



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

Evaluación de las principales características físico – químicas del pasivo ambiental “colas viejas” para su posible uso industrial.

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

Autora: Yaimaris Navarro Breffe

**Moa
2017**





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

**Evaluación de las principales características físico
– químicas del pasivo ambiental “colas viejas”
para su posible uso industrial.**

*Tesis presentada en opción al título del Ingeniero en Metalurgia y
Materiales.*

Autor: Yaimaris Navarro Breffe

Firma:

Tutores: Dr.C María Caridad Ramírez Pérez

Firma:

Dr.C José Alberto Pons Herrera

Firma:

**Moa
2017**

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Yaimaris Navarro Breffe autora del Trabajo de Diploma Evaluación de las principales características físico – químicas del pasivo ambiental “colas rojas” para su posible uso industrial declaro la propiedad intelectual al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr “Antonio Núñez Jiménez” para que disponga del uso cuando considere necesario.

Autora: Yaimaris Navarro Breffe

Firma.....

Tutores: Dr.C María Caridad Ramírez Pérez

Firma:

Dr.C José Alberto Pons Herrera

Firma:

Pensamiento



“El futuro de Cuba tiene que ser necesariamente un futuro de hombres, de pensamiento.”

Fidel Castro Ruz.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de diploma a la memoria de mi madre, Damaris Breffe Terrero, que a pesar de no estar a mi lado, fue la razón de mi existencia.

A mi mayor tesoro, mi hija Helen Salette Pupo Navarro, por el amor que me regala todos los días, por su ayuda y comprensión en todo este tiempo que he dejado de atenderla.

A mi adorable esposo, Brannis Matías Reynosa González, por el apoyo que me brindó durante la culminación de este Trabajo de Diploma.

A las personas que contribuyeron en mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

También quisiera expresar mi reconocimiento y mi gratitud a las siguientes personas por su extraordinario apoyo, contribución y ayuda para lograr este gran propósito:

A todas aquellas personas que hicieron posible la realización y culminación exitosa del Trabajo de Diploma.

A mis tíos (as) por sus consejos de terminar mis estudios y formarme para las nuevas exigencias de la vida profesional.

A los Tutores Dr.C. María Caridad Ramírez Pérez, Dr.C. Beatriz Ramírez Serrano y Dr.C. José Alberto Pons Herrera, por su orientación, cooperación y preocupación en la realización de este Trabajo de Diploma.

A mi esposo Brannis Matías Reynosa González, por su ayuda en los momentos difíciles.

A mis queridos abuelos, por darme el apoyo incondicional en el momento que los necesité.

A todos los profesores del Departamento de Metalurgia por su aporte en la formación técnica profesional.

A mi familia, por todo el apoyo ofrecido. Gracias por recordarme que aquel que persevera triunfa y que los sueños no son inalcanzables.

A todos mis amigos por sus inestimables contribuciones.

A mi compañera Yadisleydis, por inspirarme siempre a seguir hacia adelante.

Agradezco a todos los que confiaron en mí.

A todos, Muchas gracias.

RESUMEN

La Empresa Pedro Soto Alba Moanickel S.A de Moa, ha generado importantes volúmenes de residuos sólidos (colas rojas), que son depositados en diques construidos para estos fines, denominados presas de colas. El depósito más antiguo de estos tipos de pasivos ambientales de la región de Moa, lo constituye la llamada Presa vieja de colas, la cual es el objeto de esta investigación, que tiene como objetivo principal determinar las características Físico – Químicas del pasivo ambiental Presa de Colas Viejas de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba, Moanickel S.A” de Moa, para ampliar el conocimiento sobre este tipo de depósito. En el trabajo se realiza la mencionada caracterización y se comparan los resultados obtenidos con otros depósitos de colas existentes en la región de Nicaro y Moa. Se comprueba la abundancia de minerales de hierro, cromo, aluminio y vanadio en estos desechos sólidos, y se analizan las posibles variantes para la utilización de esta materia prima de gran valor industrial para nuestro país. Los métodos utilizados fueron Espectrofotometría de Absorción Atómica, Volumetría, Gravimetría y Difracción de Rayos X. Los resultados de esta investigación permitirán evaluar variantes técnico económicas para el tratamiento, uso y manejo de estos pasivos, con el fin de disminuir el impacto negativo sobre el medio ambiente y lograr su revalorización a través de la extracción de metales valiosos contenidos en ellos.

Palabras Clave: Pasivos Ambientales, Colas viejas, Características, físico-químicas, mineralógicas.

ABSTRACT

The Company Pedro Soto Alba Moanickel S.A de Moa has generated large volumes of solid waste (red tails), which are deposited in dams built for these purposes, called tailing dams. The oldest deposit of these types of environmental liabilities in the Moa region is the so - called old tailings dam, which is the object of this research, which main objective is to determine the physical - chemical characteristics of the environmental liabilities old tailings of the Company "Commander Pedro Soto Alba, Moanickel SA" of Moa, in orden to expand the knowledge about this type of deposit. In this paper the mentioned characterization is made and the results obtained are compared with other deposits of existing in the region of Nicaro and Moa. The availability of iron, chromium, aluminum and vanadium minerals in these solid wastes is checked, and possible variants are analyzed for the use of this raw material of great industrial value for our country. The methods used were Atomic Absorption Spectrophotometry, Volumetry, Gravimetry and X-Ray Diffraction. The results of this research will allow the evaluation of technical alternatives for the treatment, use and management of these liabilities, in order to reduce the negative impact on the environment and achieve its revaluation through the extraction of valuable metals contained in them.

Key words: Environmental liabilities, old glues, characteristics, physico-chemical, mineralogical.

Índice de Contenido

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	7
1.1 Aspectos teóricos	7
1.2 Trabajos precedentes relacionados con la temática.....	8
1.3 Características Geográficas y Económicas de las Colas Viejas de la Empresa Pedro Soto Alba, Moanickel S.A de Moa.....	11
1.3.1 Relieve	11
1.3.2 Condiciones climáticas.....	12
1.3.3 Acumulación de agua en la Presa de Colas Viejas de la Empresa PSA de Moa.	13
1.3.4 Características Geológicas del depósito de colas viejas de la PSA de Moa. 15	
1.4 Geología del depósito de colas viejas de la PSA.	16
1.4.1 Principales rocas que componen el depósito de colas.....	16
1.4.2 Características cualitativas y tecnológicas de los minerales útiles y de las rocas encajantes.....	17
1.4.3 Características físicas, químicas y mineralógicas de las Colas viejas de la Empresa Pedro Soto Alba, según informe geológico de 1983.....	17
1.4.4 Extracto de las pruebas de beneficio realizadas al pasivo ambiental, colas viejas de la Planta Comandante Pedro Soto Alba de Moa.....	20
1.4.5 Características generales de las Colas Viejas y principales dificultades para su utilización.....	20
1.5 Conclusiones del Capítulo I.....	22
CAPITULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	23

2.1 Selección y preparación de la muestras	23
2.2 Técnicas analíticas y experimentales utilizadas.	28
2.2.1 Análisis Químico.....	28
2.2.2 Análisis Mineralógico.....	30
2.2.3 Análisis Granulométrico.	30
2.3 Otros equipos utilizados en la investigación.....	34
2.4 Conclusiones del Capítulo 2.....	35
CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
3.1 Análisis de la caracterización de las colas viejas.	36
3.1.1 Resultados de la caracterización granulométrica de las colas viejas de la PSA. 36	
3.1.2 Resultados de la caracterización química de las colas viejas de la PSA. 38	
3.1.3 Resultados de la caracterización mineralógica de las colas viejas de la PSA. 43	
3.2 Comparación de las características químicas de las colas rojas (viejas) de la Empresa Pedro Soto Alba en Moa, con otras presas de colas existentes en la industria de Níquel en Cuba.	46
3.3 Posibles usos del pasivo ambiental colas viejas de la PSA de Moa.....	50
3.3.1 Posibles usos del pasivo colas viejas de la Empresa PSA de Moa.	51
3.4 Conclusiones del Capítulo 3.....	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
CONCLUSIONES	53
RECOMENDACIONES.....	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
ANEXOS	57

Anexo I. Secuencia fotográfica de la Presa de Colas Vieja de la Empresa PSA de Moa.....57

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales propiedades físicas de las Colas Viejas de la Empresa PSA de Moa.....	17
Tabla 2. Composición química promedio de las Colas Viejas, de acuerdo al análisis de muestras compósito del yacimiento, según informe de Geología Santiago, 1983.	18
Tabla 3. Composición química promedio de las muestras básicas (compósitos) de la presa de colas de la Empresa Pedro Soto de Moa, según informe Geología Santiago, 1983.....	19
Tabla 4. Composición mineralógica promedio de muestras individuales de las colas viejas de la Empresa Pedro Soto Alba de Moa.....	19
Tabla 5. Composición granulométrica de las colas viejas realizada en los tamices.	37
Tabla 6. Resultados de los análisis químicos y granulométricos realizados.	39
Tabla 7. Resultados de los análisis mineralógicos realizados.....	44
Tabla 8. Características químicas del pasivo ambiental “Colas” de la industria de Níquel en Nicaro y Moa.....	48

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aspectos el relieve de la Presa de Colas Vieja de la Empresa Pedro Soto Alba de Moa.	12
Figura 2. Presencia de agua en la Presa de Colas Vieja de la Empresa Pedro Soto Alba Moanickel S.A de Moa.	13
Figura 3. Sistema de evacuación del agua contenida en la Presa de Colas Vieja de la Empresa Pedro Soto Alba Moanickel S.A de Moa.	14
Figura 4. Presencia de abundante agua y vegetación en la porción oeste y norte de la Presa de Colas Vieja de la Empresa Pedro Soto Alba Moanickel S.A de Moa.	15
Figura 5. Presencia predominante de aglomerados y perdigones en el material de la Presa de Colas Vieja de la Empresa Pedro Soto Alba Moanickel S.A de Moa. ...	24
Figura 6. Esquema de trabajo empleado en la investigación.	25
Figura 7. Esquema de homogeneización y cuarteo empleado en el proceso de preparación de las muestras de investigación.	26
Figura 8. Esquema ilustrado del método del cono y el anillo empleado en la preparación de las muestras de investigación.	27
Figura 9. Equipo de Espectroscopía de Absorción Atómica utilizado.	29
Figura 10. Juego de tamices utilizados en el análisis granulométrico.	31
Figura 11. Diagrama de flujo empleado durante el desarrollo del análisis granulométrico.	33
Figura 12 Balanza utilizada para el pesaje de las muestras.	34

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Representación de los resultados del análisis granulométrico de las colas viejas.....	38
Gráfico 2. Comportamiento del contenido de Hierro, Aluminio y las PPI en las colas viejas de Moa.	40
Gráfico 3. Comportamiento del contenido de Cromo, Silicio y Manganeso en las colas viejas de Moa.....	42
Gráfico 4. Comportamiento del contenido de Níquel, Cobalto, Vanadio y Azufre en las colas viejas de Moa.	43
Gráfico 5. Difractograma representativo de una muestra de colas determinada del yacimiento de la Presa de Cola Vieja de la PSA de Moa.....	45
Gráfico 6. Difractograma de la fracción -10 + 8 mm de las colas viejas de la PSA de Moa.....	46
Gráfico 7. Comportamiento del contenido de Hierro, Aluminio y Cuarzo en diferentes colas de la industria del Níquel en Nicaro y Moa.....	49

INDICE DE ANEXOS

Anexo I. Secuencia fotográfica de la Presa de Colas Vieja de la Empresa PSA de Moa.....	57
---	----

INTRODUCCIÓN

La Minería es una de las actividades más antiguas de la humanidad, ya que todos los materiales de la sociedad moderna han sido obtenidos mediante la Minería, o necesitan productos mineros para su fabricación; en este sentido su propio desarrollo ha propiciado el avance tecnológico y social de la humanidad, facilitándole al hombre varias tareas que en otros tiempos resultarían casi imposibles de realizar.

La actividad Minera afecta inevitablemente los ecosistemas donde se desarrolla el laboreo, y por ende, al medio ambiente. Así es conocido que desde “hace más seis décadas los científicos han advertido sobre las consecuencias negativas de esta situación y se han aplicado medidas de protección ambiental a las empresas Mineras y productoras para disminuir dichos impactos”, (Cutíño, 2015, pág. 15) .

La generación de colas de la industria del níquel cubana, comenzó con la puesta en marcha en 1943 de la Empresa "Comandante René Ramos Latour" de Nicaro, seguida en 1959 con el inicio de la empresa "Comandante Pedro Soto Alba" (Moanickel S.A), y posteriormente en 1986 con la arrancada de la Empresa "Comandante Ernesto Che Guevara "(ECG) de Punta Gorda. Estos residuales metalúrgicos constituyen una importante materia prima para la futura obtención de importantes elementos valiosos contenidos en ellas, cuyos volúmenes se incrementan en la medida que aumenta la producción de Níquel en las empresas productoras.

