 2013.** *Extracción de cobalto por lixiviación de los escombros lateríticos en tinajas de percolación.* Moa : Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2013.
- Ramírez Matos, Yoennis. 2001.** *Caracterización del gabra normal de la zona Amores, en Moa.* Moa : Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2001.
- Ramírez Pérez, M. 2010.** *Utilización de los escombros lateríticos de la zona A, yacimiento Moa Occidental en el proceso de descarbonización del acero ACI HR-40.* Moa : ISMM, 2010. Tesis Doctoral.
- Ramírez Pérez, María Caridad. 2010.** *Utilización de los escombros lateríticos de zona A, yacimiento Moa Occidental en el proceso de descarbonización del acero ACI HK-40.* Moa : Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2010.

Ríos Azahares, Yamila. 2015. *Evaluacion ambiental de los Pasivos Ambientales Mineros de la mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.* Moa : Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa, 2015.

Sociedad Nacional de Energía, Minería y Petróleo. 2004. *Informe quincenal de la SNMPE.* Peru : Ministerio de Energía, Minería y petróleo, 2004.

Taype, Silvia Catalina Huaraca. 2018. *Caracterización físico-química y térmica de los escombros lateríticos para su posible uso industrial.* Moa : Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa, 2018.

Tecnológica, Centro de Información y Gestión. 2013.*Evaluación de impactos ambientales provocados por la actividad minera en la localidad de Santa Lucía, Pinar del Río.* 1, Pinar del Río : Revista Científica "Avances", 2013, Vol. 15.

ANEXOS

Anexo 1: Sesión fotográfica de la toma de muestras



Anexo 2: Aval elaborado por la Empresa Pedro Sotto Alba



FECHA: 13 de febrero de 2019

Documento: CARTA EXTERNA

Proyecto: DM

Clase: 4

File N°: DM MN_009/19

A circular por: correo-e

Distribución:

A: Dr.C. Eulicer Fernández Maresma
Decano Facultad Metalúrgia-Elec.
ISMM

DE: Arisbel Álvarez Ortiz
Subdirector Mina
Moa Nickel S.A.

ASUNTO: Aval.

Estimado Eulicer

La Empresa mixta Moanickel S.A, cuenta con varias piscinas de sedimentación, que constituyen medidas de protección de los recursos minerales, que se construyen y almacenan en áreas de la Minería de la empresa, sin una utilización adecuada, representando un Pasivo Ambiental Minero, que con el estudio realizado por la estudiante Lianet Lobaina Pineda, a través del trabajo: "Caracterización del pasivo ambiental "Piscina de sedimentación" del yacimiento Moa Oriental, Empresa Pedro Sotto Alba", ha sido posible conocer las principales características de estos residuales, con grandes posibilidades de ser empleado en la industria, para el aprovechamiento de sus principales elementos químicos, lo cual representa un gran efecto económico para el país y la posibilidad de generalizar el uso de estas piscinas en toda la industria cubana de níquel.

Por estas razones avalamos positivamente, los resultados de este trabajo investigativo.

Saludos,

Arisbel Álvarez Ortiz

Subdirector Mina

