



MINISTERIO DE LA EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”
FACULTAD GEOLOGÍA -MINERÍA
Departamento de Minería

Trabajo de Diploma

En Opción al Título de Ingeniero en Minas
VALORACION TECNICA DE LOS DESECHOS SERPENTINITICOS
DE LA EMP. MOA NICKEL S.A. COMO MATERIAL DE
CONSTRUCCION ALTERNATIVO

Autor: Vijaya Kattel

Tutor(es): Dr. C. Carlos Alberto Leyva Rodríguez

Dr. C. Orlando Belete Fuentes

MSc. Eduardo Sariol López

Moa, Junio de 2010

“AÑO 52 DEL TRIUNFO DE LA REVOLUCION”

RESUMEN

El trabajo de diploma "Valoración Técnica de los Desechos Serpentiníticos de la Empresa Moa-Níckel S.A como material de construcción alternativo", tiene como objetivo realizar una valoración de los desechos serpentiniticos y los ensayos correspondientes que permitan recomendar su empleo más efectivo como materiales de construcción alternativos, con vista a potenciar el desarrollo sostenible de esta industria en el municipio, realizándose una caracterización integral de esta materia prima.

En este trabajo de diploma se exponen los resultados obtenidos de los ensayos realizados al material de rechazo de la Empresa Moa Nickel S.A. en diferentes laboratorios especializados, y para la interpretación de estos, se utilizaron los requisitos de cada uno de los ensayos, que establece la NC 251: 2005 de Especificaciones de áridos para Hormigones Hidráulicos. También se muestran algunos resultados de estudios anteriores realizados al rechazo en la Empresa Moa Nickel S.A., así como una descripción del proceso de operación de la planta de pulpa.

Como resultado principal se obtuvo que estas litologías que constituyen el rechazo sólido de esta industria se puede emplear como materiales de construcción alternativos y que pueda ser perfectamente aceptada como materia prima para fabricar bloques de construcción. Este resultado se fundamenta en el uso de técnicas y sistemas constructivos de bajo consumo energético y en el uso de materiales de bajo costo, que se están utilizando en la construcción de viviendas y obras sociales.

SUMMARY

The work of diploma " technical valuation of the serpentinitic residue of the factory Moa - Nickel S.A. as an alternative construction material" has objective to realize valuation of serpentinitic residue and corresponding tests that could permit to recommend it's effective use as an alternative construction material with aim to upgrade the sustainable development of this industry in the municipality, realizing the integral characterization of this raw material.

This work reveals the results obtained from the tests realized to the residual material of the factory Moa - Nickel S.A. in different specialized laboratories and for the interpretation of data, requisites of the each tests that has been established by Cuban Norm NC 251:2005 for the specification of aggregates for hydraulic concrete has been utilized. Also shows some results of the previous studies realized to the residue of the factory Moa Nickel S.A., with a description of the operating process of pulp plant.

As a principal result, it has been obtain that these lithologies which consists the solid residue of this industry could be employed as an alternative construction materials and could de accepted as raw material for the fabrication of construction blocks. This results based on the use of techniques and constructive system under low energetic consume and the use of low costs materials which are been utilizing in the construction of the housing and social works.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de diploma a las personas que más quiero y aprecio en la vida, me refiero a mis padres, la razón de mi existencia, los que me guiaron por el camino del bien desde los primeros momentos de mi vida y me ofrecieron todo lo que estaba a su alcance, de los cuales siempre estaré orgulloso.

Agradecimiento

Agradezco a todas aquellas personas que hicieron posible la realización y culminación exitosa de este Trabajo de Diploma.

A mis padres Yam Kattel y Goma Devi Kattel que siempre por sus consejos me han encorajado a seguir mis estudios y a formarme como un hombre nuevo para el nuevo siglo de nuevas exigencias ingenieriles.

A mis hermanos Ajay Kattel y Arati Kattel por la confianza que siempre han depositado en mí, por los apoyos que siempre me han brindado y la gran preocupación por mi salud y estudios.

A mis Tutores Dr.C. Carlos Leyva Rodríguez, Dr.C. Orlando Belete Fuentes e Ing. Eduardo Sariol López, por su ayuda y preocupación en la realización de este Trabajo de Diploma.

A Dr.C. Roberto Watson Quesada por su apoyo en mi formación como profesional.

A M.sc Julio Matos Montero por su colaboración en cada camino de mi carrera.

A Ing. Alien Céspedes Rivera por su apoyo intenso para la culminación de este trabajo de diploma.

A Ing. Luis Enrique por apoyo inmenso en cada paso que me necesitaba durante la realización de los trabajos de campo y sus recomendaciones.

A todos mis paisanos por la preocupación que han tenido con mis asuntos, y en especial para los estudiantes Ing. Subash Bastola, Dhanbir Maharjan y Sulochana Shrestha, por haber sido siempre mis fieles compañeros de Batalla.

A todos los profesores del Departamento de Minería por su apoyo, preocupación y sobre todo paciencia en la realización y culminación de este Trabajo de Diploma.

A los compañeros del laboratorio de materiales de construcción de la Empresa de Reparaciones y Construcciones del Níquel “Comandante Pinares”(ECRIN), los que

me brindaron su apoyo incondicional, en especial a los compañeros Modesto Brunet Paneque y Camilo Matos.

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

A todos mis amigos y en especial al Ing. Chencho Wangdi, Ing. Minh Nguyen Ngoc, Sonam Tshring, y Kuenga Nidup, Anamar Ramírez, Ing. Deoram Ramdas, Ing. Damian Wilson Benjamin, Omar Sáname, Julio Cesar, Armindo Cesar Nahimbre, Yennia Martínez Ramírez, la brigada de 4to año minas en especial al Geraldo Conde Eliseu, Melzer Delgado Cruz, Samantha Singh, Mohato Mioma, Yasmany Cala Peraza y Yanier Gómez por sus inestimables contribuciones.

A mis familias Cubanas que me han dado apoyo en los momentos difíciles.

A todos, muchas gracias, y siempre estaremos juntos.

Vijaya Kattel

Moa, 2010-06-06

Pensamiento

Yo nunca miro lo que he hecho, solo miro que le falta por hacer.

Buddha

Nosotros hemos hecho y moldeado por nuestros pensamientos. Aquellas mentes que están formadas por pensamientos sin interés dan alegría cuando se hablan o actúan. La alegría sigue a ellos como una sombra que nunca deja.

Buddha



INDICE

	PAG
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I. ESTADO DEL ARTE	
I.1 Introducción.....	4
I.2 Estado actual de esta problemática en el mundo.....	5
I.3 Antecedentes y actualidad del tema en Cuba.....	8
CAPITULO II. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LOS YACIMIENTOS QUE APORTAN EL MATERIAL DE RECHAZO	
II.1 Características geográficas y geológicas del yacimiento Moa Oriental.....	16
II.2 Características geográficas y geológicas del yacimiento Zona-A....	21
II.3 Flujo tecnológico de la Preparación de Planta de Pulpa.....	28
CAPITULO III. METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS DESARROLLADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	
III.1 Introducción.....	31
III.2 Toma de muestras.....	32
III.3 Determinación de las propiedades de los áridos.....	33
III.4 Ensayos realizados a los productos obtenidos de los rechazos.....	50
CAPITULO IV. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	
IV.1 Introducción.....	57
IV.2 Valoración de los resultados obtenidos a los ensayos de los áridos.	59



IV.3 Interpretación de los resultados de los ensayos realizados a los productos obtenidos de material de rechazo	67
IV.4 Mitigación de los impactos ambientales.....	73
CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES	
Conclusiones.....	75
Recomendaciones.....	77
Bibliografía.....	78
Anexos.....	



INTRODUCCIÓN

El municipio de Moa presenta un déficit de materiales de construcción y especialmente de áridos. 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 carencia también de transporte.

Este territorio es uno de los de mayor desarrollo industrial del país y del total 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.

Dos aspectos que en lo social serán de primer orden, son los relativos a 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 ya realizado un proceso inicial en su preparación mecánica, conlleva 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 además 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 abasto de áridos para estas zonas que tanto lo demanda.

Problema científico a resolver:

En la Empresa Moa Nickel S.A. existe un gran volumen de material serpentinitico de rechazo que asciende a más de 450 000 t/año, pudiendo alcanzar hasta 600 000 t/año, que originan problemas en su acomodo y afectaciones al ecosistema; no existiendo una valoración técnica de estos materiales para lograr su uso



efectivo y que resuelva una problemática social importante como fuente de materia prima mineral para ser empleada como áridos en la construcción.

Objeto de investigación:

Desechos serpentiniticos de la Empresa Moa Nickel S.A.

Campo de acción:

Planta de Pulpa (Sector Mina).

Resultados Esperados:

1. Caracterización de la composición sustancial de los desechos serpentiniticos de la Empresa Moa Nickel S.A.
2. Caracterización de las granulometrías existentes en el rechazo.
3. Realización de ensayos técnicos a los desechos serpentiniticos para su empleo como áridos y valoración de los resultados obtenidos.
4. Definición de los usos específicos recomendados.

