



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

Caracterización de los desechos serpentínicos de la mina de la Empresa Pedro Soto Alba- Moa Nickel S.A. para su empleo como material de construcción alternativo

Trabajo de Diploma

en opción al Título de Ingeniero Metalúrgico

Alberto Gámez Matos

Moa
2011



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

**CARACTERIZACIÓN DE LOS
DESECHOS SERPENTINÍTICOS DE LA
MINA DE LA EMPRESA PEDRO SOTO
ALBA- MOA NICKEL S.A. PARA SU
EMPLEO COMO MATERIAL DE
CONSTRUCCIÓN ALTERNATIVO**

Trabajo de Diploma
en opción al Título de Ingeniero Metalúrgico

Autor: Alberto Gámez Matos

**Tutores: Prof. Tit. Ing. Pedro Enrique Beyrís Mazar, Dr. C.
Prof. Inst. Ing. Eduardo Sariol López, MSc.**

**Moa
2011**

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos

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

A mis padres por sus consejos de terminar mis estudios y formarme para las nuevas exigencias de la vida profesional.

A los Tutores Dr.C. Pedro Enrique Beyris Mazar y MSc. Eduardo Sariol López, por su orientación, cooperación y preocupación en la realización de este Trabajo de Diploma.

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

A los trabajadores de la planta preparación de pulpa, de la Empresa Pedro Sotto Alba- Moa Nickel S.A.

A mi familia en general por su apoyo y confianza depositada en mí.

A todos mis amigos por sus inestimables contribuciones.

A todos,

Muchas gracias.

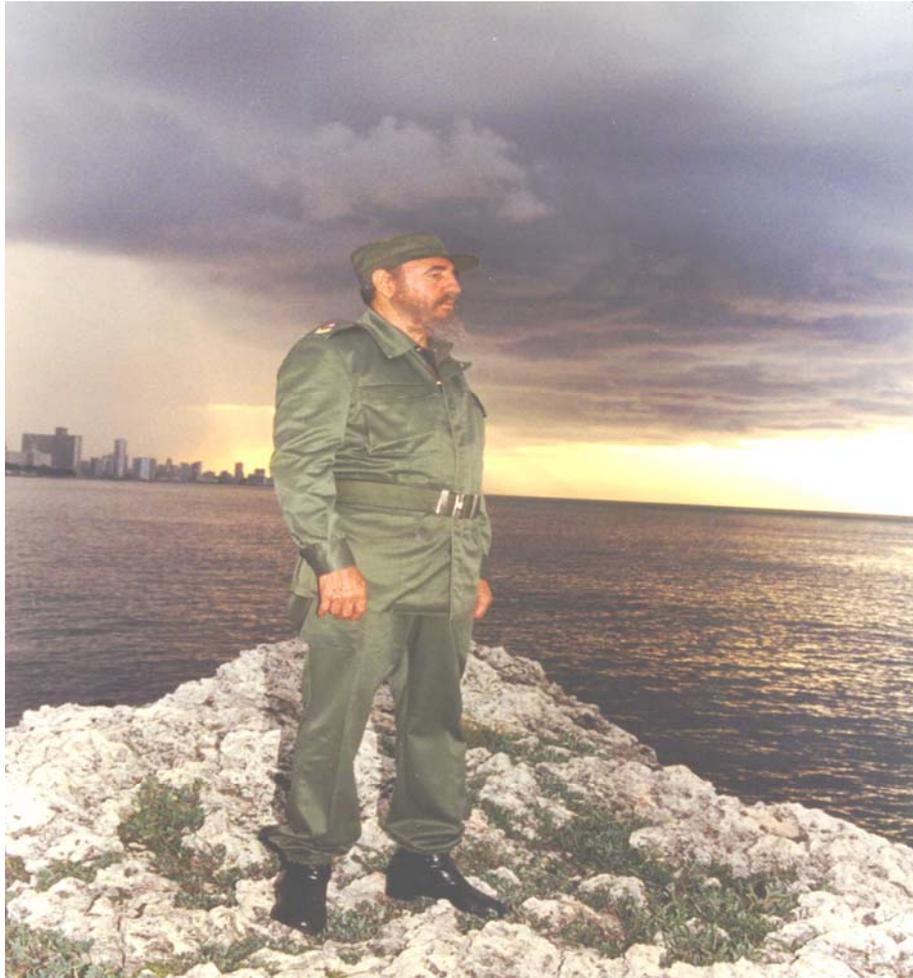
DEDICATORIA

Dedicatoria

Dedico este trabajo de diploma a mis padres, esposa, hijos, familiares, razón de mi existencia y a las personas que contribuyeron en mi formación profesional.

PENSAMIENTO

PENSAMIENTO



*(...) 'Un mundo mejor es posible, pero hay que construirlo
y defenderlo' Fidel Castro Ruz*

RESUMEN

Resumen

El desarrollo de este trabajo se enmarca en el insuficiente conocimiento de las características del material serpentínico de rechazo de la Empresa Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A. que permita su utilización como áridos en la industria de materiales de la construcción, de ahí la necesidad de dirigir el objetivo general de la investigación hacia la caracterización de los desechos serpentínico a través de su composición química, física y mecánica que permitan su empleo como material de construcción alternativo.

En el trabajo se exponen los ensayos realizados al material de rechazo de la Empresa Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A. en diferentes laboratorios especializados, y para su interpretación, se utilizaron los requisitos que establece la NC 251: 2005 de especificaciones de áridos para hormigones hidráulicos.

Los resultados obtenidos muestran que estos residuos pueden emplearse como materiales de construcción alternativos, ya que son perfectamente aceptados como materia prima para fabricar bloques huecos de hormigón en la construcción.

Abstract:

The diagnosis has allowed us to confirm that the scientific problem which encouraged this research was given by: Poor knowledge of Commander Pedro Sotto Alba Nickel Processing Company' s reject serpentinitic material characteristics, allowing its use as barrens for the Construction Material Company. From there, the need to state the General objective of this research for the characterization of the serpentinitic wastes through its chemical, physical and mechanical composition, allowing its use as an alternative construction material. This paper outlines the tests carried out to Commander Pedro Sotto Alba Nickel Processing Complex's reject material , performed in several laboratories , and for its interpretation, the requirements as provided by the NC 251: 2005 for barrens specification for hydraulic concrete were used. The test results show that these wastes may be used as alternative construction materials, as they are perfectly accepted as a raw material to manufacture hollow concrete blocks for constrin construction.

INDICE

INTRODUCCIÓN	3
CAPITULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.1. Tendencias acerca del uso los desechos serpentiniticos como materiales de construcción en el mundo	8
1.2. Estado que presentan los desechos serpentiniticos como materiales de construcción alternativos en Cuba	11
1.3. Caracterización del flujo tecnológico de la planta de preparación de pulpa de la Empresa Pedro Soto Alba- Moa Nickel SA	17
CAPITULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	19
2.1. Caracterización geológica de los yacimientos que aportan los desechos seperniticos	20
2.1.1. Características geográficas y geológicas del yacimiento Moa Oriental	20
2.2. Estudios de las propiedades químico-físico-mecánicas de los desechos seperniticos	31
2.2.1. Toma y preparación de las muestras	31
CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	53
3.1. Valoración de los resultados de los ensayos realizados a los productos de los desechos serpentiniticos	53
3.2. Interpretación de los resultados de los ensayos realizados a los productos de los desechos serpentiniticos	63
3.3. Mitigación de los impactos ambientales	69
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES	72
BIBLIOGRAFIA	73
ANEXOS	I

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los problemas relacionados con la vivienda ocupan un lugar cimero dentro del sistema de preocupaciones políticas, económicas y sociales de la época contemporánea a nivel mundial, avalado muchas veces por el déficit de materiales de construcción y otras causas, de cuya solución depende en gran medida el mejoramiento de la calidad de vida en el planeta.

La justificación del desarrollo sostenible proviene tanto del hecho de tener unos recursos naturales limitados (nutrientes, el suelo, agua potable, minerales, etc.), susceptibles de agotarse, como del hecho de que una creciente actividad económica sin más criterio que el económico produce, tanto a escala local como planetaria, graves problemas medioambientales que pueden llegar a ser irreversibles.

El ámbito del desarrollo sostenible puede dividirse conceptualmente en tres partes: ambiental, económico y social. Se considera el aspecto social por la relación entre el bienestar social con el medio ambiente y la bonanza económica.

Deben satisfacerse las necesidades de la sociedad como alimentación, ropa, vivienda y trabajo, pues si la pobreza es habitual, el mundo estará encaminado a catástrofes de varios tipos, incluidas las ecológicas. Así mismo, el desarrollo y el bienestar social, están limitados por el nivel tecnológico, los recursos del medio ambiente y la capacidad del medio ambiente para absorber los efectos de la actividad humana.

En este sentido Cuba no está exento de esta problemática por lo que se han buscado nuevas alternativas cada vez más acorde con el desarrollo sostenible.

Sin dudas este proceso resulta complejo y en este sentido en nuestro país se han tratado de buscar soluciones a dicha problemática acorde a las exigencias del desarrollo sostenible como lo demanda la sociedad contemporánea. Si bien se han

INTRODUCCIÓN

buscado soluciones a nivel de país, aún existe una problemática poco dilucidada en el municipio de Moa, que se corresponde con el déficit de materiales de la construcción, especialmente de áridos, pues los centros productores se encuentran bastante distantes de las fuentes de consumo y entre sí, lo que hace más compleja la satisfacción de la demanda por la necesidad de transporte.

Este territorio tiene un alto desarrollo industrial lo cual ha generado un aumento en la población y en la construcción de viviendas; un alto por ciento se encuentra en mal estado. El por ciento de ellas a construir y que se encuentran en un alto nivel de ejecución, es uno de los más bajos del país, lo cual significa que para tener nuevas viviendas hay que construirlas completamente desde los cimientos con el consiguiente aumento de las necesidades de materiales en especial de áridos.

El municipio de Moa se presenta un déficit de materiales de construcción y especialmente de áridos. Pues los centros productores se encuentran bastante distantes de las fuentes de consumo y entre sí, lo que hace más compleja la satisfacción de la demanda por la necesidad de transporte.

Un aspecto de primer orden será, la posibilidad de realizar el plan de obras sociales en particular el de la vivienda, mediante el empleo de materiales existentes en la localidad. En este sentido, el hecho de que el material que vamos a emplear tendría realizado un proceso inicial en su preparación mecánica, contribuye a que exista una disminución en los indicadores energéticos que se requieren para realizar este tratamiento mecánico, comparado con una extracción convencional. El aporte económico se logrará como resultado de la economía de esta etapa de extracción y transportación, la disminución de los gastos de explotación y procesamiento, y sobre todo por la garantía del abastecimiento de áridos para estas zonas con alta demanda.

Ante esta situación, se plantea la posibilidad de mejorar la tecnología y la organización social de forma que el medio ambiente pueda recuperarse al mismo ritmo que es afectado por la actividad humana.

INTRODUCCIÓN

Problema científico a resolver: Insuficiente conocimiento de la característica del material serpentínico de rechazo que permita su utilización como árido en la industria de material de construcción.

Objeto de investigación: Los desechos serpentínicos de la Empresa Pedro Soto Alba- Moa Níckel S.A.

Campo de acción: Composición química, física y mecánica de los desechos serpentínicos de la Empresa Pedro Soto Alba- Moa Nickel S.A.

Hipótesis: Sí las características química, física y mecánica de los desechos serpentínicos de la Empresa Pedro Soto Alba- Moa Nickel S.A. cumplen con las exigencias de los materiales de construcción, entonces pueden ser utilizados como áridos en esta industria.

Objetivo general: Caracterizar los desechos serpentínicos a través de su composición química, física y mecánica que permitan su empleo como material de construcción alternativo.

Objetivos específicos:

1. Identificar química y granulométricamente los desechos serpentínicos.
2. Analizar desde el punto de vista mecánico los productos elaborado con los desechos serpentínico.

CAPITULO 1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Este capítulo tiene como propósito abordar los fundamentos teóricos relacionados con el empleo de los desechos serpentiniticos como materiales de construcción alternativos y se determinan las tendencias a partir del problema, el objeto, el campo de la investigación y el objetivo que caracterizan a los minerales serpentiniticos como materiales de construcción alternativos en el mundo y Cuba. Además se caracteriza el flujo tecnológico de la planta de preparación de pulpa de la Empresa Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A. y se muestran, los principales términos y conceptos empleados en la investigación desde el punto de vista técnico.

A continuación se brindan los principales términos que se emplean durante el desarrollo del trabajo relacionado con los materiales de construcción, para una mejor comprensión del mismo, las definiciones han sido tomadas de las Norma Cubana NC 54-395:1987 Materiales de la construcción. Áridos. Términos y definiciones.

Árido: Se denomina comúnmente árido a una serie de rocas que, tras un proceso de tratamiento industrial (simple clasificación por tamaños en el caso de los áridos naturales, o trituración, molienda y clasificación en el caso de los áridos de machaqueo), se emplean en la industria de la construcción en múltiples aplicaciones, que van desde la elaboración, junto con un material ligante de hormigón, morteros y aglomerados asfálticos, hasta la construcción de bases y sub-bases para carreteras, balastos y sub-balastos para las vías de ferrocarril, escolleras y defensa en la construcción de puertos marítimos.

Los áridos constituyen uno de los materiales básicos e imprescindibles en la construcción de edificaciones, obras civiles e infraestructuras de cualquier país y por ello, un indicador muy preciso del estado de su economía y de su desarrollo socioeconómico.

Árido grueso: Árido que posee principalmente partículas de un tamaño superior a 4,76 mm, el árido grueso puede describirse como grava (sin beneficiar o beneficiada) o como roca triturada.

Grava sin beneficiar: Árido grueso que se obtiene directamente como resultado de la desintegración natural de las rocas sin requerir de procesos de clasificación y lavado.

Grava beneficiada: Árido grueso que se obtiene directamente como resultado de la desintegración natural de las rocas y que requiere de procesos de clasificación y lavado con trituración parcial o no.

Árido triturado: Árido grueso que se obtiene mediante la trituración de la roca y de proceso de clasificación y lavado.

Árido fino (arena): Árido que posee partículas de un tamaño desde 0,149 mm hasta 4,76 mm, el árido fino puede estar descrito como arena natural (cernida o beneficiada) y como arena de grava triturada y arena de roca triturada.

Arena natural: Arena que se obtiene directamente como resultado de la desintegración natural de las rocas.

Arenas cernida: arena resultante del cribado de la arena natural para separarle las fracciones mayores que 4,76 mm.

Arena beneficiada: Arena resultante de la clasificación, el lavado y separación de los tamaños mayores que de 4,76 mm y por encima de 0,149 mm de la arena natural.

Arena de grava triturada: Arena producida mediante la trituración de la grava.

Arena de roca triturada: Arena producida mediante la trituración de la roca.

Fracción: Porción de árido expresada por los números que representan las aberturas nominales (o equivalentes) en mm de dos tamices normalizados, donde el número mayor, denominado límite nominal superior corresponde al tamiz de mayor abertura por donde pasa prácticamente toda la porción de árido (90 % - 85 % aproximadamente) y el segundo denominado límite nominal inferior corresponde al tamiz de menor abertura donde queda retenida prácticamente su totalidad.

1.1. Tendencias acerca del uso los desechos serpentiniticos como materiales de construcción en el mundo

La serpentinita se encuentra habitualmente asociada a importantes yacimientos de cobre, hierro, níquel, amianto y talco. Se usa fundamentalmente en la construcción y 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.

Aspecto: es muy característico, 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 el piroxeno.

Componentes: principalmente, la serpentinita está formada por serpentina-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.

A modo de ejemplo se valora la producción de áridos en España. La producción de áridos de construcción registrada en la Estadística Minera de España 2001 muestra un incremento superior al 13 % respecto al año anterior, con algo más de 306 Mt aproximadamente un 56 % de esta cantidad correspondió a rocas calcáreas sedimentarias (caliza, dolomía, creta) con un 29 % de productos granulados (arenas, cantos y gravas) y el 15 % restante a rocas ígneas, metamórficas y otras (granito, basalto, cuarcita, ofitas y arenisca). La evolución de la misma en el período 1998 – 2001, desglosada por tipo de rocas extraídas (en toneladas), puede verse en la tabla siguiente:

Tabla 1: Evolución de los materiales de construcción desglosada por tipos de rocas.
Estadística Minera de España, 2001

Materiales	1998	1999	2000	2001
Arena y grava	69129874	71090124	77854563	88077483
Arena sílice	962315	573338	786852	1324865
Arenisca	1653239	2081136	2168974	2618912
Basalto	1685754	2203882	3011566	7246133
Caliza	120477316	143 878 748	149 583 054	163 059 380
Creta	24014	39420	41635	41700
Cuarcita	86501	2264291	2088919	2420154
Dolomita	7234873	7413251	7666654	9034799
Fonolita	1149810	1486250	1478500	1610727
Granito	16210260	18072708	18386278	19825272
Mármol	188269	0	0	95500
Ofita	2003620	1906924	2481142	3468840
Pizarra	1270835	1152482	1320414	2006621
Pórfido	1533554	1665862	2146729	1899520
Serpentina y Dunita	199319	202233	174000	129600
Otros	1875610	2329145	2530245	3312366
Total	225685163	112481046	122136471	143112492

Se puede apreciar que se emplean dunitas y serpentina en volúmenes discretos en España, pero tenemos que tomar en cuenta que no existe mucha presencia de estas litologías en ese país.

Tal es el caso del área de Bandeira - Silleda (Pontevedra) en España, donde se explota una peridotita serpentinizada que se destina casi en su totalidad a áridos. La explotación más importante es la cantera de Campomarzo, propiedad de Explotación

Minera Campomarzo S.A., que extrae y tritura unas 300 000 t/año de áridos, destinados a balasto de ferrocarril y obras públicas.

Se ha reportado que en España en el municipio de Moeche, existe una explotación de serpentina (formada por metamorfismo de rocas ultrabásicas), llamada cantera Penas Albas, cuya producción (50 000 t/año), se utiliza como fundente básico en la siderurgia de Avilés. La cantera dispone de una pequeña planta de machaqueo dependiente.

Según reportes en España se utiliza la serpentinita (principal componente de este rechazo) como árido para el relleno de compuertas de presas y viales de ferrocarril, que aborda el tema del empleo de un concreto que en su composición tiene serpentinita usado en las instalaciones de los reactores nucleares, pues el agua que contiene el mineral serpentina tiene la capacidad de absorber las radiaciones que se desprenden de este proceso para generar electricidad. El uso de hormigones serpentiniticos es acostumbrado para atenuar los neutrones termales cuya temperatura oscila en el rango de 400-500 grados.

