



**MINISTERIO DE LA EDUCACIÓN 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 de minas.*

*Título: Utilización de los desechos serpentiniticos del mineral extraído de la mina Pedro Sotto Alba como material de construcción alternativo.*

**Autor: Ismael Terrero Aguirre**

**Tutores: Dr. José Otaño Noguel**

**MSc. Eduardo Sariol López.**

**“Año 53 de la Revolución”**

**Moa 2011**

## **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar las características de los productos elaborados con los desechos serpentiniticos como material de construcción alternativo, con vista a aumentar el desarrollo sostenible de esta industria en el municipio, realizándose una caracterización integral de esta materia prima.

Para esto se realizó la separación granulométrica del rechazo de la empresa Pedro Sotto, la construcción de bloques huecos de hormigón y losas hexagonales con el 50% del material de rechazo y el 50% de material convencional, luego se realizaron ensayos a la compresión y a la flexión de los productos elaborados con los desechos serpentiniticos realizándose una interpretación de estos, se aplicaron los requisitos de las Normas Cubanas en cada uno de los ensayos, todos establecidos en 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 SA.

## **SUMMARY**

The present work has as objective to evaluate the characteristics of the products elaborated with the waste serpentínicos like alternative construction material, with view to increase the sustainable development of this industry in the municipality, being carried out an integral characterization of this matter prevails.

For this he/she was carried out the separation granulométrica of the rejection of the company Pedro Sotto, the construction of hollow blocks of concrete and hexagonal flagstones with 50% of the material of rejection and 50% of conventional material, then they were carried out rehearsals to the compression and the flexion of the products elaborated with the waste serpentitíc being carried out an interpretation of these, the requirements of the Cuban Norms were applied in each one of the rehearsals, all established ones in the NC 251: 2005 of Specifications of arid for Hydraulic Concretes. Some results of previous studies are also shown carried out to the rejection in the company Moa Nickel INC.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo:

A toda mi familia, en especial a mis padres Ismael Terrero Reinoso y Maribel Aguirre Galán.

A mi hermana Yileni Terrero Aguirre.

A mi sobrina Erika Velásquez Terrero.

A mis amigos y vecinos.

A todas aquellas personas que de una forma u otra estuvieron conmigo en los buenos y malos momentos.

## **AGRADECIMIENTO**

El desarrollo de este trabajo lleva implícito una serie de gratos esfuerzos y apoyo que de no ser así no hubiese sido posible el mismo. Y de esta forma agradezco:

En el laboratorio de la ECRIN a Modesto Brunet Paneque y Camilo Matos, Yanitza Pérez Agüero que sin ellos no hubiera podido realizar los ensayos de los productos fabricados con el material de rechazo.

A mis tutores Dr. José Otaño Noguel y MSc. Eduardo Sariol López por confiar en mí para realizar este trabajo.

A mis padres y hermana que siempre me han dado apoyo y ayuda para mi formación en el transcurso de la universidad.

Agradezco al Ing. Evaristo Montero por la ayuda que me dio en el despacho de la empresa Pedro Sotto Alba.

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

A mis amigos que siempre estuvieron presentes para ayudarme en lo que hiciera falta.

A Manuel Tamayo que me ayudó bastante para la realización de mi tesis.

A todos, muchas gracias.

**PENSAMIENTO**

**NO SE SABE BIEN SINO LO QUE SE DESCUBRE.**

**Un hombre sin propósito es como un barco sin vela.**

**JOSÉ MARTÍ**

## ÍNDICE

	PÁG
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I: SITUACIÓN ACTUAL DEL PROBLEMA</b> .....	4
I.1 Introducción.....	4
I.2 Estado actual de esta problemática en el mundo.....	4
I.3 Antecedentes y actualidad del tema en Cuba.....	5
<b>CAPITULO II: CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LOS YACIMIENTOS QUE APORTAN LOS DESECHOS SERPENTINÍTICOS</b> .....	13
II.1 Ubicación geográfica y Geología del yacimiento Moa Oriental.....	13
II.2 Ubicación geográfica y geología del yacimiento Zona-A.....	17
<b>CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN Y BENEFICO DE LA MINA</b> .....	23
III.1 Sistema de explotación de la mina.....	23
III.2 Flujo tecnológico de la planta de preparación de pulpa.....	27
III.3 Característica del material de rechazo.....	29
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS DESARROLLADOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO Y DETERMINACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS</b> .....	31
IV.1 Introducción.....	31
IV.2 Toma y preparación de muestras.....	32
IV.3 Determinación de las propiedades físico - mecánicas de los desechos serpentinífticos.....	35
IV.4 Valoración de los resultados obtenido a los ensayo de los desechos serpentinífticos.....	36
IV.5 Mitigación a los impactos ambientales.....	46
<b>Conclusiones</b> .....	48
<b>Recomendaciones</b> .....	49
<b>Bibliografía</b> .....	50
<b>Anexos</b> .....	53

## **INTRODUCCIÓN**

La industria de materiales de construcción en Cuba debe jugar un papel preponderante en el nuevo panorama de crecimiento y desarrollo del país, pues es una pieza clave en la solución del déficit habitacional y de infraestructuras, esto se debe lograr de tal forma que la industria desarrolle sus actividades con altos estándares de calidad y claros criterios de responsabilidad social.

Por esto, a pesar de la creciente demanda que existe en el mundo por los materiales de construcción, esta industria afronta cada día más retos para poder garantizar su viabilidad, retos y tendencias que podemos enmarcar en el concepto ampliado de desarrollo sostenible donde lo económico, lo ambiental y lo social introduzcan variables en los ámbitos del ordenamiento territorial, la autogestión ambiental y la capacitación del talento humano.

Los múltiples retos que implica cumplir con las expectativas emanadas de la sociedad moderna exigen a los gobiernos municipales, provinciales y a todas las empresas del sector la búsqueda de alternativas que garanticen el uso de materias primas favorables para su empleo como material de construcción, con ello se juega un rol fundamental para lograr el acceso a las tecnologías limpias en todo el país.

Las limitaciones en el uso del suelo, el medio ambiente y el crecimiento poblacional son tres de los retos más importantes que a nuestro juicio debe enfrentar la industria de materiales de construcción, dadas sus características particulares y su condición de minerales imprescindibles para el desarrollo y crecimiento económico de las naciones.

Los materiales utilizados en la construcción tienen un gran impacto medioambiental, causado por su extracción, procesamiento, transporte y empleo, este impacto se produce en el ámbito mundial, regional y personal, afectando al clima, la biodiversidad y a la salud de las personas, estos materiales representan aproximadamente la mitad de todos los recursos consumidos en el planeta.



La situación existente plantea ante la explotación de yacimientos minerales lateríticos, como rama de las ciencias mineras, una de las tareas más importantes que consiste en garantizar la explotación racional de los recursos minerales con el mínimo impacto ambiental.