Hipótesis:

Al realizar la valoración técnica de los desechos serpentiniticos de la Empresa Moa Nickel S.A. para su empleo como áridos para la construcción, se logra un aporte económico, social y ambiental importante al municipio en programas de gran impacto como la construcción de viviendas y otras obras sociales.

Alcance

La investigación pretende demostrar la posible utilización de los desechos serpentiniticos como material de construcción, y sobre esta base proponer una vía tecnológica para su preparación.



Objetivo:

Realizar una valoración técnica de los desechos serpentiniticos y los ensayos correspondientes, que permitan recomendar su empleo más efectivo como materiales de construcción alternativos con vista a potenciar el desarrollo sostenible de esta industria en el municipio.

Objetivos específicos:

- Caracterizar los desechos serpentiniticos desde el punto de vista físico, químico y mecánico.
- Caracterización de las granulometrías existentes en el rechazo.
- Ensayos técnicos a los desechos serpentiniticos para su empleo como áridos y valoración de los resultados obtenidos.

MATERIALES Y METODOS.

Métodos teóricos

1. Análisis y síntesis: Se realizó el análisis para fundamentar la necesidad de utilizar los desechos sólidos de la Empresa Moa Nickel SA. como materia prima para la construcción.
2. El análisis y la síntesis en su interrelación dialéctica se aplicó durante todo el proceso de investigación.
3. Histórico – lógico: Estudio de nuestro objeto de la investigación en los últimos años.
4. Inducción y deducción: En la propuesta de los métodos de ensayo e interpretación de los resultados obtenidos.

Método práctico:

Fotografía laboral: Monitoreo del material rechazado por la planta de beneficio durante el suministro de material serpentiniticos desde la mina.

CAPÍTULO I. ESTADO DEL ARTE

I.1 INTRODUCCIÓN

Se brinda el esclarecimiento de algunos términos que se emplean en el trabajo para una mejor comprensión de los aspectos siguientes. Los términos siguientes fueron tomados de la Norma Cubana.

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, 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 por sobre 4,76 mm.

Arena Beneficiada: arena resultante de la clasificación, el lavado y separación de los tamaños por debajo 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.

I.2 ESTADO ACTUAL DE ESTA PROBLEMÁTICA 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 accesorio, 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 valoramos 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 periodo 1998 – 2001, desglosada por tipo de rocas extraídas (en t), 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 serpentínizada 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. (http://www.igme.es/internet/RecursosMinerales/panoramaminero/historico/93-94/OT_SUST.pdf)

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:

(http://www.igme.es/internet/RecursosMinerales/panoramaminero/historico/93-94/OT_SUST.pdf)

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 (<http://www.lei.lt/insc/sourcebook/sob4.pdf>), 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 serpentínicos es acostumbrado para atenuar los neutrones termales cuya temperatura oscila en el rango de 400-500 grados.

Según la publicación El Universal de Caracas.- 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.

I.3. ANTECEDENTES Y ACTUALIDAD DEL TEMA EN CUBA.

Los materiales de construcción constituyen una prioridad para el municipio, provincia y país. Los áridos en Moa son necesarios 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 del orden 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 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 Serpentiníticos de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara como materiales de construcción alternativos, demuestra que los ensayos realizados a los materiales serpentiniticos, 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 Serpentiníticos 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 serpentiniticos 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 serpentiniticos 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 serpentiniticos de la Empresa 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 serpentiniticos de la Empresa 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 serpentiniticos 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 y físico – mecánica del material de rechazo y establecer las características típicas de trituración del material rechazado, en las trituradoras de mandíbulas 320 x 65mm y 150 x 75mm, 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 165 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 serpentínicos de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara como áridos para la obtención de hormigones hidráulicos, en el cual fueron tomadas una cantidad de muestras representables del material serpentínicos y enviado al Laboratorio de la ECRIN ubicado en el municipio de Moa, destinados a realizar el complejo de ensayos para establecer las dosificaciones requeridas para obtener hormigones hidráulicos de medias prestaciones a partir de los áridos serpentínicos del rechazo de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara. Con la dosificación 1 se demuestra que pueden obtenerse hormigones de resistencia de hasta 20 Mpa, por lo cual esta dosificación es la más apropiada de las estudiadas. Estos hormigones pueden ser empleados, según la norma cubana en: cimientos aislados, corridos y en prefabricados; pedestales in situ y prefabricados; muros de contención forzados y vigas cerramientos.

Hace aproximadamente cinco años se han efectuado ensayos de diferentes tipos a los materiales serpentínicos 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 Telles Girón para el trabajo realizado por Lueges, 2008).

Uso como material ornamental

Se consideran rocas ornamentales, también llamadas piedras naturales aquellas rocas que, tras un proceso de elaboración, son aptas para ser utilizadas como materiales nobles de construcción, elementos de ornamentación, arte funerario o escultórico y objetos artísticos variados, conservando íntegramente su composición, textura y características físico-químicas. Su interés económico y comercial, reside en características variadas como viscosidad, propiedades físico-mecánicas y aptitud para el pulido. La terminología utilizada en el mercado de la piedra natural pierde su rigor geológico y petrográfico, simplificando sus denominaciones, según tres grupos genéricos en: granitos, mármoles y pizarras.

Los tres subsectores en los que, tradicionalmente, se divide el sector de la Piedra Natural o roca ornamental, son Granito, Mármol y Pizarra. En los últimos años, se



empezado a tomar en consideración un cuarto subsector, el de la Piedra de Cantería, anteriormente poco conocido (por su dispersa estructura empresarial), pero que cada vez va tomando mayor entidad por el volumen de sus ventas y por la importancia social de las canteras de este tipo de productos.

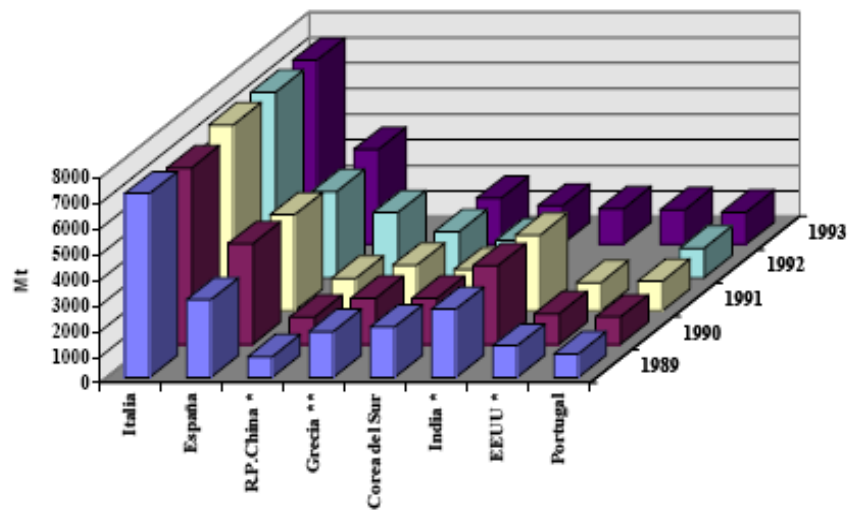
El mármol comercial (mármol, calizas marmóreas, calcarenitas y **Serpentinitas**, todas ellas pulibles) se explota principalmente por corte en banco, con hilo diamantado o rozadora de cadena, utilizándose cada vez menos el método de perforación y voladura. Los bloques que se obtienen son, en general, algo menores que los de granito (3 a 6 m³). Los productos comercializados son bloques, tableros y plaqueta de 1 cm de espesor (producto acabado).

Las serpentinas, aunque no son rocas carbonatadas, pues, proceden del metamorfismo de rocas básicas y ultrabásicas, se consideran tradicionalmente dentro de este grupo, hasta el punto de conocerla como mármol verde.

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 grafico 1) detalla las producciones, en los últimos años, de los ocho primeros países productores.

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.

Grafico1.Principales países productores de piedra natural



CAPITULO II. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LOS YACIMIENTOS QUE APORTAN EL MATERIAL DE REHAZO.

II.1 Características geográficas y geológicas del yacimiento Moa Oriental.

