



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE HISTORIA Y MARXISMO-LLENINISMO

Gestión del Pasivo Ambiental “Rechazo Serpentinítico” del Yacimiento Moa Occidental.

Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en Desarrollo Sustentable en la
Industria Minero-Metalúrgica.

EDUARDO MONTERO GIL

Moa - 2020



REPÚBLICA DE CUBA
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE HISTORIA Y MARXISMO-LENINISMO.

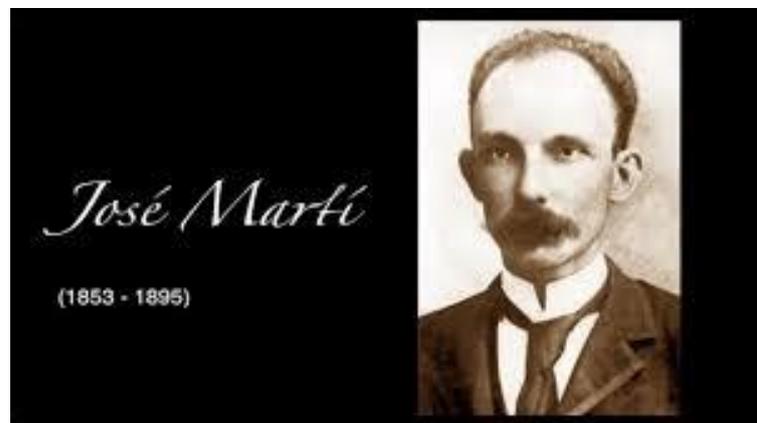
Gestión del Pasivo Ambiental “Rechazo Serpentinítico” del Yacimiento Moa Occidental.

Autor: Ing Eduardo Montero Gil
Tutores: Dr.C José Alberto Pons Herrera
Dr.C Carlos Alberto Leyva Rodríguez
M. Sc. Arlenys Carbonell Pupo

Pensamiento

El único autógrafo digno de un hombre, es el que deja escrito con sus obras.

José Martí



Dedicatoria

- *A mis padres, hermano y demás familiares.*
- *A mi esposa.*

Agradecimientos

- *A la Revolución Cubana por el sistema educativo con calidad, al cual tenemos acceso todos los ciudadanos.*
- *Al coordinador de la maestría Desarrollo Sustentable “Juan Manuel Montero Peña”, por los consejos y conocimientos transmitidos.*
- *A mis tutores: Msc Arlenys Carbonell Pupo, Dr.C. José Alberto Pons Herrera y Dr.C. Carlos Leyva Rodríguez, por ser la guía en la realización de este trabajo.*
- *A todas las personas que desinteresadamente colaboraron con la realización de este trabajo.*

Resumen

En este trabajo se establece la información precedente sobre estudios químicos, físicos y mecánicos del rechazo serpentinitico menor de 100 mm en la Planta de Pulpa de Moa Nickel SA. y posibles usos. Además, incorpora dos clasificaciones, una en base al contenido de material fino presente en el rechazo y otra correlacionando la composición química con las menas actuales del corte laterítico en los yacimientos en explotación de Moa Nickel SA. La clasificación del rechazo facilita la toma de decisiones sobre los usos, acordes a las necesidades económico-sociales de nuestro municipio y país. Es continuidad teórica y práctica del “Desarrollo Sustentable”, pues tiene como meta guiar a los decisores sobre los múltiples beneficios de este material. Aunque los datos obtenidos sugieren las mayores potencialidades en el campo de áridos para la construcción de bloques huecos de hormigón, morteros, hormigones hasta de 20 MPa, los cuales no requieren áridos con especificidad de resistencia mecánica ni se destinan a obras donde estén sometidos a la abrasión, tiene gran relevancia pues estos son los de mayor demanda social. Refleja concentraciones de Ni, Co, SiO₂, Mg (resultado de análisis químicos) prometedores, con vista al procesamiento de este rechazo por la tecnología piro-metalúrgica de ferroníquel.

Palabras Claves: Rechazo serpentinitico, pasivos ambientales, Desarrollo sustentable.

Abstract

This work study summarizes the previous information on chemical, physical and mechanical studies of the Serpentinitic reject material with less than 100 mm in the Slurry Preparation Plant at Moa Nickel SA, and its possible uses. In addition, it incorporates two classifications, one based on the content of fine material present in the reject and another correlating the chemical composition with current ore of the lateritic cut in the deposits in operation of Moa Nickel S.A. The classification of the reject facilitates the decision making on the uses, according to the economic-social needs of our municipality and the country. It is theoretical and practical continuity of "Sustainable Development", since it aim is to guide to decision makers on the multiple benefits of this material. Although the data obtained suggest the greatest potential in the field of dry goods aggregates for constructing hollow concrete blocks, mortars, concretes up to 20 MPa, which do not require dry goods aggregates with specificity of mechanical strength; nor are they intended for works where they are subjected to abrasion, it has a great relevance because these are the ones with the greatest social demand. It reflects concentrations of Ni, Co, SiO₂, Mg (chemical analysis result) promising, with a view aim for processing of this reject material by pyro-metallurgical ferronickel technology.

Keyword: Serpentinitic Reject, Environmental liabilities, Sustainable Development.

Índice de Contenido

Resumen	vi
Abstract	vii
Índice de Contenido	viii
Índice de Tablas	x
Índice de Figuras	xii
Índice de Gráficos	xiii
Índice de Anexos	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEORICO CONCEPTUAL	9
1.1 El desarrollo sostenible en la minería	9
1.2 Conceptualizaciones de pasivo ambiental minero	15
1.3 Caracterización de los pasivos ambientales mineros	21
1.4 Gestión de los pasivos ambientales mineros	23
1.5 Caracterización del rechazo serpentínico desde un enfoque sostenible.....	24
1.6 Leyes que regulan los pasivos ambientales de la actividad minera en el mundo y en Cuba.....	30
1.7 Conclusiones del Capítulo I	33
CAPÍTULO II MATERIALES, MÉTODOS Y DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LOS YACIMIENTOS MINERALES DE MOA NICKEL S.A.	34
3.1. Geología de los yacimientos minerales que participan en la alimentación de la planta de preparación de pulpa. Ubicación geográfica.....	34
3.2. Beneficio de las menas alimentada a la planta de preparación de pulpa.....	36
3.3. Procesamiento de las muestras. Materiales, útiles y equipos empleados.....	45
3.4. Técnicas utilizadas en la caracterización de las muestras	47
2.1.1 Análisis químico por absorción atómica	47
2.1.2 Análisis granulométrico	48

2.1.3	Reacción entre álcalis - áridos.....	49
2.1.4	Estabilidad a la acción del sulfato de magnesio.....	50
2.1.5	Determinación del peso volumétrico.....	53
2.1.6	Determinación del material más fino que el tamiz No. 200 (0.074mm).....	54
2.1.7	Árido grueso. Peso específico y absorción de agua	55
3.5.	Conclusiones del Capítulo II.	58
CAPÍTULO III ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS		59
3.1	Clasificación del rechazo atendiendo al porcentaje de material fino contenido....	61
3.2	Resultados de los análisis químicos.	62
3.2.1	Interpretación de las muestras tomadas en el STAKER (plataforma de descarga del rechazo)	63
3.2.2	Interpretación de las muestras tomadas en la Presa de Rechazo.....	64
3.2.3	Interpretación de las muestras tomadas en el Pilar de Zona B.....	65
3.2.4	Interpretación de las muestras tomadas en la Área 1.	66
3.2.5	Interpretación de las muestras tomadas en la Área 2.	66
3.3	Resultados de los análisis enfocados al uso del rechazo como árido para la construcción	67
3.3.1	Resultados de los ensayos de reacción árido-álcalis	69
3.5.1.	Resultados de ensayos de estabilidad a los sulfatos	70
3.5.2.	Resultados de ensayos de durabilidad al intemperismo	71
3.4	Clasificación de las rocas serpentínicas meteorizadas según el peso volumétrico	74
3.5	Posibilidades del uso sostenible del pasivo ambiental “rechazo serpentínico” del yacimiento Moa Occidental	75
3.6	Conclusiones del Capítulo III.....	76
CONCLUSIONES GENERALES		77
RECOMENDACIONES		78
Referencias Bibliográficas		79
Anexos		84

Índice de Tablas

Tabla No. 1. Composición química (%) de las harzburgitas serpentinizadas del basamento de los yacimientos en la Empresa Moa Nickel S.A.	35
Tabla No. 2. Volúmenes de la fracción ≤ 100 mm de los rechazos acumulados en la empresa Moa Nickel SA de Moa.....	42
Tabla No. 3. Características físico-mecánicas de las rocas serpentínicas que conforman el rechazo depositado en la presa de rechazo.....	44
Tabla No. 4. Identificación de las muestras de investigación.	44
Tabla 8. El peso de las muestras representativas tomadas en el área de estudio.....	48
Tabla No. 5. Tamices especificados para el ensayo de control de árido grueso	52
Tabla No. 7. Clasificación de menas en yacimientos consecionados a Moa Nickel S.A	59
Tabla No. 8. Por ciento de menas lateríticas alimentadas a la planta de preparación de pulpa60	
Tabla No. 9. Composición química promedio (%) de las principales muestras de rechazos analizadas	63
Tabla No. 10. Composición química promedio (%) en el STAKER.	63
Tabla No. 11. Composición química promedio (%) de la Presa de Rechazo.....	64
Tabla No. 12. Recursos estimados por Moa Nickel S.A. en la Presa de Rechazo hasta enero 2019.....	64
Tabla No. 13. Composición química promedio (%) del Pilar de Zona B.	65
Tabla No. 14. Composición química promedio (%) del Área 1.....	66
Tabla No. 15. Composición química promedio (%) del Área 2.....	67
Tabla No. 16. Resultados de los análisis granulométricos realizados.....	68
Tabla No. 17. Resultados de los análisis químicos realizados	69
Tabla No. 18. Resultados de los ensayos de reacción árido-álcalis realizados.....	70
Los resultados del ensayo a la estabilidad de los sulfatos se muestran en la Tabla 19.	70
Tabla No. 19. Resultados de los ensayos de estabilidad a los sulfatos	70
Tabla No. 20. Resultados de los ensayos de durabilidad al intemperismo.	72
Tabla No. 21. Resultados de los ensayos de durabilidad al intemperismo por fracciones granulométricas.	73

Tabla No. 22. Los resultados de los ensayos de durabilidad para cada una de las fracciones granulométricas74

Índice de Figuras

Figura 1: Materiales de construcción elaborados con rechazo serpentínico de la empresa Pedro Soto Alba de Moa.	26
Figura No. 1. Ubicación geográfica de los yacimientos de Moa Nickel S.A.....	34
Figura No. 3. Áreas seleccionadas para el muestreo y estudio del rechazo.	41
Figura No. 4. Secuencia fotográfica de la selección y toma de las muestras de investigación.	45

Índice de Gráficos

Gráfico No.1. Tendencia en la alimentación de las menas LF, LB, SB.....	60
Gráfico No. 2. Resultado de los análisis granulométricos por el por ciento de retenidos.....	68
Gráfico No. 3. Resultado de los análisis granulométricos por el por ciento de retenidos.....	71

Índice de Anexos

Anexo 1. Producción y sectorización de rocas para áridos en España, durante el 2016.....	84
Anexo 2: Producción nacional destinada a áridos, durante el período 2012-2016 en España.	85
Anexo 3: Criba vibratoria existente en Moa Oriental	86
Anexo 4: Cilindro lavador del rechazo serpentinitico, existente en Moa Occidental.	87
Anexo 5. Transportador apilador (CO-14) utilizado para el tratamiento del rechazo serpentinitico.....	88
Anexo 6. Tamizadora eléctrica empleada en los análisis granulométricos.....	89

INTRODUCCIÓN

La minería es una de las actividades más antiguas desarrolladas por el hombre, se puede afirmar sin ningún temor que las conquistas del hombre sobre la naturaleza están estrechamente ligadas con el uso de los minerales. Todo cuanto nos rodea tiene de alguna u otra forma algún componente vinculado con la minería o con procesos vinculados con esta, especialmente esta relación se consolidó después de la revolución industrial.

Los adelantos científicos tecnológicos vinculados con la revolución industrial día tras día dotaron a los procesos productivos de instrumentos de trabajos más perfeccionados que facilitaban una explotación más efectiva de los recursos naturales, en el caso de los minerales estos instrumentos facilitaban mover mayores cantidades de tierra para el proceso minero. De tal forma que la minería se comenzó a visualizar como una actividad altamente impactante de la naturaleza, algo que evidentemente constituye un mito si se le compara con otras actividades, por ejemplo, con la agricultura.

La ciencia y la tecnología alcanza niveles de desarrollo impensables a partir de la década de los años 60 del siglo pasado. En la minería estos adelantos serían muy significativos, ahora con las nuevas técnicas mineras se pueden minar en días terrenos que hace unos pocos años demorarían meses en minarse. De ahí que muy pronto la humanidad comenzaría a pensar en una forma más racional de explotar los yacimientos minerales.

En este camino hacia una relación más adecuada del hombre con la naturaleza aparecería en el horizonte mundial el desarrollo sustentable, como un concepto que pretender normar las relaciones hombre – naturaleza – sociedad. Este concepto es de larga data, tiene antecedentes muy valiosos que no se analizarán en esta investigación, por ello se hace imprescindible dejar por sentado que el autor entiende por desarrollo sustentable.

En el Informe “Nuestro Futuro Común” se define el desarrollo sustentable, también conocido como duradero, de la siguiente forma: “El desarrollo duradero es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades. Encierra en sí dos conceptos fundamentales: “el concepto de necesidades, en particular las necesidades esenciales de los pobres, a las que se debería otorgar prioridad preponderante; la idea de limitaciones impuestas por la capacidad del medio ambiente para satisfacer las necesidades presentes y futuras”, (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo [CMMAD], 1987, pág. 59).

El Informe “Nuestro Futuro Común”, un documento de lectura compleja hace que más adelante se encuentre la última parte del concepto conocido en la mayoría de los textos posteriores, donde aparece indistintamente la traducción al español como duradero, sostenible y sustentable. En los marcos de esta investigación se utiliza el término sostenible.

En la página 63 se puede leer: “En suma, el desarrollo duradero es un proceso de cambio en el cual la explotación de los recursos, la orientación de la evolución tecnológica y la modificación de las instituciones están acordes y acrecientan el potencial actual y futuro para satisfacer las necesidades y aspiraciones humanas”, (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo [CMMAD], 1987, pág. 63).

Los antecedentes más inmediatos del Informe Brundtland están en la formación, en 1983, de La Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CMMAD). Esta Comisión se formó durante la XXXVIII Sesión de la ONU, por resolución de la Asamblea General.

La oficialización universal del concepto tiene lugar con la publicación del “Informe Nuestro futuro común” (o Informe Brundtland) el que, después de ser examinado por el Consejo Directivo del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), fue considerado y aprobado por la Asamblea General de la ONU, en su XLII Sesión, en 1987.

Es importante dejar bien definido que el problema del desarrollo sustentable como modelo de desarrollo tiene una estrecha relación con la lógica de la utilización de los recursos no – renovables, los que no tendrán las futuras generaciones cuando se agoten los yacimientos actuales. De ahí que en todos los proyectos mineros surgidos a partir de la Cumbre de Río de Janeiro (1992) esta problemática tenga una presencia permanente.

La minería a cielo abierto consume recursos no-renovables para las generaciones futuras y en el proceso genera residuales identificados como pasivos ambientales mineros que demandan un manejo adecuado para minimizar el impacto negativo ambiental y social. En nuestro país esta minería a cielo abierto demanda cada vez más un manejo sustentable, que logre el máximo aprovechamiento de las menas extraídas, un correcto manejo de los pasivos ambientales mineros generados y el estudio de los mismos con vista a su utilización con fines económicos y social.

La explotación de los yacimientos minerales es realizada con el objetivo de poner a disposición de la humanidad, las materias primas indispensables para el desarrollo socioeconómico de cualquier país. La explotación minera, en cualquier minera cuando se

explota el mineral principal quedan importantes niveles de residuos que constituyen serios problemas para su reubicación y tratamiento.

Un problema notable para no lograr que una actividad minera sea sustentable es precisamente no disponer de sistemas de tratamiento de residuales, especialmente porque muchos de ellos tienen valor comercial y pueden ser explotados sin la erogación de muchos recursos financieros una vez cerradas las minas.

En países como Chile, Perú y Bolivia a estos residuos generados por la actividad minero metalúrgica se le conoce como Pasivos Ambientales Mineros (PAM) mientras que, en otros países como Canadá, los Estados Unidos son denominados sitios huérfanos “orphaned sites” o como deudas ambientales “environmental liabilities”.

Si analizamos la historia de la minería en Cuba, la actividad extractiva de estos yacimientos, ha sido constante, principalmente, los referidos al níquel y materiales para la construcción.

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).

Relacionado con este tipo de actividad, las Empresas productoras de níquel en la región de Moa, han generado durante más de 60 años, importantes volúmenes de residuos sólidos, resultado tanto de la propia actividad minera como de los procesos extractivos que se desarrollan. Estos residuos son ubicados al aire libre o en las llamadas presas de colas para utilizarlas cuando las tecnologías y las condiciones financieras del país permitan su explotación.

Estos residuos son generados anualmente sin que existan propuestas específicas para su utilización a favor de la economía del país, mientras que ocasionan daños diversos en el entorno social y ambiental. Surgen de esta forma, necesidad de alternativas que permitan alargar la vida de los yacimientos lateríticos y la introducción de nuevas tecnologías para la utilización de los mismos con un enfoque sostenible.

Esta realidad le otorga una singular pertinencia a la presente investigación, especialmente en el sentido que soluciona un problema de carácter ambiental al municipio y de carácter ecológico, en lo ambiental por eliminar una carga contaminante para los sumideros naturales donde se ubican estos residuos. Y en lo ecológico por ofrecer alternativas de utilización de estos residuales en otras actividades económicas.

Las cuatro áreas que contienen el rechazo estudiado, se encuentran ubicadas geográficamente dentro de la concesión del yacimiento Moa Occidental. Fueron seleccionadas para la deposición del rechazo, teniendo en cuenta su cercanía a la planta de preparación de pulpa (menor de 2km) y que la minería previa agotó las menas útiles para el procesamiento en la planta Pedro Soto Alba.

El impacto ambiental creado con la deposición del rechazo en los fondos minados es mínimo, teniendo en cuenta que el rechazo está contenido en las menas alimentadas a la planta de preparación de pulpa y se deposita sin introducir sustancias extrañas o ajenas a las contenidas en las menas extraídas. Estos depósitos de rechazo son reforestados una vez almacenan la capacidad de rechazo que pueden contener.

Los rechazos históricos de la planta de preparación de pulpa han sido de alrededor de 22%, pero la situación ha empeorado, por lo que la Oficina Nacional de Recursos Minerales (ONRM) de forma consistente ha señalado en sus inspecciones anuales que los minerales de limonita rechazados por la Planta Pulpa de Moa Nickel S.A. han representado una pérdida significativa de un recurso económico no renovable, (Lavaut, W. 2003).

En la actualidad se promedia el 30% de rechazo del total de menas alimentadas a la planta de preparación de pulpa, más de un millón de toneladas por año.

El agotamiento en el yacimiento Moa Occidental de la limonita de balance, trajo aparejado la apertura de los yacimientos Moa Oriental y Camarioca Norte, diferentes en cuanto al perfil de la corteza de intemperismo y la potencia de las menas que lo conforman.

Los yacimientos Moa Oriental y Camarioca Norte están conformados por cortezas de intemperismo que en ocasiones no presentan un desarrollo estratigráfico completo, donde no se delimitan bien en el corte geológico los tipos de menas, presentan bajas potencias de las menas, limonitas ferruginosas fuera de balance y limonita de balance.

Los bajos espesores en la mena limonita de balance unidos a la propia irregularidad en el piso del horizonte que ocupa, propician en la extracción de las menas para alimentar la planta de preparación de pulpa, la incorporación de un % de limonita fuera de balance (LF) mena enriquecida en Co, Fe y saprolita de balance (SAAFe) mena que contiene alto contenido de rechazo serpentínico, Ni, Mg y Si.

En el año 2013 Moa Nickel S.A. solicitó a la ONRM, incorporar como mena en la alimentación a planta de preparación de pulpa la saprolita de balance de alto hierro SAAFe, según la clasificación de menas en los yacimientos concesionados.

Rodríguez (1985) demuestra el uso del material serpentínico en la construcción de presas locales. Casall (1986), realiza estudios sobre el uso de las serpentinitas en la construcción de obras hidráulicas. Lavaut (2004) realiza un informe sobre “Caracterización del mineral de rechazo por el proceso de planta de preparación de pulpa”. Rojas Purón-Carballo Peña (1988) realizan un estudio al material rechazado por la Planta de pulpa en Moa Nickel S.A. con el fin de determinar la “Valoración mineralógica económica del material de rechazo de la planta de preparación de pulpa del yacimiento Moa”.

López Peña (2006) en su tesis de grado realizó algunos morteros del rechazo serpentínico del material de la Planta de pulpa de Moa Nickel SA obteniendo resultados alentadores. Anidos (2007) realiza la valoración geólogo-técnica de las perspectivas de empleo de los desechos serpentínicos de la ECG como materiales constructivos alternativos, demuestra que el material serpentínico puede emplearse para la fabricación en morteros utilizados para muros portantes, vestido en interior y exterior, así como en la construcción de pasillos y pavimentos.

Montero Gil (2007), desarrolló estudios físico-químicos al rechazo de la planta de preparación de pulpa de Moa Nickel SA, determinando su idoneidad para utilizarlos en hormigones de hasta 20 MPa. Céspedes Rivera (2007), realizó estudios físico-químicos al rechazo de la Empresa Ernesto Che Guevara, determinando su idoneidad en hormigones de hasta 40 MPa. Cardero (2007) proyecta la construcción de una planta procesadora de grava y arena para el municipio de Moa.