Los colosales volúmenes de residuos sólidos de la minería del níquel contaminan el medio ambiente, asegurar la utilización de los desechos serpentínicos de la empresa Pedro Sotto Alba y con ello certificar una materia prima constante para su empleo como material de construcción alternativo se convierte en la **situación problemática** de esta investigación.

**Problema científico:** La necesidad de conocer las características de los productos elaborados con los desechos serpentínicos para su utilización como material de construcción alternativo.

**El objeto de estudio:** Los desechos serpentínicos de la mina en la empresa Pedro Sotto Alba.

**Campo de acción:** Los productos elaborados con los desechos serpentínicos de la mina en la empresa Pedro Sotto Alba Moa Níquel S.A para su empleo como material de construcción alternativo.

**El objetivo general:** Evaluar las características de los productos elaborados con los desechos serpentínicos como material de construcción alternativo.

**Hipótesis a defender:** Si se logran valores óptimos en los ensayos realizados a los bloques huecos de hormigón y losas hexagonales fabricados con el 50 % de material de rechazo y el 50 % de material convencional cumpliendo con las normas cubanas, entonces es posible utilizarlos como material de construcción alternativo.

### **Objetivos Específicos**

1. Caracterizar la granulometría existente en los desechos serpentínicos.
2. Construcción de bloques huecos de hormigón y losas hexagonales con el 50% del material de rechazo y el 50% de material convencional.

3. Realizar los ensayos a la compresión y a la flexión de los productos elaborados con los desechos serpentínicos.
4. Valoración de los resultados.

## **CAPÍTULO I: SITUACIÓN ACTUAL DEL PROBLEMA.**

### **1.1 Introducción**

En este capítulo se muestra la problemática existente en el mundo y en Cuba acerca de la utilización de la serpentina como material de construcción y otros usos que se le pueda dar a estos materiales.

### **1.2 Estado actual de esta problemática en el mundo.**

La serpentinita se encuentra habitualmente asociada a importantes yacimientos de Cobre, Hierro, Níquel, Amianto, Piedra Ollar y Talco. Se emplean fundamentalmente en la construcción y trabajada en láminas delgadas, se emplea para el recubrimiento de tejados y revestimientos exteriores, también se corta y pule para usarlo como material ornamental de gran efecto.

**Aspecto.** Es muy característico. Presenta un color verde oscuro y negro, tiene una textura laminar o filtrada, con frecuentes manchas -denominadas zonaciones- formadas por la presencia de mayor cantidad de otros elementos, especialmente el piróxeno -bastitizado.

**Componentes.** Principalmente, la serpentinita está formada por serpentina - Antigorita, Lizardita y Magnetita. De forma accesoria, aparece serpentina en vetas Crisostilo y a menudo también se encuentra Amianto, Talco, Garnierita, Brucita y Clorita. En menor medida, Magnesita, Dolomitas o Calcita.

La explotación más importante es la cantera de Campomarzo, propiedad de Explotación Minera Campomarzo S.A., que extrae y machaca unas de 300 000 t/año de áridos, destinados a balasto de ferrocarril y obras públicas. 1994, [Consulta: 31 marzo, 2008] ([http://www.igme.es/internet/RecursosMinerales/panoramaminero/historico/9394/OT\\_SUST.pdf](http://www.igme.es/internet/RecursosMinerales/panoramaminero/historico/9394/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 Peñas Albas, cuya producción (unas 50 000 t/año) se utiliza

como fundente básico en la siderurgia de Avilés, esta cantera dispone de una pequeña planta de machaqueo dependiente.

Según reportes en España se utiliza la serpentinita (principal componente de este rechazo) como árido para el relleno de compuertas de presas y viales de ferrocarril; la página Web <http://www.lei.lt/insc/sourcebook/sob4.pdf>, aborda el tema del empleo de un concreto que en su composición tiene serpentinita usado en las instalaciones de los reactores nucleares, pues el agua que contiene el mineral serpentina tiene la capacidad de absorber las radiaciones que se desprenden de este proceso para generar electricidad. El uso de hormigones serpentiniticos es acostumbrado para atenuar los neutrones termales cuya temperatura oscila en el rango de 400-500 grados.

Según la publicación El Universal de Caracas.- El asesor en minería de Corpollanos, Simón Rodríguez, informó que la explotación racional de las rocas de serpentinita tienen un gran valor económico, ya que 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.

### **1.3 Antecedentes y actualidad del tema en Cuba.**

Los materiales de construcción constituyen una prioridad para el municipio, provincia y país, por esto en este trabajo le damos una opción para la utilización de los desechos serpentiniticos como árido para su uso como material de construcción.

En 1985, Rodríguez en el trabajo, "Materiales serpentiniticos en la construcción de presas con materiales locales." está encaminado a mostrar el uso del material serpentiniticos 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 del material serpentinitico como base de las obras hidráulicas y para su empleo como material 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 serpentiniticos.

Rodríguez en su trabajo no tuvo en cuenta la resistencia del hormigón realizado con estos áridos, ni la resistencia de los áridos al quedar expuesto a los ataques de interperismo lo que no es suficiente para demostrar que este sirva para el uso que él le quiere dar a este material.

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 mallas 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)

López en 2006 estudió la composición granulométrica del material serpentinitico para su utilización como material de construcción y no le hizo ningún otro ensayo lo que no es suficiente para demostrar que la serpentina sirva como material de construcción....

En el 2007 el Ing. M. Luegue Anido, en su trabajo Valoración geólogo – técnica de las perspectivas de empleo de los desechos serpentiniticos de la ECEG como materiales de construcción alternativos, en opción al título de máster en Geología, demuestra que los ensayos realizados al material serpentinitico

arrojan 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, pavimentos, estos últimos de manera alternativa. También refleja que el promedio de desechos serpentiniticos que generó la empresa Ernesto Che Guevara en ese año 2007 era de 7412.56 t/mes, promedio lo cual 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.

M Luegue Anido en su trabajo hizo una buena valoración geológica – técnica de los desechos serpentiniticos demostrando que los desechos serpentiniticos sirven como material de construcción.

Luego en ese mismo año 2007, Céspedes en su trabajo, “Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentinitico 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 serpentinitico 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 físico – 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.

Céspedes en su trabajo realiza una evaluación de los residuos de la empresa Che Guevara para su utilización como material de construcción lo cual con una serie de ensayos demostró que los desechos serpentiniticos se pueden utilizar como material de construcción.

Montero, en el 2007 en su trabajo, “Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentiniticos de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba” 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 Comandante Pedro Sotro Alba, demostrando en sus resultados el uso de este material como árido en la confección de hormigones de hasta 20 MPa.h

En el año 2008 R. Wilson M. presenta su trabajo de diploma Caracterización de las serpentinitas del municipio de Holguín como áridos para la construcción, para este estudio se emplearon muestras de los túneles populares de ese Municipio, 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 físico mecánicamente tenían indicadores deficientes (producto de la gran trituración natural del material y su estado avanzado de alteración).