Según la publicación El Universal de Caracas.- El asesor en minería de Corpollanos, Simón Rodríguez, informó que la explotación racional de las rocas de serpentinita tienen un gran valor económico, pues, permite fertilizar los suelos ácidos que componen cerca del 60 % de los terrenos agrícolas de Guárico y los cuales se encuentran ubicados principalmente en el eje comprendido entre las ciudades de El Sombrero y Valle de la Pascua, así como Cabruta, al sur de esta entidad regional. La serpentinita podría sustituir a la dolomita, un carbonato de calcio con un porcentaje de magnesio que se ubica entre 18 y 19 %, el cual se ha usado como fertilizante magnesiano en la parte norte del país.

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 aún por España, con algo más de 4 Mt y, a continuación, se ha incorporado China como gran productor (2,5 Mt). El gráfico que se adjunta (Ver gráfico 1) detalla las producciones, en los últimos años, de los ocho primeros países productores.

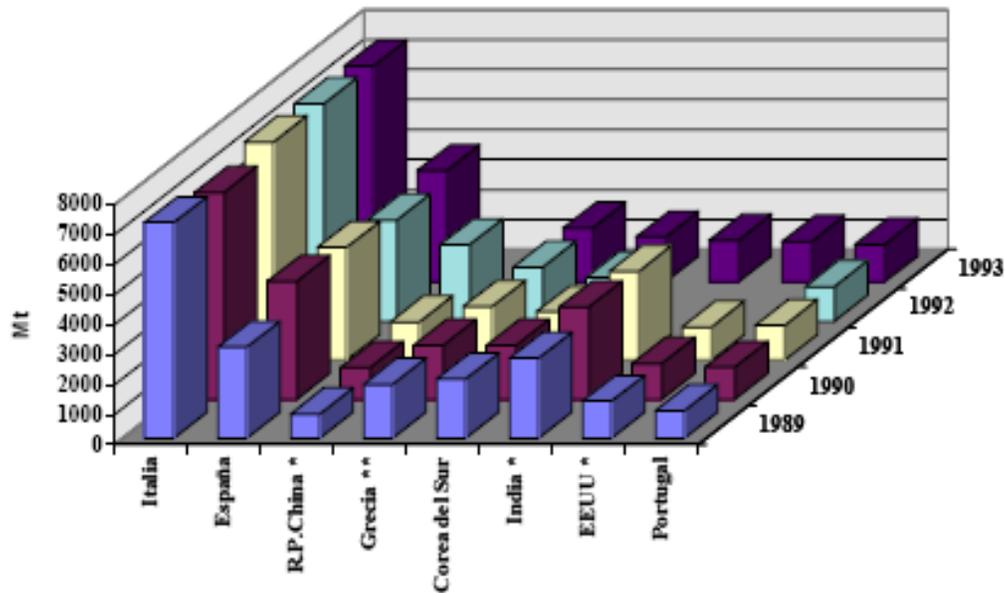


Figura1.Principales países productores de piedra natural

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.

1.2. Estado que presentan los desechos serpentínicos como materiales de construcción alternativos en Cuba

Los materiales de construcción constituyen una prioridad para el municipio, provincia y país. Los áridos en Moa se necesitan para la construcción y reparación de viales, viviendas, instalaciones sociales, escuelas, etc.

En 1985, Rodríguez en el trabajo, “Materiales serpentínicos en la construcción de presas de materiales locales.” está encaminado a mostrar el uso del material serpentínicos en la construcción de presas locales.

En la parte general del trabajo se expone el resultado de un análisis detallado de los materiales de archivo y de las investigaciones realizadas para la utilización de materiales serpentínicos como base de las obras hidráulicas y su empleo en materiales de construcción. Abordó además la clasificación de las rocas y su

composición química y mineralógica, así como los resultados de las investigaciones geológicas realizadas para el diseño de presas locales en los cuales se han empleado materiales serpentínicos.

Otros trabajos realizados en cuanto al uso de estos materiales se deben a la propia minería en la construcción de escolleras y en el mejoramiento de los caminos mineros y respecto a los estudios realizados por Casall 1986, referido a las Serpentinitas en la Construcción de Obras Hidráulicas y más recientemente los de López, 2006, sobre la caracterización geológica de las materias primas minerales de los Municipios Moa – Sagua de Tánamo para su empleo como materiales de construcción en el cual se estudia y analiza la composición granulométrica del material grueso mayor de 20 mm para su posible utilización como árido en la construcción y donde el 21,92 % de las muestras está constituido totalmente por material grueso (fragmentos de serpentinitas).

En el Informe sobre la Caracterización del Mineral de Rechazo por el Proceso de Planta de Preparación de Pulpa (Lavaut ,2001) se hace referencia a un rechazo de serpentinitas no menor de 200 000 m³ al año, comparativamente este rechazo posee más contaminación de material laterítico que su similar de la empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

López Peña, 2006 en su tesis de diploma Caracterización geológica de las materias primas de los municipios de Moa-Sagua de Tánamo y su empleo como áridos para la construcción, realizó algunos morteros del material rechazado de la planta de pulpa de Empresa Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A. y material de rechazo de la Empresa Ernesto Che Guevara, obteniendo resultados satisfactorios para estudios posteriores. Anidos, 2007, en su trabajo: Valoración geólogo – técnica de las perspectivas de empleo de los desechos serpentínicos de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara como materiales de construcción alternativos, demuestra que los ensayos realizados a los materiales serpentínicos, muestran resultados positivos para su uso como material de construcción, específicamente como mortero para la construcción de muros portantes, vestido en interior y exterior, así como en la construcción de pasillos y pavimentos, estos últimos de manera alternativa. También

refleja que el promedio de desechos serpentínicos que generó la empresa Comandante Ernesto Che Guevara en ese año 2007 era de 7412,56 t/mes, promedio que debe ser incluido finalmente como un impacto ambiental al entorno y en el cual el acomodo demostrado se relaciona con el uso de este material como árido para la construcción.

Céspedes, 2007 en su trabajo, “Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentínicos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” como árido para la construcción”, realiza una evaluación de este residuo con el objetivo de utilizarlo en la industria de los materiales de construcción. En el cual fueron tomadas una serie de muestras del material serpentínicos y enviado al Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción (CTDMC), donde se realizaron una serie de ensayos destinados a conocer las propiedades físicas – mecánicas y químicas que tendría un árido de este material, teniendo en cuenta los principales aspectos que imposibilitarían su uso, donde se demuestra la factibilidad de empleo de estas rocas como áridos para obras sociales en hormigones hasta 30 Mpa.

Montero, 2007 en su trabajo, “Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentínicos de la Empresa Pedro Soto Alba- Moa Nickel S.A. como árido”, realizó ensayos similares a los de Céspedes (2007), pero en este caso, el material que utilizó para los ensayos fue el rechazo serpentínicos de la Empresa Pedro Soto Alba- Moa Nickel S.A., demostrando en sus resultados el uso de este material como árido en la confección de hormigones de hasta 20 Mpa.

Cardero, 2007 en su trabajo, “Estudio del proyecto de una planta procesadora de grava y arena para el municipio de Moa”, establece los parámetros tecnológicos del proceso de preparación mecánica y beneficio de los materiales de construcción, al igual que se intentan diseñar algunos de los equipos componentes del proceso tecnológico de producción de áridos, donde tienen en cuenta materias primas tales como vidrio volcánico, aluviones y materiales serpentínicos rechazados en el proceso CARON de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.

León et al, 2007 en el trabajo “Propiedades de la Menas Niquelíferas del yacimiento Punta Gorda”, interrelación con la cadena productiva y beneficio de las mismas,

presentado y discutido en la Segunda Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, se demuestran los beneficios físicos mecánicos que recibe el mineral durante los eventos que ocurren en el proceso industrial. Recoge además, las características granulométricas y la composición química del rechazo serpentiniticos para las siguientes clases de tamaño: +12 -18; +18 - 25; +25 - 50 y mayores de 50 mm.

Wilson (2008) presenta su trabajo de diploma, "Caracterización de las serpentinitas del municipio de Holguín como áridos para la construcción", en este estudio se empleó muestras de los túneles populares de ese Municipio y realizó una buena caracterización físico- mecánica y se estudiaron dosificaciones, pero los resultados de las prestaciones obtenidas de los hormigones fueron bajas, siendo muy probable imputar estos resultados a que las serpentinitas estudiadas tenían indicadores deficientes (producto de la gran trituración natural del material y su estado avanzado de alteración).

Jiménez (2008) en su trabajo tenía como objetivo determinar la caracterización química, físico y mecánica del material de rechazo y establecer las características típicas de trituración del material rechazado, en las trituradoras de mandíbulas 320 x 65 mm y 150 x 75 mm, cuyos objetivos demostraron que a través de los ensayos realizados, los desechos serpentiniticos de la Empresa Che Guevara son perspectivas para su posible uso como árido en la industria de los materiales de la construcción. En cuanto a las características típicas de las trituradoras de mandíbulas para un diámetro máximo del grano, igual a 75 mm para la trituradora TQ 320 x 65 y 40 mm para la trituradora TQ 150 x 75, permitió establecer las características de trituración del material serpentiniticos mediante la determinación del diámetro relativo para ambas trituradoras, a partir de la anchura de la boca de salida y el diámetro de cada clase de tamaño.

Pérez (2009) realiza una investigación similar a la de Céspedes con el tema, Caracterización y evaluación del desecho serpentiniticos 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 serpentiniticos 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 serpentíníficos 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.

Hace aproximadamente cinco años se han efectuado ensayos de diferentes tipos a los materiales serpentíníficos de las Empresas Comandante Che Guevara y Moa Nickel S.A., con la colaboración del Centro Técnico para el desarrollo de los materiales de construcción (CTDMC) perteneciente al MICONS de Ciudad de La Habana, los cuales argumentan su evaluación positiva, también se han desarrollado ensayos recientes a estos mismos materiales en el laboratorio de la ECRIN, ubicado en el municipio de Moa, donde se han obtenidos resultados similares.

Un aspecto importante es el hecho de que actualmente se cuenta con una planta de beneficio del tipo CM-739-740 en el municipio, (Cayo Guam) que fue paralizada durante el cierre de la minería de las Cromitas y la cual brindaría las condiciones requeridas para convertirla en una planta de áridos para abastecer al municipio.

En el desarrollo de este trabajo se ha contado también con tesis y proyectos que han ido contribuyendo a este tema de investigación. Igualmente se desarrolla una estrategia de divulgación de estos resultados para su implementación, como talleres y conferencias.

Existe referencia de la utilización de las serpentinas en el proceso de hormigonado de la Termonuclear de Cienfuegos. Para la protección contra neutrones interesan materiales de elevada sección de captura que, en general, son cuerpos que poseen elementos de número atómico pequeño, siendo muy eficaces los cuerpos hidrogenados, agua, polietileno, hidruros, madera comprimida, etc. El hormigón es un buen material de protección, debido a que posee los elementos precisos para capturar los neutrones y para atenuar la radiación gamma. Posee hidrógeno, agua en

el gel de cemento hidratado, agua libre entre sus poros y agua de cristalización en algunos áridos, especialmente si éstos son pesados seleccionados con este fin, pues al mismo tiempo que actúan frenando los neutrones, al poseer calcio, silicio e hierro, pueden absorber también las radiaciones gamma”. (Información oral del Dr. Antonio Rabilero Bouza e Ing. Elena Téllez Girón para el trabajo realizado por Lueges, 2008). Según Ramírez M, y otros 2010 en su trabajo “Una alternativa para utilizar las concreciones ferruginosas, del yacimiento Moa occidental”, plantea que el hierro presente en estos depósitos está en forma de óxidos, siendo los predominantes los oxihidróxidos de hierro (III), como se demostró al realizar el estudio de RX que arrojó como resultado que las fases predominantes son la Goethita ($\alpha\text{-FeO.OH}$) y la Maghemita ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) con elevados grados de cristalinidad, lo cual nos confirma que uno de los componentes principales del rechazo de la Empresa Pedro Soto Alba empleado por nosotros en este trabajo tendrá esta composición .

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 demuestra 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 comparando los resultados con las normas técnicas para cada uno de los elementos elaborados con 100 % de rechazo validaron la propuesta del autor al cumplir con las exigencias técnicas.

Alien Céspedes (2010) en su trabajo de tesis de maestría Caracterización y perspectivas de uso de los desechos sólidos de la planta de pulpa de la Empresa Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A. como árido para la construcción, manifiesta que los desechos sólidos de esta industria pueden ser empleados como áridos para la construcción, ejemplo: fabricación de bloques huecos de hormigón. Este resultado se fundamenta en el uso de técnicas y materiales constructivos de mayor racionalidad económica, que se están utilizando en la construcción de viviendas y obras sociales.

Las investigaciones desarrolladas por Vijaya Kattel y Alien Céspedes (2010) facilitaron la caracterización técnica y la validación de los desechos serpentiniticos

como materiales de construcción alternativos, aunque solamente para la dosificación del 100 % del material de rechazo en los diferentes productos elaborados.

Los grandes desafíos de la sociedad actual recomiendan el uso integral de los recursos mineros aplicando las nuevas tendencias en materia de desarrollo sostenible, donde la actitud del hombre se convierta en la llave del éxito.

1.3. Caracterización del flujo tecnológico de la planta de preparación de pulpa de la Empresa Pedro Soto Alba- Moa Nickel SA

La planta de preparación de pulpa tiene como propósito primordial producir una pulpa acuosa del mineral laterítico a una concentración de 25 % de sólidos y recuperar las partículas de limonita de un tamaño menor de 0,84 mm (< 20 malla).

Durante el proceso de operación de la planta intervienen diferentes sistemas operacionales que influyen en el buen funcionamiento de la misma y con ello la efectividad en la obtención de la pulpa acuosa del material laterítico.

La planta de pulpa, diseñada con dos unidades iguales e individuales (Tren 1 y Tren 2), capaces de manipular la capacidad total de la planta. Cada uno de los trenes está compuesto por (1 tolva, 1 transportador de estera, 1 transportador de banda, 1 criba), dos (lavadoras, zarandas primarias) y cuatro zarandas secundarias.

El mineral se alimenta a la planta a través de camiones que parten de los frentes de minería que están en explotación. Sin embargo, cuando existen dificultades para transportar el mineral por algún problema ocasionado por las lluvias, se toma mineral de las pilas de almacenamiento situadas y conservadas en la parte trasera de la planta.

El mineral cae por gravedad a una tolva, cuyo tiempo de retención del mineral es de 9,9 minutos, la cual posee 9 martillos para uniformar la capa de mineral y además posee un juego de cadenas para romper los terrones grandes y amortiguar el golpe de las rocas que caen.

De las tolvas, el mineral cae a dos esteras de velocidad variable, las cuales controlan el tonelaje de mineral alimentado a la planta. Estas esteras conducen el mineral a dos transportadores de banda. La velocidad de estos transportadores es constante y tienen una inclinación de 15 grados cada uno.

El mineral es conducido a las cribas, aquí por primera vez se añade agua de forma atomizada con el objetivo de romper los terrones de mineral que pasaron a través del embudo y lavar las partículas de minerales que traen las rocas serpentínicas.

La pulpa con partículas menores de 127 mm (5 pulg.) cae por gravedad de las cribas vibratorias a las lavadoras de paletas, las cuales desmenuzan a la vez que lavan el mineral. Los pedazos de mineral de mayor tamaño quedan en las lavadoras, formando una cama y la pulpa de sólidos que salen alrededor de estas, divididas en dos corrientes, cae por gravedad a las zarandas primarias, las cuales son de mallas de 9,58 mm (3,8 pulg.).

El rechazo de la criba vibratoria mayor de 127 mm (5 pulg.) es llevado por medio de un transportador vibratorio a un cilindro lavador, el cual desmenuza los terrones, y lava la parte superficial de las rocas duras, las partículas mayores de 127 mm son rechazadas por el cilindro lavador o el molino de quijadas que las tritura para hacerlas similares a las partículas que vienen en el rechazo de las zarandas primarias y secundarias.

Las partículas mayores de 9,53 mm de composición serpentínica, son rechazadas por la zaranda primaria y van al transportador de rechazo y las menores de 9,53 mm se dividen en dos corrientes y caen a una zaranda secundaria.

Las zarandas secundarias separan las partículas $< 0,84$ mm formando una pulpa de 25 % de sólidos que alimentan por gravedad a la planta de espesadores de pulpa a través de una tubería de concreto de 24 pulgada de diámetro.

El rechazo de las zarandas secundarias de carácter serpentínico, se une al de las primeras, así como el producto del cilindro y van a los transportadores de rechazo, para pasar después al campo de mina, donde es almacenado para ser empleado fundamentalmente en relleno de caminos mineros o para la conformación de las bermas de seguridad en caminos principales y secundarios, aunque básicamente ocupa los espacios mineros que pudieran emplearse en las escombreras.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

CAPITULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se presenta la metodología seguida para realizar la caracterización de los desechos serpentiniticos derivados de la planta de preparación de pulpa de la Empresa Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A. y se realiza una caracterización geológica de los yacimientos que aportan estos desechos, tanto de la mina Moa Oriental como Zona A, además se realiza un estudio de las principales propiedades químico-físico-mecánicas de los desechos serpentiniticos lo que permite arribar a conclusiones respecto al mineral y su uso como material alternativo de construcción.

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron diferentes métodos tanto del nivel teórico como empíricos, los cuales se relacionan a continuación:

Métodos teóricos

Análisis y síntesis: se utiliza, durante todo el proceso investigativo, para el estudio y procesamiento de la información contenida en las fuentes bibliográficas, para caracterizar los desechos serpentiniticos de la industria y llegar a conclusiones.

Histórico-lógico: para determinar las tendencias que se manifiestan en el uso de los minerales serpentiniticos como materiales de construcción en el mundo y Cuba.

Inducción-deducción: para determinar las causas que provocan el problema científico y su posible solución.

Hipotético – deductivo: para enfocar el problema científico, la verificación de la hipótesis y el establecimiento de predicciones teóricas-prácticas.

Métodos prácticos

Fotografía laboral: monitoreo del material rechazado por la planta de beneficio durante el suministro de material serpentinitico desde la mina durante los meses de Enero-Abril del 2011.