El yacimiento Moa Oriental limita al Norte con la Empresa 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

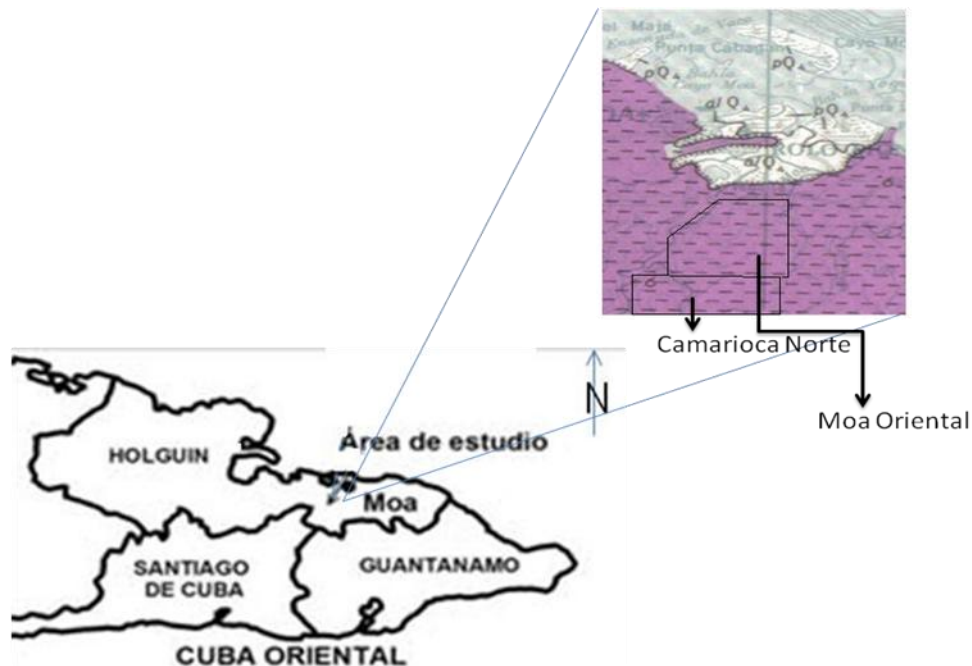


Fig. 2.1 Ubicación del yacimiento Moa Oriental



II.1.1 Características geológicas.

El yacimiento Moa Oriental es por su naturaleza 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.

El basamento de las áreas ocupada 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.

II.1.2 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 siguientes formaciones:

Cretácico Inferior (K₁): Formación Santo Domingo, representada por relictos de diabasas, espilitas y oofirritas 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.

II.1.3 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.

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.



II.1.4 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 disecionadas. 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.

II.1.5 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 roca fresca es de gris verdoso a gris oscuro, en ocasiones hasta negro. La masa volumétrica de esta oscila entre 2.40 y 2.60g/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 cromospielas y magnetita en forma de granos independientes y pequeños agregados.



Tabla # 2 Composición química de las harzburgitas serpentínizada del basamento del yacimiento

Sector	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	Cr ₂ O ₃	NiO	Otros
Norte	36.93	0.81	9.05	1.92	0.45	33.56	0.15	0.20	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.

II.1.6 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 horizontes serpentíníticos 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 10.6m, y predominando las potencias entre 2 y 12 m.

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

Tabla # 4 Distribución de las concentraciones de hierro, níquel y cobalto en las cortezas lateríticas.

Variables (%)	Mínimo	Máximo	Media	Desviación estándar
contenido de Fe en la corteza	5	50,6	35,3	7,48
contenido de Fe en la capa útil	35	53	40,5	15,7
contenido de Ni en la corteza	0,18	2,59	0,85	0,27
contenido de Ni en la capa útil	0,9	2,78	1,06	0,45
contenido de Co en la corteza	0,01	0,42	0,08	0,037
contenido de Co en la capa útil	0,01	0,62	0,12	0,069

II.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 Moa- Níckel 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 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:

N: 219172-221291, S: 695360-697760



II.2.1 Características geológicas.

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

Esta 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 mas compacta, con alta concentración de concreciones de hierro de color negro a pardo oscuro rojizo en ocasiones subredondeados con diámetro desde mm hasta 2cm. También es frecuente la presencia de coraza en forme de fragmentos irregulares o de bloques compactos que llegan alcanzar hasta 1m de espesor.

La potencia promedio de este horizonte es de 3.98m y su representatividad en el yacimiento es de un 26,1% de la potencia total, a el se asocian las mena ferrosas FF y en menor grado las LF (menas limoníticas), es visible la mineralización de cromita.

Tabla # 5 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 Serpentiníticos	Al	6,25
Minerales Arcillosos	Mn	0,56
Minerales de Manganeso	Cr	2,15
Magnetita	SiO ₂	3,45

Se identificaron minerales del grupo del platino en algunos puntos con una composición media de Pt= 0.096g/t y Pd= 0.013g/t.



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

Esta representada por ocre de color rojo oscuro más compacto, por la presencia un poco mayor de minerales arcillosos y en cuya masa aparecen coraza en fragmentos irregulares en ocasiones muy silicificados.

La potencia media de este horizonte es de 2.87m 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 cromita aunque en menor grado que el horizonte que lo procede.

Tabla # 6 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

En este horizonte se encuentra la mayor mineralización de cuarzo de todo el perfil.

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

Esta 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 5.7m 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 menas SB con contenido promedio de hierro de 30%, menas LF y SF (con alto contenido de cuarzo).

Tabla # 7 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 Manganeseo	1,30	Cr	1,87
Magnetita	0,67	SiO ₂	10,72

Sub-zona de ocre estructurales iniciales (litología 4).

Está representada por ocre 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 1.71m 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 el se asocian las menas serpentiniticas SB.



Tabla # 8 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 Manganeseo	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 0.69m 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 # 9 Composición media mineralógica y química en % (litología 5)

Composición mineralógica (%)		Composición química (%)	
Goethita	25,79	Ni	0,94
Gibbsita		Fe	11,67
Cromita	1,4	Co	0,026
Cuarzo	2,25	Mg	11,14
Minerales Serpentiníticos	43,26	Al	2,97
Minerales Arcillosos	24,31	Mn	0,94
Minerales de Manganeseo	0,46	Cr	0,96
Magnetita	2,24	SiO ₂	29,81



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 harzburgitas por minerales de serpentina (serpofita, lizardita, antigorita) relictos de olivinos alterados a clorita y piroxeno bastitizados. Las hazburgitas serpentínizadas constituidas fundamentalmente por olivino poco serpentinado, minerales de serpentina y piroxeno.

Tabla # 10 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 Manganeseo	0,11	Cr	0,25
Magnetita	3,02	SiO ₂	38,06

II.2.2 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 164m 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 metros máximos hasta 1m en los niveles mínimos, coincidiendo este último con la zona de aluviales del río Cabañas hacia el límite Este.



Teniendo en cuenta el pH de las aguas subterráneas presentes en el yacimiento se puede establecer tres zonas principales, la primera zona esta ubicada en el Norte y Este del yacimiento, en áreas cercanas a la Empresa 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 Sur Oeste 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 periodos de máxima y mínima precipitación van desde 1m hasta 6.7m.

Presas de rechazo antiguas.

El área de trabajo abarca una extensión total de 294.26ha, dividido en dos áreas denominadas Presa de Rechazo Vieja y Presa de Rechazo Nueva. Las cotas en la Presa Vieja oscilas 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 (Ni y Co) 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 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

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 140mm/2h, siendo como promedio alrededor de 160mm/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.

II.3 Flujo tecnológico de la Preparación de la Planta de Pulpa

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 mesh).

Esta Planta fue diseñada con dos unidades iguales e individuales (con algunos equipos en común). Cada unidad es capaz de manipular la capacidad total de la planta, pero normalmente cada tren debe operar con una capacidad no mayor de 455 t/h. Estos trenes están compuestos por una (tolva, transportador de estera, transportador de banda, criba), dos (lavadoras, zarandas primarias) y cuatro zarandas secundarias.

El mineral se alimenta a la Planta a través de camiones que parten de la mina. Sin embargo cuando existen dificultades para transportar el mineral por algún problema ocasionado o por lluvias, se toma mineral de las pilas de almacenaje situadas y conservadas a la entrada trasera de la planta.



El mineral cae por gravedad a una tolva, cuyo tiempo de retención es 9.9 min. La tolva 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 al caer.

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 luego conducido a las cribas, que poseen barras situadas paralelamente a una distancia de 127 mm (5"), aquí se añade por primera vez agua en forma atomizada a una presión de 80 lb/pul² con el objetivo de romper los terrones de mineral que pasaron a través del embudo y lavar las partículas de mineral que traen las rocas serpentínicas.

La pulpa con partículas de mineral menores de 127 mm (5") 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 30 % de sólidos que sale de esta, dividida en dos corrientes, cae por gravedad a las zarandas primarias, las cuales son de malla de 9,53 mm (3/8").

El rechazo de la criba vibratoria mayor de 127 mm (5") es llevado por medio de un transportador vibratorio a un cilindro lavador, el cual desmenuza los terrones, y lava la parte superficial de las piedras duras, (actualmente este cilindro está en operación). Las partículas de mineral mayores de 127 mm (5") son rechazadas por el cilindro lavador a un molino de quijada (actualmente este molino no esta en operación) que las tritura para hacerlas similares a las partículas que vienen en el rechazo de las zarandas primarias y secundarias, además así se controla mejor el peso del rechazo.