Wilson M en su trabajo de la caracterización de la serpentina del municipio de Holguín, como material de construcción, trató de demostrar que la serpentina del municipio de Holguín sirve como material de construcción realizándole un grupo de ensayos obteniendo así resultados no satisfactorios para este uso.

En este mismo año 2008 la diplomante Jiménez Barthelemy presentó su trabajo el cual 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, a 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. Y 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.

El diplomante Jiménez Barthelemy en su trabajo que se basaba en determinar las características químicas y físico-mecánicas, también establece las

características típicas de trituración del material de rechazo. En este trabajo el demostró mediante ensayos a los desechos que estos daban resultados satisfactorios para su uso como material de construcción.

En el año 2009 Pérez Stest realiza una investigación similar a la de Céspedes con el tema, Caracterización y evaluación del desecho serpentinitico de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara como áridos para la obtención de hormigones hidráulicos, en el cual fueron tomadas una cantidad de muestras representativas del material serpentinitico 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 serpentiniticos del rechazo de la ECEG, donde se demuestra que con la dosificación 1 pueden obtenerse hormigones de resistencia de hasta 20 Mpa, por lo cual esta dosificación es la más apropiada de las estudiadas.

Estos hormigones pueden ser empleados según la norma cubana en: cimientos aislados, corridos y en prefabricados; pedestales in situ y prefabricados; muros de contención forzados y vigas de cerramientos.

Desde hace aproximadamente cinco años se han efectuado ensayos de diferentes tipos a los materiales serpentiniticos de las empresas Ernesto Che Guevara y Pedro Sotto Alba, 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 obtenido resultados parecidos.

Un aspecto de gran importancia es el hecho de que actualmente se cuenta con una planta de beneficio 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.



Para 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 contribuir a su implementación, como talleres, conferencias, etc.

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, puesto que al mismo tiempo que actúan frenando los neutrones, al poseer calcio, silicio e hierro, pueden absorber también las radiaciones gamma”. (Información oral del Dr. Antonio Rabilero Bouza e Ing. Elena Téllez Girón para el trabajo realizado por Lueges, 2008).

Según Ramírez M, y otros 2010 en su trabajo “Una alternativa para utilizar las concreciones ferruginosas, del yacimiento Moa occidental”, plantea que el hierro presente en estos depósitos está en forma de óxidos, siendo los predominantes los hidróxidos de hierro (III), como se demostró al realizar el estudio de RX que arrojó como resultado que las fases predominantes son la Goethita ( $\alpha\text{-FeO.OH}$ ) y la Maghemita ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) con elevados grados de cristalinidad, lo cual nos confirma que uno de los componentes principales del rechazo de la empresa Pedro Sotto Alba empleado por nosotros en este trabajo tendrá esta composición .

Vijaya Kattel (2010) en su trabajo de diploma Valoración técnica de los desechos serpentiniticos de la empresa Moa Níckel SA como material de construcción alternativo demuestra que el empleo de estos desechos es factible

en la fabricación de bloques huecos y morteros para la construcción, para ello se realizaron varios ensayos que comparando los resultados con las normas técnicas para cada uno de los elementos elaborados con 100 % de rechazo validaron la propuesta del autor al cumplir con las exigencias técnicas.

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

Las investigaciones desarrolladas por Vijaya Kattel y Alíen Céspedes (2010) facilitaron la caracterización técnica y la validación de los desechos serpentiniticos como materiales de construcción alternativos, aunque solamente para la dosificación del 100 % del material de rechazo en los diferentes productos elaborados.

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

### **Pequeñas producciones de particulares que han empleado los desechos serpentiniticos para la construcción de bloques huecos de hormigón.**

Un ejemplo de ello, el trabajador de la mina Moa Nickel SA, más conocido por Carmona, para la construcción de su vivienda realizó una serie de bloques con los desechos serpentiniticos de la empresa Pedro Sotto Alba y material convencional, cuyas dimensiones eran variadas, de 15 cm x 20 cm x 40 cm, (espesor-ancho-longitud), utilizando como dosificación 7 cubos plásticos de material de rechazo, 4 de arena normal y un saco de cemento con esa relación se logró obtener una

cantidad de 20 bloques, que se emplearon para la construcción de las paredes de su vivienda.

Para la fabricación de los bloques con dimensión de 10 cm x 20 cm x 40 cm, (espesor-ancho-longitud) utilizó una dosificación de 9 cubos plásticos de material de rechazo, 5 de arena normal y un saco de cemento, con esa relación se logró obtener una cantidad de aproximadamente de 30 – 40 bloques, que se emplearon para la construcción de las divisiones de su casa.

Cada bloque se lleva 5 palas aproximadamente, y el material de rechazo no se lavó lo suficiente para eliminarle cualquier tipo de contaminación.

A pesar que él no utiliza una dosificación apropiada para la construcción de los bloques estos tienen una buena resistencia para la construcción de una vivienda pues los resultados de los ensayos en el laboratorio de la ECRIN arrojaron resultados muy alentadores.

En este trabajo de utilización de los desechos serpentiniticos del mineral extraído de la mina Pedro Sotto alba como material de construcción alternativo, se basa en darle un uso al rechazo tales como bloques huecos de hormigón, probetas de hormigón y losas hexagonales para pisos con el 50 % de material de rechazo y el 50 % de material convencional. Para esto se necesitaría realizar una serie de ensayos a estos materiales como la resistencia a la compresión, a la flexión, en el caso de los áridos se le determinan la estabilidad a la acción del sulfato de sodio o del sulfato de magnesio, determinación de la reacción Árido – Alcalis y la determinación de la durabilidad al intemperismo. Así se lograría demostrar su empleo para la construcción de viviendas y partes de obras sociales disminuyendo el déficit de viviendas en el municipio y eliminando parte de los residuales sólidos de esta empresa.

## CAPÍTULO II: CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DE LOS YACIMIENTOS QUE APORTA EL MATERIAL DE RECHAZO

### II.1 Características geográficas de Moa Oriental.

El yacimiento Moa Oriental limita al Norte con la planta de preparación de pulpa de la Empresa Moa Níquel SA, 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 km<sup>2</sup>, la mayor parte del yacimiento Moa Oriental.