Experimento: como método para valorar, preliminarmente, la composición química, física y mecánica de los desechos serpentiniticos, y la factibilidad práctica de su uso como material alternativo de construcción.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Caracterización geológica de los yacimientos que aportan los desechos serpentínicos

2.1.1. Características geográficas y geológicas del yacimiento Moa Oriental

El yacimiento Moa Oriental limita al Norte con la Empresa Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A, al Sur con el río Arroyón, al Este con el río los Lirios y al Oeste con el río Moa y Revuelta de los Chinos. Ocupa un área de unos 15 km², la mayor parte del yacimiento Moa Oriental y la parte septentrional de Camarioca Norte, en las coordenadas:

X: 698 000 Y: 215 000

X: 701 000 Y: 221 000

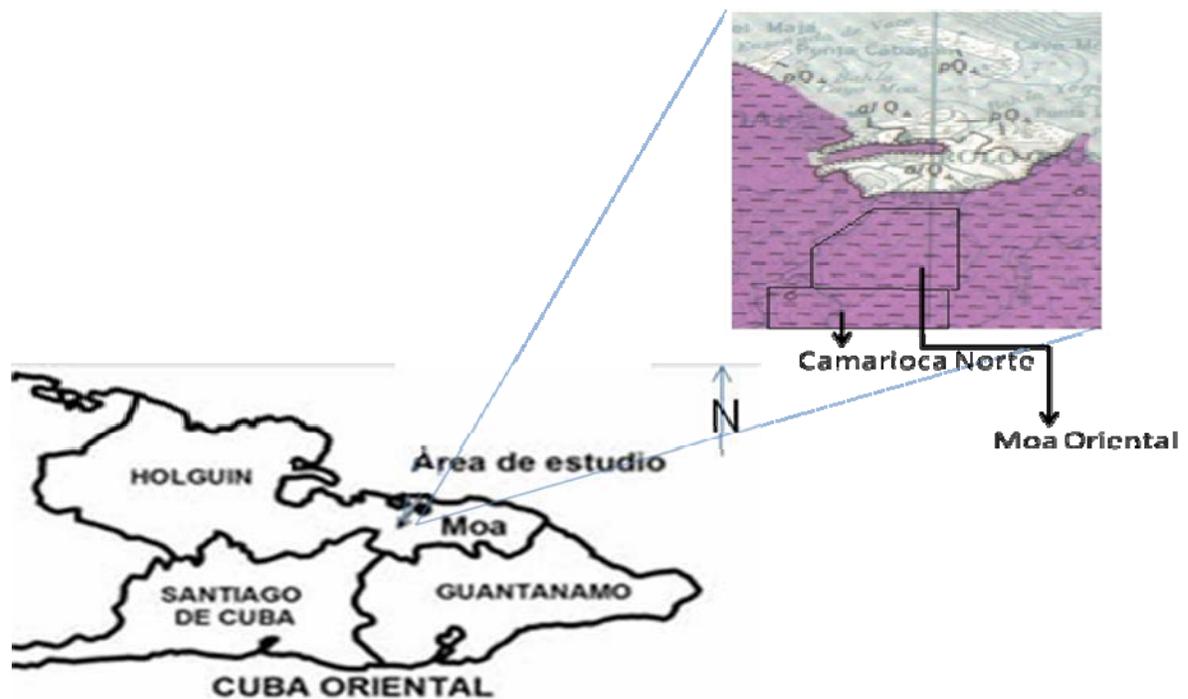


Figura 2. Ubicación del yacimiento Moa Oriental

Este yacimiento por su naturaleza es un depósito de carácter residual producto a la meteorización de las rocas del basamento. En este proceso de transformación han desempeñado un papel fundamental los agentes atmosféricos, hídricos y biogénicos los que dieron lugar al surgimiento de nuevas rocas (perfil de corteza de intemperismo) con textura, estructura y composición mineral y química propia.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El basamento de las áreas ocupadas por los yacimientos anteriormente mencionados está compuesto mayormente por harzburgitas serpentinizadas las cuales representan prácticamente más del 95 %. La superficie de dicha roca está ampliamente desarrollada por la corteza de intemperismo laterítico.

Características Estratigráficas

Las formaciones sedimentarias y vulcanógenas sedimentarias tienen una propagación al nivel de área muy reducida (no más del 10 % del territorio), entre las cuales se localizan las formaciones siguientes:

Cretácico Inferior (K₁): formación Santo Domingo, representada por relictos de diabasas, espilitas y porfiritas basálticas.

Cretácico Superior (K₂): formación La Picota (Maestrichtiano), formada por rocas terrígenas.

Cretácico Superior (K₂)- Paleoceno: formación Mícara de edad Maestrichtiano-Paleoceno, formada por areniscas tobáceas de granos medios y finos y aleurolitas tobáceas.

Eoceno (F₂): formación San Ignacio, representada por rocas aleurolitas arcillosas con inclusiones de calizas, areniscas carbonatadas y margas.

Depósitos Oligocénicos Micénicos (F₃-N₁) no clasificados: representados por calizas, conglomerados y areniscas.

Depósitos Cuaternarios: los más antiguos representados por calizas (CaCO₃) coralinas. Al sur del territorio se han establecido pequeños arcos de rocas metamórficas, principalmente compuestas por esquistos micáceos.

Características Tectónicas

Los yacimientos Moa - Oriental y Camarioca - Norte se encuentran bajo la influencia directa de una gran falla de primer orden que sigue la dirección del Río Moa, a partir de ella, se desarrolla otra estructura de segundo orden que sigue la dirección del arroyo los Lirios, ambas estructuras constituyen los límites del yacimiento por el Oeste y el Este respectivamente. A partir de estas dos grandes estructuras se desarrollan una red de fracturas en toda el área en forma de plumaje, las cuales tienen dirección predominante Noreste-Suroeste y Noroeste-Sureste.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Estas características fueron determinadas sobre la base de la interpretación de las fotos aéreas. A partir de las estructuras de primero y segundo orden se desarrolla en toda el área una red de estructuras en forma de plumaje, las cuales tienen dirección predominante Noreste-Noroeste. Los elementos tectónicos tienen carácter pre-mineral. Se llegó a esta conclusión tomando como base el grado de conservación de los cuerpos minerales, pues, en casos contrarios estos se hubieran desmembrado y destruido por los agentes erosivos.

El agrietamiento es una particularidad que usualmente se observa en las litologías presentes en el substrato de Moa - Oriental, al igual que en los demás yacimientos lateríticos de la región de Moa.

Características Geomorfológicas

El yacimiento de Moa Oriental, se encuentra ubicado dentro del bloque morfotectónico El Toldo (Rodríguez I.A. 1998), siendo este el de máxima extensión en la región y correspondiéndole también los máximos valores de levantamiento relativo. Dicho bloque litológicamente está conformado en superficie por las rocas máficas y ultrabásicas de la secuencia ofiolítica, sobre las cuales se ha desarrollado un relieve de montañas bajas de cimas aplanadas ligeramente diseccionadas. Específicamente el área ocupada por el yacimiento de Moa Oriental presenta una serie de características geomorfológicas que han permitido el desarrollo y conservación de una potente corteza de meteorización, representada por un manto esencialmente laterítico ligeramente continuo, que cubre una superficie de aproximadamente 8,2 km².

Características rocosas del substrato

Las litologías a partir de las cuales se formaron las potentes cortezas de intemperismo que hoy aparecen, están constituidas fundamentalmente por harzburgitas serpentinizadas y subordinadamente gabros y dunita.

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

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

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 primarios a veces representan entre el 5 y 30 %, en raros casos pueden alcanzar hasta 50 %. En pequeñas cantidades aparecen en su composición cromo espinelas y magnetita en forma de granos independientes y pequeños agregados, ver tabla 2.

Tabla 2. Composición química de las harzburgitas serpentinizadas del basamento del yacimiento.

Sector	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	FeO	CaO	MgO	MnO	Cr₂O₃	NiO	Otros
Norte	36,93	0,81	9,05	1,92	0,45	33,56	0,15	0,20	0,32	16,61
Centro	41,07	0,40	6,95	1,20	0,31	36,15	0,09	0,26	0,28	13,29
Sur	39,22	0,68	7,20	1,41	0,39	35,48	0,10	0,31	0,38	14,83

Los gabroides que se encontraron en el basamento del yacimiento macroscópicamente se caracterizan por presentar una estructura masiva, siendo rocas densas y compactas. El color de la roca fresca es jaspeado, con tonalidades claras y oscuras en relación directa con su composición mineralógica.

Además durante los trabajos de campo se pudo comprobar la existencia en el área del yacimiento de un pequeño cuerpo de dunitas, a las cuales se asocia un lente de cromititas. Las dunitas que se encontraron macroscópicamente se caracterizan por ser rocas densas y masivas de grano medio a fino. El color de la roca fresca es gris verdoso.

Características de las cortezas

En los yacimientos predominan las cortezas de intemperismo bien desarrolladas (in situ) con horizontes bastante estables y con una variabilidad relativamente alta de los

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

horizontes serpentínicos y en zonas de pendientes más fuertes y de más rápido intercambio de las aguas se observa una reducción en el perfil litológico de intemperismo, apareciendo perfiles de estructuras reducidas.

Las cortezas del yacimiento Moa Oriental presentan una potencia que varía desde 0 hasta 42 m, teniendo como promedio 10,6 m, y predominando las potencias entre 2 y 12 m, véase la tabla 3.

Tabla 3. Potencias de las cortezas del yacimiento Moa Oriental

Variables	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
Pot. Total de la corteza (m)	0	42	10,6	6,61
Pot. De escombros Superior (m)	0	26	2,57	3,55
Pot. De mineral útil (m)	0	30	4,4	4,17
Pot. De Serpentina lixiviada (m)	0	6	0,03	0,25
Pot. De intercalaciones no indicadas (m)	0	7	0,21	0,58

2.1.2. Características geográficas y geológicas del yacimiento Zona-A

El yacimiento Zona A ocupa un área de 4.7 km² el mismo está ubicado en el municipio Moa de la provincia de Holguín y pertenece a la concesión minera de Pedro Sotto Alba- Moa Nickel S.A. Se ubica al Noroeste del grupo de los yacimientos lateríticos de Moa, limitado por el Norte con el río Cabañas, por el Este con el yacimiento Zona Central-Septentrional, por el Oeste con las áreas de la fábrica de níquel Pedro Sotto Alba- Moa Nickel S.A. y el valle del río Moa el cual lo separa del yacimiento Moa Oriental.

Los límites del yacimiento Zona A según las coordenadas Lambert son:

X: 219172 Y: 695360

X: 221291 Y: 697760

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Características geológicas

Sub-zona de ocre inestructurales con concreciones (litología 1)

Está representada por el producto final del intemperismo en forma de óxido e hidróxido de hierro, apareciendo como una masa de color rojo oscuro, deleznable que con la profundidad se va haciendo más compacta, con alta concentración de concreciones de hierro de color negro a pardo oscuro rojizo en ocasiones subredondeados con diámetro desde 0,02 mm hasta 2 cm. También es frecuente la presencia de corazas en forma de fragmentos irregulares o de bloques compactos que llegan a alcanzar hasta 1 m de espesor, la potencia promedio de este horizonte es de 3,98 m y su representatividad en el yacimiento es de un 26,1 % de la potencia total, a él se asocian las menas ferrosas FF y en menor grado las LF (menas limoníticas), es visible la mineralización de cromitas. Los datos de quimismo y mineralogía se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Composición media mineralógica y química, en % (litología 1).

Composición mineralógica	Composición química (%)	
Goethita	Ni	0,5
Gibbsita	Fe	44,81
Cromita	Co	0,039
Cuarzo	Mg	0,3
Minerales del grupo de la serpentina	Al	6,25
Minerales arcillosos	Mn	0,56
Minerales de manganeso	Cr	2,15
Magnetita	SiO ₂	3,45

Sub-zona de ocre inestructurales sin perdigones (litología 2)

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Está representada por ocre de color rojo oscuro más compacto, por la presencia de mayores concentraciones de minerales arcillosos y en cuya masa aparecen corazas en fragmentos irregulares en ocasiones muy silicificados.

La potencia media de este horizonte es de 2,87 m y su representatividad es de 18,8 % del total del perfil litológico de la corteza, a este horizonte se asocian fundamentalmente menas limoníticas LF, menas ferrosas FF y en menor grado menas limoníticas LB, también es visible la mineralización de cromitas aunque en menor grado que el horizonte que lo precede, en este horizonte se encuentra la mayor mineralización de cuarzo de todo el perfil.

Tabla 5. Composición media mineralógica y química en % (litología 2)

Composición mineralógica (%)		Composición química (%)	
Goethita	68,55	Ni	0,84
Gibbsita	11,11	Fe	46,4
Cromita	2,80	Co	0,117
Cuarzo	9,10	Mg	0,49
Minerales Serpentiníticos	1,91	Al	4,52
Minerales Arcillosos	3,80	Mn	0,8
Minerales de Manganeso	1,10	Cr	1,92
Magnetita	0,66	SiO ₂	11,56

.Sub-zona de ocre estructurales finales (litología 3)

Está representada por ocre de colores pardos amarillentos oscuros, más arcillosos que los ocre inestructurales, donde aparecen relictos de las estructuras iniciales en forma de vetillas finas muy meteorizadas de manganeso, este también aparece en forma de pequeños nódulos irregulares, y es notable la presencia de sílice en forma de polvillo muy fino, es la sub-zona u horizonte de mayor representatividad en el corte litológico con 37,5 % y su potencia media es de 5,7 m y desde el punto de vista menífero es el más importante, pues, existen las mayores concentraciones de Ni y Co y a él se asocian fundamentalmente las menas limoníticas LB y en menor grado

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

menas SB con contenido promedio de hierro de 30 %, menas LF y SF (con alto contenido de cuarzo).

Tabla 6. Composición media mineralógica y química en % (litología 3)

Composición mineralógica (%)		Composición química (%)	
Goethita	68,55	Ni	1,21
Gibbsita	11,11	Fe	42,5
Cromita	2,73	Co	0,129
Cuarzo	7,20	Mg	0,8
Minerales Serpentiníticos	3,19	Al	4,09
Minerales Arcillosos	6,70	Mn	0,94
Minerales de Manganeso	1,30	Cr	1,87
Magnetita	0,67	SiO ₂	10,72

Sub-zona de ocres estructurales iniciales (litología 4)

Está representada por ocres de color amarillo pardo con tonalidades verdosas muy arcillosas, en las que aparecen pequeños fragmentos de serpentinitas con las estructuras iniciales pero muy meteorizadas.

Su potencia media es de 1,71 m y su representatividad en el perfil litológico es de 11,26 %, no siempre aparece; alcanza su mayor desarrollo hacia el Oeste del yacimiento en los bloques O-29, Q-29 y S-29, a él se asocian las menas serpentiniticas SB.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Tabla 7. Composición media mineralógica y química en % (litología 4)

Composición mineralógica (%)		Composición química (%)	
Goethita	36,92	Ni	1,16
Gibbsita	8,14	Fe	21,33
Cromita	1,48	Co	0,049
Cuarzo	8,14	Mg	7,53
Minerales Serpentiníticos	28,62	Al	6,39
Minerales Arcillosos	19,57	Mn	0,46
Minerales de Manganeso	0,67	Cr	1,01
Magnetita	4,17	SiO ₂	20,42

Zona de serpentinitas lixiviadas y ocretizadas (litología 5)

Es una zona de transición entre las rocas compactas, duras, a rocas más meteorizadas, es el comienzo de la ocretización; está representada por rocas lixiviadas de color verde claro con coloración pardo amarillento, atravesadas por vetillas de cuarzo, son semiduras friables, en ocasiones aparecen parcialmente ocretizadas.

Este horizonte es muy discontinuo, con una potencia media no mayor de 0,69 m y su representatividad en el perfil litológico es de 4,6 % por lo que es poco significativo, con el se vinculan las menas de SD, las cuales son poco abundantes y en menor grado menas SB y algunas SF.

Tabla 8. Composición media mineralógica y química en % (litología 5)

Composición mineralógica (%)		Composición química (%)	
Goethita	25,79	Ni	0,94
Gibbsita	5,46	Fe	11,67
Cromita	1,4	Co	0,026
Cuarzo	2,25	Mg	11,14
Minerales Serpentiníticos	43,26	Al	2,97
Minerales de Manganeso	0,46	Cr	0,96
Magnetita	2,24	SiO ₂	29,83

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Sub-zona de roca dura o serpentinitas desintegradas (litología 6)

Representadas por hazburgitas serpentínizadas y serpentinas hazburgitas, que aparecen masivas, muy agrietadas, de color gris oscuro verdoso, constituido en el caso de serpentinas hazburgitas por minerales de serpentina (serpofita, lizardita, antigorita) relictos de olivinos alterados a clorita y piroxeno bastitizados. Las hazburgitas serpentínizadas constituidas fundamentalmente por olivino poco serpentínizado, minerales de serpentina y piroxeno.

Tabla 9. Composición media mineralógica y química en % (litología 6)

Composición mineralógica (%)		Composición química (%)	
Goethita	7,80	Ni	0,4
Gibbsita	1,04	Fe	8,05
Cromita	0,36	Co	0,02
Cuarzo	5,49	Mg	21,75
Minerales Serpentiníticos	73,94	Al	0,58
Minerales Arcillosos	6,50	Mn	0,07
Minerales de Manganeso	0,11	Cr	0,25
Magnetita	3,02	SiO ₂	38,06

Características hidrogeológicas

El yacimiento Zona-A se encuentra formando parte de un monoclinal en dirección Norte a Sur con pendientes suaves de 5 a 20 grados, las elevaciones varían desde 17 a 164 m siendo las mayores hacia el Sur y Este. En toda su extensión se encuentra surcado por siete cursos superficiales de 2do orden que drenan sus aguas en dirección Sur-Norte hacia el río Cabañas. Las precipitaciones atmosféricas, determinan la aparición de las principales fuentes de abasto a los horizontes acuíferos. Existe complejidad desde el punto de vista hidrogeológico, dado por la presencia de aguas subterráneas en los niveles inferiores del perfil laterítico, los niveles de estas aguas subterráneas presentan diferentes profundidad dentro del yacimiento que van desde los 18 m máximos hasta 1 m en los niveles mínimos, coincidiendo este último con la zona de aluviales del río Cabañas hacia el límite Este.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Teniendo en cuenta el pH de las aguas subterráneas presentes en el yacimiento se puede establecer tres zonas principales, la primera zona está ubicada en el Norte y Este del yacimiento, en áreas cercanas a la Empresa Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A. donde predominan las aguas ácidas, la segunda está definida en la zona central caracterizada por la presencia de aguas ligeramente ácidas, la tercera zona está definida hacia la parte Suroeste del yacimiento donde se encuentran aguas con pH neutros a ligeramente básicas. Las oscilaciones promedio de los niveles de las aguas subterráneas teniendo en cuenta los períodos de máxima y mínima precipitación van desde 1 m hasta 6,7 m.