Las partículas mayores de 9,53 mm (3/8") que son en su mayoría de carácter serpentínico, son rechazadas por las zarandas primarias y van al transportador de rechazo y las menores de 9,53 mm (3/8") se dividen en dos corrientes cada una de las cuales cae a una zaranda secundaria.



Las zarandas secundarias separan las partículas menores de 0.84 mm, formando una pulpa de 25% de sólidos alimentándose por gravedad a la Planta de Espesadores de Pulpa a través de una tubería de concreto de 24" de diámetro.

El rechazo de las zarandas secundarias de carácter serpentínico, se une al de las primarias, van a los transportadores de rechazo, para pasar después a la presa de rechazo donde es almacenado para ser procesado en el futuro.

El agua que se utiliza en los rociadores para lavar el mineral, es agua de proceso, extraída del reboso de los tanques espesadores de pulpa. Esta agua es bombeada a través de una tubería de 460 mm (18") hasta la Planta de Preparación de Pulpa.



CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS DESARROLLADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

III.1 Introducción

Durante el desarrollo del presente tema haremos una descripción detallada de la metodología seguida durante la evaluación de los rechazos serpentínicos de la Empresa Moa Nickel S.A., además ofrecemos datos acerca del volumen de trabajos realizados y las técnicas empleadas durante el desarrollo de la investigación.

III.1.1 Recopilación de la información.

Para desarrollar esta etapa de la investigación, utilizamos la base de datos del Centro de Información del ISMM y su biblioteca virtual insertada en su página web <http://www.ismm.edu.cu> Desarrollada la búsqueda se procedió al procesamiento de los datos disponibles y a la interpretación de los resultados obtenidos, llevándose esta última a formato digital como parte de la memoria escrita de la investigación y como documentos gráficos (mapa de ubicación geográfica, mapa geológico de la región Moa -Sagua de Tánamo y otros), también incluidos en el trabajo.

Con el objetivo de lograr un volumen mayor de información se realizó una intensa búsqueda bibliográfica de artículos científicos, trabajos de diplomas, revistas, y otros documentos relacionados con la temática abordada en la investigación, disponibles en su mayoría en el centro de información del ISMM (mapas geológicos, mapas topográficos, etc.). Esta revisión bibliográfica fue apoyada por la correspondiente búsqueda en sitios web de la INTERNET especializados en la temática que contribuyó significativamente al enriquecimiento de la información con datos actualizados.



III.1.2 Trabajos de campo

El desarrollo de los trabajos de campo estuvo dirigido a obtener el mayor volumen de información geológica básica. Durante estos recorridos se tomaron muestras de Serpentinitas del rechazo de la planta de pulpa de la Empresa Moa Nickel S.A. del municipio Moa. Las muestras tomadas eran lo suficientemente frescas para los estudios de laboratorio posteriores que incluyen análisis químicos y mineralógicos, análisis para determinar propiedades geométricas, físico - mecánicas, químicas y de alteración de las rocas.

III.1.3 Trabajos de laboratorio

Las muestras de serpentinitas escogidas del rechazo de la planta de pulpa de la Empresa 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 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 C. 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.

III.2 Toma de muestra

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

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 una hora tomándose cada 15 min interrumpido una muestra para un total de 6 kg y conformar una muestra representativa de una hora.

Con el auxilio de una pala, que se ubico 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 arcillosa 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:

- Número de la muestra.
- Análisis a realizar.
- 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, 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.

III.3 Determinación de las propiedades de los áridos.

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:

- Determinación de la granulometría de las partículas.
- Determinación del material menor que 0.074 mm.
- Determinación de la impureza orgánica.
- Determinación propiedades físico – mecánicas de los áridos.



- Determinación de la estabilidad a la acción del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio.
- Determinación de la reacción Árido - Álcalis.
- Determinación de la durabilidad al intemperismo.

III.3.1 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 fotografía 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.



Fotografía #1- Tamizadora Eléctrica

La muestra de material se separó en una serie de tamaño usando para ello los tamices siguientes (12.7mm; 9.52mm; 4.76mm; 2.38mm; 1.19mm) para el caso del



material grueso, y para el material fino (9.52mm; 4.76mm; 2.38mm; 1.18mm; 0.598mm; 0.3mm; 0.149mm), de acuerdo con las especificaciones para el uso del material que se ensaya.

Finalmente obtendríamos 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.

A continuación se explica el contenido de la tabla.

Tabla # 11. 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	$Z1=(Y1/X_{total})*100$	$C1=100-Z1$
.....		X2	$Y2=Y1+X2$	$Z2=(Y2/X_{total})*100$	$C2=100-Z2$
.....		X3	$Y3=Y2+X3$	$Z3=(Y3/X_{total})*100$	$C3=100-Z3$
.....		X4	$Y4=Y3+X4$	$Z4=(Y4/X_{total})*100$	$C4=100-Z4$
.....		X5	$Y5=Y4+X5$	$Z5=(Y5/X_{total})*100$	$C5=100-Z5$
.....		X6	$Y6=Y5+X6$	$Z6=(Y6/X_{total})*100$	$C6=100-Z6$
		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 por ciento real acumulados (%RA) y se calcula de la siguiente forma:

$$Z1;...Z6=\left(\frac{y_1;...y_6}{x_{total}}\right)100$$



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.

III.3.2 Determinación del material menor que 0. 074 mm, según la NC 182: 2002. Áridos.

El procedimiento se basa en separar mediante lavados y tamizados sucesivos, las partículas finas existentes en los áridos, estas son las porciones que pasan a través del tamiz de 0,074 mm. Para la realización de este ensayo se utilizan dos tamices de agujeros cuadrados: uno de 0,074 mm y otro con abertura mayor, aproximadamente 1,19 mm. La muestra después de pesada se coloca en el recipiente y se le añade agua hasta cubrirla completamente para poder mezclar y agitar convenientemente sin que se produzcan pérdidas, tanto de áridos como de agua. Se agita vigorosamente con el fin de poner en suspensión las partículas finas que pasan por el tamiz de 0,074 mm hasta obtener su separación de las partículas gruesas.

Inmediatamente se vierte el agua que contiene las partículas en suspensión en los dos tamices colocados con el tamiz más grueso encima, evitando en lo posible la decantación de las partículas gruesas de la muestra. El proceso de lavado se repite tantas veces como sea necesario hasta que el agua utilizada salga completamente limpia y clara. Todo el material retenido en los tamices se une a la muestra lavada. El árido lavado se deseca hasta que obtenga un peso constante o durante 24 horas a una temperatura que no exceda 105 - 110 °C. El por ciento de material fino que contiene el árido se determina por la expresión

$$\text{Porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,074 mm} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \cdot 100$$

Donde:

P_i: peso de la muestra original seca

P_f: peso de la muestra seca después de lavada.



III.3.3 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.

III.3.4 Determinación de las propiedades físico – mecánicas de los áridos.

a) *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.

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



Fotografía#2 Equipo eléctrico.

Peso específico corriente

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:

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

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 el 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 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. La muestra se pesa en el aire.

Una vez pesada, la muestra saturada y superficialmente seca se coloca inmediatamente en el cesto de alambre o en el cubo metálico y se determina su peso dentro 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 fotografía 7 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 fotografía



Fotografía#3. Balanza Hidrostática. Fotografía# 4. 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 deberán tenerse cuidados si presentan superficies rugosas e irregulares para obtener resultados consistentes

- Las balanzas deberán ser adecuadas para pesar la cantidad de material requerido.
- El contenedor para sostener la muestra deberá ser sumergida hasta la profundidad que permita cubrir el contenedor todo el tiempo.
- 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.
- 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.
- Debido a las dificultades del secado de las superficies de las partículas mas finas contenidas muestras para ensayos de áridos gruesos, los materiales mas finos que el tamiz de abertura 4.76 mm deberá ser eliminado.
- 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.
- 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
- El peso seco en estufa no es necesario si la determinación del pesos saturado superficie seca brinda suficiente información.
- El secado en estufa pudiera ser necesario para determinar la absorción de los áridos.



- 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:

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

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 por ciento de huecos.

Los pesos volumétricos se determinan por medio de pesadas del material contenido en recipientes calibrados de volumen conocido. Se determinara el peso neto del árido contenido en recipiente, luego se obtendrá el peso volumétrico (suelto o compactado) multiplicando el peso neto por un factor de calibración.