X: 698 000 Y: 215 000

X: 701 000 Y: 221 000

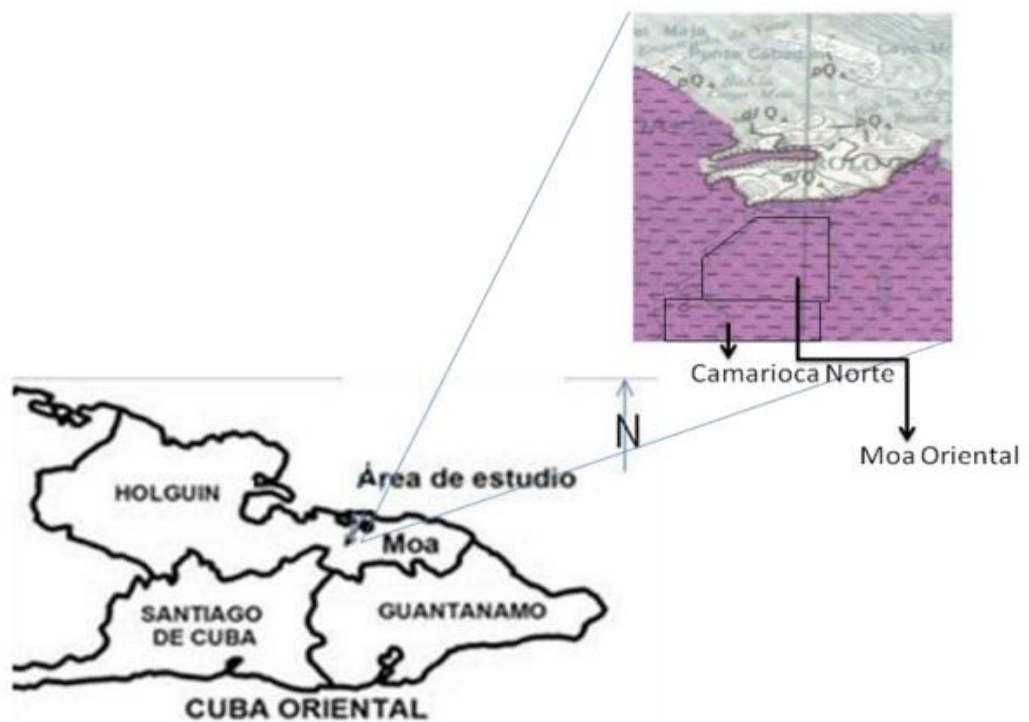


Figura 1. Ubicación del yacimiento Moa Oriental.

## **Características Geológicas de Moa Oriental**

El yacimiento Moa Oriental es por su naturaleza es un depósito de carácter residual producto de 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 mineralógica y química propia.

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

## **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.

### **Características Geomorfológicas**

El yacimiento de Moa Oriental, se encuentra ubicado dentro del bloque morfoestructural 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 lateríticos ligeramente continuo, que cubre una superficie de aproximadamente 8,2 km<sup>2</sup>

### **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/cm<sup>3</sup>.

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 como espinelas y magnetita en forma de granos independientes y pequeños agregados.

Los gabroides que se encontraron en el basamento del yacimiento macroscópicamente se caracterizan por presentar una estructura masiva, siendo rocas densas y compactas. El color de la roca fresca es jaspeado, con tonalidades claras y oscuras en relación directa con su composición mineralógica. Además durante los trabajos de campo se pudo comprobar la existencia en el área del yacimiento de un pequeño cuerpo de dunitas, a las cuales se asocia un lente de cromititas. Las dunitas que se encontraron macroscópicamente se caracterizan por ser rocas densas y masivas de grano medio a fino. El color de la roca fresca es gris verdoso.

### **Características de la corteza**

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 serpentiniticos 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 como se observa en la tabla 3.

**Tabla 1. 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 Serpentinita lixiviada (m)	0	6	0,03	0,25
Pot. De intercalaciones no indicadas (m)	0	7	0,21	0,58

**Tabla 2. 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 del yacimiento Zona A.**

El yacimiento Zona A ocupa un área de 4.7 km<sup>2</sup> el mismo está ubicado en el municipio Moa de la provincia de Holguín y pertenece a la concesión minera de Moa- Níquel 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



## Características geológicas

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

Está representada por el producto final del intemperismo en forma de óxido e hidróxido de hierro, apareciendo como una masa de color rojo oscuro, deleznable que con la profundidad se va haciendo más compacta, con alta concentración de concreciones de hierro de color negro a pardo oscuro rojizo en ocasiones redondeados con diámetro desde unos pocos mm hasta 2cm. También es frecuente la presencia de corazas 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 él se asocian las menas ferrosas FF y en menor grado las LF (menas limoníticas), es visible la mineralización de cromita.

**Tabla 3. Composición media mineralógica y química en % (litología 1)**

Composición química (%)	
Ni	1,1
Fe	43,3
Co	0,13
Mg	0,52
Al	4,2
Mn	1
Cr	1,9
SiO <sub>2</sub>	12

Composición mineralógica (%)	
Goethita	68,55
Gibbsita	11,11
Cromita	2,7
Cuarzo	8,2
Minerales Serpentiníticos	3,8
Minerales Arcilloso	5,26
Minerales de Manganeso	1,2
Magnetita	0,65
Composición química (%)	

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)**

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

La potencia media de este horizonte es de 2.87m 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 4. Composición media mineralógica y química en % (litología 2)**

Composición química (%)	
Ni	0,84
Fe	46,4
Co	0,117
Mg	0,49
Al	4,52
Mn	0,8
Cr	1,92
SiO <sub>2</sub>	11,56

Composición mineralógica (%)	
Goethita	68,55
Gibbsita	11,11
Cromita	2,80
Cuarzo	9,10
Minerales Serpentiníticos	1,91
Minerales Arcilloso	3,80
Minerales de Manganeso	1,10
Magnetita	0,66

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

### **Sub-zona de ocre estructurales finales (litología 3)**

Está representada por ocre de colores pardos amarillentos oscuros, más arcillosos que los ocre inestructurales, donde aparecen relictos de las estructuras iniciales en forma de vetillas finas muy meteorizadas de manganeso, este también aparece en forma de pequeños nódulos irregulares, y es notable la presencia de sílice en forma de polvillo muy fino.

Es la sub-zona u horizonte de mayor representatividad en el corte litológico con 37,5% y su potencia media es de 5.7m y desde el punto de vista melífero 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 5. 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 Arcilloso	6,70	Mn	0,94
Minerales de Manganeso	1,30	Cr	1,87
Magnetita	0,67	SiO <sub>2</sub>	10,72

#### **Sub-zona de ocrez estructurales iniciales (litología 4)**

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

Su potencia media es de 1.71 m y su representatividad en el perfil litológico es de 11.26 %, no siempre aparece; alcanza su mayor desarrollo hacia el Oeste del yacimiento en los bloques O-29, Q-29 y S-29, a él se asocian las menas serpentiniticas SB.