Las Colas Viejas de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba Moanickel S.A” de Moa, constituyen un pasivo ambiental, reconocido internacionalmente por diferentes autores como Arranz J y E. Alberruche, (2003) que plantean que:

Los Pasivos Ambientales Mineros son 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.

Las colas de los procesos de producción de Níquel, constituyen por tanto un pasivo ambiental y un problema ecológico, siendo objeto de investigaciones para la evaluación de alternativas para su tratamiento, disposición y manejo, con el fin de disminuir el impacto negativo sobre el medio ambiente y lograr su revalorización, las mismas son consideradas un mineral de baja ley y es de interés la extracción de metales valiosos como el níquel y el cobalto que ellas contienen. Algunos estudios se han orientado “al procesamiento de las colas de la tecnología ácida a presión para la extracción de elementos metálicos contenidos en ellas, pero hasta ahora, no existe una tecnología para la extracción de un elemento en específico”, (Fonseca, 2015, pág. 23).

Existen trabajos encaminados a la utilización de los pasivos ambientales, reconoce que “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”, (ASGMI, 2008), lo que conduce a la necesidad cada vez mayor de utilizar los pasivos ambientales Minero Metalúrgicos, como es el caso de las Presa de Colas Vieja de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba, Moanickel S.A” de Moa.

Por otro lado en algunos países se han implementado leyes que regulan, controlan y sancionan a las entidades o personas que impactan el medio

ambiente con el uso indiscriminado o la no utilización correcta de los pasivos ambientales, como el caso de Perú, que implementó “la ley N° 28271, que regula los pasivos ambientales de la actividad minera”, (Ministerio de Medio Ambiente, 2008). Esta misma ley define en su artículo 2, a los pasivos ambientales como:

Son considerados pasivos ambientales aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonada o inactiva y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad, (pág. 1).

El municipio de Moa posee una estructura económica centrada, principalmente, en la Minería no ferrosa, aunque en este se localizan importantes yacimientos de minerales lateríticos con altos contenidos de hierro, níquel, cobalto y otros minerales, que pueden garantizar un vertiginoso desarrollo económico y social, convirtiéndola en una importante localidad industrial.

La ventaja principal consiste en que los minerales yacen próximos a la superficie y pueden explotarse en minas a cielo abierto, con un costo de producción, relativamente menor al de su extracción en profundidades subterráneas. La Empresa “Comandante Pedro Soto Alba” (PSA) es una de las principales productoras mineras del municipio Moa, con una eficiencia productiva relativamente alta, que oscila entre 90 - 91%, generando una menor cantidad de residuos de producción que otras empresas productoras de níquel y cobalto a nivel mundial.

A través de los años la Empresa PSA de Moa, ha generado volúmenes significativos de residuos sólidos, (colas rojas), que son depositados en diques construidos para estos fines, denominados presas de colas. En estas “pueden

encontrarse diferentes minerales derivados del proceso productivo de níquel más cobalto, considerados desechos por no constituir material útil para su producción principal”, (Ramírez Pérez, 2010, pág. 44).

Como parte de investigaciones químicas y mineralógicas aplicadas a las colas de la PSA, se ha determinado que en estas pueden encontrarse “altas concentraciones de hierro, aluminio, sílice, magnesio, cromo, zinc, y magnesio, siendo solo el níquel y el cobalto los únicos de interés económico relevante para la economía cubana, desestimado otros que pudieran atraer mayor liquidez al país”, (Tamayo Hechavarría, 2016, pág. 13) e incluso incrementar las fuentes de empleo para la sociedad, como lo es el hierro y otros metales valiosos.

La Presa de Colas Viejas de la Empresa Pedro Soto Alba de Moa, comenzó a recibir los desechos de la producción de Níquel en el año 1960, constituyendo el primer depósito de colas de esta empresa y del Municipio de Moa. Los primeros y únicos trabajos realizados en estas colas para su caracterización y posible uso fueron desarrollados en el año 1983 por la Empresa Geominera Santiago, (Almaguer, Trutie Méndez, Ortiz Veant, & Pérez Lazo, 1983) que en su informe final reconoce que:

La Presa Colas Viejas de la Empresa Pedro Soto Alba de Moa, contiene 8,8 toneladas de colas, la misma dejó de recibir desechos sólidos en el año 1968. La presencia de agua en la presa de colas viejas de la empresa Pedro Soto Alba, está asociada, principalmente, a dos fenómenos naturales, que son las precipitaciones y el vertimiento de las agua negras (albañales y de uso normal) en las instalaciones del Preuniversitario Níco López. Estos fenómenos provocan que en las zonas Oeste y Norte de la presa de colas siempre exista abundante presencia de agua y vegetación, (pág. 32).

Teniendo en cuenta que el pasivo ambiental Colas Rojas de la Empresa Pedro Soto Alba, Moanickel S.A, constituyen un desecho Minero Metalúrgico, que impacta en el ecosistema de la región de Moa, se plantea para el desarrollo de esta investigación la siguiente situación problemática.

Situación problemática: La existencia de grandes volúmenes de residuos sólidos, 8,8 toneladas en la Presa de Colas Vieja de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba, Moanickel S.A”, acumulados por más de 50 años, con desconocimiento de sus principales características físico-químicas y sin definirse sus posible usos industriales.

Por lo que se plantea como **Problema:** El insuficiente conocimiento de las características Físicas – Químicas de la Presa de Colas Vieja de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba, Moanickel S.A” ubicadas en Moa, dificulta la posible utilización industrial.

El **objeto de estudio** lo constituye la Presa de Colas Viejas de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba, Moanickel S.A” de Moa.

Mientras que el **campo de acción**, las características físico-química y mineralógica de las colas viejas de la Empresa Comandante Pedro Soto Alba en Moa.

Sobre la base de lo analizado se plantea la siguiente hipótesis.

Hipótesis: La determinación de las características Físico - Químicas de la Presa de Colas Viejas de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba, Moanickel S.A” de Moa, permitirán definir sus posibles usos industriales.

Se establece como **objetivo general**:

Determinar las características Físico – Químicas del pasivo ambiental Presa de Colas Viejas de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba, Moanickel S.A” de Moa.

El alcance del presente trabajo y que permitirá contribuir al cumplimiento del objetivo general, se resumen en los **objetivos específicos** siguientes:

- ❖ Determinar las características Físicas del pasivo ambiental Presa Colas Viejas de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba, Moanickel S.A” de Moa.
- ❖ Determinar características Químicas del pasivo ambiental Presa de Colas Viejas de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba, Moanickel S.A” de Moa.
- ❖ Comparar las características Físico - Química del pasivo ambiental Presa de Colas Viejas de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba, Moanickel S.A” de Moa.
- ❖ Proponer posibles usos del pasivo ambiental Colas Viejas de la PSA, a partir del conocimiento de sus características Físico – Químicas.

Para dar cumplimiento a los objetivos específicos se realizan las siguientes **tareas de investigación**:

- ❖ Búsqueda y análisis bibliográfico de las características del pasivo ambiental Colas Viejas de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba Moanickel S.A” de Moa.
- ❖ Selección y preparación de las muestras representativas de las Colas Viejas de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba Moanickel S.A” de Moa.

- ❖ Aplicar diferentes técnicas analíticas y experimentales para la caracterización del pasivo ambiental Colas Viejas de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba Moanickel S.A” de Moa.

Métodos empleados en la investigación:

Toda investigación implica de la utilización de métodos que viabilicen el cumplimiento del proceso investigativo, además, es la forma de abordar la realidad, de estudiar los fenómenos de la naturaleza, la sociedad y el pensamiento, con el propósito de descubrir la esencia de los mismos y sus relaciones.

En el desarrollo de la investigación se aplican los siguientes métodos:

- ❖ **Análisis y síntesis:** El análisis es el proceso por el cual se examina un objeto en sus partes dirigido a lo individual, mientras que la síntesis es la unión de lo que se adquiere en el análisis, es decir, nos aporta el todo, lo general.
- ❖ **Hipotético-Deductivo:** al identificar y validar la hipótesis propuesta, y al plantear los resultados obtenidos.
- ❖ **Análisis histórico y el lógico:** Permite indagar en los referentes teóricos que identifican las relaciones entre el proceso cognoscitivo lógico y el desarrollo histórico de los procesos en su conjunto y del conocimiento en particular.
- ❖ **Método dialéctico:** empleado como método general, que se concreta con los demás métodos empleados, para la solución de contradicción generada en la investigación.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

En el capítulo se realiza el análisis bibliográfico de las investigaciones relacionadas con la caracterización de los residuos mineros que proporciona la empresa " Comandante Pedro Soto Alba" en las colas rojas (viejas) las cuales ocasionan un efecto negativo para el medio ambiente. Se revisaron estudios precedentes, para de esta forma fundamentar y desarrollar la investigación.

1.1 Aspectos teóricos

Al consultar bibliografías, se obtienen varias definiciones sobre el concepto de pasivos ambientales; algunas de estas definiciones se muestran a continuación.

El Manual inventario Pasivos Ambientales Mineros la Asociación de Servicios de Geología y Minería de Iberoamérica (ASGMI) plantea lo siguiente, (2008):

Los pasivos ambientales mineros son aquellos elementos, tales como instalaciones, edificaciones, superficies afectadas por vertidos, depósitos de residuos mineros, tramos de cauces perturbados, áreas de talleres, parques de 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, (pág. 2).

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 a la calidad de vida de las personas", (Intersur, Concesiones S.A, 2011). Por su parte en Bolivia se considera como: "aquellos elementos, como instalaciones, edificaciones, superficies afectadas

por vertidos, depósitos de residuos mineros, causas perturbados, áreas de talleres, parques de maquinaria o parques de mineral, que en la actualidad en entornos de mineras abandonada o inactiva, constituye riesgo potencial permanente”, (Yupari, 2012, pág. 4), no solo para la salud de la población, sino también para el medio ambiente.

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

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

La mayor parte de estos estudios se han realizado de forma aislada, por diferentes entidades científicas, centro de investigaciones y el sector empresarial.

A continuación se resumen de los pasivos ambientales mineros específicamente las colas, que generan las industrias del níquel en Moa y los estudios realizados sobre los mismos.

1.2 Trabajos precedentes relacionados con la temática.

El trabajo de Naydelín Tamayo Hechavarría a la evaluación técnico – económica de las colas rojas de la nueva Presa de Colas de la Empresa Pedro Soto Alba, Moanickel de Moa de minerales de para la comercialización con fines siderúrgicos, (Tamayo Hechavarría N. , 2016) expresa en este sentido lo siguiente:

Evaluar el mineral hierro contenido en las colas rojas de Moa a través de un estudio tecnológico y mercadotecnia, permitirá comercialización con fines siderúrgicos, lo que repercutirá en el desarrollo local y socio- económico del municipio Moa, generando nuevas fuentes de ingresos, empleo y sustitución de importaciones al país.

En este propio trabajo investigativo se plantea además, que las colas rojas se pueden procesar debido a la disponibilidad de hierro contenidos en estos residuos, que alcanzan los más de 36,0 millones de toneladas y que su procesamiento permitiría la sustitución de importaciones de materias primas para las acerías cubanas, llegándose a la conclusión de que con el procesamiento y comercialización de las colas rojas de la Empresa Pedro Soto Alba de Moa, se fortifican las relaciones entre Cuba y América Latina y el Caribe, la introducción de las palanquillas de hierro como resultado de la diversificación de la minería en el mercado internacional; así como el incremento de la economía cubana, el desarrollo local y socio-económico de Moa.

El trabajo de Ganesh Persaud, Anthony, (2014) establece una Metodología para el inventario de los pasivos ambientales Mineros- Metalúrgicos generados por las industrias de Níquel en Moa, a partir del análisis de los principales pasivos ambientales sólidos de las empresas del Níquel, generados por las industrias del Níquel en Moa, principalmente de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara, Empresa Pedro Soto Alba, Moanickel S.A y la Empresa Ferroníquel Minera S.A. (FEMSA).

Como resultado del estudio de las principales características físico – químicas, mineralógicas y térmicas de los diferentes pasivos ambientales estudiados, 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, elaborándose además las fichas técnicas de cada uno de los pasivos ambientales estudiados, así como el establecimiento de una clasificación, en dependencia de la matriz de importancia elaborada.