Presas de rechazo antiguas

El área de trabajo abarca una extensión total de 294,26 ha, dividido en dos áreas denominadas Presa de Rechazo Vieja y Presa de Rechazo Nueva. Las cotas en la Presa Vieja oscilan entre 127,6 hasta 181,7 caracterizados por dos sectores uno hacia el Este con pendientes abruptas hacia el río Moa definida por un sistema de cárcavas que cortan el depósito hasta su base.

La Presa Nueva tiene valores de cotas que varían de 179,3 hasta 206,4 sobre el nivel del mar, con pendiente suave E-W. En general, el nivel de variabilidad de los parámetros fundamentales se mantiene en la categoría de muy estable (muy homogéneo), tanto para la Presa Nueva como para la Presa Vieja, destacándose la potencia del cuerpo mineral como el parámetro más variable de estos depósitos.

Los niveles de concentración de los elementos útiles (Níquel y Cobalto) en el material de ambas presas es tal que todos los pozos cumplen la condición fundamental de cálculo para el mineral de balance: Ni+1 % y Fe+35 %, aunque cabe destacar que las concentración de Magnesio (Mg) son mayores de 1 % en la abrumadora mayoría (97 %) de los pozos, o sea, son generalmente muy superiores a 0,7 %, lo que es perjudicial a la eficiencia del proceso metalúrgico. El valor del promedio aritmético de los siguientes parámetros fundamentales para cada presa se indica a continuación, siendo las unidades de medidas las siguientes: los contenidos, en % de peso seco; la potencia en metros; el peso volumétrico seco en t/m^3 y la velocidad de sedimentación en mm/2h.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Atendiendo a los valores promedios de la composición química, se puede afirmar que el material de las presas de rechazos es equivalente al material de la mena LB cruda que comúnmente se encuentra en los yacimientos lateríticos de Cuba Oriental. La velocidad de sedimentación del material de rechazo de las presas es en ambos casos favorable, ya que sobrepasa ampliamente los 140 mm/2h, siendo como promedio alrededor de 160 mm/2h para estas presas.

En cuanto al contenido de fracciones por encima y debajo de 20 mallas en este material, existe una mayor proporción de la granulometría fina (< 20 mallas) en ambas presas en relación a la fracción de mayor granulometría, siendo respectivamente para las presas Nueva y Vieja de 54,65 % con 34,58 % de fluctuación entorno al valor medio; 64,52 % con 17,05 % de variación respecto a la media. Por tanto, existe mayor cantidad de material fino en la presa Vieja que en la Nueva.

2.2. Estudios de las propiedades químico-físico-mecánicas de los desechos serpentínicos

En este epígrafe se realiza un estudio de las principales propiedades químico-físico-mecánica de los desechos serpentínicos, describiendo las principales operaciones realizadas, como la toma de las muestras y los principales ensayos relacionados con propiedades químico-físico-mecánica del mineral.

2.2.1. Toma y preparación de las muestras

Se realizó el muestreo en el período de 7 días, con un intervalo de tiempo de 24 horas dividido en dos turnos de trabajo de 12 horas cada uno, en correspondencia con el mismo tiempo que laboró la planta en este período.

Se ubicó el personal técnico calificado en el embudo que descarga el rechazo que viene desde el CO-5 (transportador de desechos) el cual vierte el rechazo al embudo, y luego pasa a CO-13 para conformar la pila de material de rechazo.

Se realizó un muestreo continuo cada 30 minutos, tomándose una muestra de 0,6 kg, para un total de 1,2 kg/hora, conformándose una muestra representativa de 201,6 kg en todo el periodo analizado.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Con el auxilio de una pala, que se ubicó en el embudo donde caía el rechazo del CO-13 se fue tomando el material de rechazo y luego se vertía en un cubo plástico de capacidad de 10 litros. Existía gran cantidad de material arcilloso limonítico que era de material rocoso en forma de gravilla o arena, las cuales después de ser tomadas como muestras primarias se guardó en un saco de nylon hasta conformar una muestra de peso y volumen total, la cual fue etiquetada e identificada con los siguientes datos:

1. Número de la muestra.
2. Análisis a realizar.
3. Hora de toma.

Se tomó en total 18 sacos de muestras durante los 7 días de trabajo a las cuales se les determinó los análisis químicos separados por su granulometría y los ensayos necesarios para determinar sus propiedades físico - mecánicas, granulometría, impureza orgánica etc.

Una vez formada la muestra integral, fue trasladada al laboratorio de la ECRIN y a otros laboratorios, Pedro Soto Alba, Ernesto Che Guevara, CEDINIQ donde se realizó un lavado intenso para quitar los elementos lateríticos que están presentes en el rechazo y se secó durante 24 horas para realizar diferentes ensayos.

2.3 Determinación de las propiedades químico-físico-mecánicas de los desechos serpentiniticos

Los análisis realizados en el laboratorio de áridos de la Empresa ECRIN y en el laboratorio de CTDMC para determinar las propiedades de los áridos fueron:

1. Determinación de la composición química.
2. Determinación de la granulometría de las partículas.
3. Determinación de la impureza orgánica.
4. Determinación propiedades físico – mecánicas de los áridos.
5. Determinación de la reacción Árido - Álcalis.
6. Determinación de la estabilidad a la acción del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio.
7. Determinación de la durabilidad al intemperismo.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ensayos para la determinación de las propiedades geométricas

Determinación de la granulometría de las partículas, según la NC 178:2002.

Áridos.

El procedimiento se basa en la determinación de las fracciones granulométricas de los áridos, por medio de un movimiento lateral y vertical del tamiz, acompañado de una acción de sacudida de manera que la muestra se mueva continuamente sobre la superficie de los tamices, mediante la utilización de la tamizadora eléctrica mostrada en la figura 3 y el tiempo de tamizado de las muestras fue de 15 minutos.

Las muestras se obtuvieron por el sistema de cuarteado, con el objetivo de lograr una mayor homogenización de las muestras y esta a su vez sea más representativa.



Figura 3. Tamizadora Eléctrica

La muestra de material se separó en una serie de tamaño usando para ello los tamices siguientes (12,7 mm; 9,52 mm; 4,76 mm; 2,38 mm; 1,19 mm) para el caso del material grueso, y para el material fino (9,52 mm; 4,76 mm; 2,38 mm; 1,18 mm; 0,598 mm; 0,3 mm; 0,149 mm), de acuerdo con las especificaciones para el uso del material que se ensaya.

Finalmente se obtienen dos tablas con las mismas características, con la diferencia de que una es para representar el resultado final de la granulometría del material fino y la otra es para el material grueso.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación se explica el contenido de la tabla 10.

Tabla 10. Determinación granulométrica para árido fino y grueso según (NC 178:2002).

Tamices		Peso retenido (g)	Peso acumulado (g)	% Real acumulado	% Pasado
No.	mm	X1	Y1=X1	Z1=(Y1/Xtotal)*100	C1=100-Z1
.....	.....	X2	Y2=Y1+X2	Z2=(Y2/Xtotal)*100	C2=100-Z2
.....	.....	X3	Y3=Y2+X3	Z3=(Y3/Xtotal)*100	C3=100-Z3
.....	.....	X4	Y4=Y3+X4	Z4=(Y4/Xtotal)*100	C4=100-Z4
.....	.....	X5	Y5=Y4+X5	Z5=(Y5/Xtotal)*100	C5=100-Z5
.....	.....	X6	Y6=Y5+X6	Z6=(Y6/Xtotal)*100	C6=100-Z6
		Xtotal			

La primera columna representa el número de los tamices y la segunda la serie de tamices dado en mm, que usamos para el material fino y grueso para la realización de este ensayo granulométrico. En la tercera columna tendremos el peso retenido en cada tamiz (RPA), en la cuarta columna el peso real acumulado (RA), y se obtiene mediante la forma establecida en la tabla, en la quinta columna tendremos el porcentaje real acumulados (% RA) y se calcula de la siguiente forma:

$$Z1; \dots Z6 = \left(\frac{Y1; \dots Y6}{X_{total}} \right) 100$$

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Por último en la sexta columna tendremos el por ciento pasado del tamiz el cual se obtuvo de la siguiente forma: C1...C6=100-Z1...Z6.

Determinación de las impurezas orgánicas, según la NC 185:2002. Arena

Este procedimiento se basa en la comparación colorimétrica de la solución obtenida en el ensayo, conteniendo las materias orgánicas presentes en la arena con una solución patrón. Mediante el cuarteo se prepara una muestra representativa de 500 g del material que se desea ensayar. En una probeta graduada de 200 cm³ se vierten 100 cm³ de arena.

Se añade la solución de hidróxido de sodio al 3 % hasta completar 150 cm³. La probeta se tapa y se agita vigorosamente. Se deja en reposo durante 24 horas. Se compara el color del líquido que sobrenada por encima de la muestra con los colores que contienen la placa patrón, manteniendo esta placa al lado de la probeta, para comparar estos colores con el color del líquido obtenido en la muestra. El resultado es satisfactorio si el color de la muestra ensayada es más débil que el color de la placa patrón.

Determinación de las propiedades físico- mecánicas de los áridos

Determinación del peso específico y absorción de agua, según la NC 187:2002.

Arena

Los pesos específicos y la absorción de agua se obtienen por medio del pesaje de la arena en estado seco y saturado en agua. Se introducen inmediatamente en un frasco volumétrico 500 g de la muestra, añadiendo agua destilada hasta un poco por debajo de la marca del enrase del frasco. Para eliminar las burbujas que hayan quedado en el frasco se pueden aplicar los siguientes métodos de operación:

- a) El frasco se somete al Baño de María y se mantiene en ebullición durante 2 horas aproximadamente hasta que sean expulsadas todas las burbujas. El equipo que se utiliza para este ensayo se puede apreciar en la fotografía siguiente.
- b) Se coloca el frasco volumétrico sobre una superficie plana, se inclina unos 30 ° y se hace rodar con rapidez sobre la misma, sujetándolo por la boca hasta que sean expulsadas todas las burbujas.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Después se coloca en un baño de agua durante una hora aproximadamente, hasta alcanzar la temperatura ambiente. Al final de ese tiempo se añade agua destilada hasta alcanzar el enrase y se determina el peso total con un error menor de 0,01 g. A continuación se extrae la arena del frasco volumétrico y se deseca a peso constante en una estufa cuya temperatura esté comprendida entre 105 °C y 110 °C. Se deja enfriar a la temperatura ambiente y se pesa con un error menor de 0,01 g.



Figura 4. Equipo eléctrico.

El peso específico de las partículas desecadas, incluyendo en el volumen, los poros accesibles al agua y los no accesibles, se calcula aplicando la fórmula siguiente:

$$\text{Peso específico corriente} = \frac{A}{C + B - C_1} \dots\dots\dots (13)$$

Donde:

A: Peso de la muestra secada en la estufa (g)

B: Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)

C: Peso del frasco lleno con agua (g)

C1: Peso del frasco con la muestra y agua hasta la marca del enrase. (g)

Peso específico saturado

El peso específico de las partículas saturadas de agua y con la superficie seca, incluyendo en el volumen los poros accesibles al agua y los no accesibles, se calcula aplicando la formula siguiente:

$$\text{Peso específico saturado} = \frac{B}{C + B - C_1} \dots\dots\dots (14)$$

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Donde:

B: Peso en gramos de la muestra saturada con superficie seca

C: Peso en gramos del frasco lleno con agua

C1: Peso en gramos del frasco con la muestra y agua hasta la marca del enrase

Peso específico aparente

El peso específico de las partículas secadas incluyendo en el volumen sólo los poros inaccesibles al agua, se calcula aplicando la fórmula siguiente:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{C + A - C_1} \dots\dots\dots (15)$$

Donde:

A: Peso en gramos de la muestra secada en la estufa

C: Peso en gramos del frasco lleno con agua

C1: Peso en gramos del frasco con la muestra y agua hasta la marca del enrase

Absorción

El por ciento de agua absorbida por la arena seca, se calculará aplicando la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de absorción: } \frac{B - A}{A} \cdot 100 \dots\dots\dots (16)$$

Donde:

A: Peso en gramos de la muestra secada en la estufa

B: Peso en gramos de la muestra saturada con superficie seca

Árido Grueso

Los pesos específicos y la absorción de agua en los áridos gruesos se determinan por medio de pesadas. Por el método de cuarteo se selecciona una muestra de 5 kg del árido, donde se separa todo el material que pasa por el tamiz de 9,52 mm. Si la calidad del material es homogénea, se puede emplear para realizar el ensayo, el retenido en el tamiz de 25,4 mm. Según la Norma Cubana 187-2002.

Después de haber lavado bien el árido, para quitarle laterita o cualquier otro material adherido a la superficie de las partículas, se seca la muestra hasta obtener el peso

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

constante a una temperatura de 105 - 110 ° C. La muestra se sumerge en agua a temperatura ambiente durante 24 horas. Después del período 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 la superficie aparezca todavía húmeda.

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 de agua. Se seca en la estufa hasta obtener el peso constante a una temperatura de 105 - 110 °C, y se deja enfriar a temperatura ambiente y luego 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. Se seca en la estufa hasta lograr tener su peso constante a una temperatura de 105 - 110 °C, y se deja enfriar a temperatura ambiente, luego se pesa en el aire.

Método de la balanza hidrostática

El método de la balanza hidrostática esta basado en el principio de Arquímedes, que establece que cuando un objeto se sumerge total o parcialmente en un líquido, éste experimenta un empuje hacia arriba igual al peso del líquido desalojado.

En resumen, este método se basa en determinar los pesos específicos y la absorción de agua en los áridos gruesos por medio de pesadas.

Se determina el peso seco de la muestra y el peso saturado y superficialmente seco, colocándose inmediatamente después en un cesto de alambre o cubo metálico para determinar su peso dentro del agua.

Se utiliza para ello una balanza hidrostática, como se muestra en la figura 5 o una balanza que permita utilizar un dispositivo para colgar el cesto en el centro del platillo de la balanza y un recipiente de tamaño apropiado para poder sumergir el cesto metálico que se muestra en la figura 6.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS



Figura 5. Balanza Hidrostática



Figura 6. Cesto Metálico

El método no se considera aplicable a los áridos ligeros altamente porosos, debido a las dificultades envueltas en el secado adecuado de las partículas de superficies muy irregulares y porosas.

El secado de las superficies de los áridos de peso normal es también difícil y debe tenerse cuidado, si se presentan superficies rugosas e irregulares para obtener resultados consistentes:

1. Las balanzas deberán ser adecuadas para pesar la cantidad de material requerido.
2. El contenedor para sostener la muestra deberá ser sumergida hasta la profundidad que permita cubrir el contenedor todo el tiempo.
3. El aro de alambres que soporta el contenedor deberá ser de la menor dimensión posible a fin de disminuir los efectos de variaciones en la inmersión por el largo del soporte.
4. El aire atrapado deberá ser liberado de la muestra ante de determinar el peso de la muestra inmersa mediante movimientos del contenedor mientras se sumerge.
5. Debido a las dificultades del secado de las superficies de las partículas más finas contenidas muestras para ensayos de áridos gruesos, los materiales más finos que el tamiz de abertura 4,76 mm deberá ser eliminado.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

6. El método de ensayo proporciona los procedimientos para la separación de los materiales contenido en el tamiz de abertura 2,36 mm para los áridos gruesos muy finos.
7. Cuando el resultado de los ensayos serán usados para la proporción de mezclas de hormigón con áridos en condiciones húmedas, el secado de los áridos hasta peso constante al inicio del ensayo puede ser eliminado.
8. El peso seco en estufa no es necesario si la determinación del peso saturado con la superficie seca brinda suficiente información.
9. El secado en estufa pudiera ser necesario para determinar la absorción de los áridos.
10. El uso de los áridos sin secado antes de su humedecimiento cuando se emplean áridos de alta absorción se considera preferible, debido que el secado en estufa antes del ensayo puede remover la humedad que no puede recuperarse en 24 horas de humedecimiento.

Peso específico corriente

Es el peso específico de las partículas desecadas, incluyendo en el volumen los poros accesibles al agua y los no accesibles. Se calcula aplicando la fórmula siguiente:

$$\text{Peso específico corriente} = \frac{A}{B - C} \dots\dots\dots (17)$$

Donde:

A = Peso en el aire de la muestra secada en estufa (g)

B = Peso en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca (g)

C = Peso en el agua de la muestra saturada (g)

Peso específico saturado

El peso específico de las partículas saturadas de agua y con la superficie seca se determina aplicando la expresión siguiente:

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

$$\text{Peso específico saturado} = \frac{B}{B - C} \dots\dots\dots (18)$$

Donde:

B = Peso en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca (g)

C = Peso en el agua de la muestra saturada (g)

Peso específico aparente

El peso específico de las partículas secadas en estufa, incluyendo en el volumen sólo los poros inaccesibles al agua, se calcula aplicando la fórmula siguiente:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A - C} \dots\dots\dots (19)$$

Donde:

A = Peso en el aire de la muestra secada en estufa (g)

C = Peso en el agua de la muestra saturada (g)

b) Determinación del peso volumétrico suelto y compactado, y cálculo del porcentaje de huecos.

Los pesos volumétricos se determinan por medio de pesadas del material contenido en recipientes calibrados de volumen conocido. 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 un factor de calibración.

Los materiales granulares pueden presentar muy diversos pesos unitarios en dependencia del grado de compactación que alcancen en el volumen cubicado y esto se hará más crítico mientras el tamaño de los granos sean más pequeños.

Atendiendo a lo antes expuesto se identifican dos tipos de pesos unitarios. El peso unitario suelto (PUS), en que el material se vierte suelto, sin compactar en el volumen bien cubicado y tarado.

El recipiente o medida debe llenarse hasta desbordarse por medio de una pala o cuchara. El árido sobrante debe enrasarse a nivel con el borde del recipiente utilizando una regla de bordes rectos y fuertes. En los casos de los áridos finos podrá utilizarse también la varilla de compactación como rasero, sin que se haga girar la misma. Y el peso unitario compactado (PUC), en el que el material se vierte en tres

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

capas y se compacta con golpes de una varilla de acero que tiene características normativas (en cuanto a diámetro y longitud) con el borde inferior semiesférico.