**Tabla 6. 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 Arcilloso	19,57	Mn	0,46
Minerales de Manganeso	0,67	Cr	1,01
Magnetita	4,17	SiO <sub>2</sub>	20,42

**Zona de serpentinitas lixiviadas y ocretizadas (litología 5)**

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

Este horizonte es muy discontinuo, con una potencia media no mayor de 0.69 m y su representatividad en el perfil litológico es de 4.6 % por lo que es poco significativo, con el se vinculan las menas de SD, las cuales son poco abundantes y en menor grado menas SB y algunas SF.

**Tabla 7. Composición media mineralógica y química en % (litología 5)**

Composición mineralógica (%)		Composición química (%)	
Geothita	25,79	Ni	0,94
Gibbsita	8,14	Fe	11,67
Cromita	1,40	Co	0,026
Cuarzo	2,25	Mg	11,14
Minerales Serpentiníticos	43,26	Al	2,97
Minerales Arcilloso	24,31	Mn	0,94
Minerales de Manganeso	0,46	Cr	0,96
Magnetita	2,24	SiO <sub>2</sub>	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 hazburgitas por minerales de serpentina (serpofita, lizardita, antigorita) relictos de olivinos alterados a clorita y piroxeno bastitizados. Las hazburgitas serpentínizadas constituidas fundamentalmente por olivino poco serpentinizado, minerales de serpentina y piroxeno.

**Tabla 8. Composición media mineralógica y química en % (litología 6)**

Composición mineralógica (%)		Composición química (%)	
Geothita	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 Arcilloso	6,50	Mn	0,07
Minerales de Manganeso	0,11	Cr	0,25
Magnetita	3,02	SiO <sub>2</sub>	38,06

### **Características hidrogeológicas**

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

diferentes profundidades dentro del yacimiento que van desde los 18 m 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 pueden establecer tres zonas principales, la primera zona está ubicada en el Norte y Este del yacimiento, en áreas cercanas a la empresa Moa Níkel S.A. donde predominan las aguas ácidas, la segunda está definida en la zona central caracterizada por la presencia de aguas ligeramente ácidas, la tercera zona está definida hacia la parte Suroeste del yacimiento donde se encuentran aguas con pH neutros a ligeramente básicas. Las oscilaciones promedio de los niveles de las aguas subterráneas teniendo en cuenta los períodos de máxima y mínima precipitación van desde 1 m hasta 6.7 m.

## **CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN Y BENEFICO DE LA MENA.**

### **III.1 Sistema de explotación de la mina Pedro Sotto Alba.**

El desarrollo de la minería en la empresa Pedro Sotto Alba Moa Níquel SA se realiza en frentes continuos a través de múltiples bancos para lograr la alimentación de la Planta de Preparación de Pulpa con la calidad planificada.

Las operaciones mineras actuales están organizadas por la Subdirección de Minas de la forma siguiente:

1. Exploración geológica.
2. Desbroce.
3. Construcción de caminos.
4. Destape.
5. Extracción.
6. Traslado.

#### **Desbroce**

La actividad de desbroce consiste en arrancar y eliminar toda la superficie vegetal y maleza que cubren la capa ferruginosa de aproximadamente 25 cm de espesor, facilitando posteriormente los trabajos de preparación para el destape y extracción del mineral. En los casos en que exista materia orgánica en este suelo se arrancará conjuntamente con el desbroce para ubicarlo en el depósito construido con este fin, para luego ser utilizado en las últimas fases de rehabilitación de zonas.

El desbroce se realiza apilando la maleza en lugares donde no puedan obstruir los trabajos de destape y construcciones de caminos. Las operaciones se llevan a cabo con cierto desfase con respecto a la minería.

### **Destape.**

El destape consiste en arrancar la capa de minerales lateríticos níquelíferos, que son considerados fuera de balance por no cumplir los requerimientos en cuanto al contenido de níquel. Esta operación, denominada también escombrero, comienza una vez que exista un adelanto del desbroce y se considera terminada una vez que llega a la cota del techo mineral, el equipamiento a utilizar en esta labor será la retroexcavadora Liebherr R984 para el arranque-carga del estéril y como medio de transporte los camiones Volvo BM A40 para el traslado del material a la escombrera.

### **Arranque y carga del componente útil.**

Esta operación consiste en extraer el mineral para su posterior transportación a la planta. El equipo con que se realizará esta actividad será la retroexcavadora Liebherr R984.

El desarrollo de la minería en los sectores se realizará por frentes continuos a través de bancos únicos que permitirán a las excavadoras moverse de norte a sur y viceversa. Durante el trabajo con la retroexcavadora el talud del frente de explotación tendrá un ángulo de  $80-85^{\circ}$  aproximadamente. El método de carga más utilizado será arranque carga inferior lo que permitirá una disminución sensible en la duración del ciclo de trabajo del equipo.

### **Transporte del mineral.**

Esta operación constituye uno de los eslabones fundamentales del proceso productivo de una entidad minera, la misma se basa en el traslado del mineral hasta la planta o los depósitos.



Para esta actividad se utilizarán camiones articulados VOLVO BM A40D con las mismas características técnicas que el empleado para el traslado del escombros. Este equipamiento presenta una serie de ventajas, algunas de las cuales se mencionan a continuación:

- Gran maniobrabilidad, facilita por el sistema articulado.
- Posibilidad de vencer grandes pendientes.
- Excelente movilidad en el sector de descarga.
- Pocas exigencias de la vía.
- Posibilitan la elevación de la productividad de los equipos de carga.
- Potencia de frenado uniforme.
- Posibilidad de trabajar en condiciones climáticas adversas.

### **Diseño y formación de la escombrera.**

Las labores de formación de escombreras representan el último proceso tecnológico fundamental en la explotación de una mina a cielo abierto.

Durante la planificación y proyección de las labores de escombros hay que considerar los siguientes factores:

- ✓ Las escombreras deben tener el volumen suficiente.
- ✓ Encontrarse a la distancia mínima del punto de carga de las rocas de destape.
- ✓ Estar situadas en un sector sin mineral.
- ✓ No obstaculizar el desarrollo de los trabajos mineros.
- ✓ Cumplir las reglas de seguridad de los trabajos.

El laboreo de una escombrera incluye los siguientes trabajos.

- ✓ Descarga de las rocas.
- ✓ Distribución de las rocas en la escombrera.
- ✓ Compactación del material depositado.

La mayor difusión en la actualidad la han obtenido las escombreras de excavadoras y las de buldózer de varios pisos.

El orden de ejecución de la escombrera será de la forma siguiente, las rocas se descargan sobre todo el área de la escombrera después se nivela con los buldózeres y se apisona con los cilindros o compactadores. Así queda lista para la segunda capa. La distancia de transportación de las rocas por los buldózeres no sobre pasa 5-20m.