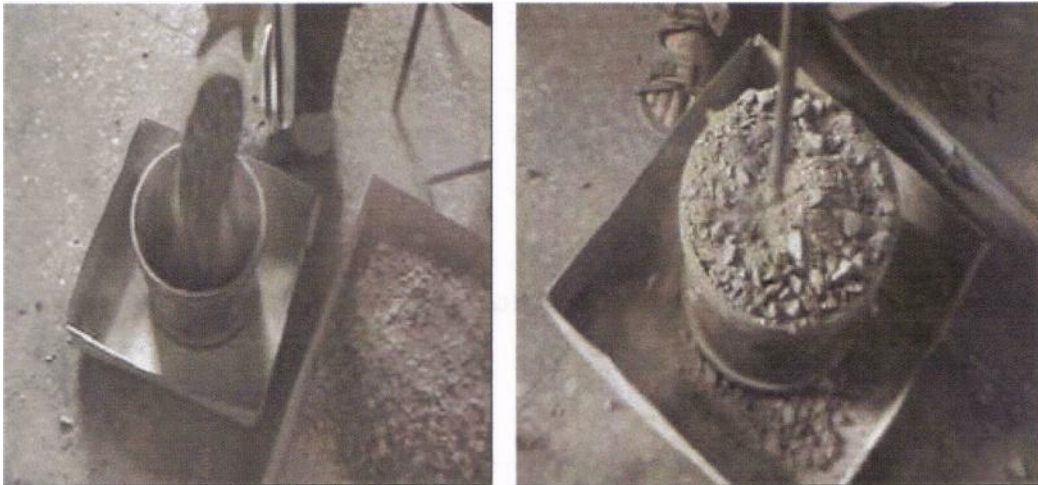
Los materiales granulares pueden presentar muy diversos pesos unitarios en dependencia del grado de compactación que alcancen en el volumen cubicado y esto se hará más crítico mientras el tamaño de los granos sean más pequeño.

Atendiendo a lo antes expuestos se identifican dos tipos de pesos unitarios. El peso unitario suelto (PUS), en el 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 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.



Fotografía # 5. Llenado y compactación con barra del recipiente de medición del peso volumétrico 6.

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.



Tabla # 12 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.



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.

III.3.5 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 0 °C.

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 periodo de tiempo comprendido entre 16 y 18 horas, de manera tal que el nivel de la solución quede 1,5 cm por encima del nivel de la muestra 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.

III.3.6 Determinación de la reacción Árido - Álcalis.

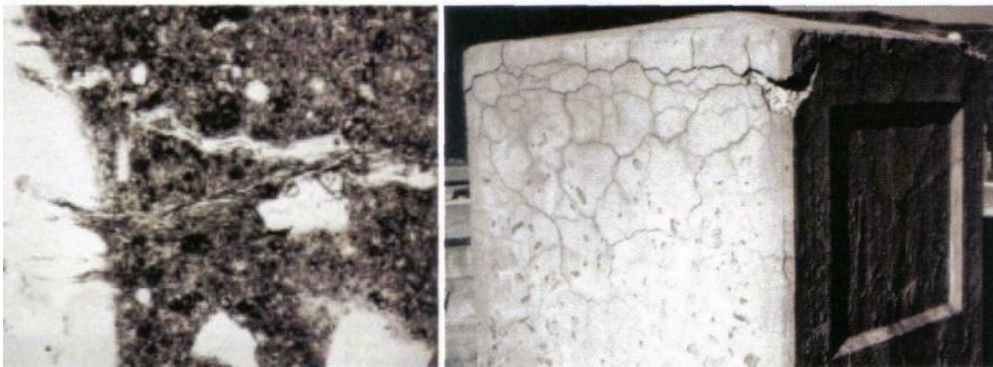
Este ensayo consiste en determinar por medio de análisis químico, la sílice soluble y la Reducción de la Alcalinidad de la roca, de acuerdo a la norma de referencia. El árido empleado en la producción de hormigones no debe tener ningún tipo de compuesto que sea potencialmente reactivo con los álcalis 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 petrográficos 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 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: $0,658 \text{ k}_2\text{o} + \text{Na}_2\text{o}$ sea menor o igual al 0,6%

Fotografía #9. Micro fisuras ocurridas por la expansión provocada por la reactividad árido- álcali.



III.3.7 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:



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

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

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

III.4 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 priorizados estos dos productos debido a que son de los que más demanda tiene 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 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/mm²) o mediante otras unidades arbitrarias por ejemplo en Mpa y kg/cm². Estos pueden dividirse en:

- 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.

- 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).



Fotografía # 6 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 ultimo en la tercera etapa se determino la resistencia a la compresión a los 28 días y se tomaron 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 carga 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.

En un momento en que la superficie de la cara superior de la máquina para ensayos a la compresión y el bloque tengan 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 = carga de rotura del bloque..... (KN)

A_j = área del bloque..... (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 24h, 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

$$Ab = \frac{Mh_i - Mg_i}{Mg_i} \cdot 100 \dots (\%)$$

Donde:

Ab= Absorción de cada muestra

Mh_i= Masa húmeda de cada unidad de la muestra.... (Kg)

Mg_i= Masa seca de cada unidad de la muestra.... (Kg)

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

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 compartimento 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 enrasa 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.



Fotografía # 7 prensa para los morteros (10 t)



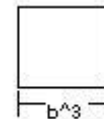
Fotografía # 8. Molde para los morteros.

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 le 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)

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),

$$6,2764 = \frac{1,5 \times 2,6 \times 1000 \times l}{64000}$$

$$l \cong 103 \text{ mm}$$

Despejando el valor de l en la ecuación anterior,

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times 103 \times 1000}{64000}$$

$$R_f = 2,414 \times F_f$$

Para calcular Resistencia a la compresión



$$R_c = \frac{F_c \times 1000}{1600} = 0,625 \times F_c$$

Donde:

R_c: Resistencia a la compresión de la muestra.

F_c: Carga máxima de rotura

1600 = área de la superficie de los platos



CAPITULO IV. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ANALISIS REALIZADOS AL MATERIAL DE RECHAZO DE LA EMPRESA MOA NICKEL S.A.

IV.1 Introducción:

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos de los ensayos realizados al material de rechazo de la Empresa Moa Nickel S.A. en diferentes laboratorios, y para la interpretación de estos se utilizaron los requisitos para cada uno de los ensayos, que establece la NC 251: 2005 de Especificaciones de áridos para 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 Moa Nickel S.A.

Resultados de estudios anteriores tomados del Informe sobre la caracterización del Mineral de Rechazo por el Proceso de Planta de Preparación de Pulpa (Lavaut, 2004).

En este informe se presentan los resultados del estudio de la caracterización del Mineral de Rechazo por el Proceso de Planta de Preparación de Pulpa cuyo objetivo principal de la investigación fue el de definir el grado de recuperación de la fracción -20 mesh en el material de rechazo y así comprobar la eficiencia en términos de disminuir él por ciento de rechazo fino de la operación tecnológica de la Planta.

El rechazo de planta de pulpa perteneciente a la Empresa Moa Nickel S.A. del municipio de Moa está conformado teóricamente por la fracción >0.83 mm (malla 20) y está compuesta por fragmentos de serpentina dura, fragmentos de escombro en forma de concreciones ferruginosas, material fino en forma de pulpa, arena y pelotas de mineral limonítico que no es disuelto por el agua a presión y pasa a engrosar el rechazo.



- La composición granulométrica de la mayoría de las muestras tiene un predominio del material grueso mayor de 20 mallas y sólo el 21,92% de las muestras está constituido totalmente de material grueso (fragmentos de serpentinita, etc.), por lo que el 78,08% de las muestras contienen la fracción fina -20 mallas.
- La producción general de finos -20 mallas en el rechazo fue como promedio 8,9% ponderada por el peso de las muestras, según los datos del monitoreo de la fábrica de los primeros 5 meses del 2004
- El peso volumétrico húmedo promedio del material total de rechazo es $1,39\text{t/m}^3$, con una humedad promedio de 16,94%. El peso volumétrico seco del material total de rechazo es $1,16\text{ t/m}^3$ con un coeficiente de variación de 20,39%, por lo que se comporta como un parámetro muy estable.
- Se pudo observar que existe un determinado nivel de influencia del funcionamiento de la Planta de Preparación de Pulpa en la calidad del rechazo, y por consiguiente también de la lateríta (material sucio) después de los paros, fragmentos de serpentinita con dimensiones superior a 127 mm, disminución del tiempo útil de operación de planta de pulpa por tranques debido a bloques de rocas duras que aporta anormalmente fragmentos rocosos al rechazo, funcionamiento con diferentes pérdidas de mineral fino laterítico y fluctuación en la composición química del fino rechazado según el horario.
- Se pudo establecer que existe un incremento de las pérdidas del fino con el crecimiento del volumen de mineral alimentado a la planta de preparación de pulpa, siendo las pérdidas mayores de 15% de fracciones finas durante el monitoreo de la EGMO, para alimentaciones $>600\text{ t}$, de 21,88% como promedio, y durante el monitoreo de la Moa Nickel S.A. las pérdidas mayores de 20% fueron más frecuentes con alimentaciones mayores de 1000 t, promediando para los cinco primeros meses del año 2004, 43,94%.



- Las muestras +20 mallas están constituidas fundamentalmente por peridotita serpentínizada de color gris oscuro verdoso, de estructura bien definida, con tamaños muy variados desde mm hasta 4 cm, manchas aisladas de Mn y silicatos de níquel y óxidos e hidróxidos de Fe. Junto al material aparecen en mayor por ciento los perdigones de Fe de color pardo rojizo que oscilan en un tamaño muy variado mm-3cm, de forma subredondeados encontrando en el material intercalaciones de coraza de Fe en menor volumen.