En la Empresa Comandante Ernesto che Guevara se desarrolló el trabajo investigativo relacionado con el beneficio en mesas de concentración de las colas negras en esta empresa, en este sentido el autor de este trabajo del Pino Batista, (2016) plantea que:

El tratamiento de los minerales lateríticos con la tecnología carbonato amoniacal, en la cual se vierten grandes volúmenes de colas al medio ambiente, con altas concentraciones de especies metálicas valiosas pueden ser recuperadas por diferentes vías, al recuperar componentes metálicos como el níquel, cobalto, hierro, óxido de silicio, óxido de magnesio, aluminio, cromo y magnesio presentes en las colas, que para lograrlo se sometió al proceso de separación hidrometalúrgica en mesas de concentración, con una variación del flujo de agua alimentado de 0,16 L/s; 0,22 L/s y 0,28 L/s, con una variación de ángulo de inclinación de 3°; 4,5° y 6°, concluyendo que la separación en mesas de concentración con las condiciones utilizadas no arroja resultados favorables, por lo que se puede decir que no existe beneficio de las colas en las mesas de concentración.

Estos resultados, aunque no fueron catalogados como positivos, permitieron comprobar que las colas de los procesos de producción de Níquel por la Tecnología CARON, posee altos contenidos de hierro, cromo, manganeso y otros metales, que deben ser analizados con mayor profundidad, para obtener una tecnología que permita su procesamiento pre metalúrgico, antes de aplicar una variante metalúrgica específica, que garantice la separación y obtención de

productos con mayor valor agregado y pueda ser aplicado a todas las presas de colas de las plantas productoras de Níquel de Cuba.

1.3 Características Geográficas y Económicas de las Colas Viejas de la Empresa Pedro Soto Alba, Moanickel S.A de Moa.

El depósito de colas objeto de este trabajo, se encuentra situado en la costa Norte de Cuba, específicamente, en la provincia de Holguín, en las inmediaciones de la planta procesadora de Níquel Comandante Pedro Soto Alba Moa Nickel S.A., que según el informe geológico realizado por la Empresa Geominera Santiago de Cuba, (Almaguer, Trutie Méndez, Ortiz Veant, & Pérez Lazo, 1983), está limitado aproximadamente por las coordenadas Lambert siguientes:

X=696 700 697 800 Planchetas 5277 IV de escala

Y=219 500 222 900 1:50 000

Las coordenadas geográficas del depósito son: 21° de latitud Norte y 31° de latitud Oeste, ocupando el depósito de colas un área de 0,52 Km², el cual limita al Sur de la carretera que une a Sagua de Tánamo con Moa y en las cercanías del aeropuerto de esta ciudad.

1.3.1 Relieve

El relieve del depósito es considerado prácticamente llano, debido a las características de deposición en forma de pulpa de colas dentro de los diques de contención y las partes sin diques más altas. Las diferencias de la cota de un extremo a otro depósito no pasan de 2-3 metros como máximo. Una vista de este depósito, se puede observar en la figura siguiente.



Figura 1. Aspectos el relieve de la Presa de Colas Vieja de la Empresa Pedro Soto Alba de Moa.

Fuente: Yaimaris Navarro Breffe

1.3.2 Condiciones climáticas

El clima de esta región es tropical húmedo fuertemente influenciado por los alisios del Norte y el anticiclón del Atlántico, con una temperatura promedio anual de 26 °C, lo que trae como consecuencia que del mes de junio y hasta el mes de Noviembre se produzcan abundantes lluvias que interfieren el trabajo de prospección y laboreo en este depósito, ocasionado la erosión de la capa de corteza de intemperismo, típica de la zona, mientras que durante el resto de año el clima es más seco, aunque periódicamente también llueve, todo lo cual provoca la acumulación permanente de agua en la presa de colas, principalmente hacia la fracción norte, como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Presencia de agua en la Presa de Colas Vieja de la Empresa Pedro Soto Alba Moanickel S.A de Moa.

Fuente: Yaimaris Navarro Breffe

1.3.3 Acumulación de agua en la Presa de Colas Viejas de la Empresa PSA de Moa.

La presencia de agua en el depósito de Colas Viejas, provoca la necesidad de su evacuación, lo cual fue previsto desde su construcción hace más de 55 años, cuando las “aguas eran vertidas hacia las zonas bajas de Moa, llegando a la orilla del mar”, (Almaguer, Trutie Méndez, Ortiz Veant, & Pérez Lazo, 1983). Actualmente la evacuación de las aguas se realiza a través de ductos que aún permanecen activos, como se observa en la figura siguiente.



Figura 3. Sistema de evacuación del agua contenida en la Presa de Colas Vieja de la Empresa Pedro Soto Alba Moanickel S.A de Moa.

Fuente: Yaimaris Navarro Breffe

La presencia de agua en la presa de colas viejas de la empresa Pedro Soto Alba, está asociada, principalmente, a dos fenómenos naturales, que son las precipitaciones y el vertimiento de las aguas negras (albañales y de uso normal) en las instalaciones del Preuniversitario Níco López. Estos fenómenos provocan que en las zonas Oeste y Norte de la presa de colas siempre exista abundante presencia de agua y vegetación. Una muestra de esto se puede observar en la figura 4.



Figura 4. Presencia de abundante agua y vegetación en la porción oeste y norte de la Presa de Colas Vieja de la Empresa Pedro Soto Alba Moanickel S.A de Moa.

Fuente: Yaimaris Navarro Breffe.

Las agua provenientes del preuniversitario han provocado el incremento de la vegetación en el lado Oeste de la Presa, que dificulta el acceso y trabajo normal en esta zona, mientras que en el lado Norte, con un desnivel del terreno, producido durante su construcción inicial, el agua acumulada es mucho mayor que en el resto del depósito, que provocan su escurrimiento en este lado hacia las márgenes de la carretera que une a Moa con el reparto Rolo Monterrey.

1.3.4 Características Geológicas del depósito de colas viejas de la PSA de Moa.

El depósito de las colas “es considerado un yacimiento artificial, ubicado en la costa Norte de la Provincia de Holguín, al Norte del macizo de ultrabasitas Mayarí-Baracoa”, (Almaguer, Trutie Méndez, Ortiz Veant, & Pérez Lazo, 1983). Como yacimiento artificial que es, su principal mineral útil es la cola, que se sedimentó en forma de pulpa sobre el área previamente limpiada de vegetación y de capa vegetal y suelo, por los constructores que ejecutaron el dique de contención.

En esta área, según los estudios de Almaguer, Trutie, Ortiz y Pérez, (1983), los materiales tienen las características generales siguientes:

La roca subyacente a las colas es un arcilla amarilla- azulosa con resto de vegetales, pequeños cristales de yeso aciculares, ocre inestructurales y en algunas partes corteza de intemperismo superficial con perdigones de hierro pequeños, donde la roca subyacente es parte de la corteza de intemperismo lateríticos de la zona y del as ultrabasitas alteradas, (pág. 11).

1.4 Geología del depósito de colas viejas de la PSA.

Las principales características geológicas del depósito de Colas Viejas de la Empresa Pedro Soto Alba de Moa se describen a continuación.

1.4.1 Principales rocas que componen el depósito de colas.

El principal y único informe geológico existente hasta la actualidad, desarrollado por Almaguer, A y otros investigadores (1983) plantea que este depósito de colas está formado:

Única y exclusivamente por un “material de color pardo rojizo, de granulometría fina correspondiente al tipo de aleuritas, formado por la deposición de los residuos de la planta procesadora de Níquel Comandante Pedro Soto Alba, a partir del año 1960 y que año tras año almacenó aproximadamente 1,8 MM toneladas anuales; teniendo en la actualidad 8,8 millones de toneladas hasta el 26 de junio de 1983, fecha de ejecución del informe final por parte de la Empresa Geología Santiago.

De estos datos se deduce que en este depósito se acumularon colas hasta el año 1968, los residuos sólidos del proceso productivo de la primera planta de

Níquel construida en Moa, siendo almacenados en otros depósitos aledaños a la Empresa Pedro Soto Alba, a partir de este año hasta la actualidad, en lo que constituye la Presa de Colas Nueva.

1.4.2 Características cualitativas y tecnológicas de los minerales útiles y de las rocas encajantes.

Las principales características cualitativas y tecnológicas de los principales minerales útiles y rocas existentes en la presa de colas viejas de la Empresa Pedro Soto Alba de Moa, son descritas a continuación.

1.4.3 Características físicas, químicas y mineralógicas de las Colas viejas de la Empresa Pedro Soto Alba, según informe geológico de 1983.

En este yacimiento artificial por su condición interseca solo existe un tipo y una variedad de mineral útil que es la cola objeto de estudio, la misma se caracteriza físicamente por una humedad promedio de 29,9 % y un peso específico relativamente alto, con valor promedio de 4,0 kg/cm², como se aprecia en la tabla siguiente.

Tabla 1. Principales propiedades físicas de las Colas Viejas de la Empresa PSA de Moa.

Propiedades	Unidad de medida	Valores
Humedad	%	29,9
Densidad húmeda	t/m ³	2,22
Densidad seca	t/m ³	1,75
Peso específico	t/m ³	4,00
Cohesión	Kg/cm ²	0,57
Ángulo de fricción	Grados	24,71

Fuente: (Almaguer, Trutie Méndez, Ortiz Veant, & Pérez Lazo, 1983).

La composición química promedio de las colas viejas, de acuerdo al análisis de las muestras básicas realizadas por el grupo de investigadores de la Empresa Geología Santiago, durante el año 1983, se muestran en la siguiente tabla

Tabla 2. Composición química promedio de las Colas Viejas, de acuerdo al análisis de muestras compósito del yacimiento, según informe de Geología Santiago, 1983.

Compuestos	Valores promedio (%)
Fe ₂ O ₃	67,9
FeO	0,25
SiO ₂	4,26
Al ₂ O ₃	6,42
CaO	1,42
MgO	0,37
MnO	0,56
Na ₂ O	0,05
K ₂ O	0,05
Cu	0,05
P ₂ O ₅	0,02
Cr ₂ O ₃	2,44
Ni	0,09
Co	0,016
PPI	12,78

Fuente: (Almaguer, Trutie Méndez, Ortiz Veant, & Pérez Lazo, 1983)

Elaborado por: Yaimaris Navarro Breffe.

La composición mineralógica por su parte fue analizada en muestras básicas a través de compósito y muestras individuales de pozos realizados, cuyos resultados pueden apreciarse en las tablas 3 y 4, respectivamente.

Tabla 3. Composición química promedio de las muestras básicas (compósitos) de la presa de colas de la Empresa Pedro Soto de Moa, según informe Geología Santiago, 1983.

Fases Mineralógicas	Valores promedio (%)
Hierro (Fe _{total})	49,48
Alúmina (Al ₂ O ₃)	6,32
Cuarzo (SiO ₂)	4,24
Azufre (S)	2,89

Fuente: (Almaguer, Trutie Méndez, Ortiz Veant, & Pérez Lazo, 1983)

Elaborado por: Yaimaris Navarro Breffe.

Tabla 4. Composición mineralógica promedio de muestras individuales de las colas viejas de la Empresa Pedro Soto Alba de Moa.

Fases Mineralógicas	Valores promedio (%)
Hematita	72,14%
Alunita	11,72%
Yeso	3,77%
Minerales Serpentiníticos	1,00%
Espinelas Cromíferas	2,53%
Minerales de Manganeso	0,47%
Minerales Arcillosos	3,99%
Cuarzo	2,09%
Carbonatos	0,05%
Otros minerales en formas subordinadas	

Fuente: (Almaguer, Trutie Méndez, Ortiz Veant, & Pérez Lazo, 1983)

1.4.4 Extracto de las pruebas de beneficio realizadas al pasivo ambiental, colas viejas de la Planta Comandante Pedro Soto Alba de Moa

Las colas de Moa son un sub-producto de la Planta del níquel Comandante Pedro Soto Alba que actualmente acumulan más de 15 millones de toneladas. A diferencia de la planta de Nicaro, la planta de Moa utiliza la lixiviación con ácido sulfúrico en un reactor de alta presión.

La utilización integral del mineral lateríticos es un problema muy actualizado mundialmente. En nuestro caso es el problema de la utilización de las colas de Moa de forma racional, principalmente en la rama siderúrgica. Las nuevas que existen y su alto contenido de hierro y otros elementos, como cromo y níquel más cobalto las colas de Moa son una materia prima ferrífera explotable. Sin embargo el grado de investigación de dichas colas con objetivo siderúrgico es muy poco.

1.4.5 Características generales de las Colas Viejas y principales dificultades para su utilización.

Las colas viejas de Moa, según los informes geológicos mencionados anteriormente, son un mineral de hierro complejo, que contiene valores metálicos que oscilan en los siguientes rangos: 45 – 53 % de FeO; 0,8 - 1,0 % de CaO; 0,2 – 0,5% de MgO; 2,0 – 6,0 % de S; SiO₂; 4,0 – 7,0 % de Al₂O₃; 2,3% de Cr₂O₃; 0,1 -0,2 % de NiO; 0,01 – 0,02 % de CoO; 1,0 - 2,0 % de MnO.

