



Instituto Superior Minero Metalúrgico

Facultad de Metalurgia y Electromecánica

Departamento de Metalurgia y Química

Caracterización del pasivo ambiental “Gabro”
del yacimiento Moa Oriental, Empresa Pedro
Sotto Alba para su posible uso industrial.

**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO EN METALURGIA Y MATERIALES.**

Autor(a): Leidy Laura Jiménez Díaz

Moa, 2019



Instituto Superior Minero Metalúrgico

Facultad de Metalurgia y Electromecánica

Departamento de Metalurgia y Química

Caracterización del pasivo ambiental “Gabro”
del yacimiento Moa Oriental, Empresa Pedro
Sotto Alba para su posible uso industrial.

**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO EN METALURGIA Y MATERIALES.**

Autor(a): Leidy Laura Jiménez Díaz

Firma:

Tutores:

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

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

Moa, 2019

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de forma sincera este legado de mi vida, a todas aquellas personas q de una forma u otra influyeron en la formación de la misma como una profesional:

- *A mis padres por su incondicionalidad, confianza, amor y dedicación sirviéndome de ejemplo a luchar para lograr cualquier objetivo propuesto.*
- *Por de una forma u otra a toda mi familia por ver apoyado para alcanzar mis sueños; abuelos, tía, primos, hermanos y padres de crianza.*
- *En especial destacar el papel tan importante, por su incondicionalidad a cualquier hora y en cualquier momento a María y Nuria Díaz.*
- *A mi novio y familia por brindarme el cariño necesario producto a la distancia que me encuentro de mi región natal.*
- *A todo el grupo de compañeros con los cuales tuve que relacionarme estos cinco años y que de una forma u otra me apoyaron a crecer en momentos difíciles que se presentaron entre ellos puedo mencionar algunos que ocuparon un pedacito en mi corazón: Lianet Lobaina, Ana Rita Meneses y Luis Ángel Jiménez.*
- *A mis tutores por haberme dado seguimiento en todo el trabajo.*
- *A todo el colectivo de profesores que influyeron en la formación integral y profesional de mi persona, pero en especial a Yunicor, Reger Almenares y Yesvel Guerra.*
- *A todas aquellas personas que de una forma u otra estuvieron a mi lado dándome apoyo como; Glensay, Judit Pineda, Ánabel y Yanetsys y familia.*
- *Sin dejar de mencionar: gracias a la Revolución por la lucha que lleva de formación profesional en los cuales me incluye.*

DEDICATORIA

Dedico este trabajo aquellas que siempre me han servido de motor impulsor al logro de mis metas y propósitos demostrándome siempre su incondicionalidad y apoyo; ellos son mis padres Yeslexis Díaz Torres y Rubén Jiménez Arguelles.

- *A mi novio por mantenerse a mi lado con su cariño y comprensión ayudándome a alcanzar mis sueños.*
- *De forma general a mi gran familia donde incluyo a mis hermanos Reinier y Leisy Maura, mi tía Nuria, padres de crianza Marisol y Orlando, a la esposa de mi papá María y a mi hermana de la vida Lianet que de una forma u otra han confiado en mí, y me han apoyado a llevar como tareas primordiales el cumplimiento de mi enriquecimiento intelectual, es decir el logro de mi título como ingeniera.*

Pensamiento

En la tierra hace falta personas que trabajen más y critiquen menos, que construyan más y destruyan menos, que prometan menos y resuelvan más, que esperen recibir menos y dar más, que digan mejor ahora que mañana.

Ché

RESUMEN

En esta investigación se realizan los estudios preliminares sobre las características físicas, químicas y mineralógicas del pasivo ambiental “Gabro”, del yacimiento Moa Oriental, pertenecientes a la Empresa Pedro Sotto Alba, para su posible uso industrial. Se emplearon los métodos de análisis químico de espectrometría fotométrica de absorción atómica, la granulometría por vía seca y mineralógicos por difracción de rayos X para la caracterización de las muestras seleccionadas y preparadas en el laboratorio de beneficio de minerales de la Universidad de Moa. Los resultados de la caracterización físico-química demostraron la presencia de fases principales de aluminio (Gibbsita), silicio y magnesio (talco) y como fases secundarias minerales de cobalto, con presencia significativa de silicio , magnesio, níquel, cobalto, hierro, aluminio, cromo y manganeso, que hacen de este residual minero, un material con posibilidades futuras de utilización industrial, caracterizado además, granulométricamente por presentar un contenido de las fracciones mayores de 1 mm, superior al 73 %. Los gabros del yacimiento Moa oriental constituyen impurezas nocivas para la tecnología de producción de níquel, ácida a presión (HPAL), que emplea la empresa Moa Nickel S.A, que lo convierten en un pasivo ambiental, sin un uso definido hasta la actualidad.

Palabras Claves: Gabros, Pasivos Ambientales, Caracterización físico-química.

Abstract

In this research there were carried out preliminary studies on the physical, chemical and mineralogical characteristics, of the environmental mining liabilities Gabbro, of the deposit Moa Oriental, belonging to the Pedro Sotto Alba Factory, for his possible industrial. There were used the following methods : chemical analysis of photometric spectrometric of atomic absorption, granulometrical analysis by means of dry way and mineralogical by means of X-rays diffraction of for the characterization of the selected samples, prepared at the minerals benefit laboratory of Moa's University . The results of physiochemical characterization demonstrated the presence of principal phases of aluminum (Gibbsita), silicon and magnesium (talcum) and like secondary mineral phases cobalt, with significant presence of silicon, magnesium, nickel, cobalt, iron, aluminum, chrome and manganese, that they make this mining waste, a material with future possibilities of industrial use ,that is also characterized granulometrically for presenting a contents of 1 mm's bigger fractions, higher 73 %.The gabbros of Oriental Moa deposit constitute noxious impurities for the technology of production of nickel , hingh pressure acid leach (HPAL), that the Moa Nickel S.A company uses, that turn into environmental liability, without a defined use to the present time.

Key words: Gabbros, Environmental Pasive, Caracterización physical - chemical

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|------|
| ÍNDICE DE CONTENIDO | viii |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I | 3 |
| MARCO TEÓRICO | 3 |
| 1.1 Conceptualización de los Pasivos Ambientales Mineros | 3 |
| 1.2 Caracterización de los pasivos ambientales mineros (PAM)..... | 5 |
| 1.3 Leyes que regulan los pasivos ambientales de la actividad minera en el mundo y en Cuba. | 6 |
| 1.4 Tipos de pasivos ambientales existentes en la Empresa Pedro Sotto Alba..... | 8 |
| 1.5 Características físicas y químicas del gabro | 9 |
| 1.6 Clasificación y usos del gabro | 10 |
| 1.6.1 Tipos de gabro | 10 |
| 1.6.2 Usos del gabro | 10 |
| 1.6.3 Textura del gabro..... | 11 |
| 1.6.4 Tipos de minerales presentes en el gabro | 11 |
| 1.7 Estudio de los Gabros en Cuba | 11 |
| 1.8 Conclusiones del capítulo I..... | 13 |
| CAPÍTULO II..... | 14 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 14 |
| 2.1 Materias primas utilizadas | 14 |
| 2.1.1 Selección y preparación de la muestra | 15 |
| 2.2 Ensayos analíticos realizados..... | 16 |
| 2.2.1 Análisis Químico | 16 |
| 2.2.2 Análisis Mineralógico..... | 17 |
| 2.2.3 Análisis Granulométrico..... | 16 |
| 2.2.4 Análisis Químico por fracciones | 17 |