León y otros (2007) demuestran los beneficios físicos-mecánicos que recibe el rechazo serpentínico de la ECG durante el procesamiento industrial. El uso de hormigones serpentínicos es acostumbrado para atenuar los neutrones termales, cuya temperatura oscila en el rango de 400-500 grados, según la publicación El Universal de Caracas, (2007).

Wilson (2008), logró caracterizar las serpentinitas del municipio Holguín como áridos para la construcción. Jiménez (2008), determina las características químico-física-mecánica del material de rechazo de la ECG, se demuestra a través de los ensayos realizados su posible uso como árido en la industria de los materiales de la construcción. Pérez Stest (2009), investigó varias muestras representativas del rechazo serpentínico de la empresa ECG.

Céspedes Rivera (2010) logró caracterizar los desechos sólidos de la planta de preparación de pulpa de la Empresa Moa Nickel S.A. como árido para la construcción, demostrando

que el 70 % de estos rechazos están compuesto por serpentinita, 20% de minerales de hierro, 8 % cuarzo, calcedonia, sílice amorfa y un 2 % de cromita y minerales de manganeso.

Vijaya Kattel (2010) realiza una valoración técnica de los desechos serpentiniticos de la Empresa Moa-Nickel SA., como material de construcción alternativo, demostrando que el empleo de estos desechos es factible en la fabricación de bloques huecos y morteros para la construcción. Gendis Días (2019), evalúa la recuperación de la fracción limonítica en el rechazo de la planta de preparación de pulpa, de la Empresa Moa Nickel SA.

Una de las alternativas que permitirá alargar la vida de los yacimientos lateríticos es la reprocesamiento de la fracción $\leq 100\text{mm}$ rechazada en planta de preparación de pulpa de Moa Nickel S.A. Para ello proponemos una clasificación atendiendo a la cantidad de material fino -20 Mesh (0.84 mm) contenido en el rechazo, una clasificación química correlacionada con los tipos de menas que componen la corteza laterítica, caracterización con vista a su uso como árido para la construcción y los posibles usos atendiendo a cada clasificación.

Las investigaciones precedentes no han logrado que los decisores potencien el uso de este rechazo. Los volúmenes crecientes del mismo, el manejo generado para su acumulación en áreas del yacimiento Moa Occidental y su clasificación como pasivo ambiental, demandan un uso, encaminado al logro del desarrollo sustentable en la minería.

De ahí, derivado de la situación problemática que se expuso con anterioridad se ha llegado al presente **problema de investigación**: Desconocimiento de las características físico-químicas del pasivo ambiental “rechazo serpentinitico” de la planta de preparación mineral del yacimiento Moa Occidental, de la Empresa Moa Nickel S.A, que impide conocer las posibles alternativas de uso desde un enfoque sostenible.

El **objeto de investigación** lo constituye el “rechazo serpentinitico” de la planta de preparación mineral del yacimiento Moa Occidental

Objetivo General: Determinar las características físicas-químicas del pasivo ambiental “rechazo serpentinitico” del yacimiento Moa Occidental, de la empresa Moa Nickel SA, que contribuya a la toma de decisiones sobre sus posibles alternativas de usos y al logro de un desarrollo sostenible.

El **campo de acción** lo constituyen las características físicas-químicas del “rechazo serpentinitico” de la planta de preparación mineral del yacimiento Moa Occidental, de la Empresa Moa Nickel S.A.

Los **objetivos específicos** se definen a continuación:

1. Fundamentar las categorías de la investigación desde un enfoque sostenible.
2. Caracterizar el pasivo ambiental “rechazo serpentinitico” desde el punto de vista físico-químico.
3. Proponer alternativas de uso del pasivo ambiental rechazo serpentinitico para conocer sus diferentes utilidades.

Sobre la base de lo analizado se plantea la siguiente **hipótesis**: si se conocen las características físico-químicas del pasivo ambiental “rechazo serpentinitico” del yacimiento Moa Occidental, permitirá conocer sus diferentes alternativas de uso para un suministro estable y económico desde un enfoque sostenible.

El sistema teórico conceptual de la investigación está determinado por los conceptos de pasivo ambiental minero, rechazo serpentinitico y desarrollo sostenible. A partir de la profundización de la bibliografía sobre estas temáticas, permitieron conformar y comprender con mayor profundidad el cuerpo teórico conceptual de la tesis.

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: permitió el análisis de la documentación referente al objeto de investigación y sintetizar e incorporar los aportes del conocimiento científico.

Inductivo-Deductivo: facilitó la valoración de la relación entre los pasivo ambiental minero y rechazo serpentinitico a aplicarse con enfoque sostenible que permite establecer conclusiones.

Análisis histórico y el lógico: que posibilitó el estudio de los conocimientos precedentes y existentes sobre los pasivos ambientales mineros y rechazo serpentinitico desde un enfoque sostenible, estableciendo los fundamentos teóricos del proceso objeto de estudio.

Método dialéctico: empleado como método general, que se concreta con los demás métodos utilizados, para la solución de contradicción generada en la investigación y ver el proceso sistémico de los resultados de la misma.

Esta investigación aporta a partir del análisis físico-químico del pasivo ambiental “rechazo serpentinitico” de la planta de preparación mineral del yacimiento Moa Occidental, las posibles alternativas de uso de este pasivo desde un enfoque sostenible.

La tesis se encuentra estructurada, en resumen, introducción y tres capítulos; Capítulo I: Marco teórico conceptual, aborda los fundamentos teóricos sobre pasivos ambientales y rechazo serpentinitico con enfoque sostenible.

Capítulo II: Materiales, métodos y descripción geológica de los yacimientos minerales. Describe la geología de los yacimientos minerales que participan en la alimentación de planta de preparación pulpa de Moa Nickel S.A. y su ubicación geográfica. Proceso de beneficio del material alimentado a la planta de preparación. La selección de las muestras. Materiales y métodos, utilizados para el cumplimiento de los objetivos de la presente investigación. Toma de las muestras.

Capítulo III: Análisis e interpretación de los resultados, presenta la gestión de las posibles alternativas de uso del pasivo ambiental “rechazo serpentinitico” del yacimiento Moa Occidental, de la Empresa Comandante Pedro Soto Alba Moa Nickel S.A. Además, forma parte de la estructura de la tesis las conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

CAPÍTULO I: MARCO TEORICO CONCEPTUAL

En este capítulo se describen las características generales, así como las propiedades físicas y químicas del Pasivo Ambiental Minero. Se analizan además los diversos criterios sobre la conceptualización de los Pasivos Ambientales mineros metalúrgicos. La literatura recoge importantes resultados en el campo de la caracterización y de la aplicación de métodos para el aprovechamiento integral de los recursos lateríticos cubanos; la búsqueda de alternativas que posibiliten la utilización de los residuos de la minería y de los procesos tecnológicos del níquel, sin afectar el medio ambiente, (Ganesh Persaud, 2014), debe significar un reto para los investigadores, para lo cual es necesario fundamentar los problemas científicos existentes, a partir de las contribuciones de la bibliografía existente.

A continuación, se establece el uso de la serpentinita como árido para la construcción, balastro en la construcción de líneas férreas, como rocas ornamentales, como agregado para plancha de hormigones de altas temperaturas. En nuestro país muchos autores han escrito sobre los usos de la serpentinita y sobre los usos como áridos para la construcción de los rechazos serpentiniticos obtenidos en la industria del níquel.

1.1 El desarrollo sostenible en la minería

La minería del níquel es a cielo abierto, ello compromete seriamente la posibilidad de ser sostenible en la misma medida que sus impactos son mucho más significativos cuando se le compara con otras formas de explotación mineras. Es decir; la forma que se realiza la actividad minera y las maquinarias y las técnicas que se utilizan se mueven en un espacio mucho mayor y consecuentemente impactan con mucho más rigor mayor espacio físico.

Esta es una realidad presente en cualquier país donde se realice este tipo de minería, de ahí la necesidad imperiosa de encontrar formas de gestión que hagan más eficientes los procesos mineros, minimicen los impactos, utilicen tecnologías más eficientes que faciliten la explotación de los residuales que genere la industria.

La idea del manejo eficiente de las tecnologías es clave para el logro de esta actividad a saber, por razones muy convincentes las cuales a decir del Dr. C. José Mateo Rodríguez de la Universidad de la Habana se presenta de la siguiente forma:

- Cuando la tecnología es ecológicamente ineficiente, conduce al surgimiento de procesos degradantes de todo tipo: los energéticamente deficientes, los generadores de residuos, los destructores de los sistemas ambientales;

- Cuando se instalan dispositivos técnicos que no corresponden a la estructura y funcionamiento de los sistemas ambientales; así ocurre con sistemas técnicos gigantes – el llamado “gigantismo”, con las estructuras tecnológicas que tampoco se ajustan a las estructuras del eco o geosistemas, todo lo cual conduce a procesos de degradación ambiental y productiva;
- Cuando el manejo de los sistemas técnicos es incorrecto o desarticulado, dando lugar a procesos de degradación; por ejemplo, las normas de introducción de energía y de substancias que no pueden ser absorbidas por los sistemas naturales, o aquellos sistemas de explotación que no permiten la regeneración de los recursos”, (Mateo & Suárez, 2000).

Para la minería éstas son ideas muy importantes a tener en cuenta cuando de producción minera, generación de residuales y su explotación se trata. La idea de la sostenibilidad se imbrica perfectamente con los tres momentos citados con anterioridad y deben tenerse en cuenta en la presente investigación.

La minería que se realiza actualmente en la empresa Moa Nickel S. A, a pesar de su avanzado proceso tecnológico y su nivel de eficiencia genera significativos niveles de residuales que no pueden ser procesados industrialmente convirtiéndose en pasivos ambientales con altos niveles de contaminación ambiental. De ahí la pertinencia social de la investigación que se está realizando.

El desarrollo sostenible es un tema de permanente recurrencia en la literatura científica en todo el mundo, este tema tiene autores de renombre en el escenario científico mundial, entre estos muchos latinoamericanos lo han tratado en sus investigaciones de una forma muy certera, especialmente los vinculados con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

Uno de estos autores, R. P. Guimarães, es tomado como referencia para el análisis de como operacionalizar la sostenibilidad de los proyectos mineros. Para este autor “La sustentabilidad ecológica del desarrollo refiérese a la base física del proceso de crecimiento y objetiva la mantención de stock de recursos naturales incorporados a las actividades productivas [...] Para el caso de los recursos naturales renovables, la tasa de utilización debiera ser equivalente a la tasa de recomposición del recurso. Para los recursos naturales no renovables, la tasa de utilización debe equivaler a la tasa de sustitución del recurso en el proceso productivo por el período de tiempo previsto para su agotamiento (medido por las reservas naturales y la tasa de utilización). Tomándose en cuenta que su propio carácter de “no-renovable” impide un uso indefinidamente sustentable, hay que limitar su ritmo de utilización al ritmo de desarrollo o de descubrimiento de nuevos sustitutos. Esto requiere,

entre otros aspectos, que las inversiones realizadas para la explotación de recursos naturales no renovables deben ser proporcionales a las inversiones asignadas para la búsqueda de sustitutos”, (Guimaraes, 1994).

Como se puede apreciar la propuesta que se realiza en esta investigación contribuye de forma directa al logro de la sustentabilidad ecológica, se habla de la utilización con fines comerciales de un pasivo ambiental que contribuye significativamente a hacer sostenible la explotación minera. Además de lo que significa desde el punto de vista ambiental.

Para la actividad minera estas ideas orientan, en cierta medida, procesos dirigidos a la gestión de los recursos minerales. En primer lugar; los recursos renovables que se utilizan en las actividades productivas, como el agua, tienen que utilizarse teniendo en cuenta la capacidad de recomposición de estos que posee la naturaleza. En segundo lugar; la explotación de los minerales tiene que tener en cuenta la capacidad de los sistemas socioprodutivos de sustituir en las actividades productivas los puestos laborales que se perderán cuando se agoten los recursos.

Esto solamente se podrá lograr a través de la búsqueda de mecanismos de compensación tanto en los sistemas sociales como en los naturales a través de proyectos que recompongan de alguna forma lo que la actividad productiva actual desaparecerá. De ahí la necesidad de elaborar estrategias que midan como se produce la actividad minera y como se recompensarán a las generaciones futuras para que puedan satisfacer sus necesidades. Teniendo en cuenta lo anterior se considera que estos sustitutos, a los que se refiere Guimarães, no son propiamente físicos.

En el caso de la dimensión ambiental plantea: “la sustentabilidad ambiental dice relación con la mantención de la capacidad de sustento de los ecosistemas, es decir, la capacidad de la naturaleza para absorber y recomponerse de las agresiones antrópicas. [...] dos criterios aparecen como obvios. En primer lugar, las tasas de emisión de desechos como resultado de la actividad económica deben equivaler a las tasas de regeneración, las cuales son determinadas por la capacidad de recuperación del ecosistema [...] Un segundo criterio de sustentabilidad ambiental, sería la reconversión industrial con énfasis en la reducción de la entropía, es decir, privilegiando la conservación de la energía y las fuentes renovables” , (Guimaraes, 1994, pág. 51).

Esta es una idea clave en la presente investigación, se está trabajando con un pasivo ambiental que dejará de ser una fuente de contaminación, es decir; no tendrá que ser asimilado por los sumideros naturales, ni existirá la necesidad de construir sumideros artificiales para colocarlos.

Un tercer momento considerado como básico para el logro de la sustentabilidad, es la sustentabilidad social, la cual, “tiene como objeto el mejoramiento de la calidad de vida de la población. Para el caso específico de los países del Sur, con graves problemas de exclusión social, los criterios básicos debieran ser los de justicia distributiva, para el caso de la distribución de bienes y de servicios y de la universalización de la cobertura, para las políticas globales de educación, salud, vivienda y seguridad social”, (Guimaraes, 1994, pág. 52).

En Cuba, en los momentos actuales uno de los grandes retos que tiene el país está en la producción de materiales para construcción destinados a los colosales programas que tiene la revolución en la construcción de viviendas y en la recuperación del deteriorado fondo habitacional nacional. En el municipio Moa este es un problema clave, a saber, por dos razones fundamentales. En primer lugar; porque garantizaría todos los materiales de la construcción, de este tipo que requiere el Municipio para sus actividades de construcción, y en segundo; lugar porque facilitará la evacuación de estos residuales que acumulan significativos volúmenes que no tienen la forma de ser tratados adecuadamente.

La última dimensión que propone R. Guimaraes es la denominada sustentabilidad política la cual “[...] se encuentra estrechamente vinculada al proceso de construcción de la ciudadanía, y busca garantizar la incorporación plena de las personas al proceso de desarrollo. Ésta se resume a nivel micro, a la democratización de la sociedad, y a nivel macro, a la democratización del estado. El primer objetivo supone el fortalecimiento de las organizaciones sociales y comunitarias, la redistribución de los recursos y de la información hacia los sectores subordinados, el incremento de la capacidad de análisis de sus organizaciones, y la capacitación para la toma de decisiones; mientras el segundo se logra a través de la apertura del aparato estatal al control ciudadano, la reactualización de los partidos políticos y de los procesos electorales, y por la incorporación del concepto de responsabilidad en la actividad pública”, (Guimaraes, 1994, pág. 53).

Esta visión de la sostenibilidad completa la perspectiva de esta investigación, se asume como paradigma en el análisis del objeto de estudio, en la realización del trabajo de campo y en las

propuestas que se realizan. Además, para elaborar esta propuesta se analizaron los trabajos que sobre el tema se han realizado en la Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”.

En el año 1998 se realizan investigaciones sobre los impactos socioculturales de la industria del níquel, las cuales continúan con otras sobre el desarrollo sustentable en la minería y los indicadores de sustentabilidad y concluyen con la defensa de una Maestría en el año 2001, un doctorado en el 2005 y otro en el 2006. En el año 2012 se concluye un doctorado, por parte de una profesora del Departamento de Marxismo - leninismo en la Universidad de la Habana, sobre el tema de la utilización de la complejidad en la definición de estrategias de educación ambiental en comunidades mineras.

En el año 2013, una profesora del Departamento de Contabilidad y Finanzas, defiende un doctorado sobre el tema de indicadores económicos de sustentabilidad en la Fábrica de Níquel “Comandante Ernesto Ché Guevara” la cual resulta ser la mejor tesis de las ciencias económicas defendida en Cuba en el año 2013.

Se concretan resultados en el área de los riesgos de desastres que conducen a las defensas de una tesis de Maestría en el 2002 y un doctorado en el 2008. Muy relacionado con esta línea de investigación se concretan dos doctorados, uno sobre el impacto de los ruidos y el polvo sobre el medio ambiente en la Empresa Comandante “Ernesto Ché Guevara” en el 2005 y otro sobre la utilización de técnicas difusas para la evaluación del impacto ambiental de proyectos mineros y el seguimiento en el tiempo de su desarrollo en el 2009.

Entre estos autores, de especial significado para esta investigación lo constituye los resultados de las investigaciones realizadas por el Dr. C. Juan Manuel Montero Peña de la Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez. Para Montero (2006) el concepto desarrollo sostenible es muy útil para la elaboración de estrategias dirigidas hacia la sostenibilidad, sin embargo, considera imprescindible la necesidad de una reconceptualización que se adecue más a las condiciones en que tiene lugar esta actividad. Este autor propone un nuevo concepto para la minería el cual se imbrica de forma dialéctica con los objetivos de esta investigación.

En la Tesis de Doctorado de Montero (2006) se plantea que el “El desarrollo compensado es una etapa en el movimiento de las comunidades mineras hacia la sustentabilidad donde se busca compensar de forma racional los impactos que la minería ocasiona sobre el medio ambiente, sin menguar la posibilidad del hombre actual de satisfacer sus necesidades. Es una

etapa donde se pretende privilegiar la capacidad de satisfacer las necesidades materiales y espirituales de la sociedad, creando las condiciones necesarias para que las futuras generaciones satisfagan las suyas a partir de toda la experiencia, que en materia de formación de recursos humanos y de tecnología creen las actuales generaciones y los procesos productivos alternativos que puedan surgir a partir de las nuevas tecnologías que se produzcan, (Montero, 2006, pág. 85).

La propuesta de Montero Peña (2006) periodiza el desarrollo sostenible por niveles, su propuesta de considerar que el “[...] que el desarrollo sustentable es un proceso que transita por diferentes etapas o grados de desarrollo [...]” (Montero, 2006, p.56) se asuma como válida en esta investigación.

Este autor propone como etapas o grados de desarrollo de la sustentabilidad los siguientes: crecimiento, compensaciones y desarrollo. En la etapa “[...] del crecimiento [...] los países están obligados a crecer cuantitativa y cualitativamente en actividades verdaderamente generadoras de riquezas, a pesar de que puedan ocasionar impactos negativos sobre el medio ambiente [...]” (Montero, 2006, p.56).

La etapa de las compensaciones “[...] se produce a partir de que el crecimiento económico facilita la utilización de los recursos naturales y humanos existentes dirigida a compensar a la naturaleza por los daños que ocasionan con sus acciones sobre el medio ambiente. Este nivel es el de las compensaciones, en esencia, consiste en la capacidad de introducir transformaciones de índole positiva en los procesos naturales y sociales que tienen lugar en el medio ambiente en que el hombre vive y que como consecuencia de sus acciones ocasiona cambios que pueden ser irreversibles (Montero, 2006, p.59).

Esta forma de ver el desarrollo sostenible se corresponde con la visión que tiene el autor sobre la minería, desde esta perspectiva esta actividad sí puede ser sostenible a través de las compensaciones capaces de generar con las riquezas que produce. La propuesta que se realiza en esta Tesis de Maestría se corresponde con la idea defendida por el Dr. C. Juan Manuel Montero Peña.

La tercera etapa es la del desarrollo, “[...] a la cual no es posible llegar, desde nuestro punto de vista, si no se ha transitado por las anteriores y en la que tienen lugar tanto, elementos de la primera como de la segunda etapas, pero sobre la base de la existencia de elementos que garantizan el logro de la sustentabilidad en todas sus dimensiones” (Montero, 2006, p.62).

1.2 Conceptualizaciones de pasivo ambiental minero

El estudio realizado sobre la conceptualización de los pasivos ambientales mineros permitió conocer los diferentes tipos a partir de su clasificación.

Los pasivos ambientales mineros (PAM) son desechos generados por las industrias, como consecuencia del desarrollo de las actividades mineras pero que poseen valor económico y social y representan un riesgo e impacto para el medio ambiente y la calidad de vida de las personas.

Las empresas generadoras de estos residuos deben realizar a cabo un estudio específico de sus características físicas, químicas, térmicas y mineralógicas para establecer sus usos de acuerdo a sus características ya mencionadas y así poder aprovecharlos en su totalidad eliminando la polución al medio ambiente.

El reaprovechamiento de Pasivos Ambientales Mineros es un mecanismo favorable para la recuperación ambiental; “aún se desconoce cuál es su verdadero potencial en Perú, por ejemplo, se desconoce cuál es su verdadero potencial y evidentemente, su ámbito de aplicación es limitado, ya que la extracción minera sólo podrá llevarse a cabo en algunos de ellos: aquellos que contengan minerales cuya recuperación sea económicamente viable”, (Gutiérrez Sianiegas, 2004).

Aunque es sabido por todos lo que implica la generación de pasivos ambientales y su no tratamiento, es un tema poco abordado, aunque en los últimos años ha logrado una rápida difusión. Países de América Latina como Bolivia, México, Perú y Chile han realizado investigaciones y esfuerzos para lograr avances en la definición y manejo de los pasivos ambientales, abordando varias definiciones sobre la conceptualización.

En Chile, según el proyecto de Ley de la Remediación de Pasivos Ambientales Mineros se entiende por “Pasivo Ambiental Minero aquella faena minera abandonada o paralizada, incluyendo sus residuos, que constituye un riesgo significativo para la vida o salud de las personas o para el medio ambiente”, Moreno, (C., & Chaparro, 2008)

Perú, según la Ley N° 28.271, los PAM son “todas aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras actualmente abandonadas o inactivas que constituyen un riesgos permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad”, (Infante, 2011).