Es significativo en estas muestras, que el contenido de azufre se encuentra en un rango muy amplio entre 2,0 – 6,0 %, lo cual limita su uso directo para la industria siderúrgica. Por su parte el hierro se encuentra fundamentalmente, en forma de hematita (Fe₂O₃) y es característico además el alto grado de fineza de estos pasivos, donde más del 90 % se concentra en la fracción – 40 µm.

A partir del análisis de los resultados del informe geológico realizado por Almaguer y otros, (1983), el pasivo ambiental colas viejas de la Empresa Pedro Soto Alba de Moa, presenta las dificultades siguientes, para ser utilizada como materia prima siderúrgica:

Primero: El alto contenido de azufre, por lo que la utilización de las colas en los agregados metalúrgicos sin una previa preparación metalúrgica es imposible. Por ejemplo: el contenido de azufre en la materia de carga para el alto horno no debe exceder a 0,03% para cumplir estas exigencias se debe pasar al proceso de beneficio con su posterior preparación pre-metalúrgica (pelletización o sinterización).

Segundo: El módulo de sílice de las colas, o sea, la relación entre sílice y alúmina es muy baja ($\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$) esta relación produce dificultades en la obtención de escorias con fluidez normales. El módulo de sílice de la materia de carga.

Tercero: Debido a la alta fineza de las colas y también por su alta capacidad de humedecimiento se dificulta el proceso de filtrado del concentrado después del proceso de beneficio.

Cuarto: La humedad óptima de la torta es muy alta, oscila entre 28 - 32 %, esto último exige un gasto adicional de energía en el proceso de aglomerado en general.

1.5 Conclusiones del Capítulo I.

A partir de las fuentes bibliográficas consultadas, se presentan las insuficiencias destacadas que constituyen líneas de trabajos de esta investigación.

- ❖ Aunque se conocen las principales características físico, químicas y mineralógicas de los pasivos ambientales mineros metalúrgicos de las colas (PAMM), generadas por las industrias del Níquel en Moa, no se cuenta con una metodología para la clasificación de estos recursos minerales.
- ❖ El contenido de azufre entre 2,0 – 6,0 %, el alto grado de fineza de estos pasivos, con más del 90 % concentrado en la fracción – 40 μm , limita su uso directo como materia prima para la industria siderúrgica.
- ❖ Tomar en cuenta los resultados del informe geológico de la Empresa Geología Santiago y comparar con los de esta investigación, luego de transcurridos más de 34 años de ejecutados los primeros.

CAPITULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo del proceso de investigación científica, se basa en la utilización de instrumentos metodológicos para la obtención de resultados confiables. Adicionalmente, “la educada selección de los métodos y materiales empleados permite validar los resultados”, (Legra Lobaina, 2000, pág. 18), por lo tanto en este capítulo se describen los materiales, métodos y técnicas empleadas en el estudio de las colas viejas de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba Moanickel S.A” con el propósito de evaluar su posible uso industrial.

2.1 Selección y preparación de la muestras

Las muestras tecnológicas estudiadas fueron tomadas de distintas áreas de la presa de colas (viejas) de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba”. El mineral extraído, fue depositado en sacos; luego fue trasladado hacia el Instituto Minero Metalúrgico de Moa (ISMM) hacia la nave de Beneficio del mismo. Posteriormente la muestra fue preparada para la realización del proceso de caracterización físico, química y mineralógica.

La muestra utilizada es de color rojo, característica muy común en las colas viejas de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba”. La descripción de la misma se puede resumir en los siguientes aspectos: La parte Oeste está cubierta de gran cantidad de vegetación y agua proveniente del Preuniversitario Antonio Níco López, al Este se encuentra el barrio de Rolo Monterrey que es junto a la parte Sur de la Presa, la zona que posee menor vegetación y agua. Al Sur del depósito de colas se encuentra la Empresa PSA, mientras que al Norte se localiza la Empresa Eléctrica Municipal (OBE), y la carretera que une al pueblo de Moa con el aeropuerto Orestes Acosta.

Las zonas Norte y Oeste de la presa de colas, posee gran afluencia de agua, la cual tiene un proceso de almacenamiento y escurrimiento natural, mientras que

al Sur y Este es una zona bastante seca, sin que existan zonas de acumulaciones de agua, todo lo cual indica la existencia de una declive ligero del terreno, como resultado de la propia construcción de la presa hacia la parte noroeste de la presa, que provoca la evacuación paulatina del agua existente de manera permanente en la presa de colas.

El material contenido en la presa de cola se encuentran mayoritariamente en forma de perdigones de hierro, formados por los procesos de transformaciones físicas químicas que han sufrido con el paso de los años, lo que al unirse el agua y el viento hacen que se formen estos tipos de aglomerados, muchos de ellos de color azul y con franjas de perdigones de color amarillo como los que se muestran en la figura siguiente.



Figura 5. Presencia predominante de aglomerados y perdigones en el material de la Presa de Colas Vieja de la Empresa Pedro Soto Alba Moanickel S.A de Moa.

Fuente: Yaimaris Navarro Breffe.

En la figura 6 se muestra el esquema de trabajo utilizado para el procesamiento premetalúrgico de las muestras experimentales, que incluye la toma de muestra para la investigación y la caracterización física – química.

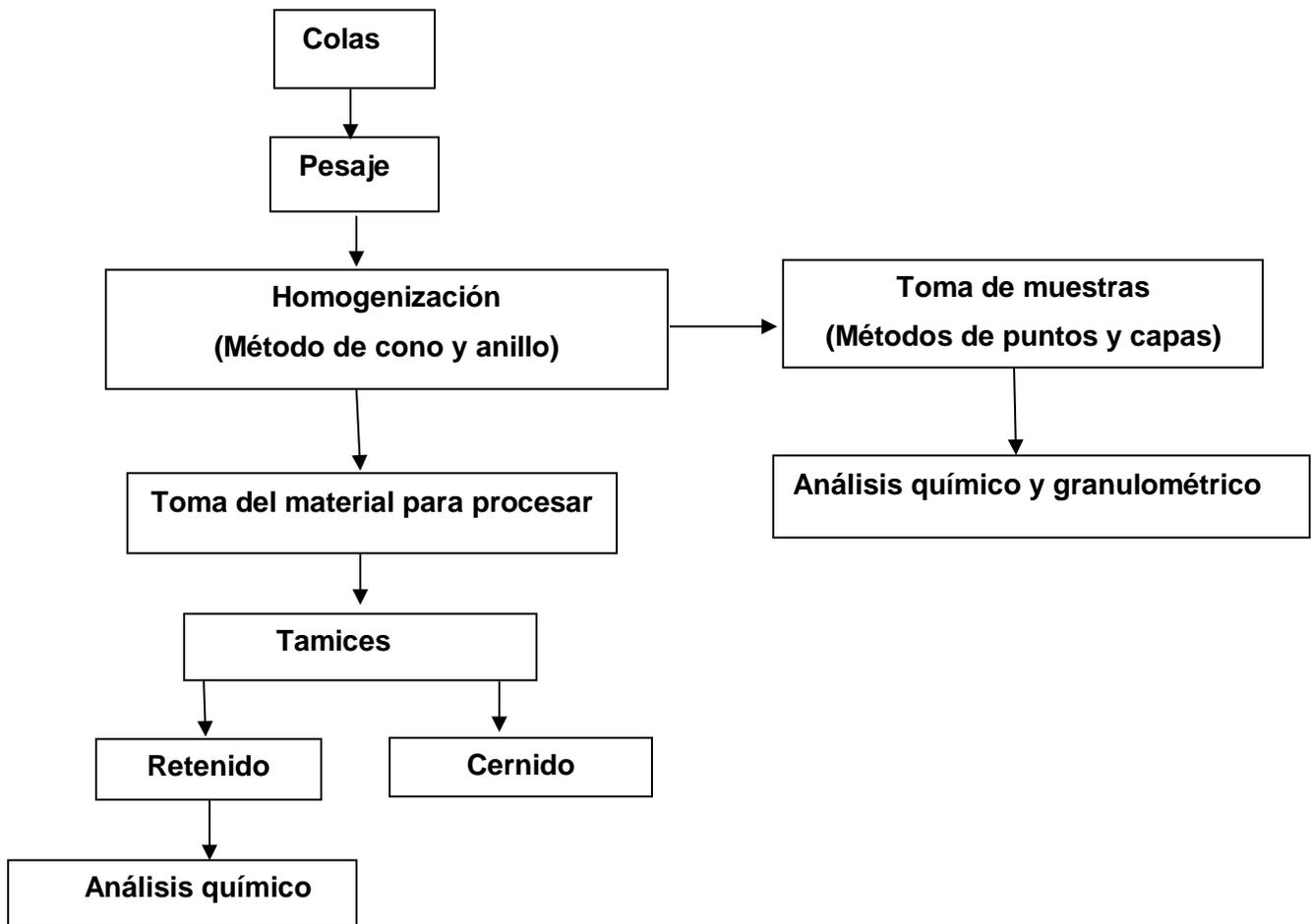


Figura 6. Esquema de trabajo empleado en la investigación.

Para realizar el estudio se conformó una muestra compósito de 27 kg, representativa de las colas viejas de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba”. Para su selección se utilizó el método de redes y puntos, aplicado a un sector de la presa de colas, la cual ha estado conformada desde el periodo 1960 -1968. La muestra fue cuarteada y homogeneizada en el laboratorio de Beneficio de Minerales del Instituto Minero Metalúrgico de Moa, a través del método de cono y anillo. El esquema de preparación empleado se muestra en la figura siguiente.

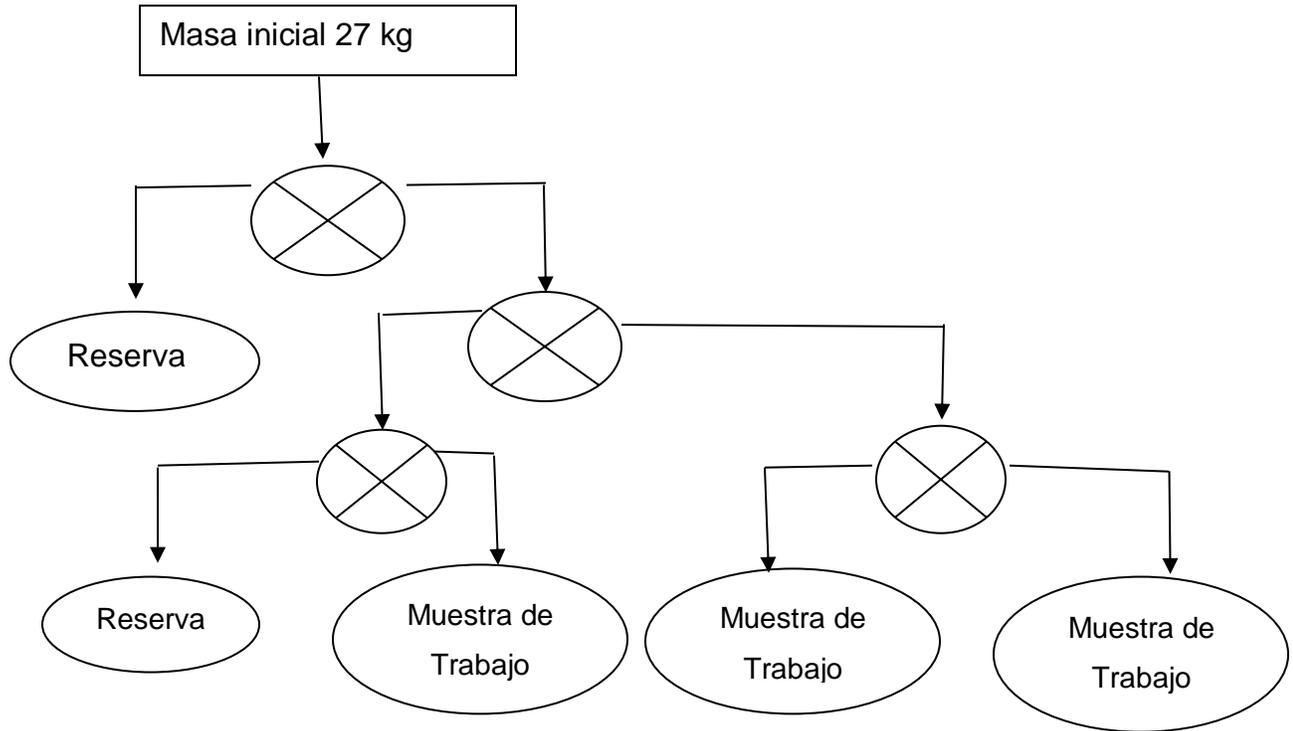


Figura 7. Esquema de homogeneización y cuarteo empleado en el proceso de preparación de las muestras de investigación.