| | |
|---|----|
| 2.3 Conclusiones del capítulo II | 19 |
| CAPÍTULO III | 20 |
| ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS | 20 |
| 3.1 Resultados de los análisis químicos..... | 20 |
| 3.1 Resultado de los análisis mineralógicos | 22 |
| 3.2 Resultados de los análisis granulométricos | 20 |
| 3.2 Resultados de los análisis químicos por fracciones | 22 |
| 3.3 Posibilidades del uso sostenible del PAM estudiado..... | 26 |
| 3.4 Conclusiones del capítulo III | 27 |
| CONCLUSIONES GENERALES | 29 |
| RECOMENDACIONES | 30 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 31 |
| ANEXOS | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Características generales del gabro | 10 |
| Tabla 2: Composición granulométrica por vía seca, de los gabros del yacimiento Moa Oriental..... | 20 |
| Tabla 3: Composición química promedio (%), de los gabros del yacimiento Moa Oriental, Área 12 Camarioca Norte..... | 21 |
| Tabla 4: Principales propiedades físicas del gabro estudiado. | 22 |
| Tabla 5: Composición química (%) por fracciones granulométricas del gabro del yacimiento Moa oriental..... | 22 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 : Localización del área 12, Camarioca Norte. (Subdirección de Minas, 2018). | 14 |
| Figura 2: Gabros del área 12 Camarioca Norte de la Empresa PSA. | 15 |
| Figura 3: Representación esquemática del método de cuarteo para la preparación de la muestra. Mitrofánov (1982)..... | 16 |
| Figura 4: Tamizadora eléctrica empleada en los análisis granulométricos. | 17 |
| Figura 5: Equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica empleado en los análisis químicos. | 17 |
| Figura 6: Equipo de Difracción de Rayos X, empleado para los análisis mineralógicos. | |
| | 18 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1: Composición granulométrica de los gabros del yacimiento Moa Oriental ... | 21 |
| Gráfico 2: Composición química de la fracciones granulométricas estudiadas | 23 |
| Gráfico 3: Contenido de Al, SiO ₂ y MgO en el gábro de Moa oriental..... | 24 |
| Gráfico 4: Contenido de níquel y el cobalto en el gábro estudiado..... | 24 |
| Gráfico 5: Composición química del manganeso y cromo..... | 25 |

INTRODUCCIÓN

La Empresa Pedro Sotto Alba es concesionaria de amplias reservas de níquel y cobalto en Cuba y dentro de ellas específicamente en la zona de Moa Oriental se encuentran diversas manifestaciones de Gabros, que por sus características físico químicas y mineralógicas no constituyen parte de los minerales de alimentación a esta planta metalúrgica, constituyendo uno de los pasivos ambientales mineros que no son empleados en la actualidad por desconocerse gran parte de sus contenidos y demás características, que facilitarían la toma de decisiones sobre sus posibles usos industriales.

Situación Problémica

Cuba es uno de los principales países productores de níquel y cobalto en el mundo, donde se encuentran una de las mayores reservas de este mineral es en el municipio Moa, provincia Holguín. Dichas actividades mineras han contribuido al surgimiento de los Pasivos Ambientales Mineros Metalúrgicos.

“En nuestro país existen reservas de minerales con buenas propiedades refractarias y abrasivas, algunos han sido probados en las industrias, sin embargo, existen algunos que aún están por caracterizar y evaluar su comportamiento en dicha industria”. (Ramírez Matos, 2001 pág. 1).

Ramírez Matos, (2001) realiza una caracterización de los gabros presentes en el complejo Moa-Baracoa y expresa en este sentido,

En el complejo ofiolítico Moa-Baracoa que ocupa un área aproximadamente de 1500 km² está caracterizado por la existencia de rocas ultramáficas. Dentro de este complejo se localizan importantes reservas de materias primas minerales, que son considerados como escombros en los procesos de explotación y procesamiento de los minerales de cromo, y que por sus propiedades podrían ser utilizados industrialmente en sustitución de materiales refractarios y abrasivos empleados actualmente, lo que traería consigo un ahorro significativo de recursos materiales y financieros.

La Empresa Pedro Sotto Alba es concesionaria una de las más amplias reservas de níquel y cobalto en Cuba. Dentro de estas reservas específicamente en la zona de Moa Oriental se encuentran diversos yacimientos de Gábro, material que por sus características físico químicas no forman parte de las reservas de minerales de alimentación al proceso productivo de la empresa, por lo que constituye un pasivo ambiental minero sin una

utilización definida hasta el momento, lo cual ha dado lugar al desarrollo de esta investigación.

Problema: Insuficiente conocimiento de las características físicas, químicas y mineralógicas del pasivo ambiental “Gabro” del yacimiento Moa Oriental que limitan la toma de decisiones sobre su posible utilización industrial y constituyen un pasivo ambiental que afecta al ecosistema de la región de Moa.

Objeto de investigación: Gabros del yacimiento Moa Oriental de la Empresa Pedro Sotto Alba.

Campo de acción: Características físicas, químicas y mineralógicas del pasivo ambiental Gabro del yacimiento Moa – Oriental de la Empresa Pedro Sotto Alba.

Objetivo general: Determinar las características físicas, químicas y mineralógicas del pasivo ambiental Gabro del yacimiento Moa – Oriental de la Empresa Pedro Sotto Alba para su posible uso industrial.

Hipótesis: Con la determinación de las características físicas, químicas y mineralógicas del pasivo ambiental Gabro del yacimiento Moa – Oriental de la Empresa Pedro Sotto Alba, será posible la toma de decisiones para la utilización de estos residuales.

Objetivos Específicos

- Determinar las características físicas – químicas del pasivo ambiental Gabro del yacimiento Moa – Oriental.
- Determinar las características mineralógicas del pasivo ambiental Gabro del yacimiento Moa – Oriental.
- A partir de las características físicas, químicas y mineralógicas del pasivo ambiental Gabro del yacimiento Moa – Oriental, proponer posibles usos de este residual.

Resultados Esperados

- Caracterización física, química y mineralógica del pasivo ambiental minero “Gabro” del yacimiento de Moa Oriental de la Empresa “Pedro Sotto Alba”.
- Propuestas de utilización del pasivo ambiental estudiado a partir de su caracterización.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

Las empresas pertenecientes a países menos desarrollados, explotan sus riquezas sin tener en cuenta los daños que ocasionan los residuos de la explotación al medio ambiente; si estos no son tratados pueden convertirse en pasivos ambientales, de ahí la necesidad de realizar trabajos investigativos que contribuyan a ampliar el conocimiento de los mismos, en cuanto a las características que estos poseen para poder fundamentar el tratamiento y posibles usos posteriores.

En este capítulo se abordan las principales investigaciones relacionadas con la caracterización de los Pasivos Ambientales Mineros, generados por las Empresas Metalúrgicas de Cuba y el mundo.

El objetivo de este capítulo es exponer los principales trabajos que han tratado el tema en cuestión, para aprovechar sus aportes y experiencias, analizando el alcance y las principales insuficiencias.

1.1 Conceptualización de los Pasivos Ambientales Mineros

En distintos países de América Latina como México, Bolivia, Perú y Colombia, se han realizado investigaciones y establecido bases normativas que muestran avances en la definición sobre los Pasivos Ambientales Mineros (PAM). Ejemplos de la afirmación anterior son los trabajos investigativos realizados por (Ríos Azahares, 2015) y que se resumen a continuación.

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.

El informe preliminar “ Inventarios de pasivos ambientales mineros del Ministerio de Energía y Minas del Perú” (minas, 2006) define como Pasivo Ambiental Minero “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”.

En Bolivia, de acuerdo con 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 Colombia por ejemplo, no existe una legislación para evaluar los PAM pero se han propuesto las siguientes definiciones:

- Se denomina PAM a la obligación de incurrir en un gasto por una persona como consecuencia de una responsabilidad cuantificable económicamente, causada por actividades mineras inactivas o abandonadas que generan un riesgo para la salud y el patrimonio.
- Se entiende por PAM “la obligación económica causada por un daño ambiental generado por actividades mineras inactivas o abandonadas que pone en riesgo la calidad de vida, el ecosistema, bienes públicos o privados”.

En Cuba, a lo largo de la historia de la minería, la actividad extractiva de los yacimientos no metálicos y metálicos ha sido y es intensa, fundamentalmente las referidas al níquel. Los yacimientos que ya no se encuentran activos por razones técnicas, económicas o sociales, agrupan los PAM y constituyen huellas dejadas en el entorno que reclaman la toma de medidas para su rehabilitación y posible utilización con vistas a mejorar la sostenibilidad de nuestros recursos naturales (González Roché, 2017 pág. 23).

En el IV Congreso Cubano de Minería, con respecto a este tema (Seoane, y otros, 2011) plantearon:

Los PAM son obligaciones financieras para la reparación de los daños causados al entorno por la actividad minera e impactos ambientales provocados por ella, así como por el incumplimiento de la legislación minera y ambiental al respecto existente en Cuba.

A los PAM se le debe prestar gran atención, pues ellos no se restringen a lo que sucede dentro de los límites de la propiedad o concesión minera activa en cuestión, sino que los sobrepasa, y mientras más pronto se identifiquen es mejor ya que muchos pasivos son procesos activos. Así, por ejemplo, la emisión de polvo o partículas, propia de la minería,

o la contaminación de aguas superficiales y/o subterráneas, podría estar dañando la salud de comunidades vecinas y zonas aledañas.