También en varios informes define que los (PAMM) “pozos e instalaciones mal abandonados, suelos contaminados por efluentes, derrames, fugas, residuos sólidos, emisiones, restos o depósito de residuos ubicados en cualquier territorio nacional incluyendo el zócalo continental, napa

freática, quebradas, ríos, lagunas y lagos, producidos como consecuencia de operaciones (...), (Perú., 2011).

El informe preliminar “Inventarios de Pasivos Ambientales Mineros” (Ministerio de Energía y Minas Dirección General de Minería, Perú, 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”.

El Subsector de Hidrocarburos de Perú en materia de (PAMM) aprobó la Ley 29134 que regula los pasivos ambientales de este sector donde establece que son la: Situación ambiental generada por las actividades económico-extractivas del hombre, ya sea por desconocimiento, negligencia, o por accidentes) que representa un riesgo al ambiente, especialmente en la calidad del agua, suelo, aire, ecosistemas y sobre todo en la salud y calidad de vida de las personas, (Perú P. C., 2007)

Y en el año 2010 se define por un grupo de expertos que los PAM: 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 minas abandonadas o paralizadas, constituyen un riesgo potencial permanente para la salud y seguridad de la población, para la biodiversidad y para el medio ambiente, (ASGMI, 2010).

Bolivia de acuerdo con la Ley Nro. 1333-Ley de Medio Ambiente y el Plan ALBA (Auditoría de Línea Base Ambiental) 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”, (Bolivia, 1992).

En la Consultoría Ambiental de CEPSA (Compañía Española de Petróleo S.A.) de España el Capítulo 5 dice: “El pasivo ambiental puede definirse como aquella situación ambiental generada por el hombre en el pasado y con deterioro progresivo en el tiempo, representa actualmente un riesgo al ambiente y la calidad de vida de las personas, animales y plantas”.

La Environmental Protection Agency (EPA) en Estados Unidos define el pasivo ambiental como “una obligación de incurrir en un costo futuro, como consecuencia de una actividad, o conducta, realizada en el presente o el pasado que pueda afectar el medio ambiente de manera adversa”, (Agency-EPA, 1996).

En México los pasivos ambientales se definen como: “aquellos sitios contaminados por la liberación de materiales o residuos peligrosos que no fueron remediados oportunamente para impedir la dispersión de contaminantes, pero que implican una obligación de remediación. En esta definición se incluye la contaminación generada por una emergencia, (Arango A. M., 2011, pág. 16).

En el informe del Ministerio de Energía y Minas de Perú citado anteriormente se considera que las actividades minero metalúrgicas se realizan a nivel mundial, y generan grandes cantidades de Pasivos Ambientales, pero cada país tiene su ley, decretos reglamentarios establecidos para someter el proceso de evaluación de impacto ambiental de acuerdo al tipo de residuos o escombros, que son perjudiciales para la población y el ecosistema que les rodea.

El término “pasivo ambiental” tiene orígenes empresariales: en el balance de ejercicio de una empresa el pasivo es el conjunto de deudas y gravámenes que disminuyen su activo. Desgraciadamente, mientras las deudas financieras están minuciosamente descritas en el balance, muchas deudas ambientales y sociales no se registran en la contabilidad de las empresas. Si estas empresas fuesen obligadas a considerar como costes el conjunto de daños que transfieren a la colectividad, probablemente los daños ambientales producidos se reducirían, (...), (Russi, 2012).

Esta autora afirma que los pasivos ambientales son “la suma de daños no compensados producidos por una empresa al medio ambiente a lo largo de su historia, en su actividad normal o en caso de accidente. Son sus deudas hacia la comunidad donde opera”.

Cedrón Lassús, (2013) menciona que las operaciones mineras tanto superficiales como subterráneas, producen gran cantidad de material de desecho rocoso conocido como escombros o desmontes a partir de las rocas estériles sin valor económico que hay que extraer para permitir el minado de la mena o mineral con valor económico. Si bien la minería subterránea suele producir cantidades menores pero apreciables, en ambos casos es común depositar este desmonte en áreas superficiales, en rumbos que constituyen las llamadas escombreras.

Como se menciona anteriormente, las actividades mineras subterráneas y a cielo abierto, que están en operación o inactivas, generan grandes cantidades de desechos rocosos y escombros, que tienen menor contenido de mineral y valor económico. Es importante tener en cuenta que los escombros producidos en las minas se depositen en las escombreras para luego ser tratados y utilizados en diferentes usos.

En algunas ocasiones puede existir cierto consenso en considerar el riesgo como un factor definitorio, “tan solo se consideran Pasivos Ambientales Mineros (PAM) a aquellos elementos

asociados a actividades mineras abandonadas que representen un riesgo potencial permanente sobre la salud de las personas, la biodiversidad y el medio ambiente”, (Alberruche Arranz & Rodríguez, 2014).

Estos investigadores señalan, que los Pasivos Ambientales Mineros Metalúrgicos (PAMM), son actividades mineras que no están en proceso de funcionamiento y dejan desechos mineros o escombreras que tienen menor contenido de minerales, sin hacer ningún tipo de tratamiento, esto pueden presentar un riesgo para los seres vivos que se encuentran alrededor de dichas actividades.

En el mundo se desarrollan actividades minero metalúrgicas que generan Pasivos Ambientales para lo cual cada país tiene su ley de evaluación del impacto ambiental que estos y otros desechos provocan. Como Pasivo Ambiental “se conocen a aquellas instalaciones efluentes, emisiones, depósitos de residuos producidos por las operaciones mineras, abandonadas o activas que actualmente constituyen un riesgo para la salud de la población y del ecosistema”, (Ministerio de Energía y Minas de Perú, 2015).

Sotomayor (2015), señala que los Pasivos Ambientales Mineros (PAM) vienen a ser los daños no compensados producidos por una determinada empresa al medio ambiente a lo largo de su ciclo de vida (exploración, construcción, operación y cierre); es decir, se trata de una deuda a la comunidad, donde la operación minera se ha realizado o se encuentra activa en el presente y con proyecciones futuras; los PAM son daños que generan lesiones en los factores ambientales, incluidos los seres humanos, cuyo pago de reparación o compensación del daño ocasionado por la empresa no ha sido asumido y en muchas ocasiones la responsabilidad recae en la sociedad en su conjunto.

De modo, frente a la existencia de pasivos ambientales es necesario recurrir no solo a una remediación o mitigación de los impactos ocasionados, sino también a la exigencia del resarcimiento o indemnización de los daños provocados, cuya valoración debe ser incluido en los costos del proyecto minero.

Como se analiza antes los pasivos ambientales son perjudiciales desde el inicio hasta el cierre de las operaciones mineras, ya que estos daños ocasionan serios problemas de contaminación para el medio ambiente y los seres vivos. Las empresas mineras no han asumido la responsabilidad de remediar el área dañada y la indemnización de los daños provocados, para las reparaciones ambientales cuyos costos deben ser incluidos en el proyecto minero para la recuperación ambiental.

Por lo general los pasivos ambientales se encuentran ubicados donde existen o han existido actividades mineras sin un tratamiento requerido, convirtiéndose en pasivos ambientales mineros, detectado como el principal foco de contaminación y deterioro medioambiental que afecta irremediablemente el presente y el futuro del mundo.

Como gran referencia de la temática también se tiene la Unión Europea que cuenta con la directiva sobre responsabilidad ambiental, que establece un marco basado en el principio de que “el que contamina paga” para la prevención y remediación de los daños ambientales, definiéndose como daño ambiental a especies protegidas, hábitats naturales y daños al agua y al suelo. Aunque en esta investigación solo se tendrán en cuenta las definiciones de pasivos ambientales la de los países latinoamericanos.

La terminología de pasivos ambientales mineros posee varias connotaciones, en dependencia del país que los aborde.

Un pasivo ambiental minero se define según la Subdirección de Evaluación y Seguimiento de la Autoridad nacional de Licencias Ambientales (ANLA), como: “Obligación legal, presente, de una empresa o persona natural de hacer un gasto futuro, debido a la ejecución de una actividad, uso, vertimiento o desecho de una sustancia en particular que afecta, daña o agota de manera peligrosa los recursos naturales y/o el ambiente”. (Martínez, 2015, pág. 11)

En Colombia no hay una legislación establecida aún para evaluar los PAM pero se han propuesto varias definiciones como:

- 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”, (Arango A. M., 2012).
- Pasivo ambiental minero es una obligación, una deuda derivada de la necesidad de la restauración, mitigación o compensación por un daño ambiental o impacto no gestionado. Este pasivo entonces, es considerado como tal cuando afecta de manera perceptible y cuantificable elementos ambientales naturales (físicos y bióticos) y humanos, es decir la

salud, la calidad de vida e incluso bienes públicos (infraestructura) como parques y sitios arqueológicos, (Universidad del Valle, 2003).

- Pasivo Ambiental Minero es “un área donde existe la necesidad de restauración, mitigación o compensación por un daño ambiental o impacto no gestionado, producido por actividades mineras inactivas o abandonadas que pone en riesgo la salud, calidad de vida o bienes públicos o privados”, (González, 2008).
- En el año 2015 en los Talleres para la gestión de los PAM se concibe como: impactos ambientales negativos, ubicados y delimitados geográficamente, que no fueron oportuna o adecuadamente mitigados, compensados, corregidos o recuperados; causados por actividades antrópicas y que pueden generar un riesgo a la salud humana o al ambiente. (Ambiente-Innova., 2015).

En Cuba no existe una definición exacta sobre los pasivos ambientales mineros metalúrgicos, las leyes existentes no lo definen, por lo que el análisis de los PAM es casi nulo entre las autoridades, especialistas y dirigentes empresariales, no se cuenta con una definición precisa, aunque si cuenta con varios criterios producto de investigaciones realizadas a lo largo de más de 50 años, (Ponce N. , 2011).

Sin embargo Ponce N, (2011) afirma que, los Pasivos Ambientales Mineros es la obligación u obligaciones financieras que tienen las personas naturales y jurídicas para la reparación de los daños que han causado al medio ambiente o por el incumplimiento de la legislación ambiental, se tiene entonces que los PAM son dichas obligaciones financieras para la reparación de los daños causados al entorno por la actividad minera e impactos ambientales provocados por ella, así como el incumplimiento de la legislación minera y ambiental al respecto existente en Cuba, (p.2).

A los PAM se le debe prestar gran atención pues ellos no se limitan 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/o zonas aledañas, (Ponce N. , 2011, pág. 2).

Es importante señalar que la conceptualización de PAM considerada en los diferentes países analizados no establece una definición técnica común, sino por el contrario, este es uno de los principales problemas que presenta esta temática. Por lo que de manera general se entiende como PAM “aquellos residuos sólidos o líquidos generalmente peligrosos para el ambiente y/o la salud humana que quedan como remanentes de una actividad minera determinada”, (Infante, 2011, pág. 3).

Considerándose de manera complementada los PAM como una fuente de peligro latente tanto para las personas, los ecosistemas, como para el ambiente en general, por ende, remediar, mitigar y compensar los efectos que estos han producido en los territorios en donde se emplazan, así como restaurar ecosistemas cuando sea posible, es la labor que debiese primar en las actuales autoridades de Gobierno, (Yurisch, 2016).

De acuerdo con la Ley 28271 y el D.S. 059-2005-EM, los pasivos ambientales mineros se consideran a aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, que hayan sido abandonadas o permanezcan inactivas y constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, seguridad, el ecosistema y la propiedad; desde su generación y permanencia en el tiempo, no ha sido incluido en ningún estudio ambiental como es el caso del programa de adecuación y manejo ambiental, que en la actualidad es obligatorio considerar en el estudio de impacto ambiental, declaración de impacto ambiental y cierre de minas, entre otros.

Las actividades minera metalúrgicas, a través del tiempo, dieron origen a la formación de los pasivos mineros, cuyos componentes se indican a continuación: labores subterráneas de la mina, labores de tajo abierto, depósitos de desmontes (botaderos), depósitos de relaves, pilas de lixiviación, generación de aguas ácidas, descarga de sedimentos, residuos metalúrgicos, instalaciones de planta concentradora, Instalaciones de talleres de mantenimiento, subestaciones eléctricas, estaciones de combustible, instalaciones de campamentos y oficinas, rellenos sanitarios, alteración del paisaje y deforestación.

1.3 Caracterización de los pasivos ambientales mineros

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 relaveras: Es el área ocupada por los materiales (de grano fino) sin valor, que se obtiene como producto de los procesos de concentración de minerales por el método de flotación. Estos relaves se han dispuesto en forma de pulpa, eliminando el agua después de la sedimentación de los sólidos. Sus características son de material fino de fácil erosión por la acción del viento y de las escorrentías. Su disposición exige generalmente la construcción de una presa de sostenimiento, 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.

1.4 Gestión de los pasivos ambientales mineros

Los pasivos ambientales mineros vienen a ser los daños no compensados producidos por una determinada empresa al medio ambiente a lo largo de su ciclo de vida (exploración, construcción, operación y cierre); es decir, se trata de una deuda a la comunidad, donde la operación minera se ha realizado o se encuentra activa en el presente y con proyecciones futuras.

Son daños que generan lesiones en los factores ambientales, incluidos los seres humanos, cuyo pago de reparación o compensación del daño ocasionado por la empresa no ha sido asumido y en muchas ocasiones la responsabilidad recae en la sociedad en su conjunto. De modo, frente a la existencia de pasivos ambientales es necesario recurrir no solo a una remediación o mitigación de los impactos ocasionados sino también a la exigencia del resarcimiento o indemnización de los daños provocados, cuya valoración debe ser incluido en los costos del proyecto minero.

La evaluación de los pasivos ambientales, en general hace referencia a la valoración monetaria y la responsabilidad jurídica; es decir, es difícil determinar el impacto de una actividad contaminante en un contexto complejo y de fuerte incertidumbre, ya que se trata de bienes no intercambiables en el mercado que impiden valorar los daños ambientales en los diferentes niveles de la actividad humana, como son por ejemplo el valor monetario de la degradación de un paisaje o la erosión de suelos, los efectos sobre la reducción de la biodiversidad, la contaminación de los ríos, los trastornos culturales o la pérdida de la vida humana, entre otros.

Escombros Lateríticos

La Empresa Moa Nickel S.A 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 extrae en el año, 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, en específico el rechazo serpentínico; este último constituye el objeto de esta investigación.

1.5 Caracterización del rechazo serpentínico desde un enfoque sostenible

En el estudio preliminar de la bibliografía consultada existen diferentes investigaciones que abordan el tema sobre el uso de los desechos serpentínicos y sus posibles alternativas q son de gran utilidad para la sociedad, debido a que no solo resolvería el problema de contaminación que representa su acumulación, sino que también se podría utilizar a escala industrial en la construcción de obras de diversas índoles tales como tejados, compuertas para presas hidráulicas, pavimentos, balastro para ferrocarriles, en bloques de hormigón para termoeléctricas y atomoeléctricas debido a las propiedades de los minerales de serpentina, así como en la agricultura para fertilizar suelos ácidos debido a su contenido de magnesio.

Montero (2006) en su estudio “El desarrollo sustentable en la actividad minero-metalúrgica” plantea una serie de indicadores entre los que se encuentra la determinación de las actividades alternativas para la minería y la posibilidad de la existencia de un tipo de desarrollo que proteja el medio ambiente a través de compensaciones. Esto guarda relación

con el objeto de estudio de la presente investigación donde se analizan las posibles alternativas de uso del pasivo ambiental minero “rechazo serpentinitico” del Yacimiento Moa Occidental.

El investigador de la presente tesis toma como referencia lo planteado por Montero (2006), donde propone dos alternativas desde un enfoque sostenible para el posible uso del “rechazo serpentinitico” estudiado:

1. Se analizan los impactos positivos que genera la minería sobre el medio ambiente de la zona donde se ubica la mina. Estos pueden considerarse a partir de un número de indicadores socioculturales entre los cuales agruparíamos, por ejemplo, la generación de empleos directos e indirectos que contribuyen a la incorporación al trabajo de un determinado número de personas, la creación de infraestructuras y facilidades económicas para segmentos de población directamente empleados en las minas e indirectos.
2. Compensar los impactos irreversibles que la minería ocasiona como consecuencia de sus prácticas, es la creación de condiciones propicias, a partir de los recursos actuales, para que las futuras generaciones puedan encontrar alternativas para satisfacer sus necesidades materiales y espirituales, sin dejar de utilizar todos los recursos que necesitan para las actuales generaciones. (Montero, 2006)

Por eso, las acciones de este indicador según refiere este investigador estarían dirigidas a la existencia de estrategias que permitan a las generaciones futuras de las zonas donde se ubican los complejos mineros, cuando se agoten los recursos que ahora utilizan, el surgimiento de actividades alternativas. Para ello los gobiernos locales, provinciales y nacionales deben tener un dominio pleno de la política de empleo y superación de su localidad, que ofrezca toda la información necesaria para iniciar proyectos en las zonas en cierre o para reubicar los recursos disponibles de la forma más eficiente. (Montero, 2006)

Los litotipos compuestos por peridotitas serpentinizadas serían los de mayor aprovechamiento, tanto por su composición mineralógica como por su grado de abundancia.

La serpentina constituye el mayor por ciento del rechazo de planta de pulpa en Moa Nickel, de esta forma podemos establecer una correlación con el uso de la serpentina en otros lugares. Estos residuales industriales han sido probados por otros investigadores, que han llegado a elaborar diversos materiales de construcción como se muestran en la figura siguiente.



Figura 1: Materiales de construcción elaborados con rechazo serpentínico de la empresa Pedro Soto Alba de Moa.

Fuente: (Terrero Aguirre, 2011)

Estadística Minera de España 2016 refleja el uso de serpentinita y dunita como áridos para la construcción, aglomerantes, productos cerámicos y áridos industriales localizados en Andalucía y Galicia. Además, se recoge un histórico de cinco años de los volúmenes de este tipo de roca utilizados como áridos para la construcción, ver Anexo 1. Refleja, además la producción nacional por tipo de rocas, destinada a áridos, durante el período 2012-2016 en España, ver Anexo 2.

Estos resultados demuestran las posibilidades de utilizar estos tipos de rocas y minerales, existentes en el rechazo de las plantas de preparación de mineral de la Empresa Moa Nickel S.A., como material alternativo para la construcción, lo cual contribuirá de manera significativa al desarrollo sostenible de nuestros recursos naturales.

Rodríguez (1985) demuestra el uso del material serpentínico en la construcción de presas locales. El trabajo expone resultados de las investigaciones realizadas mediante la utilización del material serpentínico como base de las obras hidráulicas y para su empleo como material de la construcción. Abordó además la clasificación de las rocas y su composición química y mineralógica.

Mientras que Casall (1986), realiza estudios sobre el uso de las serpentinitas en la construcción de obras hidráulicas. Por su parte, Lavaut (2004) realiza un informe sobre “Caracterización del mineral de rechazo por el proceso de planta de preparación de pulpa”.

Los resultados caracterizan el material del rechazo sobre todo la fracción < 20 mesh (0,84 mm), buscando aumentar la eficiencia y disminuir el % de rechazo en la operación tecnológica de la planta de pulpa. Se determina en este estudio que el material >20mesh está compuesto fundamentalmente por peridotitas serpentinizadas de color gris oscuro verdosos, de estructura bien definida; junto al material aparecen perdigones de hierro de color pardo rojizo que oscilan en un tamaño muy variado de hasta 3cm.

Rojas Purón-Carballo Peña (1988) realizan un estudio del material rechazado por la Planta de Pulpa en Moa Nickel S.A. con el fin de determinar la “Valoración mineralógica económica del material de rechazo de la planta de preparación de pulpa del yacimiento Moa”. En este estudio se cuantificaron los volúmenes de material fino (<0,84 mm), las concentraciones de Ni+Co de seis fracciones que varían desde 4 mm hasta < 0,56 mm. Como promedio las muestras de rechazo analizadas reflejaron concentraciones de Ni = 1.04%, Co=0,110 %, Fe = 39,45 %, SiO₂ = 7,49 % y Mg = 2,58%, resultados que vuelven muy atractivo este rechazo para ser reprocesado con la tecnología de ferroníquel. Se realizan análisis químicos a 6 fracciones granulométricas, siendo las más perspectivas por sus concentraciones de Ni+Co las que están por debajo de los 0,4 mm.

López Peña (2006) en su tesis de grado realizó algunos morteros del rechazo serpentínico del material de la planta de pulpa de Moa Nickel SA obteniendo resultados alentadores que debían ser complementados con estudios posteriores. Se determina que el 21,92% del rechazo está compuesto por fragmentos de serpentinitas.

Lueges Anidos (2007) realiza la valoración geólogo-técnica de las perspectivas de empleo de los desechos serpentínicos de la ECG como materiales constructivos alternativos. Los ensayos realizados demuestran que el material serpentínico puede emplearse para la fabricación en morteros utilizados para muros portantes, vestido en interior y exterior, así como en la construcción de pasillos y pavimentos.

Montero Gil (2007), desarrolló estudios físico-químicos al rechazo de la planta de pulpa de Moa Nickel SA, encaminados a su uso como árido para la construcción contabilizando los volúmenes de este material por año. En este trabajo se determinó que el rechazo de planta de pulpa menor de 100 mm es idóneo para utilizarlos en hormigones de hasta 20 MPa que son los más utilizados en obras sociales, además que demostraron ser inocuos con los álcalis del cemento y tiene buen comportamiento ante las condiciones del intemperismo.

Céspedes Rivera (2007), realizó estudios físico-químicos al rechazo de la Empresa Ernesto Che Guevara, encaminados a su uso como árido para la construcción contabilizando los volúmenes de este material por año. En este trabajo se determinó que el rechazo puede ser utilizado en hormigones de hasta 40 MPa y pudiera ser un suministro estable al molino de Cayo Guam capaz de procesar 5 000 m³ de este material al mes.

Por su parte, Cardero (2007) proyecta la construcción de una planta procesadora de grava y arena para el municipio de Moa, se establecen los parámetros tecnológicos del proceso de preparación mecánica y beneficio de materiales de la construcción, al igual que se intentan diseñar algunos de los equipos componentes del proceso tecnológico de producción de áridos.