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 sólo en el espesor de las mismas. Después se enrasa la superficie del árido con una regla de bordes rectos y fuertes. Esta operación se ayudará en los áridos gruesos, retirando las partículas que sobresalgan considerablemente y para compensar los huecos que queden en la superficie llenarlos con partículas más pequeñas hasta nivelar la superficie.

Nota: En todas las determinaciones, los áridos se descargarán desde una altura no mayor de 50 mm sobre la parte superior del recipiente y en el centro de la medida, evitando con ello la segregación de las partículas, ver figura 7.



Figura 7. Llenado y compactación con barra del recipiente de medición del peso volumétrico.

Luego de haber realizado todo este procedimiento descrito anteriormente, obtendremos todos los datos necesarios reflejados en la tabla 11 para determinar el peso volumétrico suelto y compactado para el material fino y grueso.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Tabla 11. Pesos unitarios suelto y compactado NC 181:2002

	Peso volumétrico		
	Suelto	Compactado	
A	Peso del recipiente
B	Peso del recipiente mas agua
C= B-A	Peso neto del agua
T	Temperatura del agua
D	Peso volumétrico del agua según la temp. (NC 181:2002 Pág. 2)
E= D/C	Factor de calibración
F	Peso de la muestra mas recipiente
G= F-A	Peso neto de la muestra
H= G*E	Peso volumétrico

Los pesos unitarios de los áridos finos y gruesos se determinan según los requerimientos de la NC 181:2002

Los pesos unitarios de los áridos se emplean para establecer relaciones prácticas entre volumen y peso de los áridos y para pasar las dosificaciones de gravimétricas a volumétricas.

El peso unitario se emplea además en el cálculo del porcentaje de vacíos o de huecos, que no es más que una medida en por ciento del volumen total, de la cantidad de vacíos que queda entre los áridos después de que éstos se han acomodado.

En el hormigón convencional el porcentaje de vacíos es una medida bastante aproximada del volumen que debe ser ocupado por el mortero o por la pasta de cemento, en dependencia de si se trata del árido grueso o fino respectivamente. Es por ello que este parámetro se utiliza en algunos métodos de dosificación para establecer los porcentajes adecuados en peso de árido grueso y fino para alcanzar por tanteo un mínimo porcentaje de vacíos en la combinación de ambos y con ello tratar de obtener un contenido mínimo de cemento.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El porcentaje de vacíos o huecos se determina según los requerimientos de la norma cubana NC 177:2002. A partir de la determinación del peso específico corriente y el peso volumétrico compactado, según la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de huecos} = \left(\frac{PEC - PVC}{PEC} \right) \times 100$$

Donde:

PEC - Peso específico corriente del árido

PVC - Peso volumétrico compactado del árido

Los resultados se expresan con una aproximación de dos cifras decimales.

Determinación de la estabilidad a la acción del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio

El material de rechazo a estudiar, para su uso como material de construcción se hace necesario conocer si la roca es capaz de resistir ataques del intemperismo, así como su reactividad con los álcalis del cemento.

En el caso de la resistencia al intemperismo, a pesar que la roca está confinada dentro de una matriz cementicia, su importancia se debe a la probabilidad de deterioro que puede causar la lluvia, temperatura y agentes externos al quedar expuesta. Si la piedra o roca tiene degradación el hormigón se deteriora, ocurren grietas y oquedades que debilitan su resistencia, además de permitir la penetración de agentes oxidantes que deterioran los aceros de refuerzos.

En el caso de la reactividad a los álcalis provenientes del cemento, esta reacción por formación de cristales salinos de mayor volumen provoca figuraciones que hacen fallar la estructura de hormigón.

Este ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia a la desintegración que presentan los áridos 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 0⁰ C.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se efectúa según los requerimientos de la NC 183:2002 y consiste en someter la muestra de áridos a una solución de sulfato de sodio o de manganeso en cierta concentración, durante un período 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 y determinar las pérdidas que sufren estos áridos después del tiempo comprendido.

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

Determinación de la reacción Árido - Álcalis

Este ensayo consiste en 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. El árido empleado en la producción de hormigones no debe tener ningún tipo de compuesto que sea potencialmente reactivo con los álcalis del cemento, pues esto para el hormigón es como 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 una atmósfera húmeda permanente, como es el caso de los cementos, por ejemplo:

En Cuba no están normalizados aún los métodos de ensayo para establecer la potencialidad reactiva de los áridos, pero en el mundo en general se emplean 3 métodos de ensayo: El análisis petrográfico de los áridos 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

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

finalmente el método concluyente: la elaboración de prismas de hormigón que se somete a ciclos de humedecimiento y secado o atmósfera 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 %.

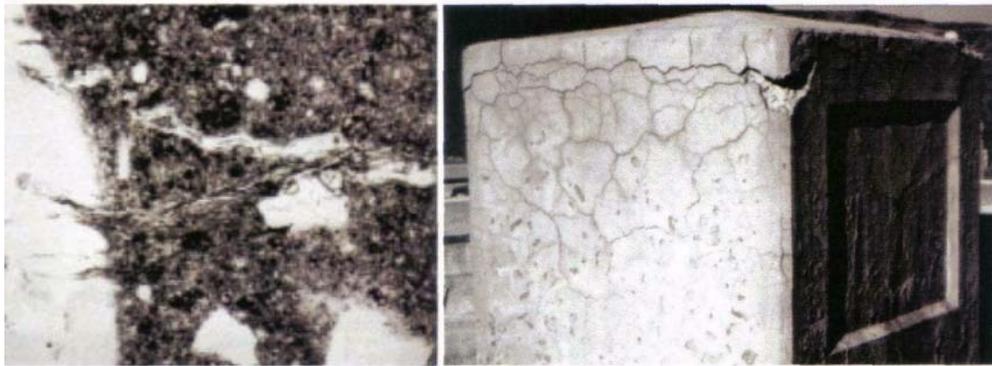


Figura 8. Micro fisuras ocurridas por la expansión provocada por la reactividad árido-álcali.

Determinación de la durabilidad al intemperismo

Para tener un criterio sobre el comportamiento de las muestra 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, es decir condiciones que no se reproducen en la realidad, lo cual garantiza que haya márgenes amplios de seguridad a la hora de dar criterio.

Consiste en someter una muestra a 10 ciclos de:

1. Inmersión en solución de cloruro de sodio al 15 % durante 24 horas.
2. Secado a 90 °C durante 24 horas.

Después de terminar cada ciclo de secado se determina el peso determinando la pérdida peso en el tiempo, lo cual indica en condiciones extremas que destrucción puede tener la roca.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

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

Ensayos realizados a los productos obtenidos de los rechazos

A continuación expondremos los procedimientos de los ensayos realizados a los productos obtenidos representados por morteros y bloques huecos de hormigón. Hemos priorizado estos dos productos debido a que son de los que más demanda poseen en los programas actuales relacionados con la construcción de viviendas y obras sociales. Las dosificaciones y los ensayos a que fueron sometidos estos productos han sido determinados por las normas e instrucciones existentes en los laboratorios de materiales de construcción pertenecientes al MICONS.

a) Determinación de la Resistencia a la compresión y la Absorción de los bloques realizados con el material de rechazo de la Empresa Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A.

Los ensayos mecánicos son aquellos que determinan la resistencia de las rocas o los áridos obtenidos con ellas, tanto en unidades fundamentales (N/mm^2) o mediante otras unidades arbitrarias por ejemplo en Mpa y kg/cm^2 . Estos pueden dividirse en:

1. Los que se realizan en ensayos con muestras de rocas conformadas que conducen a la expresión de los resultados en unidades fundamentales, tales como la resistencias a la rotura en compresión, tracción indirecta y flexión.
2. Los que se realizan con áridos obtenidos mediante trituración de las rocas. Se incluyen los ensayos de Abrasión Los Ángeles, Triturabilidad de Áridos, Impacto, coeficiente de pulimentación.

La resistencia a la flexión y a la compresión de los áridos se determinó mediante la realización de pruebas de bloques y morteros. La mezcla para la construcción de los bloques se preparó mediante la micro-concretera perteneciente al laboratorio de la ECRIN, con ésta se preparó un conjunto de 12 bloques de 10×40 . Luego de preparadas las muestras estas fueron mantenidas en un cuarto húmedo durante 28 días, como establece la norma cubana (54 – 213:82).

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS



Figura 9. Micro-concretera

Las pruebas de resistencia a la compresión de los bloques fueron divididas en 3 etapas:

En la primera etapa se tomaron dos bloques para determinar la resistencia a la compresión a los 7 días.

En la segunda etapa se tomaron dos bloques más para determinar la resistencia a la compresión a los 14 días.

Y por último en la tercera etapa se determinó la resistencia a la compresión a los 28 días y se tomó la misma cantidad de bloques que en las etapas anteriores.

El procedimiento para este tipo de ensayo es el siguiente:

Cada bloque a ensayar se colocará suavemente sobre el plato inferior de la máquina para ensayos a la compresión, sin deslizarlo por éste y sobre un área rectangular previamente determinada con un centro geométrico conocido que coincide con el eje de carga de la máquina.

Antes de colocar el bloque en la carga identificada se marcará un eje central para facilitar el alineamiento de la máquina con el mismo o en su defecto se marcará previamente el plato inferior de la máquina.

Al poner en contacto la cara superior del bloque con el plato superior de la máquina se hará suavemente sin que se produzcan impacto al bloque y que se garantice un buen contacto entre ambas superficies.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En un momento en que la superficie de la cara superior de la máquina para ensayos a la compresión y el bloque tenga un buen contacto, se comienza a aplicar la carga a una velocidad de 500 kgf/s hasta determinar el esfuerzo máximo.

La R_c de cada bloque se calcula por la formula siguiente:

$$R_c = F_j / A_j \dots\dots\dots (\text{Mpa})$$

Donde:

$$F_j = \text{Carga de rotura del bloque} \dots\dots\dots (\text{KN})$$

$$A_j = \text{Área del bloque} \dots\dots\dots (\text{cm}^2)$$

Absorción

Procedimientos.

Se colocarán las porciones (una de cada bloque) en la estufa separada entre sí y se secan hasta masa constante. Se extraen y se dejan enfriar el tiempo necesario para que puedan manipularse sin uso de protección, realizándose dos o tres pesadas a intervalos de una hora; si estas pesadas no difieren de 1 % las porciones estarán a masa constante; tomándose el valor de la última pesada como masa constante.

Una vez conducido este proceso se colocarán las porciones dentro del estanque lleno de agua de forma que este los cubra totalmente. Se dejan en reposo sumergidas 24 horas, posteriormente se extraen y se dejan escurrir sobre las parrillas metálicas. El agua superficial se eliminará con un paño húmedo conduciéndola así hasta la balanza, se pesan determinándose así la masa húmeda

$$A_b = M_{h_i} - M_{g_i} / M_{g_i} * 100 \dots\dots (\%)$$

Donde:

$$A_b = \text{Absorción de cada muestra} \dots\dots (\%)$$

$$M_{h_i} = \text{Masa húmeda de cada unidad de la muestra} \dots\dots (\text{Kg})$$

$$M_{g_i} = \text{Masa seca de cada unidad de la muestra} \dots\dots (\text{Kg})$$

b) Determinación de la Resistencia a la flexión y a la compresión de los morteros realizados con el material de rechazo de la Empresa Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la confección de los morteros, la mezcla fue preparada en la mezcladora perteneciente al laboratorio, con ésta se preparó un conjunto de 6 morteros. Estos morteros fueron sometidos a una prensa de ensayo para morteros de 10 t, en el laboratorio de la ECRIN en Moa, en un ciclo de 7, 14, y 28 días.

Según el procedimiento para este tipo de ensayo:

El mortero se prepara acorde con la NC 175. Se empleará un molde de 40 mm x 40 mm x 160 mm para cada ensayo, lo que genera tres probetas para el ensayo de flexión y seis para el ensayo a compresión. El molde debe estar limpio y bien cerrado. Las paredes y su base deben engrasarse previamente antes de ser utilizados.

Se vierte una porción representativa de la muestra de aproximadamente 300 g de mortero en cada compartimiento del molde, para formar una primera capa que se compactará en toda su superficie con 25 golpes suaves y homogéneos. Se vierte el resto del material y se repite la operación de apisonado, de modo que no afecte la masa del mortero colocado inicialmente y ya apisonado. Se eliminan los espacios vacíos que hayan podido quedar en la superficie de los tres compartimentos. Cuando el mortero comience a endurecer, se engrasa el molde con una superficie metálica.

Las probetas antes del ensayo deben ser pesadas y medidas, no deben poseer aristas, grietas, fisuras, deformaciones, ni material adherido a sus caras, lo cual pudiera distorsionar los resultados al aplicar la carga de rotura.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS



Figura 10. Prensa para los morteros (10t)

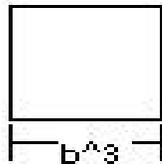


Figura 11. Molde para los morteros

Los resultados de resistencia a flexión y compresión de estos morteros se obtuvieron luego de ser procesados los datos en el excel con fórmulas adjuntas al software en el laboratorio de la ECRIN.

En este laboratorio se calculó la resistencia a la flexión a través de la siguiente ecuación:

$$R_f = \left(\frac{1,5 \times F_f}{b^3} \right) \times l$$



Donde:

R_f : Resistencia a la flexión (N/mm² o Mpa)

F_f : Carga aplicada en el medio del prisma en la rotura (N).

l : Distancia entre soportes (mm)

b : Lado de la sección rectangular del prisma (40 mm)

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Según la NC 506:2007 pág. 15 – 16 cemento hidráulico. Método de ensayo. Determinación de resistencia mecánica. Para el motero de 28 días la carga mínima a la rotura es de 2,6 kN, despejando los valores tendremos el valor de distancia entre los soportes (l).

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En el siguiente capítulo se, se exponen los resultados obtenidos en los ensayos realizados al material de rechazo de la Empresa Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A. en diferentes laboratorios, así como la interpretación de los mismos a partir de las Normas Cubanas, ejemplo Hormigones Hidráulicos, la NC 247:2005 Especificaciones para bloques huecos de hormigón y la NC 175:2002 de Especificaciones para morteros de albañilería. También se muestran algunos resultados obtenidos de estudios anteriores realizados al material de rechazo de la Empresa Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A.

3.1. Valoración de los resultados de los ensayos realizados a los productos de los desechos serpentiniticos

Las muestras de serpentinitas escogidas del rechazo de la planta de pulpa de la Empresa Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A., en la etapa de campo anterior, fueron enviadas en partes para el laboratorio de áridos de la empresa ECRIN ubicado en el municipio de Moa, además al laboratorio de análisis químico de la Empresa Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A. y al laboratorio del Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción situado en el municipio de Cojímar de Ciudad Habana.

Estos trabajos de laboratorio tuvieron dos direcciones fundamentales: la primera dirigida a la obtención de la composición química de determinadas muestras recolectadas y la segunda al análisis de las propiedades geométricas, físico - mecánicas, químicas y la alteración de las rocas.

a) Resultados de la composición química

Este contenido se dedicó a determinar el quimismo de los desechos serpentiniticos, llevando las mismas muestras a 3 laboratorios diferentes para adquirir resultados lo más satisfactorios posibles. En el laboratorio de la empresa Ernesto Che Guevara, se procesaron 16,230 gramos de desechos serpentiniticos, de ellos 9950 gramos

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

contaminados y 6280 lavados, los resultados de los ensayos del material contaminado no se expone pues este análisis sirvió para conocer los valores del material contaminante presente en las muestras teniendo así referencia del contenido de mineral presente en el desecho serpentinitico; las muestras fueron sometidas primeramente al secado durante 24 horas en una estufa a 107° C, luego de un cuarteo atento en cada compósito, se seleccionaron 3 muestras de cada tipo de desecho, realizándose los respectivos análisis químicos por el método Espectroscopía de emisión de plasma acoplada inductivamente, Rayo X y Absorción atómica, arrojando los resultados que se muestran en los anexos, tablas resúmenes 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, y se exponen los generales en la tabla 12.

Tabla 12. Promedio de resultados de los análisis químicos en general

Muestras	Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO ₂	Cr	Mn	Cu	Zn
A.A	0,534	0,054	31,8	8,94	0	16,88	0	0	0	0
ICP	0,55	0,052	32,63	7,11	3,57	17,23	0,845	0,415	0,002	0,011
Rayo X	0,56	0,03	31,7	8,59	4,22	17,90	1,31	0,54	0,008	0,021
PROMEDIO	0,548	0,045	32,04	8,213	2,597	17,337	0,718	0,318	0,003	0,011

Hoy, los residuos que se acumulan regularmente en el campo de mina poseen contenidos de minerales útiles muy bajos, que promedian 0,55 % de Níquel y 0,045 % de Cobalto, Hierro 32,04 %, Magnesio 8,21 % y la Sílice de 17,34 %, sin un valor metalúrgico que cumpla con las especificaciones técnicas del proceso de Ferroníquel, pues esa tecnología va a operar con un cut off de 1 % de Níquel y precisa un mineral con contenidos de Fe = 12 % - 16 %, Mg = 24 % - 26 %, SiO₂ = 35 % - 40 % y Co = 0,06 %, precisando mantener una relación SiO₂/Mg = 1,4 – 1,6, pudiendo asimilarse contenidos de hierro hasta un 20 % - 25 % (Comunicación oral del Dr. José Alberto Pons Herrera, Gerente de tecnología de Ferroníquel S.A en noviembre de 2010).

b) Resultados de los ensayos granulométricos

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Un promedio del comportamiento de la granulometría en los análisis realizados a los desechos serpentínicos de la mina de la Empresa Pedro Sotro Alba por otros autores durante diferentes períodos del Año 2010 en varios laboratorios se observa en la tabla 13 y en las tablas 9 hasta la 18 de los anexos se enuncian todos los ensayos realizados en el período analizado, el promedio general de ellos se muestra en la tabla 14.

Tabla 13. Comportamiento de la granulometría de los desechos serpentínicos de la mina de la empresa PSA

Fracción granulométrica	Análisis Vijay ¹	Análisis Alien ²	Análisis ISMM ³	Promedio	Desviación Estándar
	(%)	(%)	(%)	(%)	
	Período operacional 2010				
	E - A	M - A	S - D		
Grava gruesa + 25.4 (Necesitaría Trituración)	32	48	46	42	8,72
Grava (- 25.4 + 12, 7)	15	11	9	12	3,06
Gravilla (- 12, 7 + 4, 76 mm)	19	16	15	17	2,08
Arena (- 4,76 mm)	33	25	30	29	4,04

(1) Análisis realizados en el laboratorio de la ECRIN, Moa, trabajo de diploma 2010.