1.2 Caracterización de los pasivos ambientales mineros (PAM)

El Estado de Perú promulgó el 2 de julio del año 2004 la Ley N° 28271, donde en el artículo Nro. 2 regula los pasivos ambientales 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 un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad” (Vidal Aguilar, 2018) 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 relavera: 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, que por lo general se construye con el mismo material grueso que está contenido en la pulpa. Las ubicaciones

son diversas, generalmente de acuerdo 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, que no son utilizados en la actualidad.

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.

1.3 Leyes que regulan los pasivos ambientales de la actividad minera en el mundo y en Cuba.

En los países que poseen o hayan poseído actividades mineras, resulta de gran importancia contar con un documento vigente donde se le preste especial atención a los pasivos ambientales existentes y así las obligaciones que tienen las empresas correspondientes a los mismos. A continuación, se hace referencia a dos de estos países.

En Perú, LEY N° 28271 (El Congreso de la República, 2004), algunos de sus artículos expresan:

Artículo 1.- Objetivo

La presente Ley tiene por objeto regular la identificación de los pasivos ambientales de la actividad minera, la responsabilidad y el financiamiento para la remediación de las áreas afectadas por éstos, destinados a su reducción y/o eliminación, con la finalidad de mitigar sus impactos negativos a la salud de la población, al ecosistema circundante y la propiedad.

Artículo 2.- Definición de los Pasivos Ambientales

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.

Artículo 10.- Reutilización de los pasivos ambientales mineros.

Los pasivos ambientales podrán ser reutilizados por el titular de la concesión minera en los que se encuentren ubicados, siempre que se implementen medidas de manejo ambiental y aquellas destinadas a su mitigación, remediación y cierre, conforme al estudio ambiental correspondiente, según lo establezca el Reglamento."

Artículo 11.- Reaprovechamiento de pasivos ambientales mineros.

Los pasivos ambientales que formen parte del inventario al que se refiere el artículo 3 y que pudieran contener valor económico podrán ser susceptibles de reaprovechamiento. El reaprovechamiento del pasivo ambiental deberá solicitarse y ejecutarse considerando medidas de manejo ambiental, mitigación, remediación y cierre, e incluyendo garantías ambientales conforme al estudio ambiental correspondiente, según lo establezca el Reglamento.

En Cuba la Ley de Minas, en algunos de sus principales artículos señala, (Asamblea Nacional del Poder Popular, 1976):

Artículo 1: La presente ley se denomina Ley de Minas y tiene como objetivos establecer la política minera y las regulaciones jurídicas de dicha actividad de manera tal que garantice la protección, el desarrollo y el aprovechamiento racional de los recursos minerales en función de los intereses de la nación, trazando directivas obligatorias controladas por los funcionarios del gobierno vinculados con la actividad.

Artículo 43: Los concesionarios de explotación tienen las siguientes obligaciones:

- Iniciar la explotación en un plazo máximo de 2 años, contados a partir de la fecha del título.
- Elaborar y someter a la aprobación de la autoridad minera el proyecto de explotación según el procedimiento que se prevea en el reglamento de la presente ley.
- Explotar la reserva del yacimiento con pérdidas y diluciones mínimas.
- Planificar y ejecutar las investigaciones geológicas necesarias para incrementar el conocimiento del yacimiento para orientar los trabajos de explotación.

En nuestro país no existe regulada jurídicamente en la Ley de Minas un artículo referente a los pasivos ambientales.

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

A continuación, se resumen las principales características físico-químicas de pasivos ambientales mineros, presentes en los yacimientos lateríticos de la región de Moa, que no son empleados actualmente, principalmente, por desconocimiento de las mismas.

Piscina de sedimentación:

Una piscina de sedimentación es “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. “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. (Ministerio de Minas y energía, 2015)

Escombros Lateríticos

La Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba” procesa anualmente alrededor de 4,0 MM toneladas de mineral de diferentes frentes de explotación, conformando mezclas de los yacimientos Moa Oriental y Moa Occidental, con una producción final promedio de alrededor de 28 000 toneladas al año, utilizando para el procesamiento de sus minerales la tecnología de lixiviación ácida a presión (González Roché, 2017).

Los principales depósitos minerales del yacimiento Moa occidental no son utilizados por esta empresa, por lo que constituyen pasivos ambientales metalúrgicos, generados por las operaciones minera y metalúrgica, identificados principalmente, como: concreciones ferruginosas o escombros lateríticos (García, 2018).

La Empresa Pedro Sotto Alba extrae anualmente, como parte de las operaciones mineras necesarias, para la alimentación a la planta metalúrgica, más de cinco (5) millones de toneladas de mineral. En este proceso se generan gran cantidad de pasivos ambientales o residuales mineros, que no son estudiados ni empleados de manera sostenible, quedando en la mayoría de los casos, en las propias áreas mineras o formando parte de

acumulaciones en las márgenes de los caminos mineros o en otras áreas designadas arbitrariamente para conservarlos.

Entre los pasivos menos empleados y más generados por el laboreo minero de la empresa, se destacan los escombros lateríticos, las piscinas de sedimentación y los gabros; este último constituye el objeto de esta investigación y sus características se describen a continuación.

1.5 Características físicas y químicas del gábro

El gábro 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 fanerítica, su color es oscuro o melanocrática debido a que se encuentra enriquecido en minerales máficos. Se encuentra conformado por minerales principales o dominantes de: piroxeno (augita) y plagioclasa cállica (anortita, bitownita), los minerales asociados son: anfibol y olvino, los usos principales se encuentran en la industria de la construcción, la roca ígnea análoga es el basalto.

El gábro 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.

Adicionalmente este material puede contener cantidades muy pequeñas de algunos metales de las tierras raras así como ilmenita, níquel, cromo o platino. En la tabla siguiente se muestran algunas de las principales características generales de este residual minero.

Tabla 1: Características generales del gabro

| Aspectos | Características |
|-----------------------|--|
| Tipo de roca | Ígnea intrusiva |
| Origen | Enfriamiento del magma |
| Composición química | Máfico - básico 45% -52% SiO ₂ |
| Textura | Fanerítica |
| Minerales principales | Piroxeno, plagioclasa cárquica |

Fuente: (Ramírez Matos, 2001 pág. 1).

1.6 Clasificación y usos de los gabros

1.6.1 Tipos de gabro

Los tipos de rocas principales que se incluyen bajo el término gabro son:

- Gabro (en sentido estricto): formado principalmente por augita y plagioclasa cárquica.
- Gabro de olivino: Contiene augita, olivino, plagioclasa cárquica.
- Troctolita: está formado por olivino, plagioclasa cárquica.
- Norita: tiene hipersteno, plagioclasa cárquica.
- Anortosita: contiene plagioclasa cárquica (mineral dominante).

Es considerado que, “Si un gabro contiene más de 5% de volumen de olivino se llama gabro de olivino y si tiene más de 5% de cuarzo, gabro de cuarzo, el mismo, también puede contener apatita, magnetita o ilmenita como minerales accesorios”, (Galindo Medina, 2017)

1.6.2 Usos del gabro

A pesar del desconocimiento de sus principales características es conocido que, “los gabros” es muy valorado en las industrias de la construcción especialmente para esculturas de revestimiento (granito negro) debido a su alta dureza y resistencia, su color oscuro llamativo y excelente facilidad de pulido” (Ramírez Matos, 2001 pág. 1).

1.6.3 Textura del gabro

El gabro tiene textura fanerítica debido a que cristaliza bajo superficie a grandes profundidades, al ser una roca oscura suele ser difícil ver la textura, sin embargo, cuando se adquiere experiencia se logra apreciar el contacto entre los minerales a manera de cristales entrecrecidos.

1.6.4 Tipos de minerales presentes en el gabro

Los minerales presentes en la composición mineralógica de los gabros son la plagioclasa y el clinopiroxeno con presencia de un 50-90 % y un 10-50 % de gabro normal respectivamente.

Además de su asociación con la ilmenita, el cromo, el níquel y el platino, ocasionalmente el gabro contiene oro, plata o cobalto, minerales individuales presentes en los depósitos donde se formó la roca.

El gabro se halla en depósitos bajo la tierra, cerca de los volcanes y las cortezas oceánicas de composición basáltica, o debajo de los basaltos que se forman por la inundación de ríos como la Colombia en Estados Unidos. Por el lento enfriamiento del magma pueden llegar a formarse grandes cristales, del tamaño de los canales por donde fluye la lava.