IV.2 Valoración de los resultados obtenidos a los ensayos de los áridos

a) Resultados de la composición química

Los ensayos que se muestra en la tabla número 13 fueron realizado en el laboratorio del CTDMC y corresponden a seis muestras de rechazo serpentiniticos.

Tabla # 13 Resultados del análisis químico realizado al material de rechazo en el laboratorio del CTDMC.

Análisis	1	2	3	4	5	6	Media
S iO ₂	31,5	30,9	29,9	29,4	30,7	32,1	30,75
Fe ₂ O ₃	17,2	16,8	18,1	17,9	16,9	16,4	17,22
Al ₂ O ₃	4,1	3,9	3,8	4	4,2	3,7	3,95
CaO	0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,28
MgO	28,4	27,6	31,2	29,4	29,4	30,1	29,35
SO ₃	0,7	0,8	0,31	0,56	0,64	0,09	0,52
PPI	16,4	18,2	15,6	17,2	16,3	15,9	16,60
Σ Óxidos	98,7	98,5	99,11	98,76	98,44	98,49	98,67
Res. Ins. (RI)	56,1	56,1	56,1	56,1	56,1	56,1	56,10
Carbonatos Totales	0,92	1,02	0,89	0,87	1,08	0,92	0,95

Estos resultados de los análisis químicos anteriores corroboran los datos aportados por el informe de Lavaut, 2004 para establecer como predominante en la composición del rechazo al material serpentiniticos y subordinadamente las



concreciones de óxidos e hidróxidos de Hierro. Por otra parte en el trabajo de Montero, 2007, se establece basado en la valoración realizada por el Laboratorio del CTDMC que la serpentinita predomina en la composición del rechazo en un 70 %, la fracción ferrífica en un 17 % y subordinadamente se presenta calcedonia y cuarzo.

b) Resultados de ensayo granulométrico

En los tablas (14 y 15) siguientes se muestran los ensayos granulométricos que fueron realizados en el laboratorio de materiales de construcción de la ECRIN para la grava 3/8" ($\leq 12,5$ - $\geq 4,76$ mm) y la arena ($\leq 4,76$ - $\geq 0,149$ mm).

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	$\geq 12,5$	0	0	0	100
3/8	$\leq 12,5$ - $> 9,52$	765,5	765,5	13,35	86,5
#4	$\leq 9,52$ - $> 4,76$	2143,5	2909	50,75	49,25
#8	$\leq 4,76$ - $> 2,38$	1685,5	4594,5	80,15	19,85
#16	$\leq 2,38$ - $> 1,18$	988,5	5583	97,4	2,6
	fondo	149	5732	100	0
Total		5732			

Tabla # 15 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	$\geq 9,52$	0	0	0	100
#4	$\leq 9,52$ - $> 4,76$	0	0	0	100
#8	$\leq 4,76$ - $> 2,38$	157	157	7,54	92,46
#16	$\leq 2,38$ - $> 1,18$	1525	1682	80,84	19,16
#30	$\leq 1,18$ - $> 0,59$	331	2013	96,75	3,25
#50	$\leq 0,59$ - $> 0,30$	49	2062	99,11	0,89
	$\leq 0,30$ - $> 0,149$	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 $\leq 9,52 - > 4,76$ mm (50,75%) es más predominante para la grava 3/8, en tanto para la arena la granulometría de clase $\leq 2,38 - > 1,18$ mm (80,84%) es más predominante, este ensayo refleja que el material rechazado cumple con los requisitos de los áridos de grava 3/8 y arena sin haber sido sometido a ningún proceso de trituración o tratamiento previo.

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

Tabla # 16 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

Tabla # 17 Resultados del ensayo del rechazo para la determinación de impurezas orgánicas en el árido fino. Según NC 185: 2002

Método colorimétrico	Evaluación
Placa Número	1

De acuerdo al resultado de este ensayo comparado con los requisitos que plantea la NC 251: 2005 de Especificaciones. El material de rechazo no contiene impurezas orgánicas es decir que el método colorimétrico 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 $0,05 \text{ m}^3$.

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

Tabla # 18 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 # 19 Determinación de peso específico y absorción de agua de árido Grueso (grava 3/8).

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 $2,5 \text{ g/cm}^3$. Y si nos fijamos en la tabla 18 y 19 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.

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 # 20 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 600 000 t/año tendríamos equivalente a 408 163 m³/año, 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 21 se exponen estos resultados.

**Tabla # 21 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	Repeticiones						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

Los resultados obtenidos son ploteados en el grafico 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.

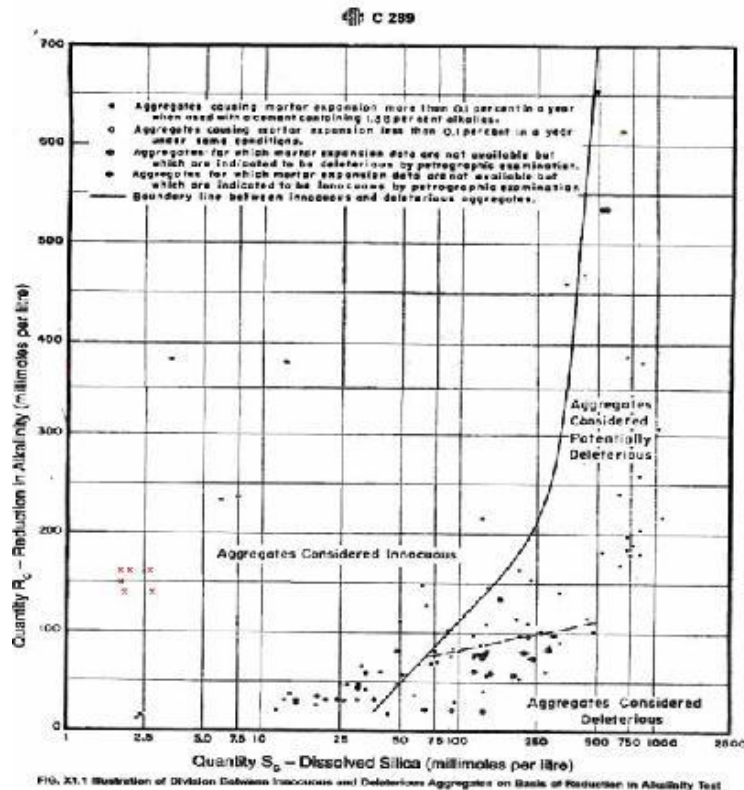


Figura # 9 Ilustración del ensayo a la reacción Árido – Álcalis.



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

Este ensayo se basa fundamentalmente en 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%.

Tabla # 22 Ensayo de estabilidad a la acción del sulfato de sodio. Según NC 183:2002

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

Tabla # 23 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

Si nos fijamos en la tabla No. 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 No. Podemos decir que el material serpentiniticos es estable a la acción de



reactivos como el sulfato de sodio y sulfato de magnesio, 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 sometido a nuestro estudio, siendo sometidas cada una de estas muestras a los diez ciclos de mediciones.

Tabla # 24 Resultado del Ensayo de durabilidad al intemperismo.

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

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



IV.3 Interpretación de los resultados de los ensayos realizados a los productos obtenidos de material de rechazo

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)	m ³	%
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				

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 son:

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



Tabla # 26 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 (cm ²)	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 # 27 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)	Area de bloque de rotura (cm ²)	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

Tabla # 28 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 los bloques de hormigón, de acuerdo con sus grados se establecen en la tabla siguiente:

Tabla # 29 Requisitos para la Resistencia a la compresión de los bloques.
Según NC 247: 2005

Categorias	Resistencia media a compresion nominal a los 28 dias (Mpa)	Resistencia media a compresion nominal a los 7 dias (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 presenta una Resistencia la cual nos indica que el material de rechazo de la Empresa Moa Nickel S.A. puede ser empleado en la fabricación de este tipo de bloque.