(2) Análisis realizados en el laboratorio de la ECRIN, Moa, trabajo de maestría 2010.

(3) Análisis realizados en el laboratorio del ISMM, Moa, trabajo de diploma 2010.

Tabla 14. Promedio de resultados de los análisis químicos en general

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Resultado promedio para los análisis granulométricos											
Productos	Muestras										PROMEDIO
	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	
Gravas	45,45	44,87	46,61	46,61	46,59	48,86	46,62	44,87	46,61	46,59	46
Gravillas	24,65	23,91	24,58	23,8	23,49	23,11	24,12	25,05	23,48	24,27	24
Arenas	29,88	30,53	27,85	28,86	28,12	27,34	29,23	29,32	29,1	28,33	29

En las Tablas 15 y 16 que a continuación se relacionan se muestran los ensayos granulométricos que fueron realizados en el laboratorio de materiales de construcción de la ECRIN para la grava 3/8" (-12,5 + 4,76 mm) y la arena (-4,76 +0,149 mm).

Tabla 15. Resultados de ensayo granulométrico para (Grava)

Ensayo granulométrico para la materia prima Según NC 178: 2002					
Grava 3/8"					
Tamices		peso(g)	peso(g)	%	%
No.	en mm	RPA	RA	RA	pasado
1/2	+12,5	0	0	0	100
3/8	-12,5 + 9,52	765,5	765,5	13,35	86,5
# 4	- 9,52 + 4,76	2143,5	2909	50,75	49,25
# 8	- 4,76 + 2,38	1685,5	4594,5	80,15	19,85
# 16	- 2,38 + 1,18	988,5	5583	97,4	2,6
	fondo	149	5732	100	0
Total		5732			

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Tabla 16. Resultados de ensayo granulométrico para (Arena)

Ensayo granulométrico para la Arena					
Tamices		peso(g)	peso(g)	%	%
No.	en mm	RPA	RA	RA	pasado
3/8	+ 9,52	0	0	0	100
# 4	- 9,52 + 4,76	0	0	0	100
# 8	- 4,76 + 2,38	157	157	7,54	92,46
# 16	- 2,38 + 1,18	1525	1682	80,84	19,16
# 30	- 1,18 + 0,59	331	2013	96,75	3,25
# 50	- 0,59 + 0,30	49	2062	99,11	0,89
	- 0,30 + 0,149	12	2074	99,71	0,29
	fondo	6,5	2080,5	100	0
Total		2080,5			

Según los resultados del ensayo granulométrico realizado al material rechazado, la granulometría de la clase - 9,52 + 4,76 mm (50,75 %) es más predominante para la grava 3/8, en tanto para la arena la granulometría de clase -2,38 + 1,18 mm (80,84 %) es más predominante, este ensayo refleja que el material rechazado cumple con los requisitos de los áridos de grava 3/8 (9,52 mm) y arena sin haber sido sometido a ningún proceso de trituración o tratamiento previo.

b) Resultados de ensayo para determinar las impurezas orgánicas en el árido fino.

Tabla 17. Requisitos para el ensayo de impurezas orgánicas en el árido fino. Según NC 251: 2005 de Especificaciones.

No.	Indicadores de calidad	Cantidad máxima del peso total de la muestra (%)
1	Impurezas orgánicas	máximo placa 3

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Tabla 18. Resultados del ensayo del rechazo para la determinación de impurezas orgánicas en el árido fino. Según NC 185: 2002

Método calorimétrico	Evaluación
Placa Número	1

Al comparar los resultados de este ensayo con lo que plantea la NC 251:2005 de Especificaciones, el material de rechazo no contiene impurezas orgánicas, es decir que el método calorimétrico corresponde a la placa # 1.

Nota: El árido no contendrá impurezas cuya naturaleza o cantidad puedan afectar las propiedades esenciales del hormigón (resistencia, impermeabilidad, durabilidad, y otros).

Se consideran prohibidas las partículas de carbón, de madera u otros residuos (coke, ceniza, escoria, asfalto, y otros).

Se consideran toleradas las pequeñas cantidades de sulfato de calcio (yeso) y de sulfuro de hierro (pirita) bajo reserva que su contenido total en azufre expresado en anhídrido sulfúrico SO_3 no sobrepasa el 1 % del peso total de la muestra de árido seco.

La distribución en el árido de las impurezas toleradas será uniforme y las partículas que la constituyen tendrán un volumen inferior de $0,05 \text{ m}^3$.

b) Resultados de los ensayos de peso específico y absorción de agua

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Tabla 19. Determinación de peso específico y absorción de agua de árido fino.
(Según NC 186: 2002)

Peso específico corriente(PEC)		
PEC	2,94 g/cm ³	2943,93 kg/m ³
Peso específico saturado (PES)		
PES	3,12 g/cm ³	3115,26 kg/m
Peso específico aparente (PEA)		
PEA	3,55 g/cm ³	3552,63 kg/m ³
Absorción (%)	valor	5,82%

Tabla 20. Determinación de peso específico y absorción de agua de árido grueso
(Grava 3/8) (Según NC 186: 2002)

Peso específico corriente(PEC)		
PEC	2,64 g/cm ³	2641,134 kg/m ³
Peso específico saturado (PES)		
PES	2,84 g/cm ³	2836,95 kg/m ³
Peso específico aparente (PEA)		
PEA	3,28 g/cm ³	3283,95 kg/m ³
Absorción (%)	valor	7,41%

Según los requisitos que plantea la NC 251:2005 la masa específica del árido será superior a 2,5 g/cm³. Y si nos fijamos en la tabla 19 y 20 los pesos específicos todos superan este rango, lo que podemos decir que pesos específicos del material rechazado cumplen con los requisitos establecidos de acuerdo a la norma.

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En cuanto al valor obtenido de absorción (5,82 % y 7,41 %) del árido, aun cuando el valor excede en alguna medida la exigencia de la norma (no superior al 3 %) resulta necesario aclarar que en esta norma no se consideran los casos de los áridos porosos que se emplean de manera común en el mundo.

e) Ensayo de determinación del peso volumétrico (suelto y compactado) de los áridos.

Tabla 21. Determinación del Peso volumétrico suelto y compactado. Según NC 181:2002

Árido fino (Arena)	
Peso volumétrico suelto	1661,95 kg/m ³
Peso volumétrico compactado	1824,82 kg/m ³
Árido grueso (Grava 3/8)	
Peso volumétrico suelto	1345,67 kg/m ³
Peso volumétrico compactado	1563,71 kg/ m ³

Los valores obtenidos de los pesos volumétricos son de gran importancia para los cálculos de la cantidad de estos rechazos en relación con los volúmenes de los recursos que se prevén. A modo de ejemplo y tomando en consideración la cantidad de rechazo que se obtiene en un año la cual es de aproximadamente es de 500 000 t/año tendríamos equivalente a 145 000 m³/año de arena y 120 000 m³/año de grava 3/8 (9,52 mm), cifra que multiplica ampliamente la producción promedio de una cantera de materiales de construcción.

f) Ensayo de determinación de la reacción árido – álcalis

Para la realización de este ensayo se tomaron 6 muestras cuyos valores fueron posteriormente promediados. En la tabla 22 se exponen estos resultados.

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Tabla 22. Ensayo de reacción árido álcalis. Según la Norma ASTM C 289 “Standard Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method)”

U/M	Réplicas						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

Nota: Los resultados obtenidos son ploteados en el gráfico 1, que da la norma en cuestión y que define la clasificación de la roca, en nuestro caso las muestras son inocuas, lo cual nos indica, que el árido no reacciona con los álcalis del cemento.

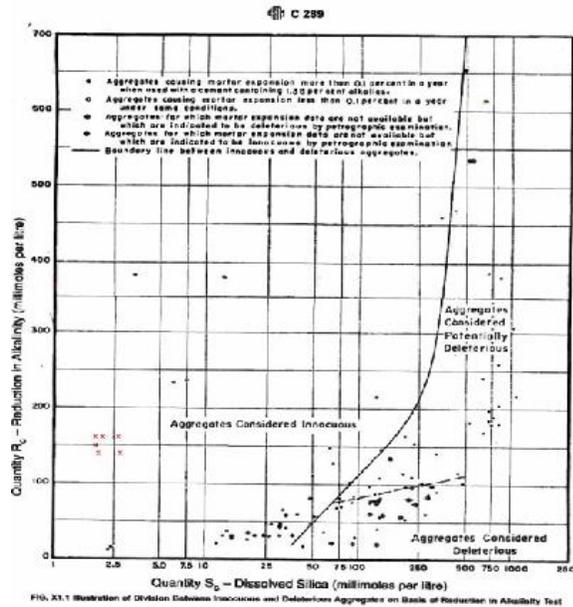


Gráfico 1. Ilustración del ensayo a la reacción Árido – Álcalis.

g) Determinación de estabilidad a la acción del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio.

Este ensayo se basa fundamentalmente a la pérdida de su peso cuando se sumergen en las soluciones del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio, según la NC 183:2002 la especificación establecida exige que los áridos gruesos en solución de sulfato de sodio no deben sufrir pérdidas en peso mayores del 12 %, en tanto que en solución de sulfato de magnesio no deben sufrir pérdidas mayores del 18 %,

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

ver tabla 23 en los anexos sobre los requisitos para la estabilidad de volumen para árido grueso según la NC: 251 de Especificaciones.

Tabla 23. Ensayo de estabilidad a la acción del sulfato de sodio. Según NC 183:2002

Fracción Granulométrica (mm)	Masa (g)	Retenido (%)	Pérdida de material (g)	Pérdida %	Pérdida Ponderada (%)
+ 1,19	186,5	37,3	12,1	6,49	2,42
+ 2,38	222,1	44,42	36,2	16,30	7,24
+ 4,76	85,8	17,16	10,2	11,89	2,04
+ 9,52	5,6	1,12	0	0,00	0
Total	500	100	58,50	34,68	11,7

Si nos fijamos en la tabla 23, donde están plasmados los resultados de este ensayo y los comparamos según los requisitos que establece la NC: 251 de Especificaciones para estabilidad de volumen al árido grueso situado en la tabla 8 de los anexos, podemos decir que el material serpentínico es estable a la acción de reactivos como el sulfato de sodio, debido a que su pérdida fue de 11,7 %.

Nota: Los áridos cuyos resultados de ensayos no alcancen los valores de estabilidad de volumen definidos en la tabla podrán ser aceptados siempre que se demuestre, que hormigones fabricados con áridos del mismo origen ensayados, han dado un servicio satisfactorio cuando han estado expuestos a las mismas condiciones a que va estar sometido el hormigón en cuestión.

h) Ensayo de durabilidad al intemperismo

Para realizar este ensayo se tomaron seis muestras del rechazo, siendo sometidas cada una a diez ciclos de mediciones.

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Tabla 24. Resultado del ensayo de durabilidad al intemperismo.

No.	Peso Inicial	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Ciclo 6	Ciclo 7	Ciclo 8	Ciclo 9	Ciclo 10	Pérdida Peso 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	0,98
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	0,98
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	0,98
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	0,99
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	0,98
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	0,99

La pérdida de peso en todas las muestra es inferior al 1,5 %, lo cual indica un grado muy bajo de degradación por condiciones al intemperismo. No obstante la pérdida observada en todas las muestras, se puede explicar en gran medida por la contaminación de material laterítico fino (< de 20 mallas) que está adherida a las partículas de serpentinita.

3.2 Interpretación de los resultados de los ensayos realizados a los productos de los desechos serpentínicos

Uno de los subproductos en los que se puede emplear el material de rechazo de la Empresa Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A es en la confección de bloques de categoría III, por lo que se procedió a analizar, si cumple con lo establecido por la NC 247:2005, fijándosele varios ensayos a nivel de laboratorio.

Tabla 25. Resultados del ensayo de absorción y resistencia a la compresión de bloques huecos de hormigón. Según NC 54 – 213:82.

Confección de los bloques empleando como áridos el 100% de material de rechazo.				
		Peso (kg)	m³	%
Cantidad de grava 3/8" utilizada		84,8	0,032	46,36
Cantidad de arena utilizada		54,6	0,018	29,85
Cantidad de cemento P350		25,9		14,16
Volumen de agua utilizada		17,92	0,018	9,63
Peso total de la mezcla		182,92		
Cantidad de bloques fabricados = 12 bloques				
Peso volumétrico de agua a 29,4 °C según NC181:2002 = 995,83 kg/m ³				

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Según NC 54 – 213:82 Método de ensayo para bloques huecos de hormigón, los bloques se clasifican en 4 categorías principales según su anchura (cm) las cuales se relacionan en la tabla 26.

Tabla 26. Categorías de los bloques huecos de hormigón

Categorías	Tipo de bloque según su anchura (cm)
I	20
II	15
III	10
IV	10

Tabla 27. Resultado de Resistencia a la compresión de los bloques a los 7 días.

Ancho del bloque de rotura (cm)	Largo del bloque de rotura (cm)	Área de bloque de rotura (cm²)	Carga (Kgf)	Rc (Mpa)	
10,23	13,80	141,1740	3123,94	X ₁	2,2
10,20	13,93	142,0860	3123,94	X ₂	2,2
				Rc (media)	2,2

Tabla 28. Resultado de Resistencia a la compresión de los bloques a los 14 días.

Ancho del bloque de rotura (cm)	Largo del bloque de rotura (cm)	Área del bloque de rotura (cm²)	Carga (Kgf)	Rc (Mpa)	
10,23	13,80	141,1740	3534,95	X ₁	2,5
10,20	13,93	142,0860	3534,95	X ₂	2,5
				Rc (media)	2,5

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Tabla 29. Resultado de Resistencia a la compresión de los bloques a los 28 días.

Ancho del bloque de rotura (cm)	Largo del bloque de rotura (cm)	Área de bloque de rotura (cm ²)	Carga (Kgf)	Rc (Mpa)	
10,23	13,80	141,1740	3823,935	X ₁	2,7
10,20	13,93	142,0860	3823,935	X ₂	2,7
				Rc (media)	2,7

Las características mecánicas de resistencia de los bloques de hormigón, de acuerdo con sus grados se establecen en la siguiente tabla:

Tabla 30. Requisitos para la resistencia a la compresión de los bloques. Según NC 247:2005

Categorías	Resistencia media a compresión nominal a los 28 días (Mpa)	Resistencia media a compresión nominal a los 7 días (Mpa)
I	7,0	5,6
II	5,0	4,0
III	2,5	2,0
IV	2,5	2,5

Según el ensayo realizado para el bloque de categoría III a los 7 días después de ser construido presentó una resistencia a compresión de 2,2 Mpa y a los 28 días 2,7 Mpa. Si comparamos estos resultados con los requisitos que establece la NC 247: 2005, nos damos cuenta que los bloques presentan una resistencia que nos indica que el material de rechazo de la Empresa Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A. puede ser empleado en la fabricación de este tipo de bloque.

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

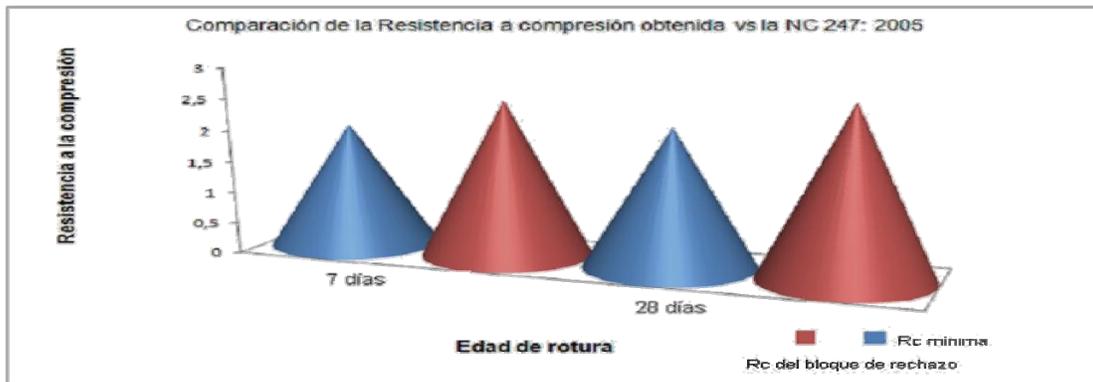


Figura 12. Comparación de la resistencia a compresión del bloque

Tabla 31. Resultado del ensayo de absorción de bloques.

No de Bloque	Masa Seca (kg)	Masa Húmeda (kg)	Absorción (%)
1	13,6	15,2	11,76
2	15,4	17	10,39
3	13,4	15	11,94
		Abs. Promedia	11,36

Los bloques no deberán presentar un valor de absorción de agua superior al establecido para su grado, los cuales aparecen reflejados en la Tabla 32.

Tabla 32. Requisitos para la absorción de los bloques. Según NC 247:2005

	Límites en por ciento	
Grados	Absorción máxima	Máximo valor individual
I	Media ≤ 9	Individual ≤ 11
II, III y IV	Sin limitación	
NOTA: La determinación de absorción se realiza de acuerdo con la NC 54 -213.		

En cuanto a la absorción realizada los requisitos para este tipo de ensayo según la NC 247:2005 plantea que para los bloques categoría III la absorción es sin limitación.

Otro elemento sometido al análisis para determinar si cumple con las especificaciones técnicas de las Normas Cubanas fue el mortero, para ello se

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

confeccionaron 18 unidades y se realizaron los ensayos correspondientes para comprobar las resistencias a flexión y compresión de cada uno, mostrándose los materiales utilizados en la tabla 33 y los resultados en las tablas 34 hasta la 39. Tabla 33. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión y compresión de morteros compuestos por material de rechazo.

	Peso (g)	%
Cantidad de arena utilizada	2700	65,1
Cantidad de cemento P350	900	21,7
Volumen de agua utilizada	547	13,2
Peso total de la mezcla	4147	

Tabla 34. Valores de resistencia a la flexión a los 7 días.

No de mortero	Valor de la carga (KN)	Resistencia a Flexión (Mpa)
1	1,5	3,62
2	1,6	3,86
		R _f media= 3,74

Tabla 35. Valores de resistencia a la flexión a los 14 días.

No. de mortero	Valor de la carga (KN)	Resistencia a flexión (Mpa)
1	2,2	5,31
2	2,0	4,83
		R _f media= 5,07

Tabla 36. Valores de Resistencia a la flexión a los 28 días.