Los cristales de gabro se caracterizan por un relieve alto bajo la luz natural, y pocas maclas bajo luz polarizada.

1.7 Estudio de los Gabros en Cuba

La presencia de los gabros en los yacimientos lateríticos de la región de Moa, es conocida desde hace muchos años, pero “el estudio de los gabros surge en el año 1987 a partir de las dunitas serpentinizadas ubicadas en varias zonas de la región de Moa, por un colectivo de profesores y estudiantes de la facultad de geología.”(Gámez Rodríguez, 2001). Lo que demuestra que existen algunos trabajos relacionados con las características de este material, sin embargo, aún siguen siendo insuficientes para definir sus posibles usos industriales.

Ramírez Matos en el 2001, realizó una investigación relacionada con el gabro normal, con el objetivo de caracterizar desde el punto de vista físico – químico y fásicas del gabro normal presente en la zona Amores. Donde se obtuvo como resultado que los análisis mineralógicos aplicando la técnica de Difracción de Rayos x permitieron comprobar el rango de temperaturas entre 150 a 855 °C que mantiene la estabilidad de las fases

principales: Plagioclasas y piroxenos, pero no se determinó los principales parámetros termodinámicos del proceso de descomposición térmica del material estudiado.

En ese mismo año Gámez Rodríguez, realizó una investigación sobre el gabro olivínico con el objetivo de caracterizarlo desde el punto de vista físico – químico y fásicas dentro del yacimiento cromitas Merceditas. Donde se obtuvo que al utilizar el método de Achar se determinaron los principales parámetros cinéticos sobresaliendo el valor de energía de activación igual 135,15 kJ/mol necesaria para alcanzar la descomposición térmica del mismo, pero no se realizó un estudio de preparación mecánica por vía húmeda.

Galindo Medina en el 2017, realizó una investigación relacionada con la evaluación de mezclas de Gabros de Cayo Guam con adición de tobas vítreas para la fabricación de ladrillos cerámicos con el objetivo de evaluar las características que debe tener el Gabro y tobas vítreas para ser utilizado en la producción industrial de ladrillos de cerámicas rojas y su influencia sobre los procesos de secado y cocción donde se demostró que es factible utilizar las mezclas de gabros de la zona de Cayo Guam y las tobas vítreas de Sagua de Tánamo, para su utilización en la industria de materiales de la construcción, pero no se evaluó con profundidad el impacto económico, ecológico y social de la adición de tobas vítreas como aditivo en la fabricación de ladrillos de cerámica, a partir de estudio de factibilidad económica.

Por su parte, Hernández Tirado en el 2018, realizó una investigación relacionada con el estudio pirometalúrgico del Pasivo Ambiental “Colas viejas”, de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba, de Moa, con el objetivo de determinar el comportamiento térmico del Pasivo Ambiental “Colas Viejas”, a través de pruebas pirometalúrgicas y del conocimiento de sus características físicas, químicas, que permitan la toma de decisiones sobre sus posibles usos siderúrgicos, donde se obtuvo un arrabio con 88,4 % de hierro, 1,53 % cromo, 1,9 % silicio, 0,3 % de titanio y 0,05 % de vanadio, con posibilidades de uso siderúrgico pero no se evaluó la obtención de un arrabio enriquecido aplicando mejoras tecnológicas a la metodología que se emplee, principalmente, pre reducción, aglomeración y el uso de otros tipos de reductores.

Cobas García en el 2018, desarrollo una investigación relacionada con la evaluación preliminar de la Fusión Reductora de los “Escombros Lateríticos”, del Yacimiento Camarioca Norte, áreas 1 y 2, con el objetivo de determinar el comportamiento térmico del Pasivo Ambiental “Escombros Lateríticos”, a través de pruebas pirometalúrgicas y del conocimiento de sus características físicas, químicas y mineralógicas, que permitan

la toma de decisiones sobre sus posibles usos siderúrgicos, donde se obtuvo que el comportamiento térmico del Pasivo Ambiental “Escombros Lateríticos” del yacimiento Camarioca Norte, áreas 1 y 2 hasta los 1000 °C, se desarrolla a través del siguiente mecanismo: En el intervalo de temperatura entre 80 – 250 °C, aproximadamente, mostrando una rapidez de pérdida de masa, esta pérdida es 2,4 – 5,0 % que posee entre 92 – 115 °C, lo cual está asociado a la eliminación del agua de hidratación de este pasivo, pero no se estudiaron las escorias obtenidas como resultado de los procesos pirometalúrgicos, que se empleen para el tratamiento y uso de los pasivos ambientales mineros metalúrgicos sólidos (PAMMs).

Todos estos estudios han demostrado la presencia de gran cantidad de Pasivos Ambientales Minero Metalúrgicos sólidos (PAMMs) en la región de Moa, sin un profundo grado de conocimiento al no ser considerados como minerales de alimentación a las plantas metalúrgicas productoras de Níquel, que los convierten en recursos sin posibilidades de utilización futura, lo que constituye otra de las motivaciones para la realización de esta investigación.

1.8 Conclusiones del capítulo I

- Los gabros se caracterizan por ser una roca ígnea de origen magmático, color oscuro, textura fanerítica y composición química dentro del grupo de las rocas máfica o básicas.
- Los gabros del yacimiento Moa oriental a pesar de contener elementos valiosos en su composición química, constituyen impurezas para la tecnología de producción de níquel, ácida a presión (HPAL), y son considerados pasivos ambientales mineros.
- Normalmente se encuentra conformado por minerales principales o dominantes de, piroxeno (augita) y plagioclasa cálcica (anortita, bitownita), mientras que sus minerales asociados son, fundamentalmente, anfibol y olvino.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se hace referencia a la metodología utilizada para la caracterización físico-química, mineralógica de los gabros del yacimiento Moa Oriental de la Empresa Pedro Sotto Alba, la cual fue realizada con la combinación de diferentes técnicas instrumentales como: Separación Granulométrica, Difracción de Rayos X y Espectrometría Fotométrica de Absorción Atómica, que permitieron establecer las regularidades de estos residuos sólidos.

2.1 Materias primas utilizadas

Para la realización de este trabajo se tomaron muestras representativas de los Gabros ubicados en el yacimiento Moa Oriental, específicamente los existentes en el área 12, Camarioca Norte, en la Empresa Pedro Sotto Alba, que son señalizados en la figura 1.

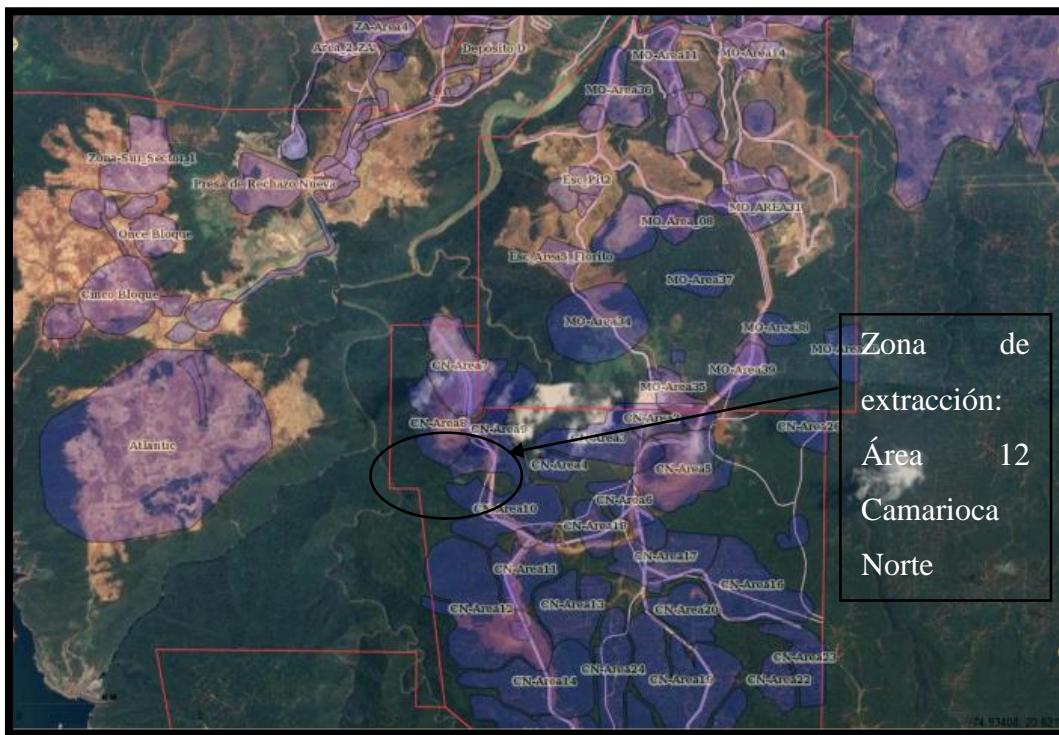


Figura 1 : Localización del área 12, Camarioca Norte. (Subdirección de Minas, 2018).