Cuarteo manual por el método de cono y anillo

El proceso de cuarteo de las muestras, fue realizado siguiendo los pasos establecidos por el método del cono y el anillo, utilizando para ello las herramientas siguientes:

Herramientas:

- ✓ Pala
- ✓ Cucharón de punta recta o cuchara de albañil
- ✓ Escoba o cepillo

El procedimiento utilizado para el cuarteo manual fue el siguiente:

1. Se coloca la muestra de campo sobre una superficie plana, dura y limpia, donde no ocurran pérdidas de material ni contaminación con materias extrañas.
2. Se homogeneiza el material haciendo un cono depositando cada paleada sobre la anterior y luego haciendo un anillo, seguidamente se forma nuevamente el cono.
3. Por medio de la pala, se ejerce presión sobre el vértice, aplanando con cuidado la pila hasta obtener un espesor y un diámetro uniformes. El diámetro obtenido deberá ser aproximadamente de cuatro a ocho veces el espesor del material.
4. Seguidamente se divide la pila aplanada en cuatro partes iguales con la pala y la ayuda de la cuchara de albañil.
5. 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.

Se mezcla y homogeneiza el material restante y se cuartea sucesivamente hasta reducir la muestra al tamaño requerido para las pruebas. El peso inicial de la materia prima fue de 27 kg, luego de realizar el procedimiento de homogeneización y cuarteo, alcanzando el peso final de las muestras de 7 kg.

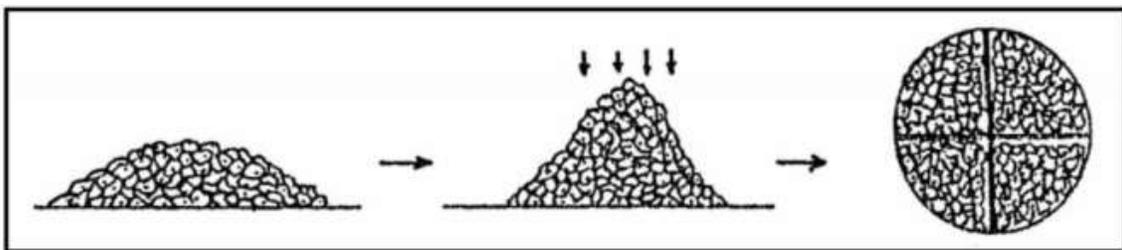


Figura 8. Esquema ilustrado del método del cono y el anillo empleado en la preparación de las muestras de investigación.

Las muestras obtenidas en el proceso de homogeneización del cono y el anillo con una masa de 7 kg fueron sometidas al análisis granulométrico por vía seca, este

fue realizado en la nave de Beneficio de minerales en el Instituto Minero Metalúrgico Dr. "Antonio Núñez Jiménez". De esta masa de 7 kg se tomaron 3 kg para realizarle tres replicas a estos análisis. La masa promedio utilizada en cada una de las réplicas fue de 1 kg, las cuales fueron pesadas en una balanza analítica ubicada en la planta de Beneficio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Los productos obtenidos en los tamices fueron sometidos a un proceso de secado térmico (100 °C) en una estufa perteneciente a los laboratorios químicos del Departamento de Metalurgia-Química del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, para ser valoradas analíticamente. Luego de realizados los análisis físicos, las muestras fueron envasadas, codificadas y enviadas al Centro de Investigación del Níquel (CEDINIQ), para el respectivo análisis químico y mineralógico.

2.2 Técnicas analíticas y experimentales utilizadas.

2.2.1 Análisis Químico

Para la determinación de la composición química de cada una de las muestras tomadas en esta investigación, se utilizaron los métodos de Espectrofotometría de Absorción Atómica, Volumetría y Gravimetría, que permitieron analizarlas con una alta confiabilidad, luego de conocer los contenidos de los elementos siguientes: silicio, aluminio, magnesio, níquel, cobalto, manganeso, cromo, azufre e hierro.

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

concentración del elemento. En la figura siguiente se muestra un equipo de espectroscopía de absorción atómica, muy similar al empleado en la caracterización química de las muestras de colas.



Figura 9. Equipo de Espectroscopía de Absorción Atómica utilizado.

El procedimiento técnico de ensayo empleado en la determinación de Si, Al, Mg, Ni, Co, Mn, Cr, Fe, V, Cu y Zn, es el siguiente: UPL - PT – A-26 Emitido: 28-Marzo- 2017. Ver Anexo 2

Para la determinación de hierro (II) se empleó el método Volumétrico con el siguiente procedimiento técnico de ensayo: UPL-PT-V-03 Emitido: 1/8/2015. Ver Anexo 3

Las pérdidas por ignición (PPI) se determinaron por el método gravimétrico. El procedimiento empleado para la determinación es el siguiente: UPL-PT-G-01 Emitido: 1/8/2015. Ver anexo 4.

La determinación de azufre total se realizó por el método gravimétrico con el siguiente procedimiento técnico de ensayo: UPL-PT-G-06 Emitido: Agosto /2015. Ver Anexo 5.

2.2.2 Análisis Mineralógico.

El análisis mineralógico se realizó utilizando un difractómetro de rayos X, instalado en el CEDINIQ, el cual posee las siguientes características:

- **Modelo:** Difractómetro X'PERT³ de Panalytical
- **Condiciones de trabajo:** Barrido tipo Gonio en [$^{\circ}2\theta$] registro angular desde 4.0042 hasta 79.9962 con distancia de paso en $^{\circ}2\theta$ de 0.0080 con radiación de Cu y filtro de níquel. Diferencia de potencial igual a 40 kV y corriente de 30 mA.
- La calibración del equipo se chequea con patrón externo de silicio.

2.2.3 Análisis Granulométrico.

La determinación de la composición granulométrica del material se realizó por vía seca. El análisis granulométrico constituye el elemento básico para una de las principales características físicas de las colas objeto de estudio, los tamices fueron seleccionados según la serie de Taylor $\sqrt{2}$, distribuidos en los siguientes juegos de tamices: 10; 8; 6; 4; 1,4; 0,4; 0,2; 0,147; 0,074 y 0,040 mm, como se aprecian en la figura siguiente:



Figura 10. Juego de tamices utilizados en el análisis granulométrico.

Elaborado por: Yaimaris Navarro Breffe.

El análisis granulométrico permitió determinar la distribución del tamaño de las partículas para cada una de las muertas estudiadas y la composición para cada una de ellas. La masa mínima necesaria para realizar el análisis granulométrico fue determinado según (Andreiev, Perov, & Zverievich, 1987) por la expresión 1.

$$Q_{\text{mín}} = 0,02 \cdot d^2 + 0,5 \cdot d \quad \text{kg} \quad (1)$$

Donde:

Q_{\min} : Masa mínima ;kg

d: Tamaño de la partícula;mm

El análisis granulométrico consiste en cernir la muestra a través de un juego estándar de tamices, para determinar el porcentaje de residuos en cada uno de estos, con respecto a la masa de la muestra inicial. En la mayoría de los casos es utilizado el cernido seco, sobre todo en tamices menores de 1 mm, con el objetivo de evitar la aglomeración y obstrucción completa de estos. En la figura 11 se muestra el esquema de trabajo utilizado.

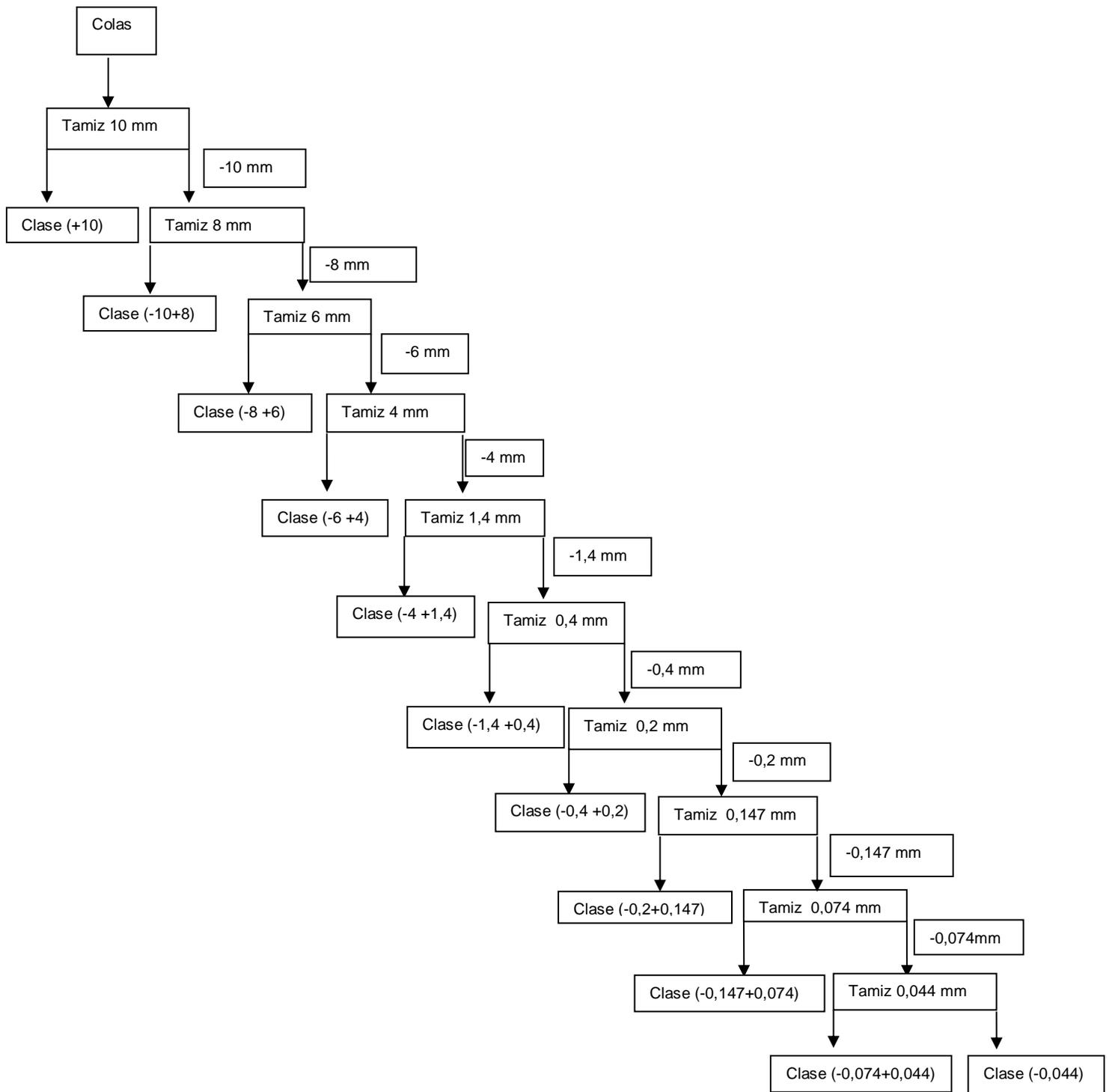


Figura 11. Diagrama de flujo empleado durante el desarrollo del análisis granulométrico.

Elaborado por: Yaimaris Navarro Breffe.

2.3 Otros equipos utilizados en la investigación.

A continuación se muestra la descripción de otro equipo auxiliar y el fundamento de su utilización.

Balanza

Como técnica para contabilizar la cantidad de material inicial y los productos obtenidos, se utilizó una balanza digital modelo Sartorius BS 124S, con una capacidad máxima de 120 g y una desviación de 1 mg.



Figura 12 Balanza utilizada para el pesaje de las muestras.

2.4 Conclusiones del Capítulo 2.

1. La muestra de colas viejas de la empresa “Comandante Pedro Soto Alba” seleccionada para su caracterización se considera representativa con respecto a su volumen total.
2. Las técnicas analíticas empleadas para la caracterización físico-química, fueron aplicadas en instalaciones y equipos que garantizan la confiabilidad de los resultados.
3. El proceso de beneficio en los tamices fue utilizado para el tratamiento de las colas viejas de la empresa “Comandante Pedro Soto Alba”.

CAPITULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estudio de las colas del proceso de lixiviación acida a presión de la empresa “Comandante Pedro Soto Alba Moanickel S.A”, reviste gran importancia la aplicación de las técnicas de beneficio, debido a que aportan información necesaria sobre el comportamiento de los diferentes elementos que los componen.

3.1 Análisis de la caracterización de las colas viejas.

A continuación se analizan y discuten los resultados de la caracterización granulométrica, así como la composición química y mineralógica de las fracciones de tamaño.

3.1.1 Resultados de la caracterización granulométrica de las colas viejas de la PSA.

La composición granulométrica de las colas viejas se representa en la tabla 5 y el gráfico 1, se representa la evidencia de que el promedio de las partículas mayores de 10 mm.

Estas partículas agrupan el 51,0 % del peso de las muestras, entre las que se distinguen las de tamaños entre 4 y 10 mm que alcanzan el 93,18 % de la masa total.