León y otros (2007) demuestran los beneficios físico-mecánicos que recibe el rechazo serpentínico de la ECG durante el procesamiento industrial. Además de las características granulométricas y la composición química del rechazo serpentínico.

El uso de hormigones serpentínicos es utilizado para atenuar los neutrones termales, cuya temperatura oscila en el rango de 400-500 grados, según la publicación El Universal de Caracas, (2007).

Wilson (2008), logró caracterizar las serpentinitas del municipio Holguín como áridos para la construcción, empleando muestras de los túneles populares de ese municipio. Con la caracterización físico-mecánica realizada y las dosificaciones formuladas, se concluyó que los resultados de las prestaciones obtenidas de los hormigones fueron bajas, debido a que las serpentinitas estudiadas tenían indicadores deficientes, producto a la gran trituración natural del material y a su estado avanzado de alteración.

Jiménez (2008), determina las características químico-físico-mecánicas del material de rechazo de la ECG y establece las características típicas de trituración del material rechazado en las trituradoras de mandíbulas 320x65 mm y 150x75 mm, demuestra a través de los ensayos realizados su posible uso como árido en la industria de los materiales de la construcción.

Pérez, (2009) realiza una investigación similar a la de Céspedes con el tema, Caracterización y evaluación del desecho serpentínico de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara como áridos para la obtención de hormigones hidráulicos, en el cual fueron tomadas una cantidad de muestras representativas del material serpentínico y enviado al laboratorio de la ECRIN ubicado en el municipio de Moa, destinados a realizar el complejo de ensayos para establecer las dosificaciones requeridas para obtener hormigones hidráulicos de medias prestaciones, a partir de los áridos serpentínicos del rechazo de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara; con la

dosificación 1 se demuestra que pueden obtenerse hormigones de resistencia de hasta 20 Mpa, por lo cual esta dosificación es la más apropiada de las estudiadas; estos hormigones pueden ser empleados, según la norma cubana en: cimientos aislados, corridos y en prefabricados; pedestales in situ y prefabricados; muros de contención forzados y vigas de cerramientos.

Rabilero Bouza y Telles Girón (2008), confirman el uso de las serpentinitas en el hormigonado de la central atomelétrica de Cienfuegos, para la protección contra neutrones, aprovechando la capacidad de las serpentinitas para capturar los neutrones y atenuar las radiaciones gamma.

Céspedes Rivera (2010) también logró caracterizar los desechos sólidos de la planta de pulpa de la Empresa Moa Nickel S. A. como árido para la construcción, demostrando que el 70 % de estos rechazos están compuesto por serpentinita, 20% de minerales de hierro, 8 % de cuarzo, calcedonia, sílice amorfa y un 2 % de cromita y minerales de manganeso. Logró además establecer un pronóstico, basado en el comportamiento de las muestras analizadas de los volúmenes por clasificación granulométrica del material de rechazo sin beneficiar, como se muestra en la tabla N° 3.

En este trabajo se demuestra que el rechazo de la planta de pulpa está apto para su uso en la confección de bloques huecos de hormigón y morteros, pero requieren un proceso de lavado intenso para eliminar el contenido de limonita acompañante.

Se confirma que el sistema de preparación en esta planta se comporta de manera inestable dependiendo del flujo tecnológico, características específicas de la composición del material minado, de la cantidad del material alimentado y la eficiencia del cilindro lavador.

Vijaya Kattel (2010) en su trabajo de diploma “Valoración técnica de los desechos serpentiniticos de la Empresa Pedro Soto Alba- Moa-Nickel SA., como material de construcción alternativo”, explica que el empleo de estos desechos es factible en la fabricación de bloques huecos y morteros para la construcción, para ello se realizaron varios ensayos que al comparar los resultados con las normas técnicas para cada uno de los elementos elaborados con 100 % de rechazo, validaron la propuesta del investigador al cumplir con las exigencias técnicas.

Plantea Gámez (2011), de acuerdo a trabajos realizados anteriormente y los análisis actuales realizados que, la serpentinita se encuentra habitualmente asociada a importantes yacimientos de cobre, hierro, níquel, amianto y talco. Se usa fundamentalmente en la construcción y es trabajada en láminas delgadas, se emplea para el cubrimiento de tejados y revestimientos exteriores. También se corta y pule para usarla como material ornamental de gran efecto. (pág. 8)

Según este autor, la oferta mundial de piedra natural, incluyendo pizarras, alcanzó en 1993 los 34,5 millones de toneladas. El primer productor es Italia, con 7,2 Mt, seguido por España, con algo más de 4 Mt y, a continuación, se ha incorporado China como gran productor (2,5 Mt).

De acuerdo a lo antes planteado el uso de estos desechos serpentiniticos sería de gran provecho para la sociedad, debido a que no solo resolvería el problema de contaminación que representa su acumulación, sino que también se podría utilizar a escala industrial en la construcción de obras de diversas índoles tales como tejados, compuertas para presas hidráulicas, pavimentos, balastro para ferrocarriles, en bloques de hormigón para termoeléctricas y termonucleares debido a las propiedades de los minerales de serpentina, así como en la agricultura para fertilizar suelos ácidos debido a su contenido de magnesio.

En todo el mundo la serpentina presenta un color verde oscuro y negro y tiene una textura laminar, con frecuentes manchas, denominadas zonaciones formadas por la presencia de mayor cantidad de otros elementos, especialmente piroxenos; principalmente. La serpentinita está formada antigorita, lizardita y magnetita, de forma accesoria, aparece serpentina en vetas crisotilo y a menudo también se encuentra amianto, talco, garnierita, brucita y clorita, en menor medida, magnesita, dolomita o calcita. Se ha reportado el uso de minerales serpentiniticos como materiales de construcción en el mundo.

Los principales mercados de la piedra natural son los Estados Unidos, España, Alemania y Francia dentro de la UE, Japón y algún otro país de Extremo Oriente y los países del Golfo Pérsico. Los usos principales son para solados, revestimientos y aplacados exteriores y arte funerario.

Como resultado de la revisión del estado del arte, es posible concluir que los desechos serpentiniticos de la planta de preparación de mineral de la Empresa Moa Nickel S.A., pueden tener diferentes alternativas de usos a partir de los estudios realizados por otros investigadores en sus tesis.

1.6 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 les 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.

1.7 Conclusiones del Capítulo I

1. Las definiciones dadas en el mundo a los Pasivos Ambientales Mineros se restringen a residuos de minas en explotación, cerradas o abandonadas y edificaciones no utilizadas en los momentos actuales, que constituyen peligro para el ecosistema y para la vida de las personas. En Cuba no existe una definición aprobada oficialmente, lo cual debe constituir objetivo de las investigaciones que se desarrollan en la actualidad.
2. Las investigaciones desarrolladas sobre el tratamiento y uso de los rechazos serpentínicos, facilitaron la caracterización técnica y la validación de los desechos serpentínicos como materiales de construcción alternativos, tanto en la fabricación de obras hidráulicas, como en morteros para la construcción, bloques de hormigón, pavimentos, entre otros usos en Cuba y el mundo.
3. A pesar de que se han realizado diferentes investigaciones con los rechazos serpentínicos en Cuba, y en especial en Moa, aún se desconocen las principales características químicas-física, que presenta estos pasivos ambientales, que permitan tomar decisiones sobre sus posibles usos industriales.

CAPÍTULO II MATERIALES, MÉTODOS Y DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LOS YACIMIENTOS MINERALES DE MOA NICKEL S.A.

En este capítulo se describe la geología de los yacimientos minerales que participan en la alimentación de planta de preparación pulpa de Moa Nickel S.A. y su ubicación geográfica. Proceso de beneficio del material alimentado a la planta de preparación de pulpa, la selección de las muestras, así como los materiales y métodos, utilizados para el cumplimiento de los objetivos de la presente investigación.

3.1. Geología de los yacimientos minerales que participan en la alimentación de la planta de preparación de pulpa. Ubicación geográfica.

Los yacimientos minerales planificados como fuentes de materia prima para el proceso metalúrgico durante el año 2018 forman parte de las Cuchillas de Moa, ubicadas en el macizo Moa-Baracoa, al sur de la ciudad de Moa, ver figura 1 Ubicación geográfica de los yacimientos de Moa Nickel S.A. Se localizan en una región de clima tropical húmedo, donde por estadísticas en los meses de octubre a febrero se manifiestan abundantes y continuas precipitaciones, siendo el mes de noviembre el de mayor ocurrencia de lluvia en el año; en los meses de marzo a septiembre es frecuente un período seco con altas temperaturas.



Figura No. 1. Ubicación geográfica de los yacimientos de Moa Nickel S.A.

Los yacimientos que participan en la alimentación de menas a la planta de preparación de pulpa de Moa Nickel S.A. se formaron a través de la meteorización de harzburgitas y dunitas serpentinizadas las cuales representan más del 95% de la roca madre. En el proceso de formación intervinieron agentes atmosféricos, hídrico, biogénicos, el relieve, génesis tectónica, transformando las rocas madres en corteza de intemperismo con textura, estructura, composición química y mineral propia. Estos yacimientos se clasifican como yacimientos ferro niquelíferos de meteorización.

Las litologías a partir de las cuales se formaron las potentes cortezas de meteorización que hoy aparecen, están constituidas, fundamentalmente, por harzburgitas serpentinizadas y subordinadamente gabros y dunita según Alberto Gámez (2011), las primeras aparecen prácticamente en toda el área de estudio y microscópicamente se caracteriza por ser rocas densas y masivas de granos finos a medios, encontrándose por lo general agrietadas en diferentes grados. El color de la roca fresca es de gris verdoso a gris oscuro, en ocasiones hasta negro, la masa volumétrica de esta oscila entre 2,40 y 2,60 g/cm³, en su composición mineral se encuentran los del grupo de la serpentinita (Crisotilo, Lizardita, Antigorita, etc.), cuyo contenido anteriormente alcanza el 60 %.

Los minerales de los yacimientos Moa Oriental y Moa Occidental, están compuestos, principalmente, por harzburgitas serpentinizadas, en gran parte del basamento de estos yacimientos, como se muestra en la tabla 4.

Tabla No. 1. Composición química (%) de las harzburgitas serpentinizadas del basamento de los yacimientos en la Empresa Moa Nickel S.A.

Composición química promedio (%)										
Sector	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	Cr ₂ O ₃	NiO	Otros
Norte	36,93	0,81	9,05	1,92	0,45	33,56	0,15	0,2	0,32	16,61
Centro	41,07	0,4	6,95	1,2	0,31	36,15	0,09	0,26	0,28	13,29
Sur	39,22	0,68	7,2	1,41	0,39	35,48	0,1	0,31	0,38	14,83
Promedio	39,07	0,63	7,7333	1,51	0,38	35,06	0,11	0,2567	0,33	14,91

Fuente: Tomado de Gámez, 2011.

La bibliografía consultada refiere que la fracción ≤ 100 mm del rechazo de la planta de pulpa está compuesto por rocas con elevado grado de alteración enriquecidas en elementos como Fe, Si, Mg, Al y concentraciones en menor medida de Cr, Ni, Mn, Cu, Zn, Co.

3.2. Beneficio de las menas alimentada a la planta de preparación de pulpa.

Las menas alimentadas a la planta de preparación de pulpa, tienen como objetivo garantizar el volumen y calidad (concentraciones de Ni+Co, Mg, Si) de la pulpa obtenida, permitiendo su posterior procesamiento con la tecnología de lixiviación ácida instalada en Moa Nickel S.A. para el cumplimiento de los planes productivos.

Para cumplir estos indicadores se planifica los % de alimentación de cada frente minero o depósito mineral, el transporte se realiza en camiones volteos que descargan en los embudos de las tolvas 1 y 2 de la planta.

La planta de preparación de pulpa tiene como objetivo beneficiar toda la mena alimentada a las tolvas 1 y 2, convertirla en pulpa y enviarla a los tanques de espesadores. Como desechos en este proceso de beneficio se obtienen dos rechazos clasificados granulométricamente en rechazo grueso ($> 100\text{mm}$) compuesto por rocas y fracciones limoníticas que estructuralmente semejan rocas (pueden aparecer restos de árboles y materiales antropológicos) y rechazo fino ($\leq 100\text{mm}$) seleccionado como objeto en la presente investigación.

Gendis (2019), describe todo el proceso tecnológico de la planta de preparación de pulpa:

La mena se alimenta a la planta a través de camiones desde los yacimientos o desde los depósitos intermedios. El tiempo de retención en la tolva, depende de la capacidad de la planta. La tolva posee nueve martillos para mantener uniforme y compacto un volumen definido de menas alimentadas, así como un juego de cadenas para romper los terrones grandes y amortiguar el golpe de las rocas al caer.

Las menas dentro de las tolvas, son transportadas en dos esteras de velocidad variable, donde se controla la capacidad del mineral alimentado a la planta. Estas esteras conducen las menas hacia dos transportadores de banda. La velocidad de estos transportadores de banda es constante, presentando una inclinación de 15 grados cada uno. Por estos transportadores no deben de pasar rocas mayores de 457 mm (18 pulgadas); si sobrepasan este tamaño el operador debe romper las mismas en fracciones más pequeñas utilizando para ello los martillos neumáticos.

Las menas lateríticas son conducidas a las cribas vibratorias, las cuales poseen barras situadas paralelamente a una distancia de 100 mm (4 pulgadas). En estos equipos de

clasificación de tamaño de partículas, es donde por primera vez se le añade agua en forma atomizada, a una presión de 80 lb/pulg², con el objetivo de romper los aglomerados de menas que pasaron a través del embudo y lavar las fracciones útiles que vienen adheridas a las rocas serpentínicas, ver **Anexo 3**.

La pulpa con partículas de mineral < 100 mm (4 pulgadas) cae por gravedad de las cribas vibratorias a las lavadoras de ejes y paletas, las cuales desagregan los aglomerados de menas. Las rocas de mayor tamaño quedan en las lavadoras, formando una cama y la pulpa de aproximadamente 30 % de sólidos, cae por gravedad a las zarandas primarias.

Las zarandas primarias están inclinadas 10 grado para lograr menor tiempo de retención del mineral en su interior, y poseen mallas de 6,5 mm.

Las partículas mayores de 6.5 mm, que son en su mayoría de carácter serpentínico, son rechazadas por las zarandas primarias y van al transportador de rechazo y las menores de 6.5 mm se descarga en una zaranda secundaria.

Las zarandas secundarias separan las partículas menores que 0,84 mm, formando una pulpa de aproximadamente 20 % de sólidos, alimentándose por gravedad a la planta de Espesadores de Pulpa a través de una tubería de concreto de 610 mm de diámetro (24 pulgadas).

En el proceso de beneficio del mineral se denomina rechazo a las fracciones mayores que 0,84 mm, no consideradas como útiles en el proceso actual de lixiviación ácida a alta presión y temperatura. El contenido de fracciones útiles en el rechazo está relacionado con las características de las menas y la eficiencia de la planta de preparación de pulpa.

El rechazo de las zarandas secundarias, se une al de las primarias, y es enviado al circuito de rechazo mediante un transportador (CO-11), el cual descarga a un cilindro lavador que es el encargado de desmenuzar y lavar los aglomerados de mineral que no fueron recuperados durante el proceso de clasificación, ver **Anexo 4**.

Este producto es descargado a una zaranda (SN-06) en la cual ocurre el último proceso de clasificación. La pulpa producto de la zaranda SN-06 es recolectada en un foso y luego recirculada al proceso. Las partículas de mayor tamaño (> 0,84 mm) son trasladadas a través de la banda transportadora CO-12, la cual descarga en el transportador apilador CO-14, ver **Anexo 5**.

El agua que se utiliza en los rociadores para lavar el mineral, es extraída del reboso de los tanques espesadores de pulpa y se bombea a través de una tubería de 460 mm de diámetro (18 pulgadas) hasta la planta de preparación de pulpa.

El esquema general de esta planta de beneficio se muestra en la **figura 2**.

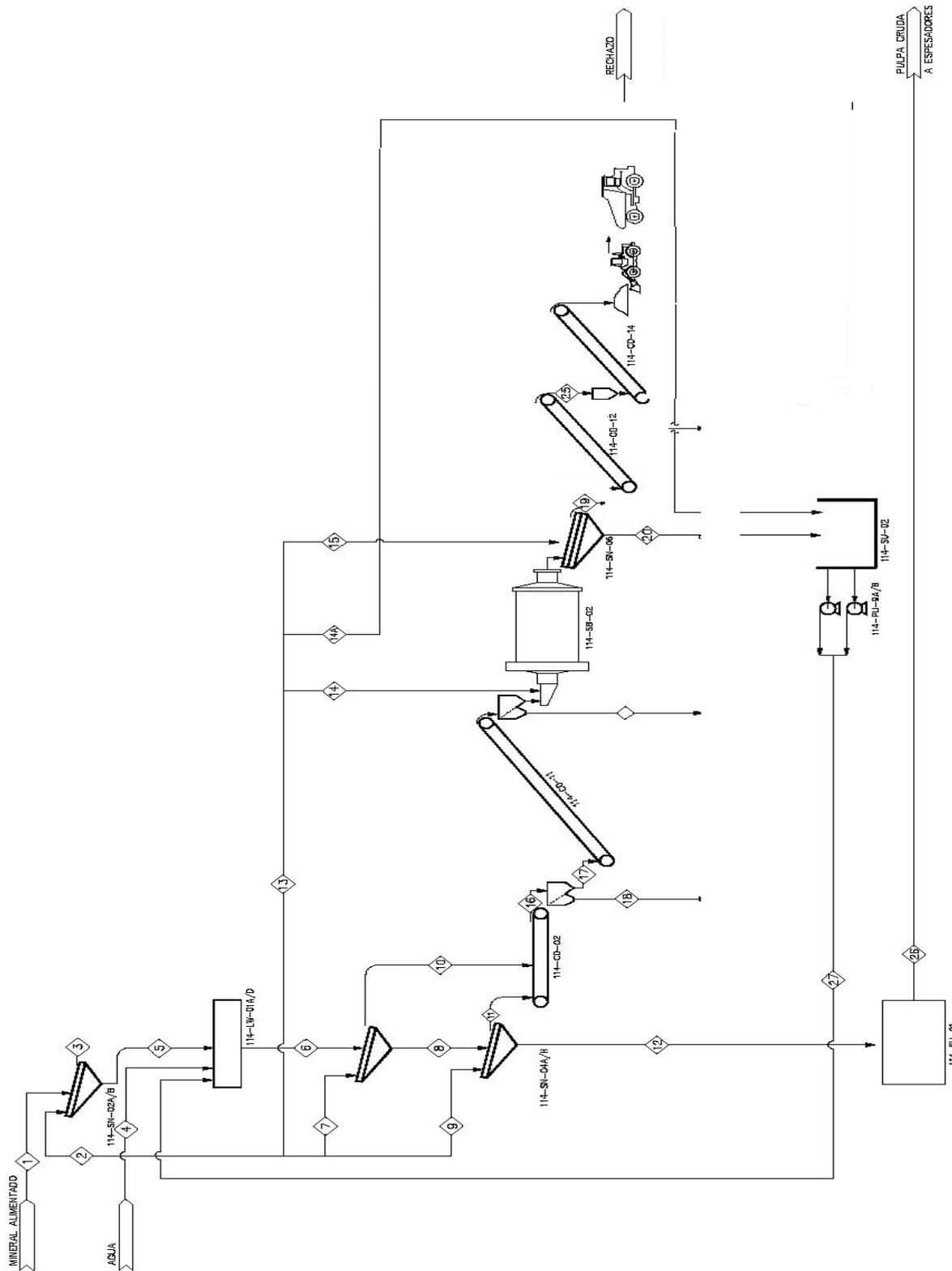


Figura No. 2. Esquema tecnológico de la planta de preparación de pulpa.

2.3 Métodos empleados en la investigación.

En el desarrollo de la investigación el autor utilizó métodos teóricos y empíricos para alcanzar el objetivo propuesto, utilizando los métodos como el principal unificador entre la teoría y la práctica, (Chávez Rodríguez, 2001).

Método de Investigación Científica es un sistema de principios, reglas y acciones que facilita estudios (generalmente sistemáticos, conscientes, críticos y controlados) teóricos y empíricos; que usando la información disponible y el conocimiento actual, permiten organizar y desarrollar la creación del nuevo conocimiento científico o nuevas tecnologías... Legrá (2014)

2.3.1 La investigación histórica.

Consiste en un estudio sistemático del pasado con vistas a comprender las tendencias del presente. Sus fuentes principales de datos son documentales, aunque se pueden también recoger informaciones personales a testigos o a personas que las hayan vivido o recogido por transmisión oral (verificando la veracidad de la fuente). Legrá (2014)

El método se utilizó para recopilar y estudiar los trabajos precedentes, relacionado con el objeto y objetivo de la presente investigación.

2.3.2 La observación.

Observar científicamente es obtener datos, información y conocimiento acerca del objeto de investigación en un proceso consciente de captación y registro. Legrá (2014)

El método se utilizó para cuantificar los volúmenes de rechazo en la planta de preparación de pulpa, sus características macroscópicas y similitudes en el rechazo contenido en las áreas de estudio.

2.3.3 Deducción e inducción.

En el enfoque dialéctico de la investigación, deducción e inducción son métodos básicos de la asimilación teórica de la realidad y ambos se complementan.

Desde el punto de vista de la Lógica, la Deducción es una forma de razonamiento donde se infiere una conclusión a partir de una o varias premisas aplicando leyes de la lógica (o sea,

es una demostración o inferencia de una aseveración llamada consecuencia, a partir de una o varias aseveraciones llamadas premisas). En un plano más general, la Deducción es una inferencia de lo general a lo particular, o sea, es una operación mental que, a partir de proposiciones generales, realiza demostraciones o inferencias para proposiciones particulares.

La Inducción, como forma de razonamiento, hace posible el paso de los hechos singulares a los principios y proposiciones generales. Pero lo inductivo es algo más que el paso de lo particular a lo general y se ha convertido, además, en un procedimiento para pasar de lo conocido a lo desconocido, de la práctica a la teoría y viceversa en estrecha relación con lo deductivo, a lo cual va indisolublemente ligado y condicionado. Son fases diferentes, pero no separadas del proceso de investigación científica. Legrá (2014)

Se utilizaron estos métodos combinados para consolidar la información de trabajos precedentes y correlacionar sus resultados con el objeto estudiado.