2.1.1 Selección y preparación de la muestra

Las muestras estudiadas fueron tomadas del área 12 Camarioca Norte, de la Empresa Pedro Sotto Alba utilizando el método de redes y puntos. La muestra se compuso de tres partes, una tomada en la parte superior, otra en la parte media y la tercera en la parte inferior del afloramiento (Figura 2). Dichas muestras fueron trasladadas hasta la planta de beneficio de minerales del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, donde fueron secadas y preparadas.

En la figura 2 se muestran los gabros de los cuales se extrajeron las muestras a estudiar.



Figura 2: Gabros del área 12 Camarioca Norte de la Empresa PSA.

Después de secadas las muestras se procedió a la homogeneización del material a través del método de cuarteo (cono y anillo), como se observa en la figura 3.

Primeramente, se amontonaron los gabros hasta conformar una pila, luego se introdujo un tubo de acero inoxidable de 100 mm de diámetro por la parte frontal, para tomar la muestra que se utilizaría en los ensayos de caracterización, la operación se realizó en tres niveles (superficie, centro y profundidad), se aplicó el método de cuarteo según (mitrofánov, 1982) que consiste en la deposición del material en forma de cono. Con la ayuda de una pala se conformó un talud distribuyéndolo uniformemente por todos sus lados, el material restante se recoge minuciosamente y se arroja en el vértice del talud, después se aplasta con una tabla hasta obtener un cono truncado.

Luego se selecciona una tabla de madera delgada y se introduce de forma horizontal en el material, aproximadamente a una profundidad equivalente al ancho de la tabla, se realizan dos cortes a todo lo largo hasta obtener una división de cuatro partes iguales.

Después a simple vista se enumeran cada una de las partes y se recogen los cuadrantes 1 y 3 para depositarlo uno encima del otro en otra área. Seguidamente se realiza la operación tres veces, y se obtiene una reducción y homogeneización de la muestra para obtener como producto final la masa a emplear en la investigación.



Figura 3: Representación esquemática del método de cuarteo para la preparación de la muestra. Mitrofánov (1982)

2.2 Ensayos analíticos realizados

En este epígrafe se abordan los principales aspectos relacionados con los análisis físicos, químicos y mineralógicos, así como los principales equipos utilizados durante los ensayos.

2.2.1 Análisis Granulométrico

La caracterización granulométrica de los gabros se realizó por vía seca, la selección del juego de tamices se realizó según la serie de Taylor.

Las fracciones granulométricas conformadas a partir de los tamices utilizados, fueron las siguientes: + 10 mm, -10 + 8 mm, -8 +6 mm, -6 +4 mm, -4 +2 mm, -2 +1 mm, -1 +0,83 mm, -0,83 +0,5 mm, -0,5 +0,4 mm, -0,4 +0,3 mm, y -0,3 +0,2 mm, -0,2 +0,1 mm, -0,1 +0,074 mm, -0,074.

El procedimiento empleado para la caracterización granulométrica 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 de 15 minutos. Para realizar el análisis granulométrico se utilizó la tamizadora eléctrica mostrada en la figura 4.



Figura 4: Tamizadora eléctrica empleada en los análisis granulométricos.

2.2.2 Análisis Químico

Los análisis físicos - químico de las muestras experimentales fueron analizados en el Centro de Investigaciones Níquel (CEDINIQ) en Moa, mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica, el equipo empleado se muestra en la figura 5.



Figura 5: Equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica empleado en los análisis químicos.

2.2.3 Análisis Químico por fracciones

A partir de la separación granulométrica realizada a la muestra enviada al CEDINIQ se efectuó el análisis químico de cada una de las fracciones granulométricas obtenidas. Se llevó a cabo la determinación de Fe^{2+} y las pérdidas por ignición por el método

gravimétrico. Por la técnica de absorción atómica se determinó el silicio, aluminio, magnesio, níquel, cobalto, manganeso, cromo e hierro.

2.2.4 Análisis Mineralógico

Los análisis mineralógicos fueron realizados en el Instituto Politécnico Nacional de México (IPN), con el objetivo de determinar las fases mineralógicas presentes en las muestras de gabro, para ello se empleó un difractómetro alemán, modelo X Bruker AXS D8 Focus, cuya imagen se muestra en la figura 6.



Figura 6: Equipo de Difracción de Rayos X, empleado para los análisis mineralógicos.

Las características técnicas de este equipo se muestran a continuación.

Óptica primaria:

- Voltaje: 35 kV
- Corriente: 25 mA
- Tubo Cu K α
- Slit: 0.6 mm.

Óptica secundaria:

- Detector: Lynxeye
- Scan type: Continous.
- Slit: 2.5 mm.
- Cu-Absorber: 0.05 mm

2.3 Conclusiones del capítulo II

- ✓ La selección y preparación de las muestras de gabros del yacimiento Moa Oriental, se corresponden con la metodología existente, garantizan la selección adecuada y la confiabilidad de los resultados de la caracterización realizada.
- ✓ Los métodos y técnicas de caracterización empleadas, permiten ampliar el conocimiento sobre las particulares físicas, químicas, mineralógicas de los gabros.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En el presente capítulo se discuten los resultados obtenidos durante la investigación. Los análisis químicos – físicos y mineralógicos sirvieron para examinar las principales características del pasivo ambiental minero “Gabro” del yacimiento Moa Oriental área-12 Camarioca Norte de la Empresa Pedro Sotto Alba.

3.1 Resultados de los análisis granulométricos

Los gabros se caracterizan por presentar un contenido de las fracciones mayores de 1 mm, superior al 73 %, tabla 4, con predominio de las clases +10 mm y 6,3 mm, como se aprecia en el gráfico 2.

Tabla 2: Composición granulométrica por vía seca, de los gabros del yacimiento Moa Oriental.

| Gabros | Valores Promedio | |
|------------|------------------|----------|
| | Peso Inicial: | 1 085,43 |
| Tamiz (mm) | Peso (g) | % Peso |
| 10,000 | 480,400 | 44,259 |
| 9,500 | 20,600 | 1,898 |
| 6,300 | 96,530 | 8,893 |
| 5,000 | 56,000 | 5,159 |
| 4,000 | 22,000 | 2,027 |
| 3,150 | 39,730 | 3,660 |
| 2,380 | 37,530 | 3,458 |
| 1,600 | 43,770 | 4,033 |
| 1,000 | 44,600 | 4,109 |
| 0,710 | 32,230 | 2,969 |
| 0,500 | 26,000 | 2,395 |
| 0,250 | 47,970 | 4,419 |
| 0,150 | 31,600 | 2,911 |
| 0,075 | 47,300 | 4,358 |
| -0,075 | 59,170 | 5,451 |
| Total | 1085,430 | 100,000 |

Estos resultados demuestran que estamos en presencia de un residual que, para poderse utilizar industrialmente, necesita de un proceso de preparación para reducir su tamaño, de forma tal que se facilite la concentración de los elementos metálicos presentes, que puedan ser aprovechados, como es el caso del níquel y de los elementos con propiedades refractarias como el silicio-magnesio-aluminio.