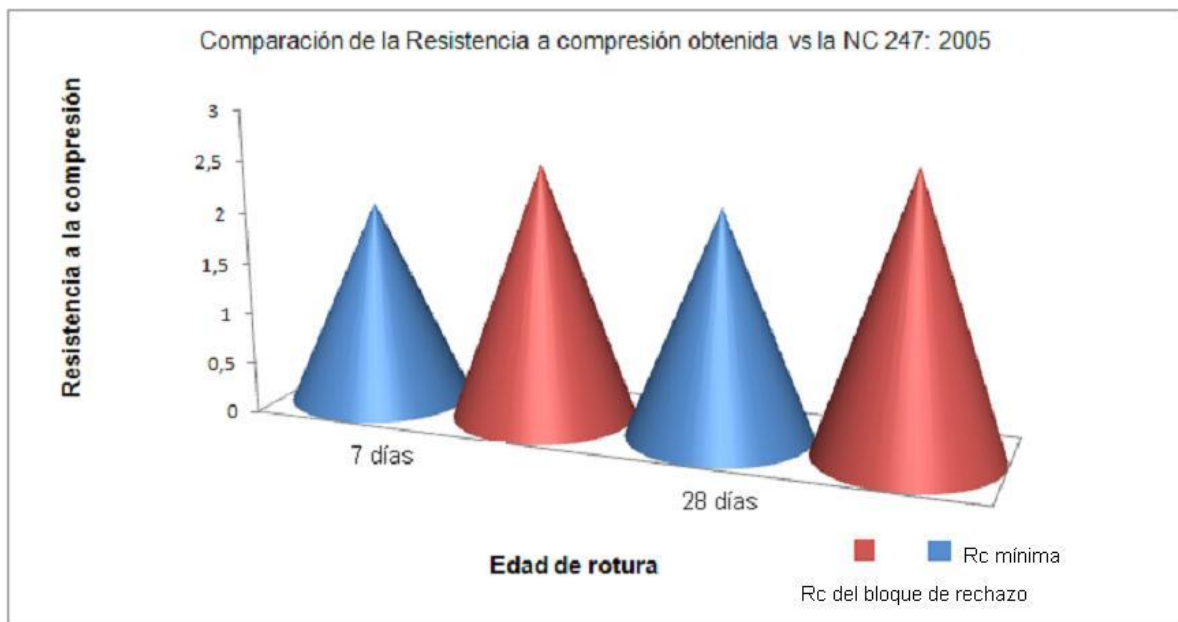




Tabla # 30 Resultado del ensayo de Absorción de bloques.

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 y reflejado en la Tabla 27.

Tabla # 31 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.

Tabla # 32 Resultados del ensayo de Resistencia a la flexión y compresión de morteros compuestos por material de rechazo.

Confección de mortero con 100% 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		
peso volumétrico de agua a 29,4 °C según NC181 : 2002 = 995,83 kg/m ³				



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

Según la tabla 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 mortero de categoría V. Comparando los valores obtenidos en los ensayos realizados a los morteros preparados con arena de rechazos serpentínicos obtuvo un valor de resistencia a compresión a los 28 días de 14,2 Mpa lo cual es superior al de 12,4 Mpa establecido en dicha norma.

IV.4 Mitigación a 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.

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

- La composición del material de rechazo procedente de la Planta de Pulpa de la Mina Moa-Nickel S.A. se compone de fragmentos de serpentinita hasta un 70 %, minerales de hierro en un 21 % (principalmente goethita y hematita), y subordinadamente cuarzo y calcedonia, con predominio de los dos primeros. La composición química tiende a comportarse como promedio en los elementos principales siguientes (en %):

$\text{SiO}_2 = 30,75$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 17,22$; $\text{MgO} = 29,35$; $\text{Al}_2\text{O}_3 = 3,95$.

- Según los registros más actuales de la cantidad de rechazo que se producen en la Planta de Pulpa, según las diferentes granulometrías de mayor aplicación como áridos tendremos un pronóstico de las cantidades siguientes al mes:

Arena = 15 006 t.

Grava tipo Granito ($> 4,75 \text{ mm}$, $< 12,5 \text{ mm}$) = 16 572,6 t

Mayor de 12,5 mm = 16 070,4 t.

- El complejo de ensayos realizados a los áridos obtenidos del rechazo de la EPSA, especialmente de peso específico es de $2,94 \text{ g/cm}^3$ y $2,64 \text{ g/cm}^3$ para la arena y grava 3/8" respectivamente argumentan sobre la valoración positiva para el empleo de estas litologías como áridas alternativos.

- La distribución general en cuanto a la granulometría del material de rechazo es como sigue:

- $\geq 12,5 \text{ mm} = 32\%$

- $\leq 12,5 \text{ mm} - > 4,75 \text{ mm} = 35\%$

- $\leq 4,75 \text{ mm} = 33\%$

Debido a que trabajamos con el material de rechazo sin preparación mecánica, buscando una mayor racionalidad económica, predomina en la



arena un modulo de finura relativamente alto 3. 83, lo cual debe ser objeto de atención para investigaciones posteriores.

- El material de rechazo procedente de la Planta de Pulpa de la Mina Moa-Níckel S.A. puede ser empleada como materia prima para fabricar bloques huecos de hormigón y morteros, luego de ser sometida a un lavado más intenso para lograr la limpieza requerida. Las mezclas empleadas demostraron la obtención de indicadores apropiados para la obtención de morteros de hasta 6,10 Mpa (la resistencia a flexión) y 14,2 Mpa (la resistencia a compresión) y fabricación de bloques de hormigón de hasta 2,7 Mpa (la resistencia a compresión).
- Se pudo comprobar lo planteado por otros autores anteriormente (Lavaut, 2004) en relación a que el sistema de preparación en la Planta de Pulpa se comporta de manera inestable dependiendo del flujo tecnológico, características específicas de la composición del material minado, de la cantidad de material alimentado y la eficiencia del cilindro lavador.



RECOMENDACIONES

- Presentar estos resultados a las autoridades correspondientes con el objetivo de poder introducir estos resultados en la búsqueda de soluciones a los problemas de la construcción de viviendas y obras sociales en el municipio.
- Continuar estas investigaciones para precisar la composición química y mineralógica de manera diferenciada, según las diferentes granulometrías empleadas en los áridos.
- Ampliar las variedades de productos obtenidos de estos tipos de materiales para poder diversificar estas producciones; ejemplo fabricación de probetas de hormigón donde le demos empleo al árido más grueso.



BIBLIOGRAFÍA

ALFARO SIRONVILLE, MARCO ANTONIO. *Introducción al muestreo minero*. Santiago, Chile. 2002. Editora Instituto de Ingenieros de Minas de Chile. 83p.

ALVARES DIAS, R. *Modelo de innovación Tecnológica para la explotación de los Recursos Minerales Territoriales y su contribución al desarrollo local sostenible*. 2008. Ponencia

ANDREIEV, S. E. et al. 1980. *Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales*. Editorial MIR. 536 p.

BARTHELEMIS, LAYRA DEL CARMEN JIMENEZ. *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, 2008. 75pp.

BANDERAS, D., NARANJO., V., RODRÍGUEZ., J. & J. ROJAS. 1997. *Informe Prospección Preliminar y Detallada vidrio volcánico "Sagua de Tánamo". Prov. Holguín. Cálculo de Reservas realizado en Nov. 1997*. Inédito. Inv. 4743, ONRM.

BATISTA, R. 2007. *Valoración del Potencial de Los Recursos Minerales para la Industria del Cemento en Cuba*. Tesis de Maestría. Inédito. IGP.

BEATRIZ PONCE, MARIA. 2007. *Versatilidad en el uso de la piedra toba*. [16.02.2009]

<http://www.minas.upm.es/relext/Red-Cyted-XIII/webrimin/rimin1/III-Jornadas-San-Juan/BeatrizPonceMaria.pdf>.

BOUSO ARAGAONES, JUAN LUIS. *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-anefta/Bouso-M3/Sol_Medamb_Aridos_Via_Humeda.pdf.

CHARLES, L. 1987: *Crushing and Grinding Process Handbook*. Londres.



COELLO V. A y N. TIJONOV O. 2001: *Molienda de minerales multicomponentes: modelo íntegro-diferencial para la valoración de la energía, en la Revista Minería- Geología V: XVII, No. 3 y 4. 49-53 pp.*

COELLO V, A. 1993: *Consideraciones sobre la molienda de los minerales lateríticos, Revista Minería y Geología. Vol. 1, No1; Moa.*

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].

http://www.minas.upm.es/relext/Red-Cyted-XIII/web-rimin/rimin1/jornadas/01ibermac_pdf/08_Calidad/Sosa.pdf (En línea)

Colectivo de autores. Ophiolite-Related Ultramafic Rocks (Serpentinities) in the Caribbean Region: A Review of their Occurrence, Composition, Origin, Emplacement and Ni-laterite Soil Formation. *GeologicaActa*, Vol.4 N°1-2, 2006, 237-263p.

Colectivo de autores. 1997. *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.*

MARTÍNEZ, J., PÉREZ, N., PONCE, N.G., BATISTA, R., et al., 1994. *Pronóstico de Materias Primas No- Tradicionales de la República de Cuba. IGP. La Habana. Inédito.*

MUSSO, ROBELKI WILSON. 2008. *Caracterización de la Serpentinita del Municipio de Holguín.* Colectivo de tutores. Trabajo de diploma. Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa. 51P

NC 178: 2002 Áridos. *Análisis granulométrico.*

NC 181: 2002 Áridos. *Determinación del peso volumétrico. Método de ensayo.*

NC 182: 2002 Áridos. *Determinación del material más fino que el tamiz de 0.074 mm (no. 200). Método de ensayo.*



NC 185: 2002 Arena. *Determinación de impurezas orgánicas. Método de ensayo.*

NC 186: 2002 Arena. *Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.*

NC 186: 2002 Árido grueso. *Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.*

NC 189: 2002 Áridos gruesos. *Determinación de partículas planas y alargadas. Método de ensayo.*

NC 251: 2005 Áridos para hormigones hidráulicos—*requisitos.*

LÓPEZ P., L. M. 2006. *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.