2.3.4 Análisis y Síntesis.

El análisis es una operación del pensamiento mediante la cual un objeto o fenómeno investigado se descompone en sus partes, que son estudiadas de modo multifacético para llegar a su conocimiento multilateral.

La síntesis consiste en la unión mental en un todo armónico de las partes previamente analizadas con el fin de revelar las relaciones esenciales y características más generales del objeto de investigación. Mediante la síntesis se logra la sistematización del conocimiento científico.

Ambos métodos, análisis y síntesis, constituyen una unidad indisolublemente ligada y la absolutización de cualquiera de ellas conduce a errores epistemológicos y metodológicos. Ambos constituyen operaciones mentales lógicas que se condicionan recíprocamente y se encuentran subordinados a las exigencias generales del método dialéctico. Legrá (2014)

Se utilizan estos métodos para el procesamiento e interpretación de los resultados obtenidos en cada análisis realizado al objeto en estudio.

2.4 Población y muestra.

El primer momento en la selección de las muestras, fue identificar los principales depósitos de rechazo existentes en el yacimiento Moa Occidental, seleccionándose cuatro de ellos, teniendo en cuenta su extensión y volumen del rechazo acumulado, más el área de descarga



Figura No. 3. Áreas seleccionadas para el muestreo y estudio del rechazo.

2.4.1. Plataforma de descarga del rechazo en planta de preparación de pulpa (STAKER): en esta área se deposita el rechazo transportado por el CO-14 (transportador que descarga el rechazo ≤ 100 mm en una plataforma), la acumulación requiere para el manejo de cargadores o retroexcavadoras como equipos de carga que, de conjunto con camiones, realizan su transporte y deposición en las áreas planificadas (depósitos de rechazo).

En la plataforma, el rechazo es depositado en forma de conos con elevado % de humedad cercano a la saturación del material que lo compone, resultado del proceso de preparación de

pulpa al cual es sometido todo el material alimentado a los embudos de la planta de preparación de pulpa. El volumen mensual descargado por el CO-14 en el STAKER desde 1/01/2016 al 01/09/2018 aparece en la tabla 5

Tabla No. 2. Volúmenes de la fracción ≤ 100 mm de los rechazos acumulados en la empresa Moa Nickel SA de Moa.

Fecha	Volumen (m³)	
01/01/16	43.153,32	
01/02/16	38.599,61	
01/03/16	46.667,15	
01/04/16	33.772,84	
01/05/16	40.342,21	
01/06/16	55.823,06	
01/07/16	45.774,62	
01/08/16	39.327,34	
01/09/16	55.131,86	
01/10/16	48.489,24	
01/11/16	39.652,33	2016
01/12/16	38.247,59	524981,18
01/01/17	47.613,26	
01/02/17	67.429,82	
01/03/17	92.597,93	
01/04/17	88.080,49	
01/05/17	69.782,44	
01/06/17	68.282,77	
01/07/17	61.042,06	
01/08/17	64.759,22	
01/09/17	52.967,73	
01/10/17	61.888,51	
01/11/17	50.830,80	2017
01/12/17	59.257,01	784.532,02
01/01/18	65.086,78	
01/02/18	69.657,23	
01/03/18	71.470,00	
01/04/18	68.940,00	
01/05/18	52.965,00	
01/06/18	51.328,00	
01/07/18	54.080,00	
01/08/18	47.295,00	09/2018
01/09/18	53.433,00	534.255,01

Se tomaron dos muestras, 9601 y 9602, tomadas el mismo día de forma aleatoria, con una masa mínima de 10kg representativa de toda la pila muestreada y sus composiciones granulométricas.

En el año 2007 el autor del presente trabajo tomó dos muestras en este punto, cada una de 50 kg, se enviaron al Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción en La Habana, con el objetivo de caracterizar el rechazo, atendiendo a su posible uso como áridos para la construcción.

2.4.2. Presa de Rechazo: Tomado del Plan de Minería 2018. Este depósito de rechazo se encuentra a una distancia de 500m y acumula rechazo con gran contenido de la fracción fina incorporado ≤ 0.84 mm, alto Ni, Mg y Fe y bajo Co. Cuenta con una extensión total de 49.1 ha, con elevaciones que varían desde la cota 179.3m hasta 206.4 m sobre el nivel del mar y posee pendientes suaves de este a oeste. En general, el nivel de variabilidad de los parámetros fundamentales se mantiene en la categoría de muy estable u homogéneo, destacándose la potencia del cuerpo mineral como el parámetro más variable de este depósito.

Los niveles de concentraciones de los elementos útiles Ni y Co en el material de esta presa es tal que todos los pozos cumplen la condición fundamental de cálculo para el mineral de balance: $Ni \geq 1 \%$ y $Fe \geq 35 \%$. Cabe destacar que las concentraciones de Mg son mayores de 1.5 % en el 97 % de los pozos, lo que es perjudicial para la eficiencia del proceso metalúrgico de Moa Nickel S.A.

Atendiendo a los valores promedios de la composición química, se puede afirmar que el material de la presa de rechazo es equivalente al material de la mena LB cruda que comúnmente se encuentra en los yacimientos lateríticos de la región oriental de Cuba. La velocidad de sedimentación del material de rechazo de la presa es aceptable, siendo el valor promedio alrededor de 162 mm/h.

La humedad natural que presenta el material de rechazo en todo el perfil de la presa está muy cercana a la humedad de saturación del material, excepto en el sector este (parte alta) donde sus valores decrecen. Se debe tener presente que ante aperturas de excavaciones que definan taludes en la parte baja de la presa, podrá haber movimiento de agua y posibles arrastres de material hacia éstas con la consiguiente pérdida de estabilidad de sus pendientes.

Tabla No. 3. Características físico-mecánicas de las rocas serpentínicas que conforman el rechazo depositado en la presa de rechazo.

Parámetros	U/M	Presa de rechazo
Mineral		
Peso Volumétrico Seco In-situ	t/m ³	1.16
Peso Volumétrico Húmedo In-situ	t/m ³	1.39
Peso Volumétrico Húmedo suelto	t/m ³	1.45
Humedad.	%	35.0
Factor esponjamiento		1.23

Elaborado por: Eduardo Montero Gil.

2.4.3. Pilar de Zona B, Área 1 y Área 2: estos depósitos de rechazo fueron creados aprovechando los fondos mineros agotados para el procesamiento con la tecnología de lixiviación ácida en Moa Nickel S.A. Las concentraciones tanto de material menor de 0.84 mm como en contenidos de Ni, Co, Fe, son menores que la presa de rechazo; sus propiedades físicas son similares a las identificadas en la presa de rechazo y no están contabilizados los volúmenes en estos depósitos, ni se han desarrollado estudios para caracterizarlos de forma física y química.

2.5 Metodología empleada para la selección y caracterización de las muestras.

Para lograr representatividad en las muestras tomadas se utilizó un muestreo aleatorio en varios puntos de las áreas seleccionadas, tomando dos muestras de cada área con un peso mínimo de 5 kg. Se asignó un número de folio utilizando un talonario de muestreo que permitió identificar los resultados de laboratorio con las muestras tomadas, como se observa en la tabla No.7. Las muestras tomadas en el año 2007 no fueron foliadas, pero cumplieron con el principio del muestro aleatorio logrando representatividad de todas las fracciones en el rechazo muestreado.

Tabla No. 4. Identificación de las muestras de investigación.

Área	Muestras foliadas
Staker	9601
Staker	9602
Presa Rechazo	9603
Presa Rechazo	9604
Pilar Zona B	9605
Pilar Zona B	9606
Área 1	9607
Área 1	9608
Área 2	9609
Área 2	9610

Elaborado por: Eduardo Montero Gil.

A continuación, se muestra una secuencia fotográfica de la selección, toma y procesamiento de las muestras de investigación.



Figura No. 4. Secuencia fotográfica de la selección y toma de las muestras de investigación.

3.3. Procesamiento de las muestras. Materiales, útiles y equipos empleados

El lote de 10 muestras fue enviado al laboratorio de la empresa Geominera de Oriente para su preparación, que consistió en secar las muestras sometiéndolas en un horno a temperaturas de 100°C por un tiempo de 12 horas. Una vez refrescadas fueron sometidas a un proceso de trituración hasta lograr que el 100 % de la misma estuviera compuesta por una granulometría menor de 1,0mm. Continuó un proceso de pulverización hasta lograr que el 100% de la muestra estuviera compuesta por una granulometría menor de 0.84mm. Seguidamente un proceso de homogenización, cuarteo y selección de la cantidad necesaria en laboratorio para identificar la composición química de los 10 elementos seleccionados. Cada muestra procesada fue trasladada al laboratorio de Moa Nickel conservando el número de folio de la muestra original.

Medios de seguridad:

- Para la toma de las muestras, medios de seguridad establecidos en la empresa Moa Nickel S.A. casco de seguridad, ropa de trabajo y botas de seguridad.
- Para el manejo y preparación de las muestras en la Empresa Geominera Oriente, Careta anti polvos, guantes de amianto, ropa de seguridad, botas de seguridad, espejuelos de seguridad, orejeras contra ruidos.

Materiales y útiles:

- Para la toma de las muestras, bolsas de nailón para muestras, soga de pita, pala para la toma de muestras.
- Para el manejo y preparación de las muestras en la Empresa Geominera Oriente, carro para el traslado de muestras, bandejas metálicas acordes al tamaño de las muestras, cuarteador metálico, espátula, pala manual, brocha, pistola de aire comprimido y juego de tamices.

Equipos utilizados:

- Estufa (MEMERT) con regulador de temperatura y circulación de aire.
- Balanza electrónica con precisión $\pm 0.1\text{mg}$.
- Triturador de mandíbulas.
- Molino pulverizados de discos.
- Compresor de aire.
- Extractor de polvos.

En el laboratorio de Moa Nickel S.A. se realizó una nueva preparación de la muestra cumpliendo con el procedimiento P-LA-02 “Manipulación de muestras para el ensayo e informe de los resultados”, dejándolas listas para ser analizada por el método de absorción atómica según norma “NE IB 01-16-12:11: Mineral y colas del proceso. Determinación del níquel, hierro, cobalto, magnesio. Método por espectrofotometría de absorción atómica.”

Equipos utilizados:

- Balanza electrónica con precisión $\pm 0.1\text{mg}$.
- Espectrofotómetro de absorción atómica.

Reactivos utilizados:

- Solución de ácido clorhídrico (1+1).
- Ácido clorhídrico (d = 1.19 g/mL).
- Ácido nítrico (d = 1.40 g/mL).
- Solución mezcla de ácido clorhídrico y ácido nítrico (3+1).
- Ácido fluorhídrico (d = 1.16 g/mL).

3.4. Técnicas utilizadas en la caracterización de las muestras

En este epígrafe se reflejan los análisis realizados en Moa Nickel S.A. al rechazo de planta de preparación de pulpa, dirigidos a conocer las concentraciones en % de los siguientes elementos químicos, Ni, Co, Fe, Mg, SiO₂, Al, Mn, Cr, Cu, Zn. Ensayos realizados en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Construcción (CIDC) para el desarrollo de los Materiales de la Construcción. Se referencia resultados de otros autores, necesarios para cumplir con el objetivo del presente trabajo, por tiempo y recursos no pudieron ser reproducidos.

Técnicas analíticas empleadas:

- Método de absorción atómica.
- Análisis granulométrico.
- Reacción entre álcalis-áridos.
- Estabilidad a la acción del sulfato de magnesio.
- Durabilidad al intemperismo.
- Peso volumétrico.
- Determinación del material más fino que el tamiz No. 200 (0.074mm).
- Peso específico y absorción de agua (árido grueso).

2.1.1 Análisis químico por absorción atómica

La porción de ensayo se trata con mezcla de ácido clorhídrico y ácido nítrico concentrado, el residuo resultante se disuelve con ácido clorhídrico diluido. La solución obtenida permite determinar el contenido de níquel, hierro, cobalto y magnesio con lámpara de cátodo hueco, en un equipo de absorción atómica, ajustando este a las condiciones instrumentales del elemento que se va a determinar. “NE IB 01-16-12:11: Mineral y colas del proceso.

Determinación del níquel, hierro, cobalto, magnesio. Método por espectrofotometría de absorción atómica.”

2.1.2 Análisis granulométrico

Luego de homogenizada y cuarteada la muestra, por los métodos de cono y anillo, se logró una buena homogeneización de la misma, comprobada posteriormente durante el desarrollo de los análisis granulométricos y químicos.

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, Anexo 6.

Preparación de las muestras

Las muestras son secadas a una temperatura constante de 105 a 110 °C y posteriormente sometidas a una cuarteadora mecánica para obtener una muestra representativa del material que se ensaya. El peso de las muestras representativas, una vez seca, no será menor que lo indicado en la tabla siguiente.

Tabla 8. El peso de las muestras representativas tomadas en el área de estudio

Serie	Tamaño nominal máximo de las partículas expresado en mm (tamiz que pasan)	Peso mínimo de la muestra representativa, (kg)
Fina	2,00 mm (N0. 10)	0,1
	4,76 mm (No. 4)	0,5
	9,52 mm (3/8 pulgada)	1
	12,7 mm (1/2 pulgada)	2,5
	19,1 mm (3/4 pulgada)	5
	25,4 mm (1 pulgada)	10
Gruesa	38,1 mm (1 1/2 pulgada)	15
	50,8 mm (2 pulgada)	20
	65,5 mm (2 1/2 pulgada)	25
	76,2 mm (3 pulgada)	30
	88,0 mm (3 1/2 pulgada)	35

Al estar mezcladas las fracciones finas y gruesas, el material fue separado por el tamiz No. 4 (4.76mm) en muestras de árido fino y árido grueso.

Procedimiento empleado

- La muestra se separa en una serie de tamaños utilizando los tamices necesarios de acuerdo con las especificaciones para el uso del material que se ensaya.
- El tamizado se llevará a cabo por medio de un movimiento lateral y vertical del tamiz, acompañado de una acción de sacudida, para mantener el movimiento de la muestra en la superficie del tamiz.
- En caso que una de las fracciones se retenga en exceso en un tamiz, de forma tal que impida un tamizado eficiente, se dividirá el material retenido en cuantas partes se necesiten.
- En ningún caso se emplearán las manos para cambiar la posición o hacer pasar a través del tamiz partículas de áridos.
- Esto es aplicable tanto para el tamizado manual como para el mecanizado.
- Las porciones retenidas en el tamiz No. 4 (4.76mm) el procedimiento descrito determina que el tamizado se realizará con una sola capa de material.
- Cuando se tamice mecánicamente, la eficiencia del tamizado se comprobará usando el método manual descrito anteriormente.
- El peso de las cantidades retenidas en cada tamiz se determinará por medio de una balanza certificada.

2.1.3 Reacción entre álcalis - áridos

Desde 1940 se conoce la existencia de la reacción entre los áridos y las materias alcalinas. Ciertos áridos presentan variedades silicios susceptibles de reaccionar fácilmente con los hidróxidos de sodio y de potasio resultantes de la hidratación de los cementos que contengan sustancias alcalinas.

La formación de geles de silicatos alcalinos, productos de esta reacción y las presiones osmóticas desarrolladas por estos geles provocan tensiones capaces de dislocar por si solas a grandes masas de hormigón.

En general el árido empleado en la producción de hormigones no debe tener ningún tipo de compuesto que sea potencialmente reactivo con los álcalis del cemento, lo cual constituiría para el hormigón tener internamente la causa de su potencial destrucción, los productos resultantes de estas reacciones son de mucho mayor volumen que los iniciales y se crean

tensiones internas de tracción que finalmente al cabo del tiempo provocarán la desintegración paulatina de la estructura.

Los compuestos potencialmente reactivos con los álcalis del cemento más comunes son: ópalo, calcedonia, tridimita, cristobalita, riolita, andesita, zeolita.

Los áridos con estos compuestos son especialmente peligrosos cuando además el cemento empleado es rico en álcalis y también cuando los hormigones van a estar sujetos a ciclos de humedecimiento o a una atmósfera húmeda permanente, como es el caso de los cimientos.

En Cuba no están normalizados aun los métodos de ensayos para establecer la potencialidad reactiva de los áridos, pero en el mundo en general se emplean 3 métodos de ensayo: El análisis petrográfico del árido para poder determinar mediante microscopio la presencia de estos compuestos, el análisis químico del árido para poder determinar también por esta vía la presencia de los compuestos y finalmente el método concluyente: La elaboración de prismas de hormigón que se somete a ciclos del humedecimiento y secado o a atmosfera húmeda.

Afortunadamente en Cuba no tenemos con frecuencia áridos potencialmente reactivos con los álcalis del cemento, pero cuando no quede otra alternativa que utilizar estos áridos será indispensable garantizar la utilización de cementos con bajo contenido de óxido de sodio equivalente, o sea que la siguiente suma de compuestos: $0,658 K_2O + Na_2O$ sea menor o igual al 0,6%.

2.1.4 Estabilidad a la acción del sulfato de magnesio

Fundamentos del método:

El ensayo consiste en determinar la resistencia a la desintegración que presentan los áridos sometidos a ciclos sucesivos de inmersión en soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio y su posterior secado, debido a la expansión ocasionada por la acumulación progresiva de cristales de dichos sulfatos en el interior de los poros de los áridos.

Este ensayo se aplica solamente a los áridos para hormigones que van a quedar expuestos a medios agresivos o a temperaturas por debajo de $0^{\circ}C$.

Se efectúa según los requerimientos de la Norma Cubana NC183:2002 y consiste en someter la muestra de áridos a una solución de sulfato de magnesio en cierta concentración y determinar las pérdidas que sufren estos áridos después de un cierto tiempo. Las

especificaciones cubanas establecen para estas condiciones que los áridos en solución de sulfato de sodio no deben sufrir pérdidas en peso mayores del 10% para la arena y hasta el 12% para el árido grueso, en tanto que en solución de sulfato de magnesio no deben sufrir pérdidas mayores del 15% para la arena y hasta el 18% para el árido grueso.

Procedimiento del ensayo:

Inmersión de la muestra en la solución

- La muestra se sumerge en las soluciones de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio durante un periodo de tiempo comprendido entre 16 y 18 horas, de manera tal que el nivel de la solución quede 1,5 cm por encima del nivel de la muestra.
- El recipiente con la muestra se tapa evitando la evaporación y contaminación con sustancias extrañas.
- La muestra sumergida en la solución se mantendrá a una temperatura de 20- 22 °C.
- Cuando se ensayen áridos muy ligeros, la muestra se puede cubrir con parrillas de alambres con contrapesos para que quede completamente sumergida.

Secado de la muestra después de la inmersión

- Después del periodo de inmersión, la muestra se saca de la solución, dejándola escurrir y se introduce en la estufa, regulando previamente la temperatura de la estufa entre 105 - 110 °C.
- Se deberá tener cuidado de evitar pérdidas de partículas de áridos.
- Durante el periodo de secado de la muestra, y para asegurar que la muestra alcance un peso constante, se debe sacar de la estufa, enfriarla a temperatura ambiente y pesarla a intervalos de tiempo no menores de 4 horas ni mayores de 18 horas. Se puede considerar que se ha alcanzado un peso constante cuando dos determinaciones sucesivas de una muestra difieren en menos de 0,1 g en el caso de árido fino y en menos de 1 g en el caso de árido grueso.
- Una vez alcanzado un peso constante, la muestra se deja enfriar a temperatura ambiente y se sumerge de nuevo en la solución.

Número de ciclos de inmersión y secado

El proceso de inmersión y secado de la muestra prosigue hasta completar no menos de 5 ciclos, aunque este número puede variar de acuerdo a los intereses del ensayo.

- Examen cuantitativo

El examen cuantitativo se realizare de la forma siguiente:

- Después de terminado el último ciclo de inmersión y secado, y con la muestra a temperatura ambiente, se lava para eliminar el sulfato de sodio o de magnesio. Mediante una adición de cloruro de bario $BaCl_2$ en el agua de lavado puede comprobarse si la muestra está libre de sales.
- Después de ser eliminado el sulfato de sodio o de magnesio, se seca cada fracción de la muestra hasta peso constante a una temperatura de 105 - 110 °C y se determina su masa.
- Se tamiza el árido fino en los mismos tamices en que fue retenido antes del ensayo.
- Se pesan las partículas retenidas en cada uno de ellos y se anota su masa.
- El árido grueso se tamizará para cada tamaño de fracción a través del tamiz que se indica en la Tabla 5.

Tabla No. 5. Tamices especificados para el ensayo de control de árido grueso

Límites nominales de las fracciones	Tamiz utilizado para calcular las pérdidas
9,52mm (3/8") - 4,76mm (No.4)	4,00 mm (No.5)
19,1 mm (3/4") - 9,52 mm (3/8")	7,93 mm (5/16")
38,1 mm (1 1/2") - 19,1 mm (3/4")	15,9 mm (5/8")
63,5 mm (2 1/2") - 38,1 mm (1 1/2")	31,75 mm (1 1/4")

Además, puede conseguirse una mayor información si se examina visualmente cada fracción, para observar si hay o no un excesivo cuarteado de las partículas.

Examen cualitativo

Las fracciones de muestras mayores de 19,1 mm (3/4") se examinan cualitativamente después de terminar el ensayo.

El examen cualitativo y el registro deberán contar de dos partes:

- Observación del efecto de la acción de la solución de sulfato de sodio o de magnesio y la naturaleza de dicha acción.

Durabilidad al intemperismo

Para tener un criterio sobre el comportamiento de las muestras a condiciones de intemperismo, se realiza un ensayo que simula en las condiciones de calor y humedad con la

salinidad ambiental. Este ensayo se realiza bajo condiciones extremas, más bien en demasía, es decir garantizando que haya márgenes amplios de seguridad a la hora de dar criterio.