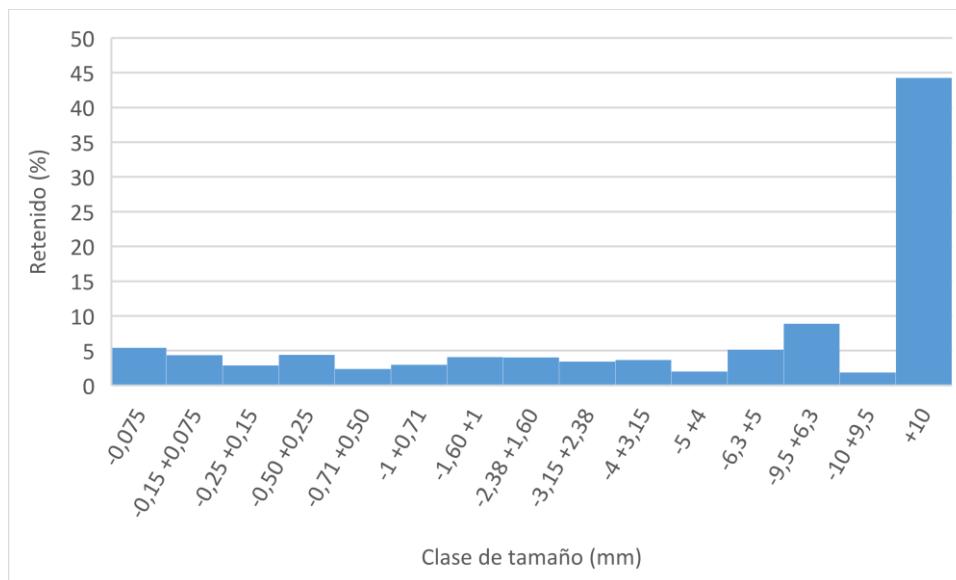


Gráfico 1: Composición granulométrica de los gabros del yacimiento Moa Oriental.

3.2 Resultados de los análisis químicos

Los gabros del yacimiento Moa Oriental se caracterizan por la presencia mayoritaria de silicio, magnesio y aluminio, elementos químicos que constituyen impurezas nocivas para la tecnología de producción de níquel, ácida a presión (HPAL, por sus siglas en inglés), que emplea la empresa Moa Nickel S.A, que lo convierten en un pasivo ambiental, sin un uso definido hasta la actualidad. En la tabla 2 se muestra la composición química promedio de este residual minero.

Tabla 3: Composición química promedio (%), de los gabros del yacimiento Moa Oriental, Área 12 Camarioca Norte.

| ELEMENTOS | Ni | Co | Fe | SiO ₂ | Mg | Al | Cr | Mn | Fe ²⁺ | Fe ³⁺ |
|-----------|-------|-------|------|------------------|-------|-------|-------|-------|------------------|------------------|
| % | 0,643 | 0,089 | 5,05 | 39,709 | 8,526 | 6,956 | 0,534 | 0,310 | 1,263 | 10,766 |

| Elementos | NiO | CoO | Fe | SiO ₂ | MgO | Al ₂ O ₃ | Cr ₂ O ₃ | MnO ₂ | FeO | Fe ₂ O ₃ |
|-----------|-------|-------|--------|------------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|-------|--------------------------------|
| % | 0,643 | 0,089 | 12,023 | 39,709 | 8,526 | 6,956 | 0,534 | 0,310 | 1,263 | 10,766 |

Entre sus principales características físicas destacan la humedad promedio de 17,5 %, y densidad de 2,9 g/cm³, muy similares a las rocas serpentiniticas de la región de Moa-Baracoa, como se muestra en la tabla 3.

Tabla 4: Principales propiedades físicas del gabro estudiado.

| PROPIEDADES | UNIDAD DE MEDIDA | GABRO MOA ORIENTAL |
|-------------|-------------------|-----------------------|
| HUMEDAD | % | 17,5 |
| DENSIDAD | g/cm ³ | 2,91 |

Fuente: Adaptado de (Pons Herrera, 2000)

3.3 Resultados de los análisis químicos por fracciones

Los resultados de los análisis químicos por las clases de tamaño, demuestran que entre las fracciones 3,15 mm y 0,25 mm, se incrementa el contenido de níquel en este residual como se muestra a continuación en la tabla 5.

Tabla 5: Composición química (%) por fracciones granulométricas del gabro del yacimiento Moa oriental.

| Fracciones Granulométricas (mm) | Al | SiO ₂ | Cr | Fe ₂₊ | Fe ₃₊ | Ni | Co | Mg | Mn |
|---------------------------------------|------|------------------|------|------------------|------------------|------|------|-------|------|
| -0,075 | 6,95 | 44,27 | 0,32 | 1,12 | 7,44 | 0,55 | 0,04 | 9,18 | 0,17 |
| -0,15 +0,075 | 6,87 | 45,52 | 0,32 | 1,54 | 6,36 | 0,50 | 0,03 | 8,55 | 0,15 |
| -0,25 +0,15 | 7,97 | 41,81 | 0,37 | 1,81 | 7,02 | 0,62 | 0,08 | 9,43 | 0,26 |
| -0,50 +0,25 | 8,31 | 41,76 | 0,36 | 1,12 | 7,49 | 1,15 | 0,10 | 8,74 | 0,31 |
| -0,71 +0,50 | 8,12 | 41,91 | 1,32 | 2,00 | 6,23 | 0,71 | 0,14 | 8,83 | 0,41 |
| -1 +0,71 | 4,70 | 5,48 | 1,32 | 0,50 | 45,97 | 0,80 | 0,05 | 1,47 | 0,38 |
| -1,60 +1 | 7,69 | 42,76 | 0,32 | 2,04 | 5,41 | 0,68 | 0,19 | 9,43 | 0,51 |
| -2,38 +1,60 | 7,49 | 44,83 | 0,37 | 1,31 | 5,89 | 0,71 | 0,20 | 10,05 | 0,58 |
| -3,15 +2,38 | 7,39 | 45,98 | 0,34 | 0,93 | 4,85 | 0,67 | 0,14 | 10,36 | 0,44 |

| | | | | | | | | | |
|-----------|------|-------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| -4 +3,15 | 4,83 | 14,15 | 1,33 | 1,00 | 34,66 | 0,57 | 0,05 | 5,56 | 0,36 |
| -5 +4 | 7,14 | 46,53 | 0,34 | 0,89 | 5,15 | 0,58 | 0,08 | 10,36 | 0,27 |
| -6,3 +5 | 7,05 | 46,75 | 0,30 | 0,85 | 4,88 | 0,54 | 0,08 | 10,05 | 0,24 |
| -9,5 +6,3 | 6,88 | 45,26 | 0,26 | 1,23 | 4,62 | 0,48 | 0,04 | 10,61 | 0,13 |
| -10 +9,5 | 6,00 | 48,91 | 0,21 | 1,35 | 4,76 | 0,44 | 0,03 | 6,74 | 0,13 |

En los resultados de los análisis químicos para las fracciones de tamaños (Gráfico 3) se puede observar que en las fracciones -4 +3,15 existe un aumento en el contenido de Fe ³⁺ hasta valores de 34,66%, mientras que el magnesio, silicio y aluminio disminuyen hasta valores de 5,56, 14,15 y 4,83%, respectivamente. De igual manera ocurre con la fracción -1 +0,71 donde el Fe³⁺ alcanza valores de 45,97%, sin embargo, los elementos considerados nocivos, tienen el comportamiento siguiente: el magnesio con 1,47%, silicio 5,48% y aluminio 4,7%, todos por encima de los valores permisibles por la tecnología acida a presión.

Se comprobó además que en la fracción -0,5 +0,25 el cobalto y el níquel alcanzan contenidos de 0,101 y 1,150 % respectivamente, valores semejantes al mineral de alimentación a la Empresa Pedro Sotto Alba, lo que constituye una alternativa a considerar para el futuro, en aras de garantizar un aprovechamiento adecuado de nuestros recursos minerales, aunque reconocemos que la tecnología HPAL, no admite elevados contenidos de aluminio, y magnesio, considerados como nocivos al proceso productivo actual.

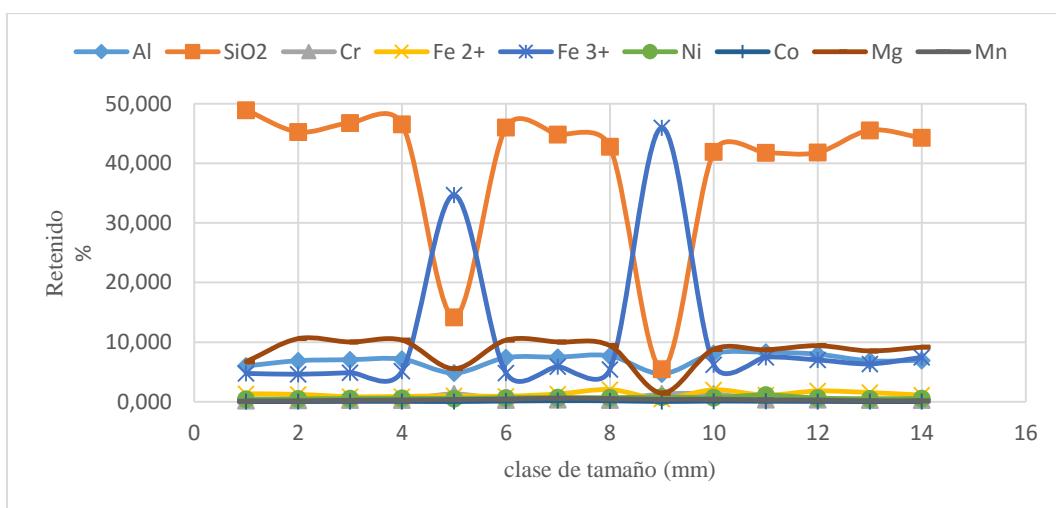


Gráfico 2: Composición química de las fracciones granulométricas estudiadas.