### **Trabajos auxiliares.**

Los trabajos auxiliares están encaminados a lograr que se realicen los procesos principales con la calidad y en el tiempo requerido, dentro de ellos tenemos, el mantenimiento de caminos y equipamiento, el regado de agua a los caminos mineros para evitar la propagación de polvo, la nivelación de los diferentes frentes de extracción, el bombeo de agua acumulada en caso de haberse formado una gran laguna que imposibilite la extracción en una zona, y el resto de actividades que aseguran que se cumpla con el plan de producción de la entidad minera.

### **Construcción del camino.**

El diseño de las vías de transporte debe ser tal que los equipos que se utilicen se muevan sin perder el ritmo de la operación en condiciones seguras.

Para su diseño hay que tener en cuenta una serie de aspectos tales como:

- Tipo de terreno.
- Pendiente.
- Curvatura: radios, peraltes y sobre ancho.
- Visibilidad en curvas y cambios de rasante.
- Conexión de bombeo.
- Drenaje

Un parámetro fundamental en la construcción de un camino lo constituye la pendiente del terreno. La determinación de la pendiente óptima de una vía se realiza a partir de las curvas características de los vehículos dados por su potencia, velocidad y capacidad de frenado. Los mejores rendimientos y costos, conjuntamente con las condiciones de seguridad adecuadas, se obtiene con pendientes menores o igual al 8%, con una resistencia a la rodadura normal.

### **III.2 Flujo tecnológico de la planta de preparación 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 mallas).

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

La planta de pulpa, diseñada con dos unidades iguales e individuales (Banda transportadora 1 y Banda transportadora 2), capaces de manipular la capacidad total de la planta. Cada una de las bandas está compuesta por (1 tolva, 1 transportador de estera, 1 transportador de banda, 1 criba), dos (lavadoras, zarandas primarias) y cuatro zarandas secundarias.

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

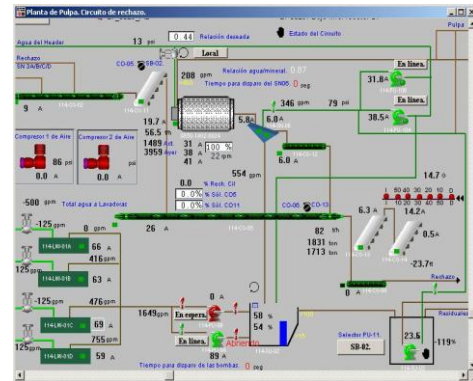
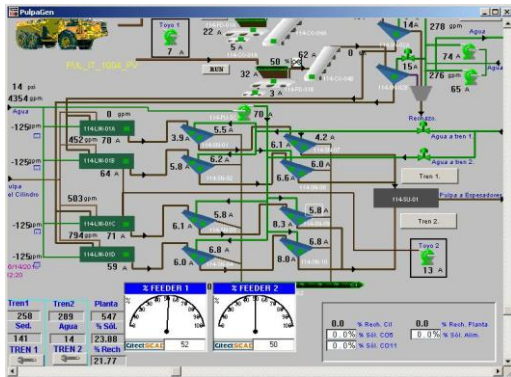
El mineral cae por gravedad a una tolva, cuyo tiempo de retención del mineral es de 9,9 minutos, la cual posee 9 martillos para uniformar la capa de mineral y además posee un juego de cadenas para romper los terrones grandes y amortiguar el golpe de las rocas que caen.

De las tolvas, el mineral cae a dos bandas transportadoras de rastrillo de velocidad variable, las cuales controlan el tonelaje de mineral alimentado a la planta. Estas bandas transportadoras de rastrillo conducen el mineral a dos transportadores de banda. La velocidad de estos transportadores es constante y tienen una inclinación de 15 grados cada uno. El mineral es conducido a las cribas, aquí por primera vez se añade agua de forma atomizada con el objetivo de romper los terrones de mineral que pasaron a través del embudo y lavar las partículas de minerales que traen las rocas serpentínicas.

La pulpa con partículas menores de 127 mm (5pulg.) cae por gravedad de las cribas vibratorias a las lavadoras de paletas, las cuales desmenuzan a la vez que lavan el mineral. Los pedazos de mineral de mayor tamaño quedan en las lavadoras, formando una cama y la pulpa de sólidos que salen alrededor de estas, divididas en dos corrientes, cae por gravedad a las zarandas primarias, las cuales son de mallas de 9,58 mm (3,8 pulg.). El rechazo de la criba vibratoria mayor de 127 mm (5 pulg.) es llevado por medio de un transportador vibratorio a un cilindro lavador, el cual desmenuza los terrones, y lava la parte superficial de las rocas duras, las partículas mayores de 127 mm son rechazadas por el cilindro lavador o el molino de quijadas que las tritura para hacerlas similares a las partículas que vienen en el rechazo de las zarandas primarias y secundarias. Las partículas mayores de 9,53 mm de composición serpentínico, son rechazadas por la zaranda primaria y van al transportador de rechazo y las menores de 9,53 mm se dividen en dos corrientes y caen a una zaranda secundaria.

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

El rechazo de las zarandas secundarias de carácter serpentínico, se une al de las primeras, así como el producto del cilindro y van a los transportadores de rechazo, para pasar después a la presa de rechazo donde es almacenado.



Flujo tecnológico de la preparación de planta de pulpa

### III.3 Características del material de rechazo.

El rechazo de planta de pulpa perteneciente a la empresa Moa Níquel S.A. del municipio de Moa está conformado teóricamente por la fracción >0.83 mm (malla 20) y están compuestas 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.

Los residuos que se acumulan regularmente en el campo de mina poseen contenidos de minerales útiles muy bajos, que promedian 0.55 % de Níquel y 0.045 % de Cobalto, Hierro 32.04 %, Magnesio 8.21 % y la Sílice de 17.34 %, sin un valor metalúrgico que cumpla con las especificaciones técnicas del proceso de Ferroníquel, pues esa tecnología va a operar con un cut off de 1 % de Níquel y precisa un mineral con contenidos de Fe = 12 % - 16 %, Mg = 24 % - 26 %, SiO<sub>2</sub> = 35 % - 40 % y Co = 0.06 %, precisando mantener una relación SiO<sub>2</sub>/Mg = 1.4 – 1.6, pudiendo asimilarse contenidos de hierro hasta un 20 % - 25 % (Comunicación oral del Dr. José Alberto Pons Herrera, Gerente de tecnología de Ferroníquel S.A en noviembre de 2010).