Consiste en someter una muestra a 10 ciclos de:

- inmersión en solución de cloruro de sodio al 15 % durante 24 horas.
- inmersión en solución de cloruro de sodio al 15 % durante 24 horas.
- secado a 90 °C durante 24 horas.

Después de terminar cada ciclo de secado se determina la pérdida de peso en el tiempo, lo cual indica en condiciones extremas que destrucción puede tener la roca. En este ensayo se escogieron seis muestras diferentes por el tamaño de sus partículas.

2.1.5 Determinación del peso volumétrico

Fundamentos del método: Los pesos volumétricos se determinaron teniendo en cuenta los pesos del material contenido en recipientes calibrados de un volumen conocido, como se muestra en la tabla siguiente.

Tabla No. 6. Dimensiones de los recipientes recomendados para el ensayo

Características de la determinación del peso volumétrico			
Tamaño máximo del árido (mm)	Capacidad de la medida (litros)	Dimensiones en mm	
		Diámetro interior	Altura interior
Hasta 9,52	3	152	165
Hasta 38,1	15	254	296
Hasta 102	30	355	303

Preparación de la muestra:

Arenas: En el caso de las arenas, antes de determinar el peso volumétrico, las muestras se secarán a una temperatura de 105 a 110 °C hasta alcanzar un peso constante.

Procedimiento de apisonado.

El recipiente será llenado en tres capas, dándosele 25 golpes con la varilla de compactación, en cada capa, para su compactación, los golpes serán distribuidos uniformemente sobre la superficie y de manera que la primera serie llegue hasta el fondo sin golpearlo fuertemente.

La compactación en las otras capas debe ser solo en el espesor de las mismas. Después se enrasa la superficie del árido con una regla de bordes rectos y fuertes.

Método de cálculo: Se determinará el peso neto del árido contenido en el recipiente, luego se obtendrá el peso volumétrico (suelto o compactado) multiplicando el peso neto por el factor de calibración calculado, expresando los resultados en Kg/m^3 . Los resultados serán aproximados hasta las milésimas.

Repetitividad del ensayo: las determinaciones obtenidas por un operador usando la misma muestra y el mismo procedimiento no deberán diferir en más de 1%.

2.1.6 Determinación del material más fino que el tamiz No. 200 (0.074mm)

Fundamentos del método:

El procedimiento se basa en separar mediante lavados tamizados sucesivos, las partículas finas existentes en los áridos. Entendiéndose por finos las porciones que pasan a través del tamiz de 0,074 mm (No. 200)

Preparación de la muestra:

La muestra se homogeneiza con suficiente humedad para evitar la segregación del árido objeto del análisis, procurando evitar que en este proceso se pierda alguna porción fina. Se pone en un recipiente y se deseca en la estufa hasta peso constante a una temperatura que no exceda de 110 °C.

Procedimiento:

- La muestra después de pesada se coloca en el recipiente y se le añade agua hasta cubrirla para poder mezclar y agitar convenientemente sin que se produzcan pérdidas, tanto de áridos como de agua.
- Se agita vigorosamente con el fin de poner en suspensión las partículas finas que pasan por el tamiz de 0,074mm (No. 200) hasta obtener su separación de las partículas gruesas.
- Inmediatamente después se vierte el agua que contiene las partículas en suspensión en los dos tamices colocados con el tamiz más grueso encima, evitando en lo posible la decantación de las partículas gruesas de la muestra.
- El proceso de lavado se repite tantas veces como sea necesario hasta que el agua utilizada salga completamente limpia y clara.

- Todo el material retenido en los tamices se une a la muestra lavada. El árido lavado se deseca hasta peso constante o durante 24 horas a una temperatura que no exceda 110°C.

Método de cálculo y expresión de los resultados:

Se calcula el por ciento de material fino que contiene la muestra atendiendo la siguiente fórmula:

Porcentaje de material que pasa por el tamiz No. 200 (0.074mm) = $(a-b)/a * 100$

Donde:

a: es el peso de la muestra original seca

b: es el peso de la muestra seca después de lavada.

Aproximación de los resultados

Los resultados se expresarán con una aproximación de una sola cifra decimal cuando el valor encontrado sea superior al 1% y con dos cifras decimales cuando el valor sea inferior al 1%.

2.1.7 Árido grueso. Peso específico y absorción de agua

Fundamentos del método:

Se determinan los pesos específicos y la absorción de agua en los áridos gruesos por medio de pesadas.

El peso (masa) específica es una importante característica de la composición mineralógica y la naturaleza de la roca. Respecto a la calidad de un árido, su interés se basa en que es una medida de la homogeneidad ya sea de un yacimiento o de un suministro de material, pues variaciones en su valor, indican cambios en la naturaleza de la roca de donde proceden.

Respecto al hormigón, la importancia que tiene el peso específico de un árido reside en sus valores que son el punto de partida para el cálculo de las dosificaciones en las mezclas y de los por cientos de vacíos.

De acuerdo a su peso específico los áridos se dividen en ligeros, normales y pesados; estas diferencias los hacen aptos para producir hormigón con cierta variedad en el peso unitario, lo cual es una característica básica del material.

En el cálculo del peso específico corriente (PEC) se considera todo el volumen geométrico de las partículas y para el cálculo del peso específico aparente (PEA) se considera el volumen de sólido de la partícula más el volumen de los poros impermeables al agua. El peso específico efectivo (PEE) se emplea en el cálculo de los parámetros volumétricos de las mezclas asfálticas y en su cálculo se considera el volumen de la parte sólida de la partícula de árido más el volumen de los poros permeables e impermeables al agua.

La absorción de un árido se define como la cantidad de agua que contiene el árido en sus poros, grietas y otros vacíos. Se determina con el fin de controlar el contenido neto de agua en el hormigón y se puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla.

La absorción es quizás la propiedad del árido que más influye en la consistencia del hormigón, puesto que las partículas absorben agua directamente en la mezcladora, disminuyendo la manejabilidad de la mezcla.

En la práctica la absorción del árido se limita evitando incrementos de agua en la dosificación de la mezcla que vayan a redundar en la calidad del hormigón, se conoce además que en áridos muy absorbentes se produce un reblandecimiento de la resistencia mecánica del árido.

Preparación de la muestra:

Se selecciona por el método de cuarteo una muestra de 5kg del árido, separando todo el material que pasa por el tamiz de 9,52mm. Si la calidad del material es homogénea, podrá emplearse para el ensayo el retenido en el tamiz de 25,4mm.

Procedimiento:

Después de haber lavado bien el árido, para quitarle el polvo o cualquier otro material adherido a la superficie de las partículas, se seca la muestra hasta peso constante, a una temperatura de 105- 110°C.

NOTA 1: Cuando se vayan a utilizar los valores del peso específico y la absorción de agua para el proyecto de mezcla de hormigón hidráulico con áridos empleados normalmente en estado húmedo, se puede prescindir del secado hasta peso constante.

NOTA 2: Los valores de absorción de agua y de peso específico pueden ser mucho mayores para áridos que no hayan sido secados a peso constante antes de sumergirlos, en comparación con los valores alcanzados en áridos tratados.

Se sumerge la muestra en agua a temperatura ambiente durante 24 horas. Después del periodo de inmersión en agua, se secan las partículas rodándolas sobre una tela absorbente hasta que se haya eliminado toda la película de agua visible, aunque su superficie aparezca todavía húmeda. Se tomarán todas las precauciones necesarias para evitar que durante la operación se produzca evaporación en las partículas cuya superficie haya sido secada. La muestra se pesa en el aire. Una vez pesada, la muestra saturada y superficialmente seca se coloca inmediatamente en el cesto de alambre o en el cubo metálico y se determina su peso dentro del agua.

La muestra se seca en la estufa hasta peso constante a una temperatura de 105- 110 °C, se deja enfriar a temperatura ambiente y se pesa en el aire.

3.5. Conclusiones del Capítulo II.

- 1 Las vías de selección y preparación de las muestras experimentales, garantizan la selección adecuada de las fracciones granulométricas y la confiabilidad de los resultados de la caracterización realizada, siguiendo la metodología de la investigación establecida internacionalmente.
- 2 Los métodos y técnicas aplicados en la determinación de las características físicas, químicas y mineralógicas se corresponden con las utilizadas para el cumplimiento de los objetivos de esta investigación.

CAPÍTULO III ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El agotamiento en el yacimiento Moa Occidental de la limonita de balance, trajo aparejado la apertura de los yacimientos Moa Oriental y Camarioca Norte, diferentes en cuanto al perfil de la corteza de meteorización y la potencia de las menas que lo conforman.

Los yacimientos Moa Oriental y Camarioca Norte están conformados por cortezas de meteorización que en ocasiones no presentan un desarrollo completo, donde no se delimitan bien en el corte geológico los tipos de menas, limonitas ferruginosas fuera de balance y limonita de balance poseen bajas potencias.

Los bajos espesores en la mena limonita de balance unido a la propia irregularidad en el techo y piso del horizonte que ocupa, propician en la extracción de menas para alimentar la planta de preparación de pulpa, la incorporación de un % de limonita fuera de balance (LF) mena enriquecida en Co, Fe y saprolita de balance (SAAFe) mena que contiene alto contenido de rechazo serpentínico, Ni, Mg y Si.

En el año 2013 Moa Nickel S.A. solicitó a la ONRM, incorporar como mena en la alimentación a planta de preparación de pulpa la saprolita de balance de alto hierro (SAAFe), según la clasificación de menas en los yacimientos concesionados a Moa Nickel S.A. como puede apreciarse en la tabla 7.

Tabla No. 7. Clasificación de menas en yacimientos concesionados a Moa Nickel S.A

Clasificación de menas en los yacimientos concesionados a Moa Nickel S.A.			
1	Limonita Ferruginosa fuera de balance	FF	$Ni < 0.7$ y $Fe \geq 35$
2	Limonita de balance	LB	$Ni \geq 1.0$ y $Fe \geq 35$
3	Saprolita de balance de alto hierro	SAAFe	$Ni \geq 1.0$ y $25 \leq Fe \leq 35$
4	Limonita fuera de balance	LF	$0.7 \leq Ni < 1.0$ y $Fe \geq 35$
5	Roca estéril	RE	$Ni < 1.0$ y $Fe < 12.0$
6	Serpentina fuera de balance	SF	$Ni < 1.0$ y $12.0 \leq Fe \leq 35$
7	Serpentina dura	SD	$Ni \geq 1.0$ y $Fe < 12.0$
8	Serpentina de balance de bajo hierro	SBBFe	$Ni \geq 1.0$ y $12.0 \leq Fe < 25$

Las crecientes incorporaciones en la alimentación de la planta de preparación de pulpa, de las menas LF y SB, aportan mayor contenido de fracciones granulométricas $> 0.84\text{mm}$ (fracción gruesa), incrementando el contenido de rechazo de 18 % hasta un 27 % como promedio anual. La desviación en el contenido de fracción gruesa de las menas alimentadas al proceso, sobrecarga los equipos de la planta de beneficio, ocasionando arrastre de la fracción limonítica $< 0.84\text{ mm}$. (Gendis 2019).

Mostramos el registro en % de menas alimentados en el período 1999-2017 (Gendis 2019), ver, Tabla 8.

Tabla No. 8. Porciento de menas lateríticas alimentadas a la planta de preparación de pulpa

Año	% de menas lateríticas alimentadas a la planta de preparación de pulpa.		
	LF	LB	SB
1999	7.81	84.91	7.28
2000	10.71	84.26	5.03
2001	9.38	85.29	5.33
2002	13.73	82.17	4.1
2003	18.71	76.64	4.64
2004	14.64	78.57	6.79
2005	18.61	74.68	6.71
2006	21.01	72.53	6.47
2007	16.54	73.34	10.12
2008	22.94	65.62	11.43
2009	24.37	62.75	12.87
2010	28.43	63.15	8.42
2011	31.54	55.58	12.87
2012	34.65	54.85	10.5
2013	31.08	53.89	15.03
2014	20.52	64.27	15.22
2015	25.59	65.29	9.12
2016	28.88	61.93	9.19
2017	24.4	57.76	17.84

Graficando los porcentajes alimentados de las menas LF, LB y SB se muestra la tendencia a disminuir en el caso de la LB (de 84.91% hasta 57.76%) y como efecto un incremento en la LF (de 7.81% hasta 24.4%) y SB (de 7.28% hasta 17.84%), como puede verse en el gráfico siguiente.

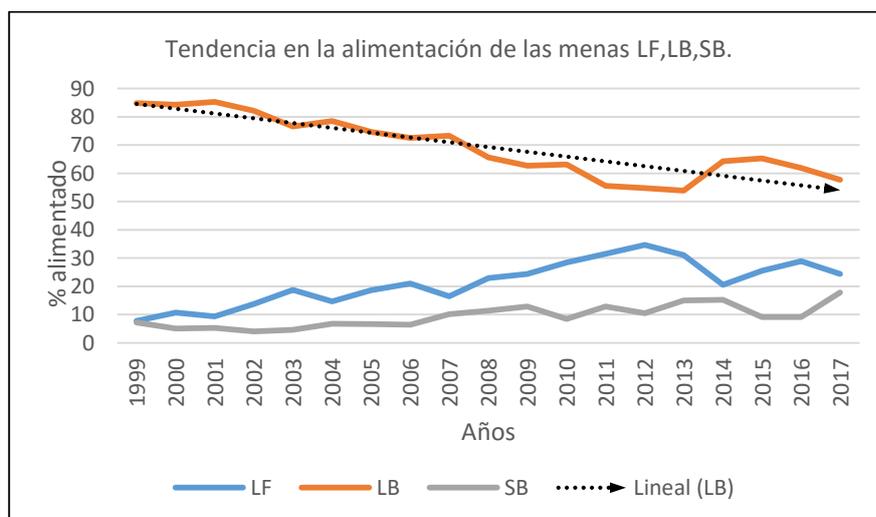


Gráfico No.1. Tendencia en la alimentación de las menas LF, LB, SB.

3.1 Clasificación del rechazo atendiendo al porcentaje de material fino contenido

Teniendo en cuenta que los yacimientos cada vez están más alejados, encareciendo el proceso productivo en Moa Nickel S.A. es necesario minimizar las pérdidas de material fino en el rechazo de planta de preparación de pulpa. Más allá de la cuantificación económica que represente un proceso eficiente de procesamiento de pulpas, la intención del autor es concientizar a los decisores para alargar la vida de los yacimientos minerales y reducir el impacto ambiental que trae aparejado el manejo del rechazo.

Realizando un análisis del rechazo basado en el estudio realizado por Lavaut, W. 2003-2007, señalamientos emitidos por la Oficina Nacional de Recursos Minerales, el estudio de la instrucción IT-MN-02 “Manejo de rechazo no conforme en la Planta de Pulpa” (última actualización en febrero del 2017), describo la clasificación del rechazo en conforme y no conforme, atendiendo al % de material fino contenido.

Rechazo conforme: es el rechazo inspeccionado visualmente por el geólogo del turno de Moa Occidental que por apreciación visual no contiene altos % de material fino (fracción $\leq 0.84\text{mm}$). El manejo supervisado por el geólogo y jefe de turno tiene como fin la deposición en el área planificada para este fin.

Rechazo no conforme: es el rechazo inspeccionado visualmente por el geólogo del turno de Moa Occidental que por apreciación visual contiene altos % de material fino (fracción $\leq 0.84\text{mm}$) que debieron ser extraídos en el proceso de preparación de pulpa. El manejo supervisado por el geólogo y jefe de turno tiene como fin la deposición en el área planificada para este fin, con vista al reprocesamiento futuro en la planta de preparación de pulpa y obteniendo un rechazo conforme.

Principales causas en la obtención de un rechazo no conforme:

- Mineral alimentado a la Planta de pulpa con alto porcentaje de material por encima de 0.84mm (comportamiento por encima del 20%), esto provoca adherencia de la fracción fina en el rechazo. (Luis René, 2019).
- Violar los parámetros técnicos en la preparación de la pulpa (capacidad de producción de diseño, suministro de agua, equipos limitados en su eficiencia).
- Gran variabilidad en las características del mineral alimentado a Planta de pulpa.

Reflejados en la carta “Resumen del muestreo del Rechazo No Conforme”: Desde la segunda mitad del 2017 se vienen realizando muestreos por el centro de investigación (CEDINIQ) al material de rechazo no conforme. En el resumen de los resultados se aprecia alto contenido de Ni en este material, sin embargo, los valores de nocivos presentes descartan la posibilidad de alimentación del rechazo no conforme, debido a los perjuicios al proceso atendiendo a:

- Desviaciones de los principales índices tecnológicos (sedimentación-compactación de la pulpa).
- Aumento del costo productivo por doble manipulación de este material e incremento de insumos (sulfato ferroso, ácido, cobre), para poder mantener las operaciones en la planta Pedro Soto Alba.
- Desviaciones en la calidad del producto final (impureza relacionada con alto contenido de hierro azufre).

Aunque el estudio se dirigió a caracterizar químicamente las fracciones finas que deben ser extraídas en el proceso de preparación de pulpa, deja lagunas sobre los % de este material contenidos en el rechazo total.

Se define por el departamento de tecnología en Moa Nickel S.A. la no factibilidad de reprocesar este material con la actual tecnología instalada en planta de preparación de pulpa, acción que lejos de recuperar la fracción fina contenida en el rechazo alimentado, tendría un efecto contrario incrementando esta fracción en el rechazo resultante.

Queda el campo abierto para complementar con otros estudios si puede ser procesado con la tecnología pirometalúrgica en la producción de ferroníquel.

3.2 Resultados de los análisis químicos.

El uso de este método permitió obtener resultados químicos de las 10 muestras tomadas en la plataforma de descarga de planta de preparación de pulpa y los cuatro depósitos de rechazo seleccionados en el yacimiento Moa Occidental, ver, Tabla No. 9.

Tabla No. 9. Composición química promedio (%) de las principales muestras de rechazos analizadas

Composición química promedio (%)												
Área	Muestras	Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO ₂	Cr	Mn	Cu	Zn	Ni+Co
Staker	9601	1.66	0.026	23.1	10.08	1.83	14.22	1.15	0.24	0.005	0.047	1.686
Staker	9602	0.91	0.012	8.3	10.41	1.00	29.42	0.28	0.12	0.006	0.051	0.922
Presa Rechazo	9603	1.23	0.036	22.1	10.68	2.02	16.69	0.79	0.36	0.002	0.037	1.266
Presa Rechazo	9604	1.36	0.041	22.4	10.38	1.98	16.24	0.80	0.40	0.003	0.038	1.401
Pilar Zona B	9605	0.70	0.027	49.0	10.59	0.79	9.20	0.71	0.31	0.020	0.039	0.727
Pilar Zona B	9606	0.51	0.022	18.5	4.96	0.53	6.82	0.75	0.30	0.023	0.038	0.532
Área 1	9607	0.68	0.037	28.6	4.98	0.87	2.99	1.21	0.37	0.024	0.029	0.717
Área 1	9608	0.68	0.042	29.9	3.76	1.64	3.97	1.30	0.44	0.018	0.029	0.722
Área 2	9609	0.78	0.049	30.2	2.83	0.92	3.35	1.34	0.49	0.014	0.031	0.829
Área 2	9610	0.81	0.039	26.7	2.85	0.66	2.82	1.11	0.39	0.013	0.034	0.849
Promedio		0.93	0.033	25.9	7.15	1.22	10.57	0.94	0.34	0.013	0.037	0.965

Elaborado por: Eduardo Montero Gil.

3.2.1 Interpretación de las muestras tomadas en el STAKER (plataforma de descarga del rechazo)

Las muestras 9601 y 9602 fueron tomadas en una misma pila teniendo en cuenta que representarían todas las fracciones contenidas en el rechazo depositado. Para realizar una correcta interpretación de los resultados promediamos los mismos, ver, Tabla 10.

Tabla No. 10. Composición química promedio (%) en el STAKER.

Áreas	Muestras	Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO ₂	Cr	Mn	Cu	Zn	Ni+Co
Staker	9601	1.66	0.026	23.1	10.08	1.83	14.22	1.15	0.24	0.005	0.047	1.686
Staker	9602	0.91	0.012	8.3	10.41	1.00	29.42	0.28	0.12	0.006	0.051	0.922
Promedio		1.29	0.019	15.7	10.25	1.42	21.82	0.72	0.18	0.006	0.049	1.304

Elaborado por: Eduardo Montero Gil.

Teniendo en cuenta los resultados promediados en estas dos muestras podemos caracterizar el rechazo depositado en el momento de la toma de la muestra como un rechazo de alto Mg, SiO₂, Ni, bajo Fe, Co, Al, Cr, Mn, Cu y Zn.

Realizando una correlación entre los resultados obtenidos y la clasificación de menas aplicadas para los yacimientos de Moa Nickel SA podemos decir por su composición química que correspondería a una SB_{BFe} (serpentina de balance de bajo hierro), no atractiva para su reprocesamiento.

Las concentraciones de los elementos Fe, Ni, Mg, SiO sugieren que este material pueda ser procesado por la tecnología de ferroníquel, quedando pendiente un análisis más profundo que analice químicamente las fracciones granulométricas que conforman el rechazo para establecer algún beneficio mecánico que permita obtener un material con mejores concentraciones con vista al procesamiento industrial.

3.2.2 Interpretación de las muestras tomadas en la Presa de Rechazo.

Las muestras 9603 y 9604 fueron tomadas según descripción del capítulo 2 del presente trabajo, para realizar una correcta interpretación que permita caracterizar los volúmenes de rechazo depositados en esta área, analizamos y promediamos los resultados de las muestras mostrados en la tabla 11.

Tabla No. 11. Composición química promedio (%) de la Presa de Rechazo.

Área	Muestras	Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO ₂	Cr	Mn	Cu	Zn	Ni+Co
Presa Rechazo	9603	1.23	0.036	22.1	10.68	2.02	16.69	0.79	0.36	0.002	0.037	1.266
Presa Rechazo	9604	1.36	0.041	22.4	10.38	1.98	16.24	0.80	0.40	0.003	0.038	1.401
Promedio		1.30	0.039	22.3	10.53	2.00	16.47	0.80	0.38	0.003	0.038	1.334

Elaborado por: Eduardo Montero Gil.