LEYVA RODRIGUEZ, CARLOS. Oct. 2007. *Solución al déficit de áridos en el municipio de Moa empleando los desechos serpentiniticos de la Empresa Comandante Ernesto Guevara.* Instituto Superior Minero-Metalúrgico de Moa. Ponencia

ONRM. 1999. *Clasificación de los Recursos y Reservas de Minerales Útiles Sólidos.* La Habana.

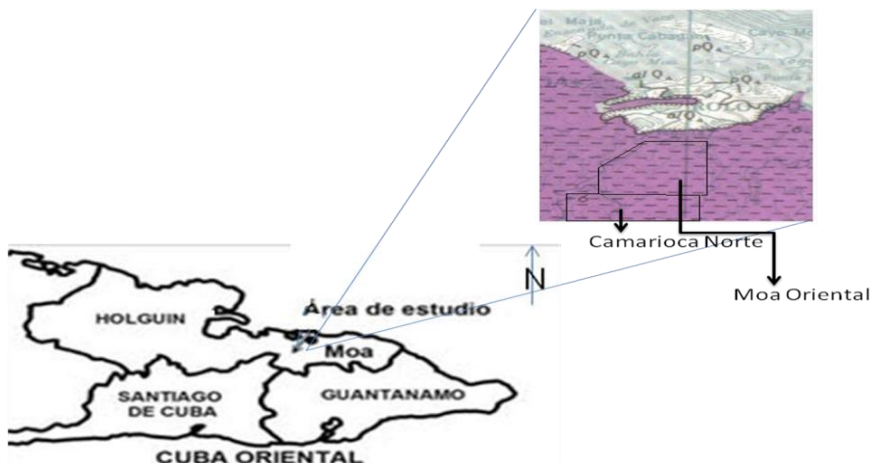
PEÑA, LUIS LEDESMA. Año 2008. *Influencia del beneficio en la productividad del proceso de molienda de la laterita en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.* Colectivo de tutores. Trabajo de diploma. 66P.

STROUHAL, E.: *La vida en el Antiguo Egipto.* Ed. Folio. Barcelona, 1994. VÍCTOR J. JIMÉNEZ JÁIMEZ. Licenciado en Historia (Universidad de Málaga)



ANEXOS

Anexo # 1 Ubicación geográfica del objeto de estudio



Anexo # 2. Especificaciones realizadas en la Norma Cubana 251: 2005. ÁRIDOS PARA HORMIGONES HIDRÁULICOS – REQUISITOS

Esta Norma Cubana establece los requisitos de los áridos que se utilizan en la producción de hormigón hidráulico. Se exceptúan los áridos ligeros o pesados, así como algunas de las fracciones utilizadas en la producción de baldosas, losetas hidráulicas y de terrazo, tubos de hormigón y en general las mezclas asfálticas

NOTA: Los áridos que no cumplan con algunos de los requisitos establecidos en esta Norma se consideran NO CONFORMES. En este caso solo podrán comercializarse si satisfacen las exigencias de los clientes atendiendo al uso para el que serán destinados o si existen experiencias de uso en casos similares para las categorías de hormigones exigidos por los clientes que avalen el comportamiento idóneo de dichos áridos.



Referencias normativas

Los siguientes documentos de referencia son indispensables para la aplicación de este documento. Para las referencias fechadas, sólo se toma en consideración la edición citada.

NC 177: 2002 Áridos. Determinación de % de huecos. Método de ensayo

NC 178: 2002 Áridos. Análisis granulométrico

NC 179: 2002 Áridos. Determinación del contenido de partículas de arcillas

NC 180: 2002 Áridos. Determinación de partículas ligeras. Método de ensayo

NC 181: 2002 Áridos. Determinación del peso volumétrico. Método de ensayo

NC 185: 2002 Arena. Determinación de impurezas orgánicas. Método de ensayo

NC 186: 2002 Arena. Peso específico absorción de agua Método de ensayo

NC 187: 2002 Árido grueso. Peso específico y absorción de agua Método de ensayo

NC 188: 2002 Áridos Gruesos. Abrasión. Método de ensayo

NC 189: 2002 Áridos Gruesos. Determinación de partículas planas y alargadas. Método de ensayo

NC 190: 2002 Áridos Gruesos. Determinación del Índice de triturabilidad. Método de ensayo

NC 200: 2002 Áridos Determinación del material más fino que el tamiz de 0,074 mm (No. 200)

Método de ensayo

NC 54-395:1987 Materiales de la construcción. Áridos. Términos y definiciones.

NC 54-29:1984 Materiales y productos de la construcción. Áridos. Toma de muestras.



Material más fino que el tamiz 200 (75 μ m) de los áridos gruesos

El % permitido de material más fino que el tamiz 200 en los áridos gruesos para cualquier hormigón es inferior o igual que 1%.

El contenido de material más fino que el tamiz 200 en los áridos gruesos puede ser incrementado bajos las siguientes condiciones:

- Si el material mas fino que el tamiz 200, contenido en el árido grueso está esencialmente libre de arcilla o esquistos el por ciento puede ser incrementado hasta el 1,5 %, (El contenido de arcilla o esquisto será el resultado del procedimiento de ensayo que se adopte).

Impurezas

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 (coque, 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 SO₃ 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 m³.



Anexo # 3



El bloque realizado por 100% material de rechazo.

Anexo # 4



Determinación de la impureza orgánica

Anexo # 5



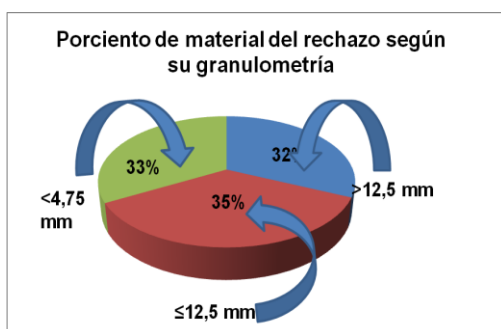
Ensayo a la resistencia a flexión del mortero

Anexo # 6



Ensayo a la resistencia a compresión del bloque

Anexo # 7



Por ciento de material rechazado según su granulometría

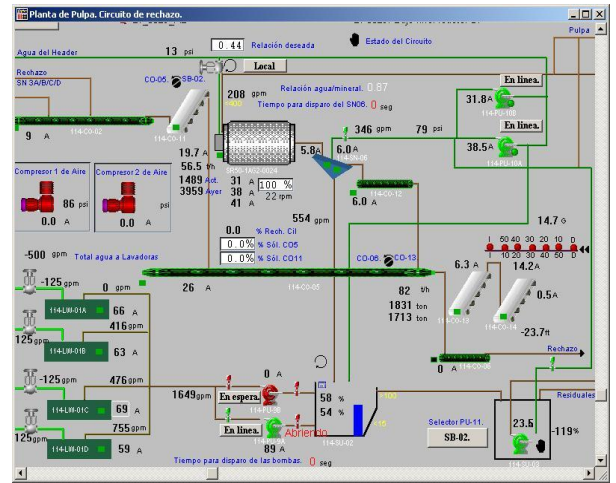
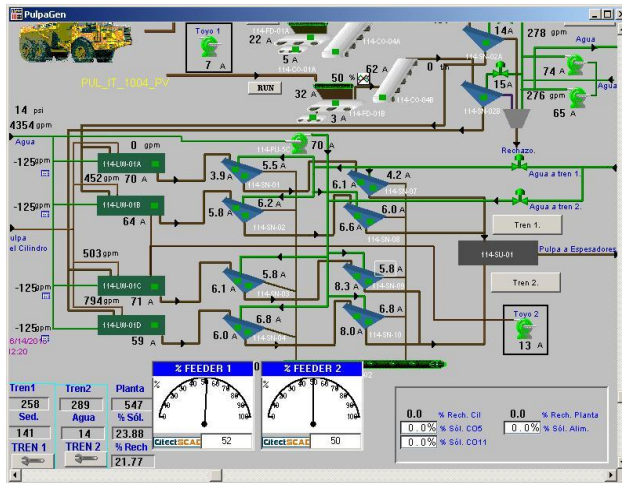
Anexo # 8



Ensayo a la resistencia a compresión del mortero



Anexo # 9



Flujo tecnológico de la preparación de planta de pulpa

Anexo # 10



La muestra de rechazo < 4,75 mm

Anexo#11



La muestra de rechazo <12,5 - >4,75 mm



Anexo # 12



La muestra de rechazo > 12,5 mm