Por su parte, el aluminio y el magnesio se comportan de manera similar, mientras que el óxido de silicio tiene una gran variación y sus menores valores se concentran en la fracción -1+ 0,71 mm, como se aprecia en el gráfico 4, que muestra el comportamiento del aluminio, óxido de silicio y magnesio en las distintas fracciones de tamaño.

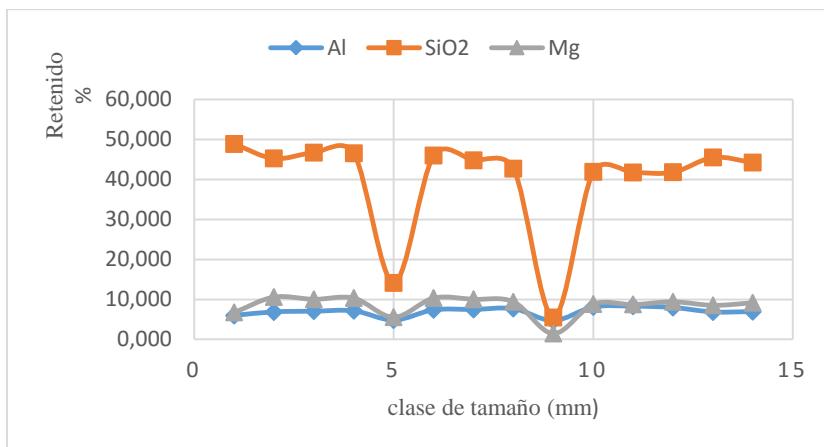


Gráfico 3: Contenido de Al, SiO₂ y MgO en el gáboro de Moa oriental.

Se puede ver además (gráfico 4), que en la fracción -0,5 +0,25 mm, el cobalto y el níquel alcanzan contenidos de 0,101 y 1,150 % respectivamente, valores semejantes al mineral promedio de alimentación a la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba, lo cual constituye una alternativa de aprovechamiento integral a nuestros recursos naturales.

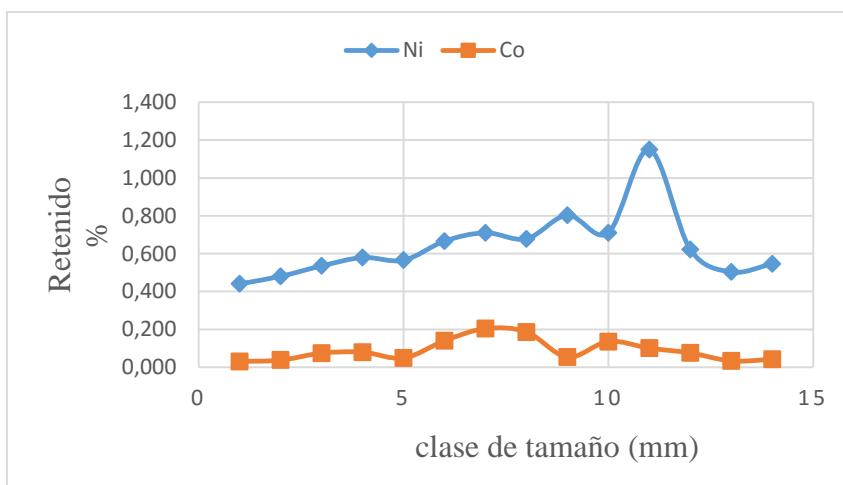


Gráfico 4: Contenido de níquel y el cobalto en el gáboro estudiado.

En este caso el cromo y el manganeso presentan la mayor cantidad de estos elementos en rango granulométrico entre 3,15 y 1 mm, sobresaliendo el primero que llegan alcanzar hasta 1,3 %, como se muestra en el gráfico 6. Estos elementos a pesar de que no son de interés especial para la industria del níquel en Cuba, están presentes de manera uniforme

en la mayoría de los yacimientos lateríticos cubanos, y deben ser considerados para su aprovechamiento futuro, principalmente, para la industria siderúrgica cubana.

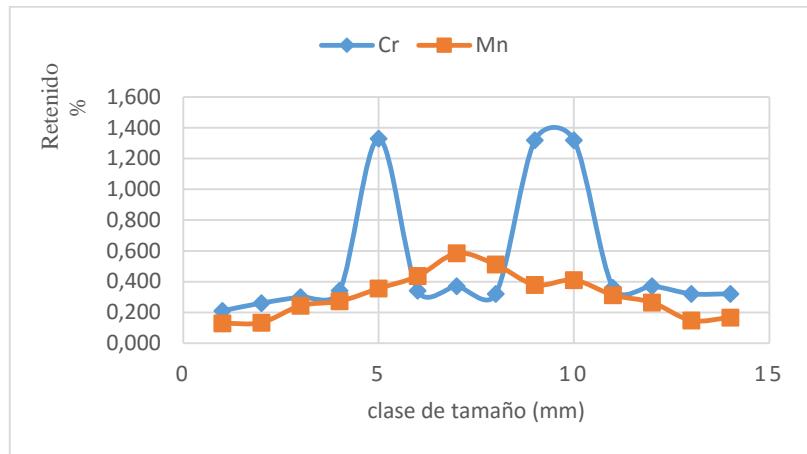


Gráfico 5: Composición química del manganeso y cromo.

3.4 Resultado de los análisis mineralógicos

Se comprobó que mineralógicamente sobresalen como minerales principales: aluminio (Gibbsita), silicio y magnesio (talco) y como minerales secundarios minerales de cobalto, como se muestran en el gráfico 1.

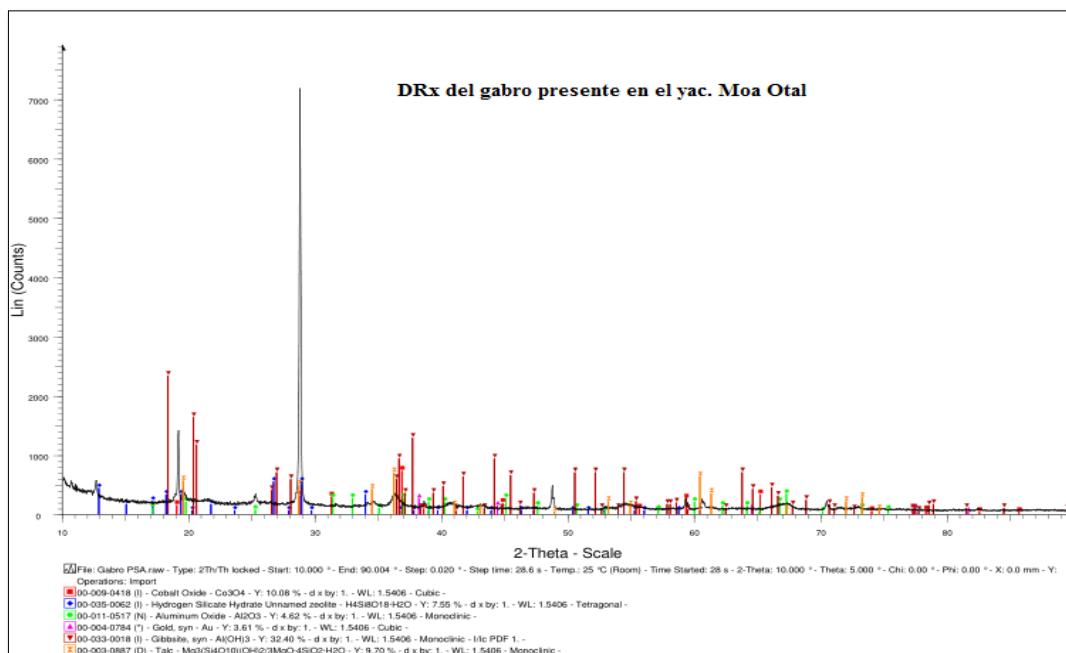


Gráfico 1: Fases mineralógicas presentes en el gabro.