No. de mortero	Valor de la carga (KN)	Resistencia a Flexión (Mpa)
1	2,45	5,91
2	2,6	6,28
		R _f media= 6,10

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Según las tablas 34, 35 y 36 se observa un aumento creciente de resistencia a la flexión de los morteros lo cual demuestra un resultado positivo de este parámetro.

Tabla 37. Valores de Resistencia a compresión a los 7 días.

No. de mortero	Valor de carga aplicada(kN)	R _c (Mpa)
M1	12,7	7,94
M1'	22	13,75
M2	11,25	9,59
M2'	11,94	12,84
		R _c media = 11,22

Tabla 38. Valores de resistencia a compresión a los 14 días.

No. de mortero	Valor de carga aplicada (kN)	R _c (Mpa)
M1	19	11,88
M1'	23	14,38
M2	21	13,13
M2'	18	11,25
		R _c media = 12,66

Tabla 39. Valores de Resistencia a compresión a los 28 días.

No. de mortero	Valor de carga aplicada(kN)	R _c (Mpa)
M1	20,5	12,81
M1'	23,6	14,75
M2	22,8	14,25
M2'	24,0	15,0
		R _c media = 14,2

Según la NC 175:2002 (Mortero de albañilería y su especificaciones), la dosificación empleada por nosotros corresponden a los motero de categoría V. Comparando los valores obtenido en los ensayos realizado a los morteros preparados con la arena de los desechos serpentíníficos, se obtiene un valor de resistencia a la compresión a los 28 días de 14,2 Mpa lo cual es superior al de 12,4 Mpa establecido en dicha norma.

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

3.3 Mitigación de los impactos ambientales

El problema a resolver en este trabajo tributa directamente a disminuir el impacto ambiental en relación con dos direcciones principales, buscar el acomodo de los desechos serpentínicos de la industria del níquel, como solución a la problemática de afectación al entorno que estos provocan ya que se vierte una buena parte de estos desechos en áreas de la propia mina, y por otra parte contribuir a disminuir la afectación al curso fluvial del río Cayo Guam, ya que el CITMA ha prohibido la extracción de materiales aluviales de este río desde hace más de 15 años y sin embargo por la enorme necesidad que se tiene actualmente en cuanto al déficit de los áridos se ha autorizado excepcionalmente la extracción de cantidades limitadas para paliar parte de esas necesidades. Lo anterior sin dudas traerá afectaciones sobre todo si no se limita esta extracción, la cual puede ser eliminada con la implementación de nuestra propuesta del empleo de los desechos serpentínicos como áridos para la fabricación de materiales de construcción.

Para tener una mejor apreciación de las afectaciones que estamos previniendo nos referiremos al trabajo de Villalón, 2004, el cual plantea que a través del mundo en desarrollo la arena y la grava de los ríos es ampliamente explotada como agregado para la construcción. Frecuentemente los agregados son extraídos desde el canal activo del río, así como de las llanuras de inundación y de los depósitos en terrazas adyacentes al río. Dependiendo del contexto geológico, la minería en el canal activo de un río (in-stream) puede crear serios impactos ambientales, particularmente si el río minado tiene un carácter erosivo. Los impactos de tal minería en las tierras de cultivo, la estabilidad del río, el riesgo por inundaciones, la estructura de carreteras y puentes, y la ecología, son típicamente severos. La degradación ambiental puede dificultar el proveer las necesidades básicas (agua, comida, leña, comunicación) de las comunidades localizadas comúnmente en los valles del río.

El impacto ambiental de la minería aluvial es un tema controversial que genera preocupación, dado que sus efectos adversos se pueden prolongar en el tiempo, incluso años después de concluida la extracción, y mucho más allá de los límites de su operación; debido a las modificaciones en la dinámica hidráulica del cauce.

CAPÍTULO 3. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Cuando el volumen de extracción de materiales aluviales excede en gran medida el rango de la reposición o reemplazo por los sedimentos acarreados en el río, los efectos negativos sobre las características físicas del cauce, pueden apreciarse en forma evidente en el corto plazo y a considerable distancia. Dichos efectos incluyen entre otros: incisión; inestabilidad lateral del cauce; el engrosamiento relativo del material del río; alteraciones en la velocidad del flujo, la profundidad, la pendiente, la rugosidad y la forma del canal, incluso en algunos casos extremos, se puede presentar: socavación de estructuras; reducción del nivel y frecuencia de las inundaciones en áreas aledañas al río; descenso del nivel freático de los pozos de agua cercanos; desecación de los sistemas radiculares de la vegetación; destrucción de humedales; y la inestabilidad del perfil de la costa. Todos estos efectos presentan su impacto sobre diversos ecosistemas asociados al cauce y su cuenca.

Como medida preventiva, algunos países desarrollados han optado por una prohibición total de la minería aluvial. Sin embargo, por razones económicas y ante la ausencia de fuentes de agregados alternativas, esto no es viable en muchos países en desarrollo.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- ✚ El estudio sobre el material de desecho serpentinitico de la Empresa Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A nos permitió arrojar a las siguientes conclusiones:
- ✚ El comportamiento de los principales elementos químicos que forman los desechos serpentiniticos es:
Ni- 0,55 %, Co- 0,045 %, Fe- 32,04 %, SiO₂ – 17,34 %, Mg- 8,21 %
- ✚ La granulometría de los desechos serpentiniticos se comporta como sigue:

Gravas	46 %	19 167	toneladas
Gravillas	24 %	10 000	toneladas
Arenas	29 %	12 083	toneladas
- ✚ El comportamiento de las resistencias mecánicas de los ensayos realizados a los productos elaborados con los desechos serpentiniticos certifica que estos pueden emplearse como material de construcción alternativo.

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

Culminado este proceso de investigación, se realiza la siguiente recomendación:

Utilizar los desechos serpentiniticos de la Empresa Pedro Soto Alba- Moa Níckel S.A. como áridos en la industria de materiales de la construcción de la localidad.

BIBLIOGRAFIA

1. ALMAGUER, C. Y. Presente y futuro de las Rocas y Minerales Industriales, año 1993.
2. ANDREIEV, S. E. Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales. Editorial MIR. 536 p, año 1980.
3. BARTHELEMIS, J. L. Estudio de la preparación mecánica de los minerales serpentínicos en trituradoras de mandíbulas para la utilización de sus productos en la industria de los materiales de la construcción. (Colectivo de tutores). Tesis de pregrado. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 75pp, año 2008.
4. BATISTA, R. L. Valoración del Potencial de Los Recursos Minerales para la Industria del Cemento en Cuba. Tesis de Maestría. Inédito. IGP, año 2007.
5. BOUSO, A. J. Soluciones Medioambientales para las plantas de tratamiento de áridos vía húmeda. II Jornadas Iberoamérica de materiales de construcción. 2002. Habana. [16.02.2009] **http://www.minas.upm.es/catedra-anefa/Bouso-M3/Sol_Medamb_Aridos_Via_Humeda.pdf**.
6. CASAL, C. C. Las Serpentininitas en la Construcción de Obras Hidráulicas. ISMM, Moa. Trabajo de Diploma. 1986.
7. COELLO, V, A. Consideraciones sobre la molienda de los minerales lateríticos, Revista Minería y Geología. Vol. 1, No1; Moa, año 1993.
8. Colectivo de autores. Estado del arte “en las producciones de áridos en Cuba y propuesta del método para implementar sistemas de calidades en estos procesos. [16.02.2009].

BIBLIOGRAFIA

9. http://www.minas.upm.es/relext/Red-Cyted-XIII/web-rimin/rimin1/jorna_das/01_iber_mac_pdf/08_Calidad/Sosa.pdf (En línea).
10. Colectivo de autores. Ophiolite-Related Ultramafic Rocks (Serpentinites) in the Caribbean Region: A Review of their Occurrence, Composition, Origin, Emplacement and Ni-laterite Soil Formation. *Geologica. Acta*, Vol.4 N°1-2, 2006, 237-263p.
11. Colectivo de autores. Recommended nomenclature for Zeolite minerals: Report of the subcommittee on Zeolites of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. *Canadian Mineralogist*. Vol. 35. 1571-1606p, año 1997.
12. FIGUERAS, M. N.; URRAS J.; GUARDIA, W. Reporte de exploración recursos medidos sector Zona A Oeste. Moa Nickel S.A. Pedro Sotillo Alba. División Minera, Moa (Informe interno). 25, año 2004.
13. MARTÍNEZ, J. P.; PONCE, N. G.; BATISTA, R. Pronóstico de Materias Primas No- Tradicionales de la República de Cuba. IGP. La Habana. Inédito, año 1994.
14. MONTERO, G. E. Perspectivas de uso de los rechazos serpentiniticos de la Empresa Pedro Sotillo Alba como árido para la construcción. Tesis de diploma. 2007.
15. MUSSO, R. W. Caracterización de la Serpentinita del Municipio de Holguín. Colectivo de tutores. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero- Metalúrgico de Moa. 51P, año 2008.
16. NC 173: 2002 Mortero Endurecido. Determinación de la Resistencia a la flexión y compresión. Método de ensayo.
17. NC 175: 2002 Morteros de albañilería. Especificaciones.
18. NC 177: 2002 Áridos. Determinación de % de huecos. Método de ensayo.
19. NC 178: 2002 Áridos. Análisis granulométrico.

BIBLIOGRAFIA

20. NC 181: 2002 Áridos. Determinación del peso volumétrico. Método de ensayo.
21. NC 182: 2002 Áridos. Determinación del material más fino que el tamiz de 0.074 mm. (no. 200). Método de ensayo.
22. NC 185: 2002 Arena. Determinación de impurezas orgánicas. Método de ensayo.
23. NC 186: 2002 Arena. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.
24. NC 186: 2002 Árido grueso. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.
25. NC 189: 2002 Áridos gruesos. Determinación de partículas planas y alargadas. Método de ensayo.
26. NC 200: 2002 Áridos. Determinación del material más fino que el tamiz de 0,074 mm (No. 200). Método de ensayo.
27. NC 247: 2005 Bloque huecos de hormigón. Especificaciones.
28. NC 251: 2005 Áridos para hormigones hidráulicos. Especificaciones.
29. NC 506: 2007 Cemento Hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la Resistencia. Mecánica.
30. NC 54-213:1982 Bloque huecos de hormigón. Métodos de ensayos.
31. NC 54-395:1987 Materiales de la construcción. Áridos. Términos y definiciones.
32. LAVAUT, W. Y OTROS. Informe sobre la caracterización del mineral de rechazo por el proceso de la Planta de Preparación de Pulpa. Empresa Geominera de Oriente, Moa (informe interno). 21, año 2003.
33. LÓPEZ, P. L. Caracterización Geológica de las materias primas mineras de los municipios Moa – Sagua de Tánamo para su empleo como material de construcción. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Trabajo de Diploma. 87 p, año 2006.

BIBLIOGRAFIA

34. LEYVA, R. C. Solución al déficit de áridos en el municipio de Moa empleando los desechos serpentínicos de la Empresa Comandante Ernesto Guevara. Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa. Ponencia, año 2007.
35. ONRM. Clasificación de los Recursos y Reservas de Minerales Útiles Sólidos. La Habana, año 1999.
36. PEÑA, L. L. Influencia del beneficio en la productividad del proceso de molienda de la laterita en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Colectivo de tutores. Trabajo de Diploma. 66P, año 2008.
37. RAMÍREZ, M. P. Beneficiabilidad de los escombros lateríticos del sector A de la mina de la Pedro Soto Alba-Moa Nickel S.A. Tesis presentada en opción al título de Doctor. ISMM, Moa, p. 61, 2010.

ANEXOS

ANEXOS

Tablas resúmenes

Tabla 1 Análisis químico por el método Espectrofotometría de absorción atómica (A.A), laboratorio de la Empresa Ernesto Che Guevara

Muestras	Ni	Co	Fe	Mg
1 ^a	0,550	0,051	32,00	9,74
2 ^a	0,553	0,052	31,60	9,83
3 ^a	0,550	0,052	31,80	9,71
4 ^a	0,553	0,052	31,90	10,22
5 ^a	0,554	0,051	31,30	9,74
6 ^a	0,553	0,051	32,00	9,81
7 ^a	0,554	0,051	31,40	9,72
8 ^a	0,552	0,052	31,90	9,42
9 ^a	0,554	0,052	31,90	9,93
10 ^a	0,551	0,052	31,80	9,75
Promedio	0,552	0,0516	31,8	9,79

ANEXOS

Tabla 2. Análisis químico por el método Espectroscopía de emisión de plasma acoplada inductivamente (ICP), Laboratorio CHE GUEVARA

	Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO₂	Cr	Mn	Cu	Zn
1 ^a	0,560	0,052	33,10	7,110	3,700	17,83	0,821	0,419	0,002	0,011
2 ^a	0,558	0,052	33,00	7,000	3,520	17,40	0,834	0,418	0,002	0,012
3 ^a	0,553	0,051	32,70	7,060	3,530	17,22	0,853	0,410	0,002	0,012
4 ^a	0,555	0,052	32,30	7,080	3,660	16,95	0,828	0,410	0,002	0,012
5 ^a	0,554	0,051	32,50	7,100	3,560	17,45	0,849	0,417	0,002	0,010
6 ^a	0,553	0,052	32,90	7,540	3,640	17,00	0,850	0,414	0,002	0,011
7 ^a	0,554	0,052	32,60	7,010	3,590	16,85	0,847	0,414	0,003	0,012
8 ^a	0,553	0,051	32,10	7,110	3,770	16,98	0,860	0,413	0,002	0,011
9 ^a	0,555	0,052	32,40	7,050	3,640	17,21	0,855	0,415	0,003	0,011
10 ^a	0,552	0,051	32,70	7,060	3,090	17,43	0,855	0,415	0,002	0,011
Total	0,555	0,0516	32,630	7,110	3,570	17,230	0,845	0,415	0,002	0,011

ANEXOS

Tabla 3. Análisis químico por el método Espectrofotometría de absorción atómica (A.A), laboratorio del CEDINIQ.

Muestras	Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO ₂	Cr	Mn	Cu	Zn
1 ^a	0,512	0,059	32,43	7,420	4,630	16,800	1,240	0,407	0,008	0,015
2 ^a	0,508	0,06	31,80	7,470	4,620	16,900	1,249	0,408	0,007	0,016
3 ^a	0,508	0,057	32,80	7,410	4,650	16,880	1,237	0,410	0,007	0,017
4 ^a	0,512	0,059	32,30	7,402	4,640	16,910	1,239	0,410	0,009	0,016
5 ^a	0,514	0,059	32,90	7,450	4,630	16,930	1,241	0,407	0,008	0,014
6 ^a	0,517	0,059	32,20	7,430	4,570	16,870	1,237	0,404	0,009	0,015
7 ^a	0,513	0,058	33,00	7,430	4,580	16,900	1,234	0,404	0,009	0,012
8 ^a	0,512	0,059	32,60	7,400	4,590	16,890	1,246	0,408	0,008	0,013
9 ^a	0,516	0,058	31,70	7,389	4,600	16,850	1,244	0,405	0,007	0,013
10 ^a	0,518	0,058	32,60	7,420	4,590	16,870	1,230	0,405	0,007	0,012
Total	0,5130	0,059	32,43	7,42	4,610	16,880	1,240	0,407	0,008	0,014

Tabla 4. Análisis químico por el método Rayo X, Laboratorio Pedro Soto Alba-Moa Nickel SA

Muestras	Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO ₂	Cr	Mn	Cu	Zn
1 ^a	0,560	0,029	31,10	8,600	4,270	17,820	1,320	0,543	0,007	0,022
2 ^a	0,558	0,030	31,50	8,590	4,210	17,980	1,310	0,542	0,007	0,021
3 ^a	0,559	0,030	32,70	8,590	4,190	17,910	1,310	0,545	0,007	0,021
4 ^a	0,555	0,030	31,30	8,610	4,220	17,860	1,309	0,540	0,007	0,020
5 ^a	0,557	0,031	32,50	8,578	4,220	17,900	1,312	0,537	0,008	0,021
6 ^a	0,558	0,031	31,90	8,579	4,140	17,920	1,316	0,539	0,009	0,022
7 ^a	0,562	0,030	31,60	8,580	4,190	17,880	1,302	0,542	0,007	0,022
8 ^a	0,558	0,030	32,70	8,600	4,240	17,890	1,309	0,549	0,008	0,021
9 ^a	0,561	0,029	30,80	8,590	4,270	17,950	1,314	0,540	0,008	0,020
10 ^a	0,569	0,030	30,90	8,583	4,250	17,890	1,300	0,541	0,009	0,021
Total	0,560	0,030	31,700	8,59	4,220	17,90	1,31	0,54	0,008	0,021

ANEXOS

Tabla 5. Análisis químico por el método Espectrofotometría de absorción atómica (A.A), Laboratorio Pedro Soto Alba-Moa Nickel SA

Muestras	Ni	Co	Fe	Mg
1 ^a	0,542	0,053	31,90	9,84
2 ^a	0,532	0,051	30,50	9,22
3 ^a	0,537	0,051	30,80	9,19
4 ^a	0,53	0,052	31,90	10,3
5 ^a	0,552	0,051	31,00	9,45
6 ^a	0,534	0,050	30,60	9,88
7 ^a	0,529	0,052	30,10	9,72
8 ^a	0,541	0,051	32,00	9,46
9 ^a	0,538	0,051	31,80	9,51
10 ^a	0,545	0,051	31,30	9,63
Promedio	0,538	0,0514	31,2	9,62

Tabla 6. Promedio de resultados de los análisis químicos por el método Espectrofotometría de absorción atómica (A.A)

Muestras	Ni	Co	Fe	Mg
CHE GUEVARA	0,552	0,052	31,80	9,79
MOANICKEL SA	0,538	0,051	31,20	9,62
CEDINIQ	0,513	0,059	32,4	7,42
PROMEDIO	0,534	0,0541	31,8	8,94

ANEXOS

Tabla 7. Promedio de resultados de los análisis químicos en general

Muestras	Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO₂	Cr	Mn	Cu	Zn
A.A	0,534	0,054	31,8	8,94	0	16,88	0	0	0	0
ICP	0,55	0,052	32,63	7,11	3,57	17,23	0,845	0,415	0,002	0,011
Rayo X	0,56	0,03	31,7	8,59	4,22	17,90	1,31	0,54	0,008	0,021
PROMEDIO	0,548	0,045	32,04	8,213	2,597	17,337	0,718	0,318	0,003	0,011