Al analizar la composición por fracciones de tamaños, se distinguen tres grupos granulométricos: de una parte, una granulometría fina, en el intervalo de las fracciones menores 1,4 mm y mayores que 0,4 mm que representa un 10,24 %, el segundo grupo granulométrico intermedio constituido por las fracciones menores de 4 mm y mayores de 1,4 mm, que representan el 13,27 % y un

tercer grupo de granulometría más gruesa, mayores de 10 mm, que representan el 51,00 % en peso de las muestras analizadas y en las cuales las fracciones individuales no superan 6,82 %.

Las partículas mayores de 10 mm, son denominadas perdigones y han sido investigadas con el propósito de utilizarlas en diferentes procesos siderúrgicos y constituyen objeto de investigaciones para materializar su posible uso industrial, teniendo en cuenta sus relativos altos contenidos de hierro, que oscilan entre 38,78 y 45,39 %.

Tabla 5. Composición granulométrica de las colas viejas realizada en los tamices.

Clases de Tamaño (mm)	Masa(g)	γ salida %	Retenido %
>10	414,84	51,01	51,01
-10 + 8	30,21	3,71	54,72
-8 + 6	57,68	7,09	61,81
-6 + 4	63,88	7,85	69,66
-4 + 1,4	107,97	13,27	82,94
-1,4 + 0,4	83,29	10,24	93,18
-0,4 + 0,2	8,00	0,98	94,16
-0,2 + 0,147	32,69	4,02	98,18
-0,147 + 0,074	8,00	0,98	99,17
-0,074 + 0,04	2,03	0,00002	99,17
-0,04	4,71	0,58	99,75
Total	813,3	100	100

Elaborado por: Yaimaris Navarro Breffe

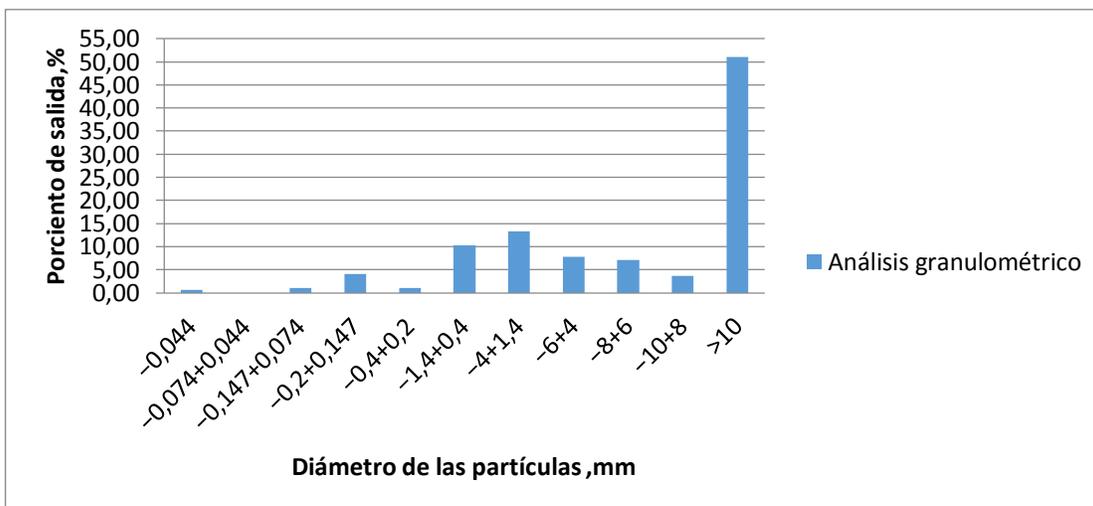


Gráfico 1. Representación de los resultados del análisis granulométrico de las colas viejas.

Elaborado por: Yaimaris Navarro Breffe

3.1.2 Resultados de la caracterización química de las colas viejas de la PSA.

Los análisis químicos estuvieron dirigidos a determinar el quimismo de las colas viejas del dique de cola correspondiente a la empresa “Comandante Pedro Soto Alba Moanickel S,A”, comparar sus resultados con estudios realizados por otros investigadores, así como con otras colas de la región de Moa y Nicaro. Los análisis fueron realizados como parte del Proyecto para la Rehabilitación de los pasivos ambientales, financiados por la Sociedad Cubana de Geología, y ejecutados en el Laboratorio Central del CEDINIQ, Alberto Fernández Montes de Oca.

Los resultados de los análisis químicos arrojaron que las colas viejas de la PSA, se caracterizan por poseer relativamente altos contenidos de Hierro, valores que superan el 40 % del Fe_{total} como promedio y con predominio del Fe^{3+} , lo que demuestra que este elemento no sufrió grandes transformaciones químicas

y mineralógicas durante su paso por el proceso productivo de la Empresa Pedro Soto Alba, como se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 6. Resultados de los análisis químicos y granulométricos realizados.

Fracción Granul. (mm)	CoO	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe _{Total}	NiO	V	Fe ²⁺	S _{Total}	Fe ³⁺	PPI
Muestra Cabeza	0,076	1,425	2,247	17,353	2,373	40,713	0,256	0,066	0,106	0,505	40,607	16,04
+ 10	0,098	1,667	2,836	14,163	2,154	43,053	0,298	0,037	0,317	0,513	42,736	15,63
-10 +8	0,028	0,703	3,023	11,104	2,473	44,063	0,123	0,078	0,211	0,315	43,852	15,24
-8+6	0,058	1,409	1,926	16,349	1,761	39,143	0,165	0,086	0,211	0,271	38,932	16,08
-6+4	0,077	1,754	2,006	18,439	1,624	40,843	0,243	0,081	0,106	0,370	40,737	16,03
-4+1,4	0,067	1,93	2,555	18,357	1,679	38,783	0,165	0,067	0,106	0,351	38,677	15,82
-1,4+0,4	0,031	0,755	3,424	14,978	2,044	40,933	0,132	0,077	0,317	0,307	40,610	16,63
-0,4+0,2	0,024	0,666	2,996	11,954	2,318	44,833	0,117	0,058	0,211	0,351	44,622	13,84
-0,2+0,147	0,019	0,567	4,28	9,367	2,719	45,893	0,118	0,078	0,106	0,923	45,787	12,80
-0,147+0,074	0,023	0,574	4,12	9,261	2,911	45,863	0,109	0,114	0,106	1,149	45,757	14,23
-0,074+0,044	0,021	0,527	4,013	8,505	3,13	45,373	0,158	0,099	0,106	0,914	45,267	15,08
-0,044	0,029	0,478	3,932	9,84	2,783	45,393	0,136	0,106	0,211	0,686	45,182	13,39

Elaborado por: Yaimaris Navarro Breffe.

Los contenidos de Hierro y Aluminio en las colas tienen un comportamiento muy estable, en las diferentes fracciones granulométricas estudiadas, al igual que las pérdidas por ignición, como se observa en la gráfica 2. Los valores de PPI que oscilan entre 12,8 y 16,6 %, demuestran que al no existir operaciones pirometalúrgicas en el tratamiento de estos pasivos, aún poseen tanto el agua higroscópica como estructural en su composición, lo cual debe ser tomado en cuenta en dependencia de su posible uso en la industria siderúrgica.

Precisamente, la presencia mayoritaria de hierro y aluminio en estos pasivos ambientales, constituyen una regularidad de las colas lateríticas cubanas, que justifica que estos residuos se cataloguen en muchos casos, como óxidos de hierro con diferentes grados de contaminación con el aluminio.

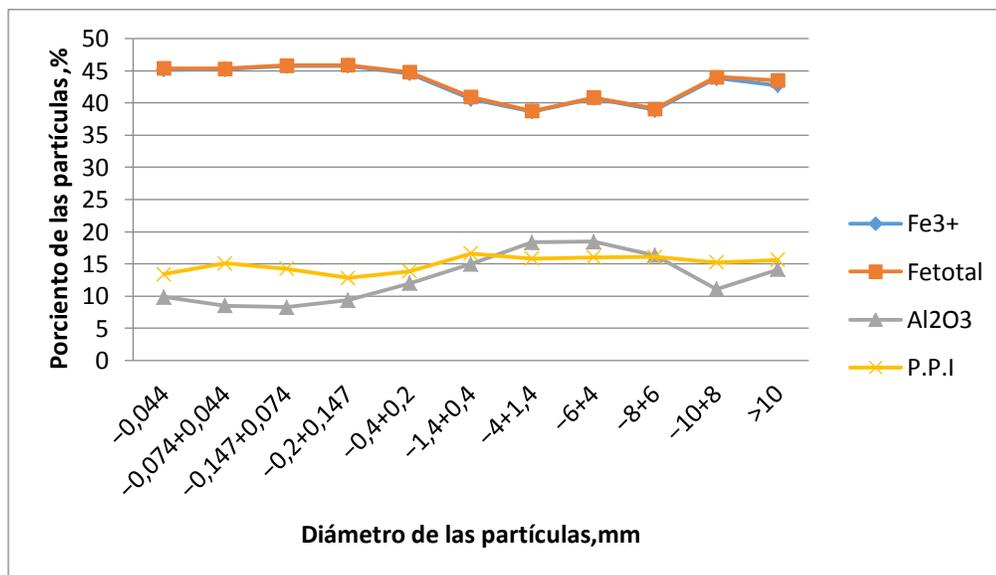


Gráfico 2. Comportamiento del contenido de Hierro, Aluminio y las PPI en las colas viejas de Moa.

Elaborado por: Yaimaris Navarro Breffe.

Destacan en este pasivo ambiental, los relativamente altos contenidos de Cr_2O_3 , con un contenido de 2,73 % en la muestra de cabeza y un comportamiento bastante uniforme en el resto de las clases de tamaño. También sobresalen los contenidos de vanadio, con valores promedio de 0,10 % muy significativos e indicativos de la presencia de minerales del grupo de los platinoideos, titanio y posibles tierras raras.

Llama la atención los contenidos elevados de Al_2O_3 , con valores que oscilan entre 8,5 y 18,4 % y los relativamente bajos contenidos de SiO_2 , entre 1,9 y 4,2 %, que provocan una relación $SiO_2/Al_2O_3 \leq 3$, que son una de las exigencias para su posible uso siderúrgico, ya que los valores de este módulo están entre 0,22 y 0,67 y dificultarían el tratamiento de estos pasivos, en los procesos en hornos eléctricos.

En el gráfico 3 se representan los contenidos de Cromo, Silicio, Magnesio y Manganeso en las fracciones granulométricas estudiadas, comprobándose que

el dióxido de silicio (SiO_2) es el elemento que contiene mayor por ciento y su valor máximo lo alcanza en la clase de tamaño de menores que 0,2 mm y mayores que 0,147 mm con un valor equivalente de 4,28%, mientras que su valor más pequeño se encuentra en la clase de tamaño + 6 - 8 mm con 1,926 %.

Por su parte el Cr_2O_3 es un elemento con relativamente altos contenidos, que varían entre 1,624 % y 3,13 % en las diferentes clases de tamaños. El valor máximo se alcanza en las partículas - 0,074 + 0,044 mm, con un valor de 3,13 %. El valor más pequeño está en las partículas - 6 + 4 mm, que alcanza un valor de 1,624 %.

Otro de los elementos pesados, contenidos en las colas viejas es el MnO cuyo contenido varía entre 0,478 % y 1,930 %, en las diferentes clases de tamaños. Alcanzando su mayor valor en las partículas - 4mm + 1,4 mm, con 1,930 %. Mientras que el valor más pequeño está presente en la clase de tamaño - 0,044 mm, que alcanza un valor de 0,478 %.

El MgO es otro elemento contenido en las colas viejas cuyo contenido varía entre 0,05% y 0,67 % en las diferentes clases de tamaños. Alcanzando su mayor valor en las partículas menores de -0,074 + 0,044 mm, con 0,67%. Mientras que el valor más pequeño está presente en la clase de tamaño +10 mm, que alcanza un valor de 0,05%.

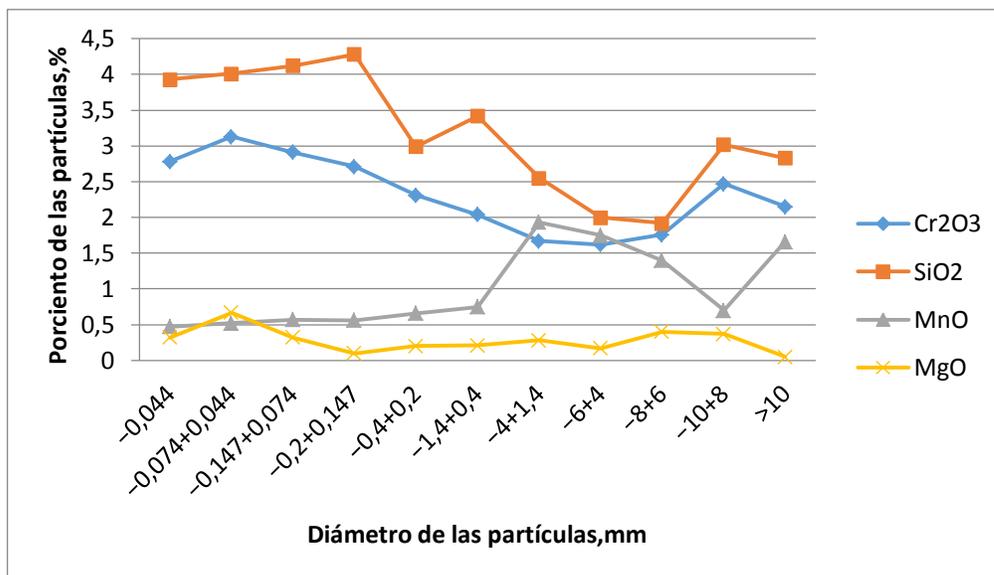


Gráfico 3. Comportamiento del contenido de Cromo, Silicio y Manganeso en las colas viejas de Moa.