Como se observa en el difractograma anterior, las fases mineralógicas presentes en la muestra de gabro, son:

óxido de cobalto ([Co₃O₄]),

gibbsita ([Al(OH)₃]),

óxido de aluminio ([Al₂O₃]),

oro ([Au])

talco ([(Mg₃)(Si₄O₁₀)(OH)2/3(MgO)(4SiO₂)(H₂O)]).

3.5 Posibilidades del uso sostenible del PAM estudiado

El pasivo ambiental estudiado, presente en el yacimiento Moa Oriental se encuentra de forma natural, al formar parte de las cortezas ferroniquelíferas de la región de Moa, pero sin ser de interés para la industria cubana del níquel, que lo convierten en un pasivo ambiental minero, sin un uso definido ni una estrategia para su posterior procesamiento industrial.

La composición química de los gabros es bastante uniforme, con variaciones significativas de los contenidos de aluminio, silicio y magnesio, que lo convierten en un material estéril para la tecnología ácida a presión de la Empresa Pedro Sotto Alba, lo que provoca el poco interés de la industria para su procesamiento, quedando en la mayoría de los casos en el propio yacimiento o almacenado en espacios mineros, sin posibilidades reales de utilización en la actualidad.

A pesar de que no existe experiencia en el tratamiento y uso del material de estudio, sus características físico químicas demuestran la presencia en el de elementos valiosos, como níquel, cromo, manganeso e hierro, que unido a sus características granulométricas y propiedades físicas estudiadas, permiten contar con informaciones valiosas, para su estudio.

Por otra parte, los contenidos de aluminio, magnesio y silicio, en este residual lo convierten en un material refractario, los cuales no son procesados normalmente por las tecnologías con que cuenta actualmente la industria cubana del níquel, pero si se considera la presencia en la región de Moa-Baracoa de otros materiales refractarios, como

las cromitas, pueden tomarse en cuenta para un futuro procesamiento para la conformación de materiales refractarios, que necesita la industria metalúrgica cubana.

Los gabros son utilizados principalmente por la industria de la construcción, como material base para el relleno en la construcción de casas o paredes. También como piedra pavimentada o agregado en las carreteras. Inclusive en la fabricación de cemento. Se comercializa como granito negro y se emplea en adoquines y revestimientos de paredes y pisos en casas, edificios y centros comerciales. Es una roca resistente, de fácil tratamiento o pulido, y llamativo color. Puede verse en áridos decorativos y jardines en exteriores. En encimeras y espacios de gran tránsito en interiores.

Todos estos elementos mencionados, son posibles de analizar a partir de los resultados de la caracterización realizada a los gabros, existentes en el yacimiento Moa Oriental, pero que está presente en todos los yacimientos lateríticos de la región nororiental de Cuba, como ha sido estudiado por diferentes investigadores en el país.

A pesar de que esta investigación es preliminar en cuanto a las posibilidades de usar categóricamente este residual minero, los resultados permiten afirmar la necesidad de continuar estos estudios, con vistas a completar las características térmicas y evaluar posibles usos de este material, como una alternativa sostenible de utilización de los recursos minerales, muchos de los cuales están en fase de agotamiento o de reducción de sus contenidos principales, específicamente, el níquel y el cobalto.

3.6 Conclusiones del capítulo III

- Los gabros existentes en los yacimientos lateríticos de la empresa Pedro Sotto Alba se caracterizan por la presencia de importantes elementos valiosos como: níquel, cobalto, hierro, aluminio, silicio, magnesio, cromo y manganeso; poseen un intervalo de fracciones amplias, con predominio de la clase mayor de 1mm, que representa el 74 % del material, mientras que mineralógicamente poseen como fases principales: la Gibbsita, y el talco como principal mineral, lo cual está en correspondencia con los contenidos de los elementos químicos que lo componen.

- A pesar de que no existe el tratamiento y uso de este material, sus características físico-químicas estudiadas, brindan importantes informaciones para la continuación de su estudio y futura utilización industrial.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Los gabros existentes en los yacimientos lateríticos de la empresa Pedro Sotto Alba se caracterizan por la presencia de varios elementos valiosos como: níquel, cobalto, hierro, aluminio, silicio, magnesio, cromo y manganeso. Presentan un predominio de la clase mayor de 1mm, que representa el 74 % del material, lo que facilita la toma de decisiones sobre su preparación mineral, en caso de utilización.
2. Se identifican minerales del grupo de la serpentina asociados a la presencia de aluminio (Gibbsita), silicio y magnesio (talco), así como minerales de cobalto.
3. A partir de los resultados de la caracterización realizada se comprobó que los gabros, existentes en el yacimiento Moa Oriental, poseen características muy similares a los existentes en el resto de los yacimientos lateríticos de la región nororiental de Cuba, aunque limitan su uso en la industria siderúrgica y de la construcción.

RECOMENDACIONES

1. Continuar los estudios sobre la caracterización de este pasivo ambiental minero, que incluya:
 - ✓ Completar la caracterización granulométrica, por vía húmeda, que permita ampliar las informaciones sobre las fracciones finas y la concentración de elementos valiosos en ellas.
 - ✓ Proponer característica térmica que unido a los resultados obtenidos, facilitan la toma de decisiones sobre el posible uso de este residual.
2. Definir los volúmenes existentes de este material en los yacimientos lateríticos de la región de Moa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asamblea Nacional del Poder Popular. 1976. Ley de Minas. Habana : ANPP, 1976.

Características fí sico-químicas de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa-Baracoa (Zonas Merceditas y Miraflores). **Pons HerreraAlbertoJosé, Leyva RodríguezCarlos Rodríguez MartínezRamírez Pérez, María CaridadGelurides., 2000.** 2000, Minería y Geología,

Dirección de Minería y Geología. 2015. Características geológicas del yacimiento Moa Oriental, zona Camarioca Norte. Moa : Empresa Moanickel S.A, Pedro Sotto Alba, 2015.

Durán SuárezY. 2015. Caracterización y evaluación de las escombreras de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara para posible uso industrial. Moa : ISMM, 2015.

El Congreso de la República. 2004. Ley que Regula los Pasivos Ambientales Mineros de la Actividad Minera.

Galindo MedinaYunaimy. 2017. Evaluación de mezclas de gadro de Cayo Guan con adición de tobas vítreas para la fabricación de ladrillos cerámicos. Cuba : Instituto SuperiorMinero Metalurgico de Moa, 2017.

Gámez RodriguezOrmeidis. 2001. Caracterización del gabro olivínico presente en el yacimiento cromitas Merceditas. Cuba : Universidad, 2001.

Cobas García Noslen. 2018. Evaluación preliminar de la Fusión Reductora de los "Escombros Lateríticos", del yacimiento Camarioca Norte, área 1 y 2. Moa : Instituto Superior Minero Metálgurgico, 2018.

González RochéYadileydis. 2017. Evaluación de las principales características fí sico-químicas de pasivo ambiental escombros lateríticos para su posible uso industrial. Moa : ISMM, 2017. 2-12, Trabajo de Diploma.

MatosRamírezYennis. **2001.** Caracterización del gabro normal presente en el complejo ofiolítico Moa-Baracoa. Cuba, 2001.

Ministerio de Energía y Minas Dirección Geneal de Minería. **2006.** Inventario de Pasivos Ambientales Mineros. Lima : Dirección Geneal de Minería, 2006.

mitrofánov. **1982.** 1982

Ministerio de Minas y Energía. **2015.** Remediación de pasivo ambientales mineros en Perú. Lima : Ministerio de Energía y Minas, 2015.

Pons HerreraAlbertoJosé 和 Ramírez PérezCaridadMaria. **2017.** Tratamiento y uso de Pasivos Ambientales Minero-Metalúrgicos, generados por la industria del Níquel en Cuba. Moa : Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa, 2017.

Ramírez MatosYoennis. **2001.** Caracterización del gabro de la zona de Amores. Cuba : Universidad, 2001.

Ramírez PérezCaridadMaría. **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 Metalurgico, 2010..

Ríos AzaharesYamila. **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.

SeoanePonceNyls 和 Díaz Comesañas Luis Jorge. **2011.** Pasivos Ambientales Mineros en CUBA. Bases Metodológicas. La Habana : ANPP, 2011. IV CONGRESO CUBANO DE MINERIA.

Vidal AguilarNoemí Paola. **2018.** Influencia del cierre de minas en los resultados financieros de las principales minas en el Perú. Lima,Perú , 2018.

ANEXOS

Anexo 1: Secuencia fotográfica de la investigación