Un promedio del comportamiento de la granulometría en los análisis realizados a los desechos serpentiniticos de la mina de la empresa Pedro Sotto Alba por

otros autores durante diferentes períodos del Año 2010 en varios laboratorios se observa en la tabla

**Tabla 9 .Comportamiento de la granulometría de los desechos serpentínicos de la mina de la empresa PSA**

Fracción granulométrica	Análisis Vijay <sup>1</sup> (%)	Análisis Alien <sup>2</sup> (%)	Análisis ISMM <sup>3</sup> (%)	Promedio (%)	Desviación Estándar
	Período operacional 2010				
	E - A	M - A	S - D		
Grava gruesa > 25.4 (Necesitaría Trituración)	32	48	46	42	8.72
Grava (< 25.4 > 12, 7)	15	11	9	12	3.06
Gravilla (< 12, 7 > 4, 76 mm)	19	16	15	17	2.08
Arena (< 4,76 mm)	33	25	30	29	4.04

- El peso volumétrico húmedo promedio del material total de rechazo es 1,39 t/m<sup>3</sup>, con una humedad promedio de 16,94 %. El peso volumétrico seco del material total de rechazo es 1,16 t/m<sup>3</sup> con un coeficiente de variación de 20,39 %, por lo que se comporta como un parámetro muy estable.
- 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 t, de 21,88 % como promedio, y durante el monitoreo de la Moa Níquel 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 uno pocos mm hasta 4 cm. manchas aisladas de Mn y silicatos de níquel y óxidos e hidróxidos de Fe. Junto al

material aparecen en mayor porcentaje los perdigones de Fe de color pardo rojizo que oscilan en un tamaño muy variado desde unos pocos mm, hasta 3 cm. de forma subredondeada encontrando en el material intercalaciones de corazas de Fe en menor volumen.

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS REALIZADO EN EL ÁREA DE ESTUDIO Y DETERMINACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.**

### **IV.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 Níkel S.A., además ofrecemos datos acerca del volumen de trabajos realizados y las técnicas empleadas durante el desarrollo de la investigación.

#### **Recopilación de 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).

Con el objetivo de lograr un volumen mayor de información se realizó una intensa búsqueda bibliográfica de artículos científicos, trabajos de diploma, 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.



## **IV.2. Toma de muestra**

La toma de muestra se realizó en la planta de pulpa de la empresa Pedro Sotto Alba, donde el material fue recogido desde la banda transportadora que lleva el material a la presa de rechazo, luego este fue lavado y guardado en un saco de nailon hasta conformar una muestra de volumen considerable.

## **Trabajo de laboratorio**

Las muestras de serpentinitas escogidas del rechazo de la planta de pulpa de la empresa Moa Níckel S.A., fueron enviadas al laboratorio de áridos de la empresa ECRIN ubicado en el municipio de Moa.

Estos trabajos de laboratorio tuvieron una dirección fundamental, el análisis de las propiedades granulométrica, físico – mecánicas de los productos realizado con el material de rechazo proveniente de la empresa Pedro Sotto Alba.

## **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 haciéndolo pasar por una serie de tamices con la utilización de la tamizadora eléctrica mostrada en la fotografía.

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 representativas.



Fotografía 1. Tamizadora Eléctrica

### **Resultados de ensayo granulométrico**

En las tablas siguientes se muestran los ensayos granulométricos que fueron realizados en el laboratorio de materiales de construcción de la ECRIN para la grava, gravilla 3/8" ( $\leq 12,5 - \geq 4,76$  mm) y arena ( $\leq 4,76 - \geq 0,149$  mm) estas dos últimas son la que se van a utilizar para la construcción de los bloques y losas hexagonales a continuación presentamos un promedio de las tablas del 1 al 10 presente en los anexo.

Tabla 10. Resultado promedio para los análisis granulométricos

Resultados promedio para los análisis granulométricos											
Productos	Muestras										(% ) RA PROMEDIO
	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	
Gravas	45.4	44.8	46.6	46.6	46.5	48.8	46.6	44.8	46.6	46.5	<b>46</b>
Gravillas	24.6	23.9	24.5	23.8	23.4	23.1	24.1	25.0	23.4	24.2	<b>24</b>
Arenas	29.8	30.5	27.8	28.8	28.1	27.3	29.2	29.3	29.1	28.3	<b>29</b>
<b>Tamiz <math>\leq 9.52 - &gt; 4.76</math></b>											<b>%</b>
Gravillas	70.10	68.8	71.19	70.41	70.07	71.96	70.74	69.91	70.08	70.85	70.41
<b>Tamiz <math>\leq 2.38 - &gt; 1.18</math></b>											
Arenas	94.82	94.6	95.01	94.87	94.82	95.14	94.93	94.78	94.82	94.95	94.8722

Según los resultados del ensayo granulométrico realizado al material rechazado, la granulometría de la clase  $\leq 9,52 - > 4,76$  mm (70.41 %) es más predominante para la grava 3/8, en tanto para la arena la granulometría de clase  $\leq 2,38 - > 1,18$  mm (94.87 %) 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.

**Tabla 11. Ensayo de la grava del pilón utilizada para la construcción de los bloques y losas hexagonales.**

<b>Ensayo granulométrico para la materia prima Según NC 178: 2002</b>					
TAMICES		Peso	Peso	%	%
No.	mm	RPA	RA	RA	Pasado
½	12.7	32.6	3259	1.1	99
8-Mar	9.52	321	354	12	88
<b># 4</b>	<b>4.76</b>	1691	2044	68	32
# 8	2.38	741.5	2786	92	8
# 16	1.19	146	2932	97	3
Fondo		80	3012	100	0
Total		501.9			

**Tabla 12. Ensayo de la arena convencional.**

<b>1. GRANULOMETRIA (NC-178:2002)</b>					
TAMICES		Peso	Peso	%	%
No.	mm	RPA	RA	RA	Pasado
8-Mar	9.52	0	0	0	100
# 4	4.76	293	293	8	92
# 8	2.38	1071	1364	36	64
# 16	1.18	711.5	2076	55	45
# 30	0.598	493	2569	68	32
	0.149	360.5	3354	89	11
Fondo	0	409.5	3763	100	0
Total		3763			

### IV.3 Determinación de las propiedades físico – mecánicas de los desechos serpentínicos.

#### Determinación de la durabilidad al intemperismo.

Para tener un criterio sobre el comportamiento de las muestras en 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.

#### ***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 13. 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	Pérdida Peso Total	% Peso
1	61,84	61,76	61,64	61,61	61,58	61,50	61,3	61,25	61,18	61,08	61,0	0,81	0.98
2	56,42	56,34	56,31	56,23	56,16	55,8	55,8	55,71	55,64	55,60	55,5	0,85	0.98
3	35,72	35,64	35,52	35,44	35,41	35,3	35,3	35,26	35,21	35,19	35,1	0,60	0.98
4	105,5	105,4	105,3	105,2	105,1	105,0	104,8	104,8	104,7	104,6	104,5	0,99	0.99
5	29,36	29,31	29,26	29,21	29,15	29,09	29,1	28,89	28,86	28,81	28,9	0,42	0.98
6	88,79	88,71	88,68	88,62	88,57	88,5	88,5	88,49	88,32	88,3	88,26	0,67	0.99

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

#### **IV.4 Determinación de la Resistencia a la compresión y la Absorción de los bloques realizados con el material de rechazo de la empresa Moa Níkel S.A.**

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

- 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 a 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 10 bloques de  $10 \times 40 \times 20$  y  $15 \times 40 \times 20$  para un total de 30 bloques. Luego de preparadas las muestras estas fueron mantenidas en un cuarto húmedo durante 28 días, como establece la norma cubana (54 – 213: 82).