Elaborado por: Yaimaris Navarro Breffe

La presencia de Cr₂O₃, SiO₂ y MnO en estos pasivos constituyen otras de las motivaciones, que justifican el tratamiento y uso de estos residuos para reducir el impacto que actualmente provocan sobre el medioambiente y la posibilidad de convertirlos en activos metalúrgicos.

En el gráfico 4 se representan los contenidos de NiO; CoO, V y S_{Total} donde se observa que entre ellos, el elemento de mayor presencia química es el azufre total, cuyos valores varían entre 0,271 % y 1,149 %, lo que constituye una de las limitantes de uso siderúrgico de estos pasivos, lo que exigiera de un tratamiento particular, para eliminar o reducir esta importante impureza, indeseable en los procesos de elaboración de aceros.

El NiO en este depósito oscila entre 0,109 % y 0,298 %; posterior encontramos un elemento de gran importancia en el mundo, como el vanadio que su valor varía en los rangos de 0,037 % hasta 0,106 %; mientras que el CoO también está en un rango muy pequeño, que varía entre 0,021 % y 0,098 %.

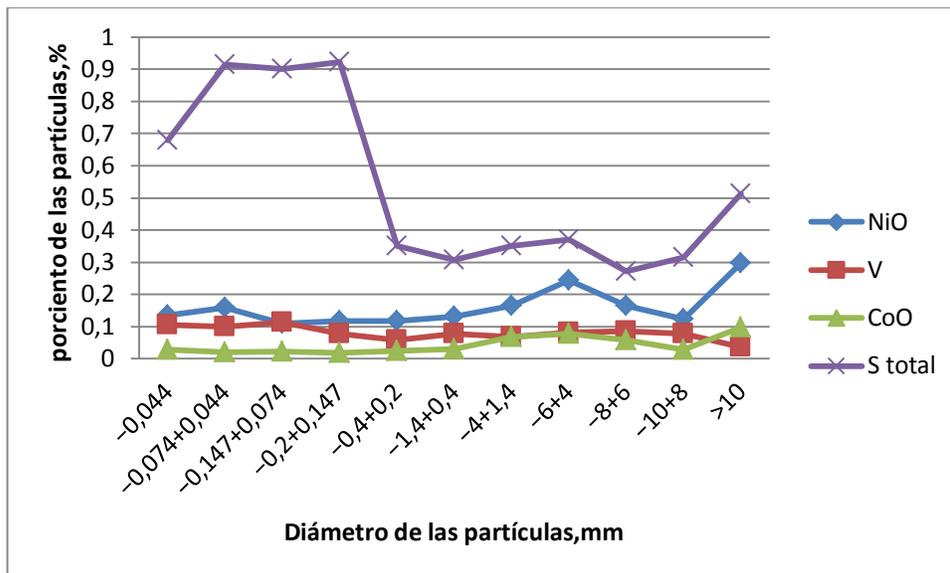


Gráfico 4. Comportamiento del contenido de Níquel, Cobalto, Vanadio y Azufre en las colas viejas de Moa.

Elaborado por: Yaimaris Navarro Breffe

3.1.3 Resultados de la caracterización mineralógica de las colas viejas de la PSA.

Dentro del depósito de colas viejas de la PSA, aparecen las fases de hierro como las más predominantes, principalmente, hematita con valores entre 26 y 44 % y maghemita entre 10 y 26 %, como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 7. Resultados de los análisis mineralógicos realizados.

Fracciones Granulométricas (mm)	Contenido de las fases mineralógicas (%)				
	Hematita	Maghemita	Olivino	Cromitas	Mg-Cr (*)
Cabeza	26	13	28	12	-
+10	38	12	24,8	9	-
-10+8	40	13	26	23	-
-8+6	29	19	25	5	18
-6+4	30	14	26	6	14
-4+1,4	31	12	16,8	6	22,8
-1,4+0,4	44	28	11	8	9
-0,4+0,2	38	26,7	8	8	20
-0,2+0,147	37	25	9	7	6
-0,147+0,074	44,4	16,2	15,2	16	13
-0,074+0,04	30	10	25,3	21	13

(*): Fases de Magnesiocromita

Elaborado por: Yaimaris Navarro Breffe.

Otra de las fases presentes en estos pasivos es la magnetita, pero solo fue reportada en las fracciones -10 + 8 mm y -6 +4 mm, con contenido de 5 % y 7,1 %, respectivamente.

También existen fases de olivino, que luego de las fases de hierro, son las más frecuentes, con valores significativos entre 8 y 28 %, las cuales en el caso de la fase isomorfa, Fayalita, es portadora de hierro, lo cual aumenta la tasa de este elemento en estos residuales.

La presencia de minerales de cromita y magnesiocromita con valores entre 5 y 23 %, evidencian que las colas viejas de la Empresa Pedro Soto Alba Moanickel S.A, representan un depósito multicomponente, con predominio de elementos pesados, pequeños contenidos de Níquel y Cobalto e impurezas nocivas al procesamiento metalúrgico como el azufre, este último identificado en la clase de tamaño + 10 con un valor de 6,9 %, que demuestra su presencia en este tipo de pasivo ambiental.

Muestras de los difractogramas obtenidos para la muestra de cabeza y una de las fracciones gruesas (-10 + 8 mm) se pueden observar en las siguientes gráficas.

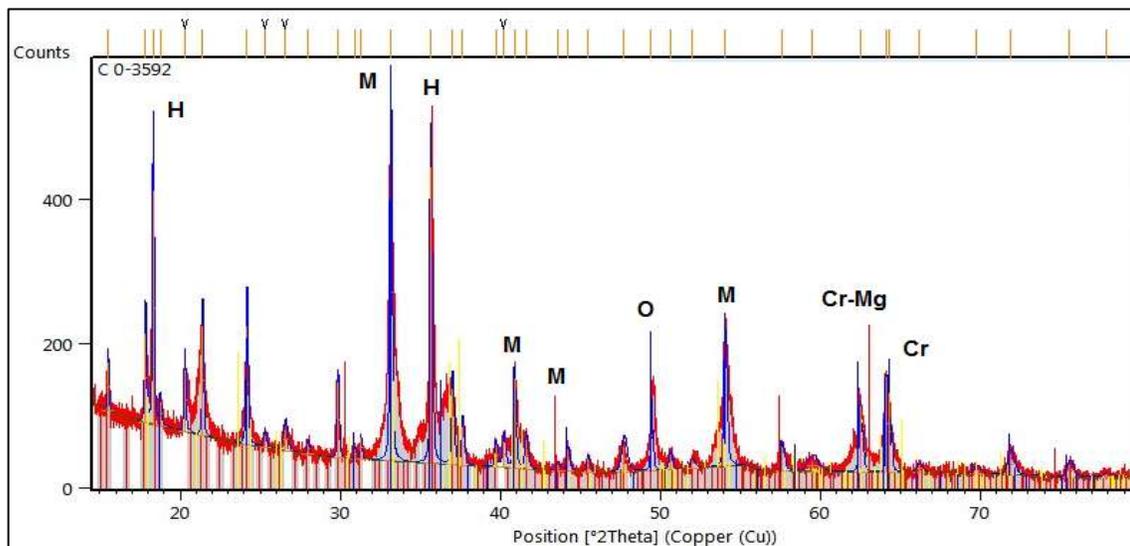


Gráfico 5. Difractograma representativo de una muestra de colas determinada del yacimiento de la Pesa de Colas Viejas de la PSA de Moa.

Elaborado por: Yaimaris Navarro Breffe.

Leyenda:

H: Hematita

M: Maghemita

O: Olivino

Cr-Mg: Magnesiocromita

Cr: Cromitas

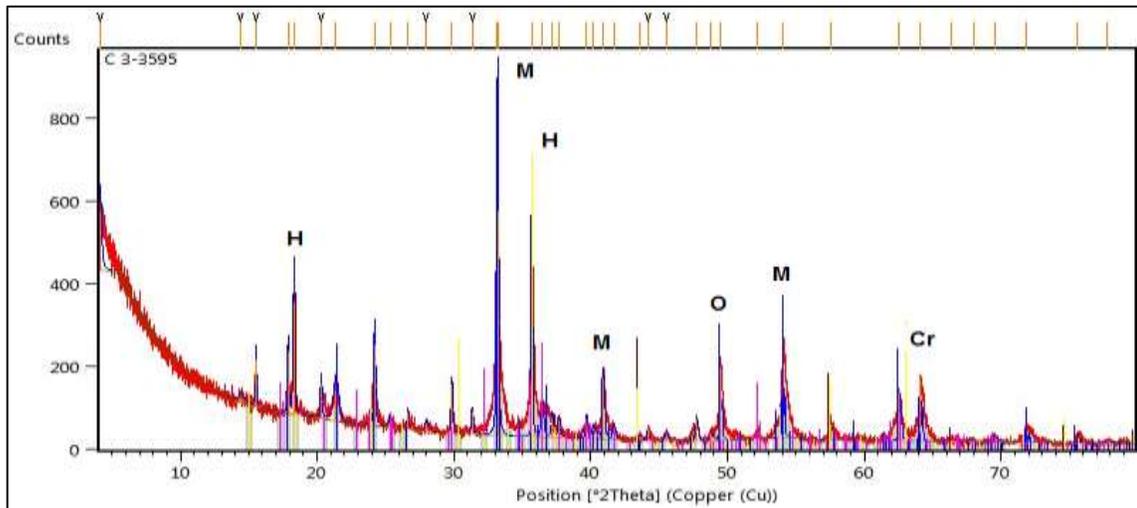


Gráfico 6. Difractograma de la fracción -10 + 8 mm de las colas viejas de la PSA de Moa.

Elaborado por: Yaimaris Navarro Breffe.

Leyenda:

H: Hematita

M: Maghemita

O: Olivino

Cr: Cromitas

3.2 Comparación de las características químicas de las colas rojas (viejas) de la Empresa Pedro Soto Alba en Moa, con otras presas de colas existentes en la industria de Níquel en Cuba.

Las colas de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara de Moa han sido estudiadas en los últimos años, principalmente, a través de investigaciones mineralógicas y químicas como son los casos de Cutiño (2015) y Batista (2016), pero sin llegar a definir un uso específico por las conocidas limitaciones

económicas del país. De esta misma forma, las colas generadas por la Empresa Pedro Soto Alba (PSA), las primeras conocidas como colas rojas (1960 – 1968) y la actual como presa de colas nueva (1968 – 2017), no cuentan con suficiente conocimiento de sus características físico – química que permitan definir posibles usos a estos pasivos ambientales que impactan al medioambiente de la región de Moa.

Sin embargo es común en estos residuales la presencia de importante elementos químicos, que la hacen un depósito estratégico para el futuro procesamiento de estos pasivos. Teniendo en cuenta las características físicas, químicas y mineralógicas de las colas generadas por los procesos CARON y HPAL, tanto en Nicaro como en Moa, analizamos a continuación los principales elementos de estos pasivos ambientales y sus posibles usos industriales.

Como se observa en la tabla siguiente, es común en las diferentes presas de colas el relativamente alto contenido de hierro, con valores superiores a 40 %.

Tabla 8. Características químicas del pasivo ambiental “Colas” de la industria de Níquel en Nicaro y Moa.