Los recursos estimados por la Empresa Moa Nickel S.A. al cierre del mes de enero del 2019, asciende a más de tres millones de toneladas, ver, Tabla 12.

Tabla No. 12. Recursos estimados por Moa Nickel S.A. en la Presa de Rechazo hasta enero 2019.

Yacimiento	toneladas	Composición química (%)			Categoría
		Ni	Fe	Co	
Presa rechazo nueva	3,141,627	1.22	43.7	0.122	Medido

Fuente: Plan de Minería 2018.

Teniendo en cuenta el promedio de los resultados en estas dos muestras, podemos caracterizar el rechazo depositado en el momento de la toma de la muestra como un rechazo de alto Mg, SiO, Ni, bajo Fe, Co, Al, Cr, Mn, Cu y Zn.

Realizando una correlación entre los resultados obtenidos por el autor del presente trabajo y la clasificación de menas aplicadas para los yacimientos de Moa Nickel SA podemos decir que por su composición química correspondería a una SB_{BFe} (serpentina de balance de bajo hierro), no atractiva para su reprocesamiento en Moa Nickel S.A.

Las concentraciones de los elementos Fe, Ni, Mg, SiO sugieren que este material pueda ser procesado por la tecnología de ferroníquel, quedando pendiente un análisis más profundo que analice químicamente las fracciones granulométricas que conforman el rechazo para establecer algún beneficio mecánico que permita obtener un material con mejores concentraciones con vista al procesamiento industrial.

La caracterización realizada por Moa Nickel S.A. determinó que por sus concentraciones elevadas Mg y Si este material es nocivo al proceso de lixiviación ácida instalado en la planta Pedro Soto Alba.

3.2.3 Interpretación de las muestras tomadas en el Pilar de Zona B.

Las muestras 9605 y 9606 fueron tomadas según descripción del capítulo 2 del presente trabajo, para realizar una correcta interpretación que permita caracterizar los volúmenes de rechazo depositados en esta área, ver, Tabla 13.

Tabla No. 13. Composición química promedio (%) del Pilar de Zona B.

Área	Muestras	Composición química promedio (%)										
		Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO ₂	Cr	Mn	Cu	Zn	Ni+Co
Pilar Zona B	9605	0.70	0.027	49.0	10.59	0.79	9.20	0.71	0.31	0.020	0.039	0.727
Pilar Zona B	9606	0.51	0.022	18.5	4.96	0.53	6.82	0.75	0.30	0.023	0.038	0.532
	Promedio	0.61	0.025	33.8	7.78	0.66	8.01	0.73	0.31	0.022	0.039	0.630

Elaborado por: Eduardo Montero Gil.

Teniendo en cuenta los resultados promediados en estas dos muestras podemos caracterizar el rechazo depositado en el momento de la toma de la muestra como un rechazo de alto Mg, SiO, Fe, bajo Ni, Co, Al, Cr, Mn, Cu y Zn.

Realizando una correlación entre los resultados obtenidos y la clasificación de menas aplicadas para los yacimientos de Moa Nickel SA podemos decir por su composición química que correspondería a una FF (limonita ferruginosa fuera de balance). Las concentraciones de los elementos Fe, Ni, Mg, SiO sugieren que este material no es atractivo para ser procesado por la tecnología de ferroníquel, quedando pendiente un análisis detallado, que analice químicamente las fracciones granulométricas que conforman el rechazo para establecer algún beneficio mecánico que permita obtener un material con mejores concentraciones con vista al procesamiento industrial. Determinando con una campaña de perforación el volumen de rechazo depositado en esta área y una mejor

caracterización química con la realización de una red de perforación acorde con la variabilidad del rechazo.

3.2.4 Interpretación de las muestras tomadas en la Área 1.

Las muestras 9607 y 9608 fueron tomadas según descripción del capítulo 2 del presente trabajo, para realizar una correcta interpretación que permita caracterizar los volúmenes de rechazo depositados en esta área, ver, **Tabla No. 14**.

Tabla No. 14. Composición química promedio (%) del Área 1.

Área	Muestras	Composición química promedio (%)										
		Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO ₂	Cr	Mn	Cu	Zn	Ni+Co
Área 1	9607	0.68	0.037	28.6	4.98	0.87	2.99	1.21	0.37	0.024	0.029	0.717
Área 1	9608	0.68	0.042	29.9	3.76	1.64	3.97	1.30	0.44	0.018	0.029	0.722
	Promedio	0.68	0.040	29.3	4.37	1.26	3.48	1.26	0.41	0.021	0.029	0.720

Elaborado por: Eduardo Montero Gil.

Teniendo en cuenta los resultados promediados en estas 2 muestras podemos caracterizar el rechazo depositado en el momento de la toma de la muestra como un rechazo de alto Fe, Mg, bajo SiO₂, Ni, Co, Al, Cr, Mn, Cu y Zn.

Los resultados obtenidos fueron correlacionados con la clasificación de menas aplicada para los yacimientos de Moa Nickel SA, teniendo similitud químicamente con una LF (limonita fuera de balance). Los porcentos de Ni, Mg, Fe y Si obtenidos en los análisis realizados demuestran no ser prospectivos para procesarlos utilizando la tecnología de ferroníquel. Es necesario un análisis más detallado, que analice químicamente las fracciones granulométricas que conforman el rechazo para establecer algún beneficio mecánico que permita obtener un material con mejores concentraciones con vista al procesamiento industrial, que determine mediante una campaña de perforación el volumen de rechazo depositado en esta área y una mejor caracterización química con la realización de una red de perforación acorde con la variabilidad del rechazo.

3.2.5 Interpretación de las muestras tomadas en la Área 2.

Las muestras 9609 y 9610 fueron tomadas según descripción del capítulo 2 del presente trabajo, para realizar una correcta interpretación que permita caracterizar los volúmenes de rechazo depositados en esta área analizamos y promediamos los resultados de las muestras, ver, Tabla 15.

Tabla No. 15. Composición química promedio (%) del Área 2

Área	Muestras	Composición química promedio (%)										
		Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO ₂	Cr	Mn	Cu	Zn	Ni+Co
Área 2	9609	0.78	0.049	30.2	2.83	0.92	3.35	1.34	0.49	0.014	0.031	0.829
Área 2	9610	0.81	0.039	26.7	2.85	0.66	2.82	1.11	0.39	0.013	0.034	0.849
Promedio		0.80	0.044	28.5	2.84	0.79	3.09	1.23	0.44	0.014	0.033	0.839

Elaborado por: Eduardo Montero Gil.

Teniendo en cuenta los resultados promediados en estas dos muestras podemos caracterizar el rechazo depositado en el momento de la toma de la muestra como un rechazo de alto Fe, Mg, bajo SiO₂, Ni, Co, Al, Cr, Mn, Cu y Zn.

Los resultados obtenidos son muy similares a los obtenidos en el Área 1 y al ser correlacionados con la clasificación de menas aplicada para los yacimientos de Moa Nickel SA se obtiene correspondencia por su composición química con una SF (serpentina fuera de balance). Las bajas concentraciones de los elementos Fe, Ni, Mg, Si sugieren que este material no es atractivo para ser procesado por la tecnología de ferróníquel, quedando pendiente un análisis más profundo que analice químicamente las fracciones granulométricas que conforman el rechazo para establecer algún beneficio mecánico que permita obtener un material con mejores concentraciones con vista al procesamiento industrial, que determine mediante una campaña de perforación el volumen de rechazo depositado en esta área y una mejor caracterización química con la realización de una red de perforación acorde con la variabilidad del rechazo.

3.3 Resultados de los análisis enfocados al uso del rechazo como árido para la construcción

Se tomaron en el STAKER dos muestras compósitos, del rechazo serpentínico en la planta de preparación de pulpa, de aproximadamente 50 Kg cada una, las cuales fueron enviadas al Centro de Investigación y Desarrollo de la Construcción; en el caso de la primera muestra el autor participó directamente en la ejecución de los ensayos, ver, Tabla 16.

Tabla No. 16. Resultados de los análisis granulométricos realizados

Mineral serpentínico Moa Nickel				
Tamices (mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	Retenido acumulado (%)	Pasante (%)
25,4	73,3	73,3	7,33	92,67
19,1	33,7	107	10,7	89,3
12,7	28,7	135,7	13,57	86,43
9,52	69,1	204,8	20,48	79,52
4,76	208,6	413,4	41,34	58,66
2,38	306,4	719,8	71,98	28,02
1,19	168,2	888	88,8	11,2
0,595	47,6	935,6	93,56	6,44
0,297	28,2	963,8	96,38	3,62
0,149	12,9	976,7	97,67	2,33
Fondo	23,3	1000	100	0

Elaborado por: Eduardo Montero Gil

Estos resultados fueron graficados permitiendo comprobar el incremento del retenido de las partículas hacia los tamaños de partícula, menores de 1 mm, ver, Gráfico 2.

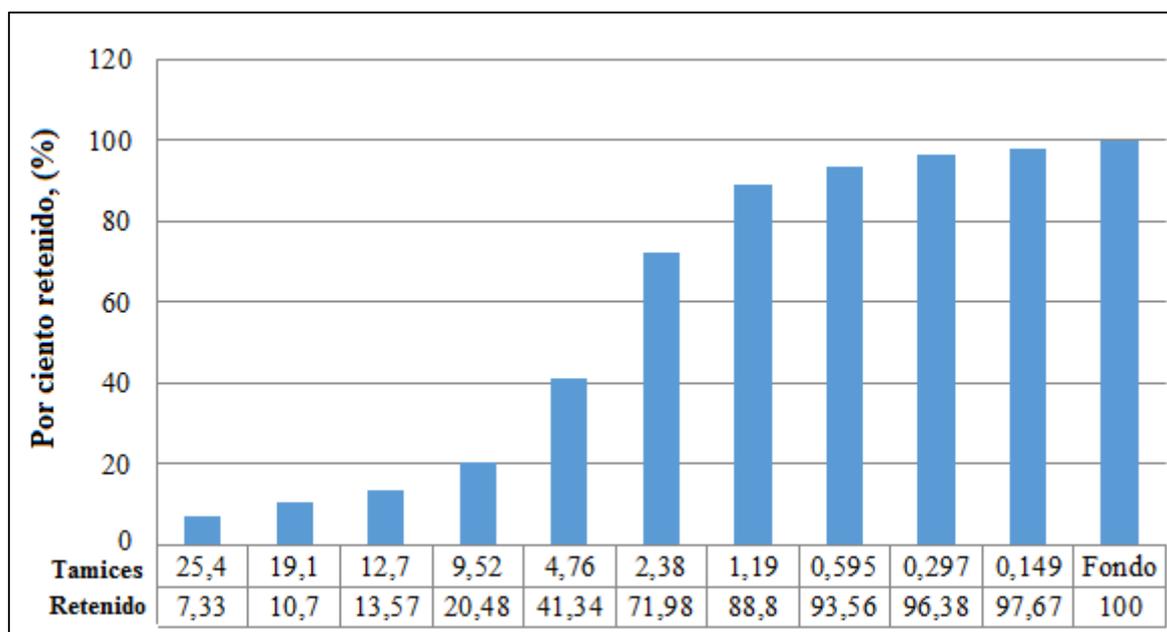


Gráfico No. 2. Resultado de los análisis granulométricos por el por ciento de retenidos

Los resultados de los análisis químicos realizados con la repetitividad de seis muestras, con predominio de los óxidos de silicio y magnesio. Como se muestran en la Tabla 17.

Tabla No. 17. Resultados de los análisis químicos realizados

Compuestos	Muestras experimentales						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
SiO ₂	31,5	30,9	29,9	29,4	30,7	32,1	30,75
Fe ₂ O ₃	17,2	16,8	18,1	17,9	16,9	16,4	17,22
Al ₂ O ₃	4,1	3,9	3,8	4,0	4,2	3,7	3,95
CaO	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,28
MgO	28,4	27,6	31,2	29,4	29,4	30,1	29,35
SO ₃	0,7	0,8	0,31	0,56	0,64	0,09	0,52
PPI	16,4	18,2	15,6	17,2	16,3	15,9	16,6
∑ Óxidos	98,7	98,5	99,11	98,76	98,44	98,49	98,67
Res. Ins (RI)	56,1	56,1	56,1	56,1	56,1	56,1	56,1
Carbonatos Totales	0,92	1,02	0,89	0,87	1,08	0,92	0,95

Elaborado por: Eduardo Montero Gil.

Resultados que demuestran la gran uniformidad química que posee el pasivo ambiental estudiado, caracterizado por relativamente altos contenidos de SiO₂; MgO y Fe₂O₃, que confirman la presencia de minerales de serpentina, y la base olivínica con sus fases isomorfas, típicas de los recursos minerales de la región de Moa, Forsterita y Fayalita, demostrado por Pons Herrera, (2000), que en conjunto permiten tomar decisiones sobre el posible uso de estos residuales, principalmente, como material de construcción, contribuyendo de esta forma al desarrollo sostenible de los materiales que actualmente constituyen residuales de los procesos de las minería de la industria del Níquel en Moa.

3.3.1 Resultados de los ensayos de reacción árido-álcalis

Por su parte, los resultados de los ensayos de reacción árido-álcalis, fueron obtenidos utilizando la norma ASTM C 289 “Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method)”.

Este ensayo permitió determinar por medio de análisis químico, la sílice soluble y la reducción de la alcalinidad de la roca de acuerdo a la norma de referencia, ver, Tabla 18.

Tabla No. 18. Resultados de los ensayos de reacción árido-álcalis realizados

U/M	Muestras experimentales						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
%	2,56	2,39	2,42	2,49	2,54	2,42	2,47
Mmol/L	149,3	158,5	152,3	165,4	155,7	162,8	157,33
Clasificación	Inocuo	Inocuo	Inocuo	Inocuo	Inocuo	Inocuo	Inocuo

Elaborado por: Eduardo Montero Gil.

Las diferentes muestras analizadas confirman la escasa variación de su comportamiento, ante el desarrollo de los ensayos de reacción árido-álcalis, con valores promedio de 2,47 % y valores de 157,3 Mmol/l, que lo convierten en un pasivo ambiental de carácter inocuo, lo cual favorece su utilización, sin peligros de afectar la salud humana, durante el desarrollo de los procesos típicos de procesamiento y conformación de materiales de uso industrial.

3.5.1. Resultados de ensayos de estabilidad a los sulfatos

Según la norma NC 183, relacionada con la estabilidad de los materiales a la acción del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio, (Norma CUBana N.C 183. Áridos., 2002).

Los resultados del ensayo a la estabilidad de los sulfatos se muestran en la Tabla 19.

Tabla No. 19. Resultados de los ensayos de estabilidad a los sulfatos

Fracción (mm)	Resultados granulométricos		Pérdida de material (g)	Pérdida de material (%)	Pérdida ponderada (%)
	Masa (g)	Retenido (%)			
Retenido en 1,19	186,5	37,3	12,1	6,49	2,42
Retenido en 2,38	222,1	44,42	36,2	16,3	7,24
Retenido en 4,76	85,8	17,16	10,2	11,89	2,04
Retenido en 9,52	5,6	1,12	0	0	0
Totales	500	100	58,5	34,68	11,7

Elaborado por: Eduardo Montero Gil.

De acuerdo a la norma de especificaciones este valor de 11,7% de pérdida, es menor a lo establecido en la especificación dada por la norma cubana establecida para estos casos, (Norma Cubana N.C 251, 2002), relacionada con las especificaciones sobre los agregados usados como hormigones hidráulicos, que establece como por ciento máximo de pérdida en masa del árido, 18 %, lo que demuestra la posibilidad de utilizar estos residuales como material de construcción, como se muestra en el gráfico siguiente.

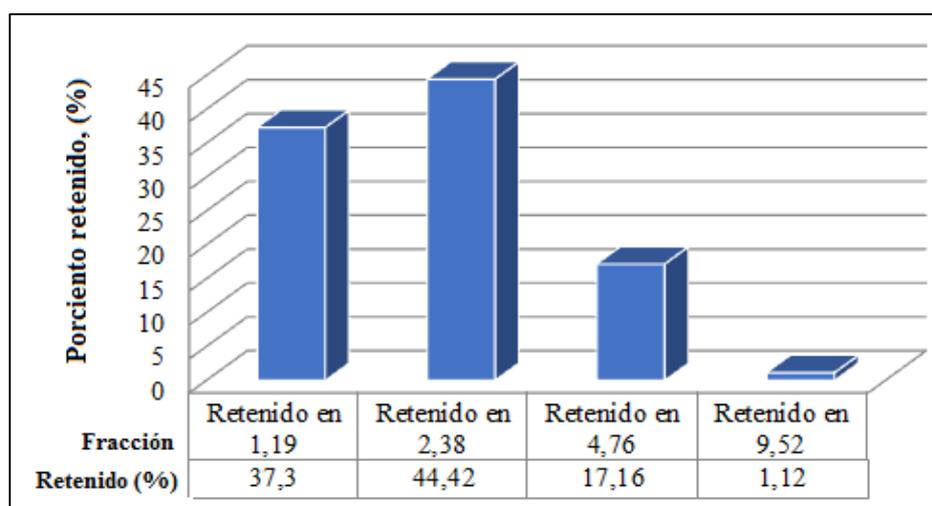


Gráfico No. 3. Resultado de los análisis granulométricos por el por ciento de retenidos

Elaborado por: Eduardo Montero Gil.

3.5.2. Resultados de ensayos de durabilidad al intemperismo

Para tener un criterio sobre el comportamiento de las muestras a condiciones de intemperismo, se realiza un ensayo que simula en las condiciones de calor y humedad con la salinidad ambiental.

Este ensayo se realiza bajo condiciones extremas, más bien en demasía, es decir que no se reproducen en nunca en la realidad, lo cual garantiza que haya márgenes amplios de seguridad a la hora de dar criterio.

En nuestro caso escogimos seis muestras con tamaños de partículas diferentes lo cual se aprecia en el peso de cada ítem, de la tabla 20.

Tabla No. 20. Resultados de los ensayos de durabilidad al intemperismo.

Ítem	Peso Inicial, (g)	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	PP Total	% Peso
1	61,84	61,76	61,64	61,61	61,58	61,50	61,34	61,25	61,18	61,08	61,03	0,81	1,31
2	56,42	56,34	56,31	56,23	56,16	55,87	55,82	55,71	55,64	55,60	55,57	0,85	1,51
3	35,72	35,64	35,52	35,44	35,41	35,36	35,31	35,26	35,21	35,19	35,12	0,60	1,68
4	105,58	105,49	105,36	105,25	105,19	105,08	104,89	104,81	104,73	104,67	104,59	0,99	0,94
5	29,36	29,31	29,26	29,21	29,15	29,09	29,01	28,89	28,86	28,81	28,94	0,42	1,43
6	88,79	88,71	88,68	88,62	88,57	88,51	88,46	88,39	88,32	88,26	88,12	0,67	0,76

Elaborado por: Eduardo Montero Gil.

La pérdida de peso en todas las muestras es inferior al 1,5 %, lo cual indica un grado muy bajo de degradación por condiciones de intemperismo. No obstante, la pérdida observada en todas las muestras, se puede explicar por la contaminación con el material laterítico que es muy fina y está adherida a las partículas de serpentinita.

La muestra No 2 tomada al rechazo de la Planta de pulpa, presento otra característica en referencia a que se aprecia a simple vista un menor grado de contaminación con material

MS-1 Serpentinita fracción 38,1-19,1					MS-2 Serpentinita fracción 19,1-9,52				
Tamiz (mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	Retenido acumulado (%)	Pasante (%)	Tamiz (mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	Retenido acumulado (%)	Pasante (%)
50,8	0	0	0	100	19,1	0	0	0	100
38,1	0	0	0	100	12,7	814,8	815	81	19
25,4	894,9	895	60	40	9,52	183,8	999	100	0
19,1	561,2	1456	97	3	Fondo	1,4	1000	100	0
Fondo	43,9	1500	100	0	MF-2 Ferrítica fracción 19,1-9,52				
MF-1 Ferrítica fracción 38,1-19,1					Tamiz (mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	Retenido acumulado %	Pasante (%)
Tamiz (mm)	Retenido parcial (g)	Retenido acumulado (g)	Retenido acumulado (%)	Pasante (%)	25,4	0	0	0	100
38,1	0	0	0	100	19,1	41,3	41	4	96
25,4	706,4	706	71	29	12,7	667,6	709	47	53
19,1	781,1	1488	99	1	9,52	279,8	989	66	34
Fondo	12,5	1500	100	0	Fondo	11,3	1000	100	0
Resultados de pesos específicos, absorción y material más fino que el tamiz 0,074mm.									
	PEC (g/cm3)	PES (g/cm3)	PEA (g/cm3)	% A	T-200 %				
MS-1	2,04	2,23	2,5	9,77	0,79				
MS-2	2,07	2,26	2,6	9,26	3,70				
MF-1	2,89	3,08	3,6	6,51	0,73				
MF-2	2,91	3,08	3,5	6,13	0,69				

laterítico, teniendo esto relación con el proceso de beneficio de la planta.

En ella se observaron dos tipos de material, uno que evidentemente era serpentinita y otra ferrítica. Se realizó una clasificación manual en función del tipo de mineral y cada uno fue sometido a análisis granulométrico, separándola en las fracciones que especifica la norma NC 251:2002.

Las fracciones finas (menor de 9,52 mm) no pudieron ser separadas pues la diferenciación se hizo menos apreciable, como se puede observar en la tabla siguiente.

Tabla No. 21. Resultados de los ensayos de durabilidad al intemperismo por fracciones granulométricas.

Tipo de muestra	Fracciones granulométricas (mm)						Porcentaje en peso, (%)
	+38,1	38,1+19,1	19,1+9,52	9,52+4,76	4,76	Total	
MS	6272	4939	1722	0	0	12933	70,48
MF	329	1761	1187	0	0	3277	17,86
MS+F	0	0	0	1840	300	2140	11,66
% de fracción	35,97	36,51	15,85	10,03	1,63		
Total	6601	6700	2909	1843	301	18350	100

Elaborado por: Eduardo Montero Gil.