Tabla 8. Requisitos para la estabilidad de volumen para árido grueso según la NC: 251 de Especificaciones

Tipo de reactivo utilizado	Pérdida máxima en masa (%)
Sulfato de sodio	12
Sulfato de magnesio	18

ANEXOS

Tabla 9. Análisis granulométrico 1

Peso de la muestra húmeda (g) 10180,6 Peso de la muestra seca (g) 9332,30						
Tamices	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Peso Retenido Acumulado (%)	%
en mm	PI	PF	PRP	PRA	RA	PASADO
+ 76,2	9332,30	9332,30	0,00	0,00	0	100
- 76,2 + 63,5	9332,30	8959,01	373,29	373,29	4,000	96,00
- 63,5 + 50,8	8959,01	8421,47	537,54	910,83	9,760	90,24
- 50,8 + 38,1	8421,47	7831,96	589,50	1500,34	16,077	83,92
- 38,1 + 25,4	7831,96	5090,78	2741,19	4241,52	45,450	54,55
			Gravas	45,45		
- 25,4 + 19,1	5090,78	4734,42	356,35	4597,88	49,268	50,73
- 19,1 + 12,7	4734,42	4232,57	501,85	5099,73	54,646	45,35
- 12,7 + 9,52	4232,57	3809,32	423,26	5522,98	59,181	40,82
- 9,52 + 4,76	3809,32	2790,32	1018,99	6541,98	70,100	29,90
			Gravillas	24,65		
- 4,76 + 2,38	2790,32	1381,21	1409,11	7951,09	85,200	14,80
- 2,38 + 1,18	1381,21	483,42	897,79	8848,88	94,820	5,18
- 1,18 + 0,59	483,42	84,60	398,82	9247,70	99,093	0,91
- 0,59 + 0,30	84,60	31,30	53,30	9301,00	99,665	0,34
- 0,30 + 0,149	31,30	2,19	29,11	9330,11	99,977	0,02
			Arenas	29,88		
Fondo	2,19	0,01	2,180	9332,29	100	0
Total				9332,29		

ANEXOS

Tabla 10. Análisis granulométrico 2

Peso de la muestra húmeda (g) 10112,36 Peso de la muestra seca (g) 9269,75						
Tamices	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Peso Retenido Acumulado (%)	%
en mm	PI	PF	PRP	PRA	RA	PASADO
+ 76,2	9269,75	9269,75	0,00	0,00	0	100
- 76,2 + 63,5	9269,75	8898,96	370,79	370,79	4,000	96,00
- 63,5 + 50,8	8898,96	8454,01	444,95	815,74	8,800	91,20
- 50,8 + 38,1	8454,01	7862,23	591,78	1407,52	15,184	84,82
-38,1 + 25,4	7862,23	5110,45	2751,78	4159,30	44,870	55,13
			Gravas	44,87		
- 25,4 + 19,1	5110,45	4752,72	357,73	4517,03	48,729	51,27
- 19,1 + 12,7	4752,72	4248,93	503,79	5020,82	54,163	45,84
- 12,7 + 9,52	4248,93	3951,50	297,43	5318,24	57,372	42,63
- 9,52 + 4,76	3951,50	2894,48	1057,03	6375,27	68,775	31,22
			Gravillas	23,91		
- 4,76 + 2,38	2894,48	1432,77	1461,71	7836,98	84,544	15,46
- 2,38 + 1,18	1432,77	501,47	931,30	8768,28	94,590	5,41
- 1,18 + 0,59	501,47	87,76	413,71	9181,99	98,389	1,61
- 0,59 + 0,30	87,76	32,47	55,29	9237,28	98,982	1,02
- 0,30 + 0,149	32,47	2,27	30,20	9267,47	99,305	0,69
			Arenas	30,53		
Fondo	2,27	0,01	2,262	9269,73	100	0
Total				9269,73		

ANEXOS

Tabla 11. Análisis granulométrico 3

Peso de la muestra húmeda (g) 10085,26 Peso de la muestra seca (g) 9244,90						
Tamices	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Peso Retenido Acumulado (%)	%
en mm	PI	PF	PRP	PRA	RA	PASADO
+ 76,2	9244,90	9244,90	0,00	0,00	0	100
- 76,2 +63,5	9244,90	8875,11	369,80	369,80	4,000	96,00
- 63,5 + 50,8	8875,11	8165,10	710,01	1079,80	11,680	88,32
- 50,8 + 38,1	8165,10	7593,54	571,56	1651,36	17,862	82,14
- 38,1 + 25,4	7593,54	4935,80	2657,74	4309,10	46,611	53,39
			Gravas	46,61		
- 25,4 + 19,1	4935,80	4590,30	345,51	4654,61	50,348	49,65
- 19,1 + 12,7	4590,30	4085,36	504,93	5159,54	55,810	44,19
- 12,7 + 9,52	4085,36	3635,97	449,39	5608,93	60,671	39,33
- 9,52 + 4,76	3635,97	2663,35	972,62	6581,55	71,191	28,81
			Gravillas	24,58		
- 4,76 + 2,38	2663,35	1318,36	1344,99	7926,55	85,740	14,26
- 2,38 + 1,18	1318,36	461,43	856,93	8783,48	95,009	4,99
- 1,18 + 0,59	461,43	80,75	380,68	9164,15	98,198	1,80
- 0,59 + 0,30	80,75	29,88	50,87	9215,03	98,743	1,26
- 0,30 + 0,149	29,88	2,09	27,79	9242,81	99,041	0,96
			Arenas	27,85		
Fondo	2,09	0,01	2,081	9244,89	100	0
Total				9244,89		

ANEXOS

Tabla 12. Análisis granulométrico 4

Peso de la muestra húmeda (g) 10108,9						
Peso de la muestra seca (g) 9266,57						
Tamices	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Peso Retenido Acumulado (%)	%
en mm	PI	PF	PRP	PRA	RA	PASADO
+ 76,2	9266,57	9266,57	0,00	0,00	0	100
- 76,2 + 63,5	9266,57	8895,91	370,66	370,66	4,000	96,00
- 63,5 + 50,8	8895,91	8184,24	711,67	1082,34	11,680	88,32
- 50,8 + 38,1	8184,24	7611,34	572,90	1655,23	17,862	82,14
- 38,1 + 25,4	7611,34	4947,37	2663,97	4319,20	46,611	53,39
			Gravas	46,61		
- 25,4 + 19,1	4947,37	4601,06	346,32	4665,52	50,348	49,65
- 19,1 + 12,7	4601,06	4113,34	487,71	5153,23	55,611	44,39
- 12,7 + 9,52	4113,34	3743,14	370,20	5523,43	59,606	40,39
- 9,52 + 4,76	3743,14	2741,85	1001,29	6524,72	70,411	29,59
			Gravillas	23,80		
- 4,76 + 2,38	2741,85	1357,22	1384,64	7909,36	85,354	14,65
- 2,38 + 1,18	1357,22	475,03	882,19	8791,55	94,874	5,13
- 1,18 + 0,59	475,03	83,13	391,90	9183,44	98,405	1,60
- 0,59 + 0,30	83,13	30,76	52,37	9235,82	98,966	1,03
- 0,30 + 0,149	30,76	2,15	28,60	9264,42	99,273	0,73
			Arenas	28,86		
Fondo	2,15	0,01	2,142	9266,56	100	0
Total				9266,56		

ANEXOS

Tabla 13. Análisis granulométrico 5

Peso de la muestra húmeda (g) 99989						
Peso de la muestra seca (g) 916574						
Tamices	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Peso Retenido Acumulado (%)	%
en mm	PI	PF	PRP	PRA	RA	PASADO
+ 76,2	9165,74	9165,74	0,00	0,00	0	100
- 76,2 + 63,5	9165,74	8615,80	549,94	549,94	6,000	94,00
- 63,5 + 50,8	8615,80	8098,85	516,95	1066,89	11,640	88,36
- 50,8 + 38,1	8098,85	7531,93	566,92	1633,81	17,825	82,17
- 38,1 + 25,4	7531,93	4895,75	2636,18	4269,99	46,586	53,41
			Gravas	46,59		
- 25,4 + 19,1	4895,75	4553,05	342,70	4612,69	50,325	49,67
- 19,1 + 12,7	4553,05	4070,43	482,62	5095,31	55,591	44,41
- 12,7 + 9,52	4070,43	3744,79	325,63	5420,95	59,144	40,86
- 9,52 + 4,76	3744,79	2743,06	1001,73	6422,68	70,073	29,93
			Gravillas	23,49		
- 4,76 + 2,38	2743,06	1357,82	1385,25	7807,92	85,186	14,81
- 2,38 + 1,18	1357,82	475,24	882,58	8690,50	94,815	5,18
- 1,18 + 0,59	475,24	80,79	394,45	9084,95	97,350	2,65
- 0,59 + 0,30	80,79	29,89	50,90	9135,85	97,895	2,11
- 0,30 + 0,149	29,89	2,09	27,80	9163,65	98,193	1,81
			Arenas	28,12		
Fondo	2,09	0,01	2,082	9165,73	100	0
Total	9165,73					

ANEXOS

Tabla 14. Análisis granulométrico 6

Peso de la muestra húmeda (g) 10112 Peso de la muestra seca (g) 9269,42						
Tamices	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Peso Retenido Acumulado (%)	%
en mm	PI	PF	PRP	PRA	RA	PASADO
+ 76,2	9269,42	9269,42	0.00	0.00	0	100
- 76,2 + 63,5	9269,42	8342,47	926,94	926,94	10,000	90,00
- 63,5 + 50,8	8342,47	7841,93	500,55	1427,49	15,400	84,60
- 50,8 + 38,1	7841,93	7292,99	548,93	1976,42	21,322	78,68
- 38,1 + 25,4	7292,99	4740,44	2552,55	4528,97	48,859	51,14
			Gravas	48,86		
-25,4 + 19,1	4740,44	4408,61	331,83	4860,80	52,439	47,56
- 19,1 + 12,7	4408,61	3941,30	467,31	5328,12	57,481	42,52
-12,7 + 9,52	3941,30	3547,17	394,13	5722,25	61,733	38,27
- 9,52 + 4,76	3547,17	2598,30	948,87	6671,11	71,969	28,03
			Gravillas	23,11		
- 4,76 + 2,38	2598,30	1286,16	1312,14	7983,26	86,125	13,88
- 2,38 + 1,18	1286,16	450,16	836,00	8819,26	95,144	4,86
- 1,18 + 0,59	450,16	78,78	371,38	9190,64	98,482	1,52
- 0,59 + 0,30	78,78	29,15	49,63	9240,27	99,014	0,99
- 0,30 + 0,149	29,15	2,04	27,11	9267,38	99,304	0,70
			Arenas	27,34		
Fondo	2,04	0,01	2,030	9269,41	100	0
Total			9269,41			

ANEXOS

Tabla 15. Análisis granulométrico 7

				Peso de la muestra húmeda (g)			10180	
				Peso de la muestra seca (g)			9331,75	
Tamices	Peso inicial	Peso final	Peso Retenido Parcial	Peso Retenido Acumulado	Peso Retenido Acumulado	%		
	(g)	(g)	(g)	(g)	(%)			
	en mm	PI	PF	PRP	PRA			RA	PASADO
+ 76,2	9331,75	9331,75	0,00	0,00	0	100		
- 76,2 + 63,5	9331,75	8958,48	373,27	373,27	4,000	96,00		
- 63,5 + 50,8	8958,48	8420,97	537,51	910,78	9,760	90,24		
- 50,8 + 38,1	8420,97	7663,08	757,89	1668,67	17,882	82,12		
- 38,1 + 25,4	7663,08	4981,00	2682,08	4350,75	46,623	53,38		
			Gravas			46,62		
- 25,4 + 19,1	4981,00	4632,33	348,67	4699,42	50,359	49,64		
- 19,1 + 12,7	4632,33	4141,31	491,03	5190,44	55,621	44,38		
- 12,7 + 9,52	4141,31	3727,18	414,13	5604,57	60,059	39,94		
- 9,52 + 4,76	3727,18	2730,16	997,02	6601,59	70,743	29,26		
			Gravillas			24,12		
- 4,76 + 2,38	2730,16	1351,43	1378,73	7980,32	85,518	14,48		
- 2,38 + 1,18	1351,43	473,00	878,43	8858,75	94,931	5,07		
- 1,18 + 0,59	473,00	82,77	390,22	9248,98	99,107	0,89		
- 0,59 + 0,30	82,77	30,63	52,15	9301,12	99,666	0,33		
- 0,30 + 0,149	30,63	2,14	28,48	9329,61	99,971	0,03		
			Arenas			29,23		
Fondo	2,14	0,01	2,133	9331,74	100	0		
Total			9331,74					

ANEXOS

Tabla 16. Análisis granulométrico 8

Peso de la muestra húmeda (g) 10105 Peso de la muestra seca (g) 9263,00						
Tamices	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Peso Retenido Acumulado (%)	%
en mm	PI	PF	PRP	PRA	RA	PASADO
+ 76,2	9263,00	9263,00	0,00	0,00	0	100
- 76,2 + 63,5	9263,00	8892,48	370,52	370,52	4,000	96,00
- 63,5 + 50,8	8892,48	8447,86	444,62	815,14	8,800	91,20
- 50,8 + 38,1	8447,86	7856,51	591,35	1406,49	15,184	84,82
- 38,1 + 25,4	7856,51	5106,73	2749,78	4156,27	44,870	55,13
			Gravas	44,87		
- 25,4 + 19,1	5106,73	4749,26	357,47	4513,74	48,729	51,27
- 19,1 + 12,7	4749,26	4226,84	522,42	5036,16	54,369	45,63
- 12,7 + 9,52	4226,84	3804,16	422,68	5458,84	58,932	41,07
- 9,52 + 4,76	3804,16	2786,54	1017,61	6476,46	69,917	30,08
			Gravillas	25,05		
- 4,76 + 2,38	2786,54	1379,34	1407,20	7883,66	85,109	14,89
- 2,38 + 1,18	1379,34	482,77	896,57	8780,23	94,788	5,21
- 1,18 + 0,59	482,77	82,07	400,70	9180,93	98,378	1,62
- 0,59 + 0,30	82,07	30,37	51,70	9232,63	98,932	1,07
- 0,30 + 0,149	30,37	2,13	28,24	9260,87	99,235	0,77
			Arenas	29,32		
Fondo	2,13	0,01	2,115	9262,99	100	0
Total				9262,99		

ANEXOS

Tabla 17. Análisis granulométrico 9

Peso de la muestra húmeda (g) 10100 Peso de la muestra seca (g) 9258,42						
Tamices	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Peso Retenido Acumulado (%)	%
en mm	PI	PF	PRP	PRA	RA	PASADO
+ 76,2	9258,42	9258,42	0,00	0,00	0	100
- 76,2 + 63,5	9258,42	8888,08	370,34	370,34	4,000	96,00
- 63,5 + 50,8	8888,08	8177,03	711,05	1081,38	11,680	88,32
- 50,8 + 38,1	8177,03	7604,64	572,39	1653,78	17,862	82,14
- 38,1 + 25,4	7604,64	4943,02	2661,62	4315,40	46,611	53,39
			Gravas	46,61		
- 25,4 + 19,1	4943,02	4597,01	346,01	4661,41	50,348	49,65
- 19,1 + 12,7	4597,01	4109,72	487,28	5148,69	55,611	44,39
- 12,7 + 9,52	4109,72	3780,94	328,78	5477,47	59,162	40,84
- 9,52 + 4,76	3780,94	2769,54	1011,40	6488,87	70,086	29,91
			Gravillas	23,48		
- 4,76 + 2,38	2769,54	1370,92	1398,62	7887,49	85,193	14,81
- 2,38 + 1,18	1370,92	479,82	891,10	8778,59	94,817	5,18
- 1,18 + 0,59	479,82	81,57	398,25	9176,85	98,334	1,67
- 0,59 + 0,30	81,57	30,18	51,39	9228,24	98,885	1,12
- 0,30 + 0,149	30,18	2,11	28,07	9256,30	99,186	0,81
			Arenas	29,10		
Fondo	2,11	0,01	2,102	9258,41	100	0
Total				9258,41		

ANEXOS

Tabla 18. Análisis granulométrico 10

Peso de la muestra húmeda (g) 10100 Peso de la muestra seca (g) 9258,42						
Tamices	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Peso Retenido Acumulado (%)	%
en mm	PI	PF	PRP	PRA	RA	PASADO
+ 76,2	9258,42	9258,42	0,00	0.00	0	100
- 76,2 + 63,5	9258,42	8702,91	555,50	555,50	6,000	94,00
- 63,5 + 50,8	8702,91	8180,74	522,17	1077,68	11,640	88,36
- 50,8 + 38,1	8180,74	7608,08	572,65	1650,33	17,825	82,17
- 38,1 + 25,4	7608,08	4945,26	2662,83	4313,16	46,586	53,41
			Gravas	46,59		
- 25,4 + 19,1	4945,26	4599,09	346,17	4659,33	50,325	49,67
- 19,1 + 12,7	4599,09	4093,19	505,90	5165,23	55,790	44,21
- 12,7 + 9,52	4093,19	3683,87	409,32	5574,55	60,211	39,79
- 9,52 + 4,76	3683,87	2698,43	985,43	6559,98	70,854	29,15
			Gravillas	24,27		
- 4,76 + 2,38	2698,43	1335,72	1362,71	7922,69	85,573	14,43
- 2,38 + 1,18	1335,72	467,50	868,22	8790,91	94,951	5,05
- 1,18 + 0,59	467,50	79,48	388,03	9178,94	98,357	1,64
- 0,59 + 0,30	79,48	29,41	50,07	9229,01	98,893	1,11
- 0,30 + 0,149	29,41	2,06	27,35	9256,36	99,186	0,81
			Arenas	28,33		
Fondo	2,06	0,01	2,048	9258,41	100	0
Total				9258,41		

ANEXOS



Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio



Figura 2. Fotografía colocando el material en el horno



Figura 3. Fotografía pesa empleada para el pesaje del material de desecho

ANEXOS



Figura 4. Fotografía prensa empleada para el ensayo de resistencia para bloques.



Figura 5. Fotografía bloques obtenidos con material de desechos sólidos.

ANEXOS



Figura 5. Fotografía ensayo de resistencia a compresión para los bloques obtenidos con material de desechos sólidos.



Figura 6. Fotografía ensayo para resistencia a compresión de morteros.



Figura 7. Fotografía ensayo para resistencia a la flexión de morteros.

ANEXOS



Figura 8. Fotografía a la muestra del rechazo.