Empresa	Contenido promedio de cada uno de los elementos, (%)													Fuente bibliográfica
	CoO	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe _{Total}	NiO	V	Fe ²⁺	S _{Total}	Fe ³⁺	P.P.I	MgO	
ECG	0,08	0,64	12,32	7,29	N.D	43,23	0,4	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	5,04	(Del Pino Batista, 2016)
Nicaró	0,09	0,61	17,49	3,84	2,93	42,60	0,46	N.D	N.D	0,11	N.D	2,9	11,24	(Ferreiro Guerrero, 2014)
Colas Nuevas (PSA)	N.D	0,65	N.D	4,40	1,95	46,00	0,26	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	4,5	Naydelín Tamayo Hechavarría, 2016
Colas Viejas PSA, (1983)	0,02	1,42	3,48	6,88	2,40	51,05	0,10	N.D	N.D	0,02	N.D	N.D	0,28	(Almaguer, Trutie Méndez, Ortiz Veant, & Pérez Lazo, 1983)
Colas Viejas PSA, (Mineral de cabeza)	0,08	1,43	2,25	17,35	2,37	40,71	0,26	0,07	0,11	0,50	40,61	16,04	0,39	(Yaimaris Navarro Breffe, 2017)

N.D: No Determinado

Además de los altos contenidos de Fe en las colas, son significativos los valores de Al_2O_3 en las colas viejas con respecto a otros depósitos similares, así como los relativamente bajos contenidos de SiO_2 y MgO , con respecto a las otras presas de Nicaro y Moa, incluyendo la nueva presa de la Pedro Soto Alba, como se muestra en la siguiente gráfica.

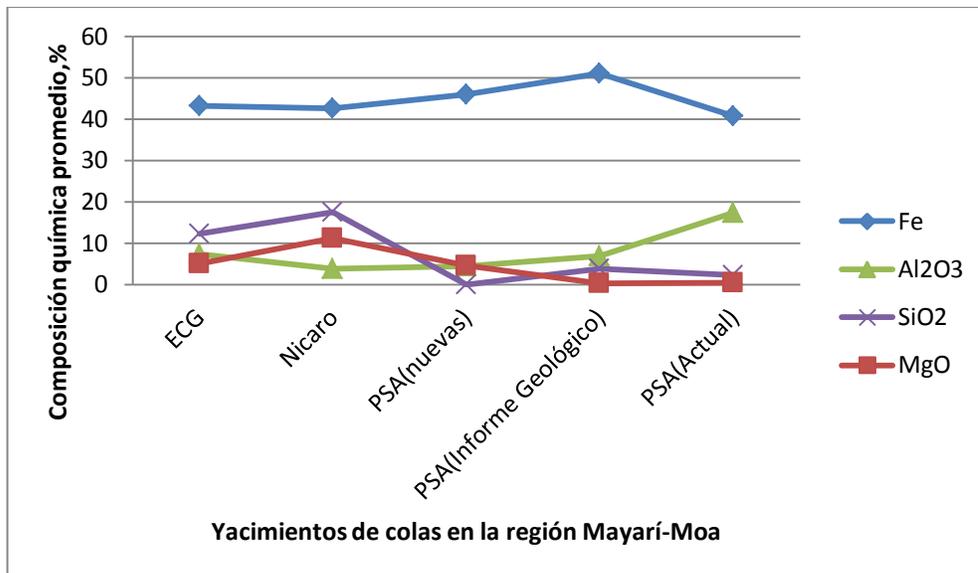


Gráfico 7. Comportamiento del contenido de Hierro, Aluminio y Cuarzo en diferentes colas de la industria del Níquel en Nicaro y Moa.

Elaborado por: Yaimaris Navarro Breffe

En el resto de los elementos químicos analizados, no se aprecian diferencias significativas de los elementos pesados, como cromo y, manganeso, principalmente.

Se aprecia en estos residuos industriales, que independientemente de la tecnología empleada para el procesamiento de los minerales, los altos contenidos de Fe, Cr, Mn y V, principalmente, convierten a estos pasivos en materia prima atractiva para su procesamiento industrial y la obtención de productos, con posibilidades de incrementar los ingresos económicos del país

en los próximos años, tomando en cuenta el agotamiento paulatino de los tradicionales yacimientos lateríticos de Moa y Nicaro.

Las colas viejas de la Empresa Pedro Soto Alba Moanickel S.A de Moa, luego de transcurridos 37 años de su primer estudio geológico, mantienen su valor e interés económico, que al no apreciarse cambios significativos en su composición física, química y mineralógica, permiten afirmar que pueden ser utilizadas, luego de un estudio más profundo que permita evaluar variantes tecnológicas para su procesamiento industrial.

3.3 Posibles usos del pasivo ambiental colas viejas de la PSA de Moa.

De forma general, en la composición química de las colas viejas de la Empresa Pedro Soto Alba Moanickel S.A prevalecen los minerales de hierro, con predominio de Hematita y maghemita, con presencia de elementos importantes como Cromo, Manganeso, Vanadio y Aluminio, que aumentan el valor agregado de estos desechos sólidos. Sin embargo los contenidos de azufre, a pesar de que no son muy altos, constituyen una dificultad usar este material como carga directa para la carga de hornos para producir aceros u otras aleaciones ferrosas.

Además de estas características generales se unen al valor comercial de estos residuos, los volúmenes de desechos acumulados actualmente en todas la presas de colas de Nicaro y Moa, así como su incremento paulatino año tras año; el decrecimiento de la cantidad y calidad del mineral que se alimenta a nuestras plantas productoras; el surgimiento de nuevas técnicas analíticas y experimentales que permiten determinar elementos que en años anteriores eran muy difíciles de detectar, así como de evaluar tecnologías más integrales y eficientes que incrementan la productividad de las plantas metalúrgicas en la actualidad; la demanda cada vez mayor de materia prima siderúrgica de Cuba y

el mundo, el incremento de los precios de los productos siderúrgicos a nivel mundial; todo esto unido a la posibilidad de la región contar, con una alta masa de profesionales preparados y con experiencia en el procesamiento de minerales, permiten afirmar categóricamente, que están las condiciones materiales creadas para evaluar el uso de las colas de los procesos de producción de Níquel en Cuba, a través del uso de tecnologías más limpias que las utilizadas actualmente, incrementando las fuentes de empleo e ingresos económicos a nuestro país.

3.3.1 Posibles usos del pasivo colas viejas de la Empresa PSA de Moa.

Luego de analizar los diferentes trabajos técnico económicos realizados durante más de 50 años con las colas de las empresas productoras de Níquel en Cuba y el mundo, consideramos que existe abundante información sobre las características físico-químicas de estos desechos, que unido a los estudios tecnológicos realizados con la intención de llegar a su procesamiento y obtención de productos de mayor valor agregado, proponemos se evalúen las siguientes variantes tecnológicas para el procesamiento y comercialización de las colas viejas de la Empresa PSA de Moa:

1. Recuperación del Ni y Co a partir de la lixiviación ácida u orgánica.
2. Obtención de concentrados de Fe, Cr y Mn para su uso siderúrgico.
3. Obtención de Nickel Pig Iron (NPI) considerando los altos contenidos de Fe y la presencia de Níquel en esta materia prima.
4. Obtener lupias de hierro, a partir de las experiencias alcanzadas con el tratamiento de las colas de la Empresa René Ramos Latour de Nicaro.
5. Evaluar las características del azufre contenido en las colas de la Empresa Pedro Soto Alba Moanickel S.A, para la obtención de mata de Níquel.
6. Biolixiviación para la obtención de metales, principalmente, Ni, Co.

3.4 Conclusiones del Capítulo 3.

1. Las colas de la empresa “Comandante Pedro Soto Alba” están caracterizadas por contenidos de Fe de 42,9%, además de contar con elementos valiosos como Al_2O_3 , SiO_2 , Cr_2O_3 y V, que le dan un gran valor como materia prima industrial.
2. Granulométricamente, estas colas están constituidas por partículas mayores de 10,00 mm (51,00%), lo que evidencia una distribución de las partículas finas en todo el espectro granulométrico del material.
3. Se evidencia que en las colas rojas (viejas) de Moa existe una disponibilidad del mineral hierro con una concentración promedio de 43% para suplir las necesidades de los consumidores de hierro cubanos y de América Latina.
4. A pesar de que se conocen los posibles usos de los pasivos ambientales generados por la industria del Níquel en Cuba, no están implementadas tecnologías, que permitan su tratamiento y conversión en activos industriales o sociales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. El pasivo ambiental Colas Viejas de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba, Moanickel S.A” de Moa se caracteriza por presentar relativamente altos contenidos de Fe, Cr, V, Mn y Al, constituye una fuente importante materia prima para la obtención de metales valiosos de gran demanda mundial.
2. A pesar de tener más de 49 años de cerrada sus operaciones, la presa de colas viejas de la PSA, no presenta cambios significativos en su composición física, química y mineralógica, ni en sus volúmenes de material disponible.
3. Al comparar las características Físicas, Química y Mineralógicas del pasivo ambiental Presa de Colas Viejas de la Empresa “Comandante Pedro Soto Alba, Moanickel S.A” de Moa, con otras similares de Nicaro y Moa, la presencia de azufre marca la principal diferencia entre ellas.
4. Las características físicas, químicas y mineralógicas de las colas viejas de la PSA, unido a los trabajos técnicos económicos realizados con el resto de las colas de las empresas productoras de Níquel en Cuba, permiten desarrollar variantes tecnológicas para su procesamiento y obtención de productos de gran valor agregado.
5. Las colas de la empresa “Comandante Pedro Soto Alba” poseen contenidos de Fe de 42,9%, además de contar con elementos valiosos como Al_2O_3 de 14,163%, SiO_2 de 2,836%, Cr_2O_3 de 2,154% y V de 0,037%, que le dan un gran valor como materia prima industrial.
6. Granulométricamente, las colas viejas cuentan con más de 50 % de partículas mayores de 10,0 mm, sin cambios significativos en su composición química con respecto al tamaño de las partículas que posee.

RECOMENDACIONES

1. Continuar las investigaciones con las colas viejas de la Empresa Pedro Soto Alba, que incluya la evaluación de variantes para su procesamiento a través de tecnologías limpias.
2. Evaluar las características del azufre contenido en las colas viejas de la Empresa PSA, para definir variantes de eliminación o uso.
3. Intercambiar experiencias con los especialistas que trabajan en el nuevo Proyecto para el procesamiento de las colas de la Empresa René Ramos Latour de Nicaro, para aplicar las buenas prácticas en las investigaciones futuras de la Presa de Colas Viejas de la PSA.
4. Evaluar la influencia del agua contenida de manera permanente en las colas viejas de la PSA, en las pérdidas de material por arrastres físico-mecánicos y en transformaciones químicas que puedan ocurrir.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Almaguer, A., Trutie Méndez, J., Ortiz Veant, G., & Pérez Lazo, G. (1983). *Informe sobre el estudio de la composición sustancial del Yacimiento Artificial Colas Moa*. Moa: Geominera Santiago.
2. Andreiev, S., Perov, V., & Zverievich, V. (1987). *Trituración, Desmenuzacion y Cribado de Minerales*. Habana: Pueblo y Educación.
3. Arranz, J., & Alberruche, E. (2003). *Consideraciones generales sobre la evaluación de Impacto Ambiental en actividades mineras*. *Institutito Tecnológico Geominero de España*. Madrid. 26 pp. Mdrid: Institutito Tecnológico Geominero.
4. 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: ASGMI.
5. Cutiño, E. (2015). *Aprovechamiento sustentable de las colas de la Empresa Ernesto Che Guevara, para su comercialización con fines siderúrgicos*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.
6. Del Pino Batista, R. (2016). *Beneficio de las Mesas de Concentración de las colas en la Empresa Ernesto Che Guevara* . Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.
7. Ferreiro Guerrero, Y. (2014). *Reducción Carbonotérmica de Nodulizados Autorreducibles del Concentrado de Hierro de las Colas de Nicaro para la Obtención de Luoias de Arrabio*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.
8. Fonseca, C. (2015). *Extracción del cobalto mediante la lixiviación ácida de las colas de la tecnología carbonato amoniaca*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.

9. Ganesh Persaud, A. (2014). *Metodología para el inventario de los Pasivos Ambientales Mineros -Metalúrgicos ,generados por las industrias del Níquel en Moa*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.
10. Intersur, Concesiones S.A. (2011). *Estudio de Impacto Socio Ambiental del Corredor Vial Interoceánico Sur, Perú – Brasil*. Lima: ECSA Ingenieros.
11. Legra Lobaina, A. (2000). *Conceptos y reflexiones básicas para la investigación científica*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.
12. Ministerio de Medio Ambiente. (2008). *Regulación de los pasivos ambientales de la actividad minera. Ley N° 28271*. Lima: Ministerio de Medio Ambiente.
13. Ramírez Pérez, M. (2010). *Utilización de los Escombros Lateríticos de Zona A, Yacimiento Moa Occidental en el Proceso de Descarburización del Acero ACI HK-40*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.
14. Tamayo Hechavarría, N. (2016). *Evaluación técnico-económica de los minerales de las colas rojas de Moa para su comercialización con fines siderúrgicos*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.
15. Tamayo Hechavarría, N. (2016). *Evaluación técnico-económica de los minerales de las colas rojas de Moa para su comercialización con fines siderúrgicos*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.
16. Yupari, A. (2012). *Pasivos Ambientales Mineros en Sudamérica*. La Paz: CEPAL.

ANEXOS

Anexo I. Secuencia fotográfica de la Presa de Colas Vieja de la Empresa PSA de Moa.