De estos resultados se obtuvieron los criterios siguientes:

- La fracción serpentinitica representa el 70 % del total de la muestra.
- Las fracciones mayoritarias son mayores de 38,1 mm, la fracción 38,1mm a 19,1 mm, y de 19,9mm a 9,52 mm.

Por la importancia tecnológica que tiene, se realizó un ensayo granulométrico para determinación del peso específico, absorción, peso volumétrico y material más fino del tamiz 0,074 mm a las fracciones 38,1mm a 19,1 mm, y la 19,9 mm a 9,512 mm tanto de la

ferrítica como de la serpentinitica, por ser los parámetros que pueden definir su uso como árido, los cuales aparecen a continuación.

Nomenclatura.

MS-1 Muestra serpentinitica fracción 38,1 a 19,1 mm

MS-2 Muestra serpentinitica fracción 19,1 mm a 9.52 mm

MF-1 Muestra ferrítica fracción 38,1 a 19,1 mm

MF-2 Muestra ferrítica fracción 19,1 mm a 11.52 mm

Los resultados de los ensayos de durabilidad para cada una de las fracciones granulométricas analizadas, se muestran en la tabla No. 22. Se incluye los valores de pesos específicos, absorción y material más fino que el tamiz 0.074 mm.

Tabla No. 22. Los resultados de los ensayos de durabilidad para cada una de las fracciones granulométricas

Elaborado por: Eduardo Montero Gil.

3.4 Clasificación de las rocas serpentiniticas meteorizadas según el peso volumétrico

Según Casals C, 1986, clasifica las rocas serpentinitas en cuanto al rango del peso volumétrico, índice fundamental de las rocas de acuerdo a su amplia variación; así como la variación experimentada de dichas propiedades a los procesos de meteorización por lo que la divide en los siguientes grupos.

1_ Rocas muy meteorizadas (2.10 g/cm^3).

2_ Rocas meteorizadas (2.10 g/cm^3 a 2.32 g/cm^3).

3- Rocas ligeramente meteorizadas (2.32 g/cm^3 a 2.74 g/cm^3).

4_ Rocas no meteorizadas (2.75 g/cm^3).

*Las rocas ligeramente meteorizadas están constituidas por las serpentinitas algo meteorizada y constituyen rocas semiduras con resistencia a la compresión seca de 495 Kg/cm^2 y saturadas de 298 Kg/cm^2 . El peso volumétrico seco fluctúa entre 2.32 y 2.74 g/cm^3 .

Como se ve el rango de densidad es amplio por lo cual es lógico que exista una dispersión más amplia.

Según este estudio nuestras serpentinitas se pueden correlacionar con las ligeramente meteorizadas pero con tendencia a aquellas; donde el peso volumétrico está entre 2,5-2.74 g/cm³.

3.5 Posibilidades del uso sostenible del pasivo ambiental “rechazo serpentinitico” del yacimiento Moa Occidental

Los resultados de caracterización y el estudio general realizado con el pasivo ambiental “rechazo serpentinitico” de la Empresa Moa Nickel S.A. de Moa, permiten tomar decisiones preliminares sobre el posible uso de estos, como material de construcción específicamente en su utilización para morteros, bloques de hormigón, pavimentos, balastro para el ferrocarril y fundentes, etc., luego de cumplir con los requisitos exigidos a estos tipos de productos y su certificación, por las instituciones autorizadas en Cuba.

Los rechazos analizados poseen predominio de minerales de serpentina, los cuales han sido utilizado como materiales de construcción en Cuba y el mundo, razón por la cual se recomienda su utilización en las propuestas mencionadas.

Adicionalmente estos pasivos se acumulan en grandes cantidades día a día en las zonas mineras, afectando al ecosistema de la región, sin tener definido actualmente un uso específico. Por tanto, los resultados de esta investigación contribuirán a la toma de decisiones sobre la necesidad de un uso sostenible de los recursos naturales, con que cuenta la industria cubana del níquel, con vistas a garantizar el desarrollo industrial de nuestro país.

3.6 Conclusiones del Capítulo III

1. Se identifica dos áreas con potencialidades para aprovechar el rechazo contenido en el proceso pirometalúrgico de ferróníquel, éstas son el área donde se deposita actualmente el rechazo (se caracterizó al muestrear el rechazo en la plataforma de descarga) y la Presa de Rechazo. Las muestras tomadas en Pilar de Zona B, Área 1 y Área 2 identifican éstas áreas como perspectivas únicamente como árido para la construcción.
2. El manejo eficiente y aprovechamiento del rechazo con nuevas tecnologías alargaría la vida de los yacimientos níquelíferos en Moa garantizando a las futuras generaciones un empleo estable que permita resolver sus necesidades individuales y colectivas.
3. Los ensayos realizados a las muestras de rechazo en el Centro Investigación y Desarrollo de la Construcción demuestran que la fracción de rechazo <100 mm es apta para la construcción con hormigones de hasta 20 MPa y no presenta reactividad con el álcalis del cemento y tiene buen comportamiento ante las condiciones del intemperismo. Los hormigones de hasta 20 MPa son los de mayor demanda social.
4. Teniendo en cuenta el volumen rechazado anualmente en la planta de preparación de pulpa de Moa Nickel S.A., es seguro que su aprovechamiento como árido para resolver las carencias y limitaciones en el municipio de Moa revolucionaría todos los atrasos y carencias que en materia constructiva existen.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Las características físicas-químicas del pasivo ambiental “rechazo serpentínico” del yacimiento Moa Occidental, contribuyen a la toma de decisiones sobre sus posibles usos industriales y demuestran la posibilidad de desarrollar una minería sustentable en la empresa Moa Nickel SA.
2. El enfoque sostenible empleado en esta investigación, contribuyó a la fundamentación científica de las categorías de investigación empleadas, ampliando el conocimiento sobre las principales características del pasivo ambiental estudiado, que garantizan su manejo eficiente y aprovechamiento empleando las experiencias y tecnologías existentes en el territorio, que alargaría la vida y sustentabilidad de los yacimientos lateríticos de la región de Moa.
3. Con la caracterización realizada y la comparación del PAMM estudiado es posible, proponer su utilización preliminar como material de construcción, hormigones, pavimentos y balastro para ferrocarriles, luego de su certificación, por las instituciones autorizadas en Cuba.

RECOMENDACIONES

1. La clasificación del rechazo en conforme o no conforme debe enriquecerse con los por cientos de material fino que caractericen a cada uno, además las muestras analizadas caracterizan un material con altos nocivos, que no debe ser reprocesado en Moa Nickel S.A. por las características de su proceso tecnológico.
2. Realizar perforaciones en las áreas creadas para depositar el rechazo, permitiendo el muestreo y caracterización del material depositado.
3. Realizar análisis de quimismo por fracciones granulométricas a los pasivos ambientales de las 5 áreas seleccionadas, con vista a aumentar su caracterización.
4. Mejorar la eficiencia en la planta de preparación de pulpa en Moa Nickel S.A., con el objetivo de minimizar las pérdidas de las fracciones finas, contenidas en el rechazo de la misma.

Referencias Bibliográficas

- 1 Arranz, J.C. y Alberruche, E. (2008). Minería medio ambiente y gestión del territorio. RED DESIR. Madrid. 95 pp.
- 2 Adasme Aguilera, C., Arranz Gonzáles, J. C., & et., a. (2010). Pasivos ambientales mineros manual para el inventario de minas abandonadas o paralizadas. Barquicimeto.
- 3 Alberruche Arranz, E., & Rodriguez, F. (2014). Manual para la evaluación de riesgos de instalaciones de residuos de industrias. Madrid: IGME.
- 4 Alberruche, E., Arranz, J., Rodríguez, R., Vadillo, L., Rodríguez, V., & Fernández, F. (2014). Manual para la evaluación de riesgos de instalaciones de residuos de industrias extractivas cerradas o abandonadas. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural e IGME, 318.
- 5 Almenara A; Gilles Tremblay; Michael Rankin (2007). Revisión y desarrollo de un procedimiento de priorización para el manejo de pasivos ambientales mineros en el Perú. Definición de una metodología. Proyecto PERCAN, Consorcio Roche, Golder, ACCC, Lima.
- 6 Alva Bazán, E. (2007). Pasivos Ambientales Mineros. Lima.
- 7 Anida Yupari (2015). Pasivos ambientales mineros en Sudamérica. Recuperado de <http://www.cepal.org/drni/noticias/seminarios/4/13604/Informe%20Pasivos%20Ambientales%20Mineros%20en%20Sudam%C3%A9rica.pdf>. Lima.
- 8 Anidos, S. (2007). *Valoración geólogo – técnica de las perspectivas de empleo de los desechos serpentiniticos de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara como materiales de construcción alternativos*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- 9 Asociación de Servicios de Geología y Minería Iberoamericana (2015). Pasivos mineros. Manual para el inventario de minas abandonadas o paralizadas. Recuperado de <http://www.cepal.org/drni/noticias/seminarios/4/13604/Informe%20Pasivos%20Ambientales%20Mineros%20en%20Sudam%C3%A9rica.pdf>. Lima.

- 10 Azahares Ríos, Y. (2015). Evaluación ambiental de los Pasivos Ambientales Mineros de la mina de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- 11 Cal Data Ltd. (2005). Capacity Building for a National Inventory of Orphaned/Abandoned Mines in Canada. Final report submitted to the National Orphaned/Abandoned Mines Initiative. P17
- 12 Casals Corella, C. (1986). *Las Serpentinitas en la Construcción de Obras Hidráulicas*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- 13 Cedrón, L. M. (2013). *“ELABORACIÓN DE CRITERIOS PARA LA TRANSFORMACIÓN*. Lima - Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- 14 Céspedes Rivera, A. (2007). *Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentiniticos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- 15 Céspedes, A. (2010). *Caracterización y perspectivas de uso de los desechos sólidos de la planta de pulpa de la Empresa Moa Nickel S.A. como árido para la construcción*. Moa: Tesis de Maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- 16 Chávez Quijada, M. (2015). Los pasivos ambientales mineros: Diagnósticos y propuestas. Puno: Grufides.
- 17 Desarrollo Ambiental y Social Sostenible. (2005). Riqueza y sostenibilidad: Dimensiones Sociales y Ambientales de la Minería en el Perú. Desarrollo Ambiental y Social Sostenible, 4-5.
- 18 El Universal de Caracas. (24 de 3 de 2007). Uso de serpentian como material de construcción. *El Universal*, págs. 2-5.
- 19 Empresa Ferroníquel Minera. (2009). *Evaluación de Materiales de Construcción en el área de la Planta de Ferroníquel de Moa*. Moa: Empresa Mixta Ferroníquel S.A.
- 20 Etienne Desgagné y Fernando Medina, (2008). Sistema de priorización de cuencas hidrográficas para la remediación de pasivos. Manual de mantenimiento, proyecto PERCAN, Consorcio Roche, Golder, ACCC, Lima.

- 21 Fernando Medina (2008). Inventario de pasivos ambientales mineros. Manual, proyecto PERCAN, Consorcio Roche, Golder, ACCC, Lima.
- 22 Gámez, A. (2011). *Cracterizacion de los desechos serpentiniticos de la Mina de la Empresa Moa Nickel S.A. para su empleo como material de construccion alternativo*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- 23 Ganesh Persaud, A. (2014). *Metodología para el inventario de los Pacivos Ambientales Minero-Metalúrgicos generados por la industria del niquel en Moa*. Moa: Instituto Superior Minero Metalurgico de Moa.
- 24 Gendis Días, L. R. (2019) "Evaluación de la recuperación de la fracción limonítica en el rechazo de la planta de Preparación de Pulpa, de la empresa Moa Nickel SA" tesis en opción a la categoría científica de máster.
- 25 Instituto Geológico y Minero de España (IGME). (2001). *Estadística Minera de España*. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España (IGME).
- 26 Instrucción para el secado de las muestras I 201. (2015) Geominera Oriente.
- 27 Instrucción para la trituración de las muestras I 202. (2015) Geominera Oriente.
- 28 Instrucción para la pulverización en molinos de discos I 203. (2015) Geominera Oriente.
- 29 Instrucción para la pulverización en morteros de ágata y porcelana I 204. (2015) Geominera Oriente.
- 30 Instrucción para operación del molino de mandíbula I 205. (2015) Geominera Oriente.
- 31 Instrucción para operación de la estufa I 207. (2015) Geominera Oriente.
- 32 Instrucción para operación de la estufa MEMMERT I 209. (2015) Geominera Oriente.
- 33 Instrucción para el control de calidad en la preparación de las muestras I 101. (2015) Geominera Oriente.
- 34 Instrucción "Mineral y Colas del Proc eso. Determinación de Níquel, Hierro y Cobalto. Método por Espectrofotometría de absorción atómica" NE IB del 2011. Moa Nickel SA.
- 35 Instrucción " Requisitos para la preparación de muestras sólidas y líquidas del proceso hidrometalúrgico" NE IB del 2011. Moa Nickel SA.

- 36 Jiménez H, S. (2008). *Caracterización química, física y mecánica del material de rechazo de la Empresa Ernesto Guevara*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- 37 Lavaut Copa, W. (2001). *Caracterización del mineral de rechazo por el proceso de Planta de Preparación de Pulpa*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- 38 Legrá Lobaina, Silva Diéguez (2014) *La Investigación Científica: Conceptos y Reflexiones*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- 39 Leon. (2007). *“Propiedades de la Menas Niquelíferas del yacimiento Punta Gorda”*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- 40 López Peña, L. M. (2006). *Caracterización geológica de las materias primas de los municipios de Moa-Sagua de Tánamo y su empleo como áridos para la construcción*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- 41 Ministerio de Energía y Minas (2012). *Plan de manejo de pasivos ambientales*. Dirección General de Minería, Lima.
- 42 Ministerio del Medio Ambiente (2015). *Definición de herramientas de gestión de pasivos Ambientales*. Colombia. Recuperado de https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Pasivos_Ambientales/herramientas_pasivos_ambientales.pdf
- 43 Montero Gil, E. (2007). *Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentinitico de la Empresa Moa Nickel S.A. como árido*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- 44 Montero, P. J. (2006). *El desarrollo compensado como alternativa a la sustentabilidad en la minería(aprehensión ético-cultural)*. La Habana: Tesis Doctoral.
- 45 Norma CUBana N.C 183. Áridos. (2002). *Estabilidad a la acción del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio*. . Habana: Normas Cubanas de Calidad .
- 46 Norma Cubana N.C 251. (2002). *Especificaciones de los agregados para su uso en hormigones hidráulicos*. La Habana: Normas Cubanas de Calidad.

- 47 Pons Herrera, J. A. (2000). *Obtención de productos refractarios a partir de las dunitas serpentinizadas de la región de Moa-Baracoa, Zona Merceditas y Amores*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico .
- 48 Pérez Stest, J. L. (2009). *Caracterización y evaluación del desecho serpentinitico de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara como áridos para la obtención de hormigones hidráulicos*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- 49 Pons Herrera, J., Puchol Quintana, R., Ramírez Pérez, M., & Salazar Moreno, A. (2018). Comportamiento mineralógico de las dunitas serpentinizadas de la región Moa-Baracoa bajo temperaturas de hasta 1600 o C. *Minería y Geología*, No.3, Vol. 34.
- 50 Ramírez Cordero, A. (2007). “*Estudio del proyecto de una planta procesadora de grava y arena para el municipio de Moa*”. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- 51 Ramírez, M. y. (2010). “*Una alternativa para utilizar las concreciones ferruginosas, del yacimiento Moa occidental*”. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- 52 Rodriguez Pacheco, R. (1985). *Materiales serpentiniticos en la construcción de presas de materiales locales*. Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España.
- 53 Ruiz, M. (2016). *Contexto y Evolución del Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos*. Ciudad de México, México: Universidad Iberoamericana Ciudad de México.
- 54 Vijaya, K. (2010). *Valoración técnica de los desechos serpentiniticos de la Empresa Moa-Nickel SA. como material de construcción alternativo*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.
- 55 Wilson Masó, R. (2008). *Caracterización de las serpentinitas del municipio de Holguín como áridos para la construcción*. Moa: Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa.

Anexos

Anexo 1. Producción y sectorización de rocas para áridos en España, durante el 2016.

Sustancia (ton.)	Producción total en 2016	Sectorización consolidada de las producciones de cada sustancia		
		Áridos para construcción y obras públicas	Aglomerantes, productos cerámicos y áridos industriales.	Roca ornamental y otras
Alabastro	17038		2652	14386
Andesita	5000	5000		
Anfibolita	826872	826872		
Arcilla	8273759	6396	8267363	
Arena y grava	31031517	30413504	618013	
Arenas silíceas	3808699	880685	2928014	
Areniscas	1325878	1071302	92974	161602
Basalto	1097648	1096271		1377
Caliza	76302052	48496312	26695809	1109931
Comeana	991338	990905		433
Creta	693893	34332	659561	
Cuarcita	899588	849308	25676	24604
Diabasa	451066	451066		
Diorita	5080			5080
Dolomía	6015767	4723153	1272342	20272
Fonolita	787525	787200		325
Granito	8664348	7921979	95256	647113
Grauvaca	644618	644618		
Margas	5177631	54909	5122722	
Mármol	2472405	1457020	226173	789212
Milonita	495730	495730		
Ofita	1125587	1049618	75969	
Pizarra	1195192	165649	51545	977998
Pórfido	737255	737255		
Serpentina y dunita	692495	135331	557164	
Toba	887			887
Traquita	77940	75100		2840
TOTAL	153.816.808	103.369.515	46.691.233	3.756.060

Fuente: Estadística Minera de España 2016.

Anexo 2: Producción nacional destinada a áridos, durante el período 2012-2016 en España.

Materiales	Producción Nacional periodo 2012-2016 (ton.)				
	2012	2013	2014	2015	2016
Arena y grava	40268487	32021093	33228064	33504374	30413504
Arenas silíceas	1093074	1111774	897389	701702	880685
Subt. granulados	41361561	33132867	34125453	34206076	31294189
Andesita	409000	105144	0	5000	5000
Anfibolita	350510	436391	755081	890757	826872
Arcilla	225341	58259	34554	7000	6396
Arenisca	1262819	1611438	1178787	1368322	1071302
Basalto	1204764	1012994	1286641	1413181	1096271
Caliza	60440692	51008598	49372780	54710537	48496312
Corneana	1955569	599560	1326037	1111291	990905
Creta	3458	34783	34088	33901	34332
Cuarcita	2025375	1636895	1212458	1492561	849308
Diabasa	637698	531401	553682	392241	451066
Dolomia	5441657	3839004	3404430	5558275	4723153
Fonolita	618022	309690	548200	582300	787200
Granito	9720675	8216497	7825726	8427130	7921979
Grauvaca	471168	343733	762550	1204328	644618
Margas	691003	532047	384217	364748	54909
Mármol	1327012	1176064	1160365	1716272	1457020
Milonita	676326	144173	305642	713601	495730
Ofita	1463456	1103995	1883426	1980760	10049618
Pizarra	246407	294508	367546	309885	165649
Pórfido	1468437	922147	992277	645374	737255
serpentina y dunita	419621	296360	271136	213959	135331
Traquita				40319	75100
Subt. Machaqueo	91059010	74213681	73659623	83181742	81075326
TOTAL	132420571	107346548	107785076	117387818	112369515

Fuente: Ministerio de la Construcción. 2017

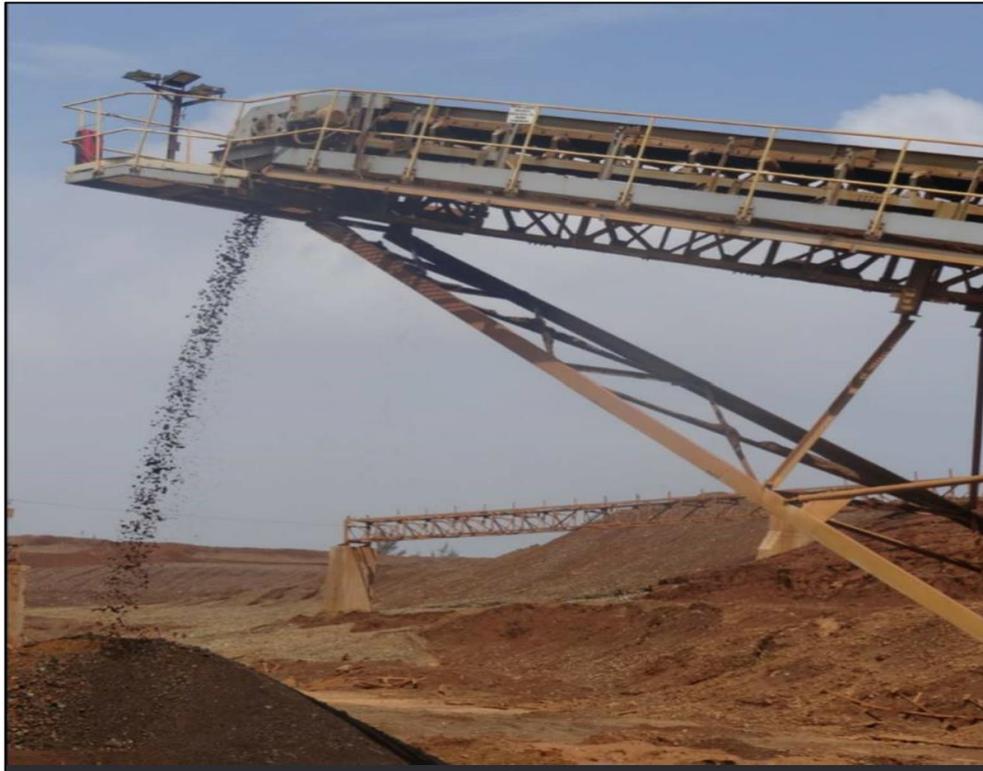
Anexo 3: Criba vibratoria existente en Moa Oriental



Anexo 4: Cilindro lavador del rechazo serpentinitico, existente en Moa Occidental.



Anexo 5. Transportador apilador (CO-14) utilizado para el tratamiento del rechazo serpentínico.



Anexo 6. Tamizadora eléctrica empleada en los análisis granulométricos.