**Fotografía 7. Micro-concretera**

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

En la primera etapa se tomaron 5 bloques para determinar la resistencia a la compresión a los 7 días.

En la segunda etapa se tomaron 5 bloques más para determinar la resistencia a la compresión a los 14 días.

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

### ***Absorción***

Este se basa en la determinación de la diferencia del peso de los bloques en estado seco y saturado en agua.

Procedimientos.

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

% las porciones estarán a masa constante; tomándose el valor de la última pesada como masa constante.

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

### **Determinación de la Resistencia a la flexión y a la compresión de los morteros realizados con el material de rechazo de la empresa 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 18 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.

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.

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.

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,

## Dosificación para la construcción de los bloques

Tabla 14. 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 al 50% de material de rechazo y 50% de material convencional.		
	peso del rechazo (kg)	peso del material convencional (kg)
Cantidad de grava 3/8" utilizada	42.4	42.4
Cantidad de arena utilizada	27.3	27.3
Cantidad de cemento P350	25.9	
Volumen de agua utilizada	8.96	8.96
Peso total de la mezcla	91.5	91.46
Cantidad de bloques fabricados = 10 bloques		
Peso volumétrico de agua a 29,4 °C según NC181 : 2002 = 995,83 kg/m <sup>3</sup>		

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 15. Resultado de Resistencia a la compresión de los bloques de 10 cm a los 7 días.

Ancho del bloque de rotura (cm)	Largo del bloque de rotura (cm)	Área de bloque de rotura (cm <sup>2</sup> )	Carga (Kgf)	Rc (Mpa)
10.2	12	122	2549	2.04
9.98	12.2	122	2603	2.09
11	11.2	123	2701	2.14
10.86	11.3	123	2550	2.03
10	12	120	2549	2.08
Resistencia media.				<b>2.076</b>

Tabla 16. Resultado de Resistencia a la compresión de los bloques de 10cm a los 14 días.

Ancho del bloque de rotura (cm)	Largo del bloque de rotura (cm)	Área de bloque de rotura (cm <sup>2</sup> )	Carga (Kgf)	Rc (Mpa)
10.5	14	147	3824	2.55
10	13.9	139	3806	2.68
9.96	14	139	3901	2.74
9.5	13.9	132	3985	2.96
10	14.2	142	3824	2.64
Resistencia media.				<b>2.71</b>

Tabla 17. Resultado de Resistencia a la compresión de los bloques de 10cm a los 28 días.

Ancho del bloque de rotura (cm)	Largo del bloque de rotura (cm)	Área de bloque de rotura (cm <sup>2</sup> )	Carga (Kgf)	Rc (Mpa)
10.3	12	123.6	5098.6	3.75
9.94	13.1	130.2	5403.6	4.06
10.5	11.94	125.4	5009.4	3.91
11	12.6	138.6	5623.9	3.97
10	12.2	122	5098.8	4.09
Resistencia media.				<b>3.95</b>

La resistencia de los bloques realizado por Vijaya con el 100% del material de rechazo a los 28 días fue de 2.7 Mpa y con el de 50% del material de recazo se alcanzó una resistencia a los 28 días de 3.95 Mpa siendo más resistente los bloques construido con el 50% del material de rechazo.

**Tabla 18. Resultado de Resistencia a la compresión de los bloques de 15 cm a los 7 días.**

Ancho del bloque de rotura (cm)	Largo del bloque de rotura (cm)	Área de bloque de rotura (cm <sup>2</sup> )	Carga (Kgf)	Rc (Mpa)
13.4	15.4	206.4	8899	4.22
12.93	14.98	193.7	8475	4.29
12.65	15.5	196.1	8532	4.26
13	16	208	9133	4.3
13.4	15.5	207.7	8902	4.2
Resistencia media.				<b>4.25</b>

**Tabla 19. Resultado de Resistencia a la compresión de los bloques de 15cm a los 14 días.**

Ancho del bloque de rotura (cm)	Largo del bloque de rotura (cm)	Área de bloque de rotura (cm <sup>2</sup> )	Carga (Kgf)	Rc (Mpa)
15.5	15.5	240.3	11320	4.62
14.99	15.8	236.8	11010	4.55
14	17	238	11561	4.76
16	14.6	233.6	11560	4.85
15.5	15.6	241.8	11435	4.63
Resistencia media.				<b>4.68</b>

**Tabla 20. Resultado de Resistencia a la compresión de los bloques de 15cm a los 28 días.**

Ancho del bloque de rotura (cm)	Largo del bloque de rotura (cm)	Área de bloque de rotura (cm <sup>2</sup> )	Carga (Kgf)	Rc (Mpa)
14	15.5	217	11658	5.26
13	16.3	211	11096	5.15
14.5	15.1	218.95	11801	5.28
15	14.6	219	11984	5.36
14.2	15.3	217.26	11532	5.2
Resistencia media.				<b>5.25</b>
<b>Particular</b>				
15.5	16.9	261.95	5098.6	<b>3.6</b>

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

**Tabla 21. Requisitos para la Resistencia a la compresión de los bloques. Según NC 247: 2005**

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

Según el ensayo realizado para el bloque de categoría III a los 7 días después de ser construido presentó una Resistencia a compresión de 2,07 Mpa y a los 28 días 3.95 Mpa y para el caso de los bloques de categoría II a los 7 días presento una resistencia de 4.25 Mpa y a los 28 días 5.25 Mpa. Si comparamos estos resultados con los requisitos que establece la NC 247: 2005, nos damos cuenta que los bloques presentan una resistencia que nos indica que el material de rechazo de la empresa Moa Níkel S.A. puede ser empleado en la fabricación de este tipo de bloque y utilizarlo en la construcción de viviendas.

Tabla 22. Resultado del ensayo de Absorción de bloques de 10.

No. De Bloque	Masa Seca (kg)	Masa Húmeda (kg)	Absorción (%)
1	2.45	2.75	12.24
2	4	4.45	11.25
3	3.65	4.05	10.95
		<b>Abs. Promedia</b>	<b>11.48</b>

Tabla 23. Resultado del ensayo de Absorción de bloques de 15.

No. De Bloque	Masa Seca (kg)	Masa Húmeda (kg)	Absorción (%)
1	3.95	4.4	11.39
2	4.8	5.35	11.45
3	4.25	4.75	11.76
<b>Particular</b>			
4	3.25	3.75	15.38
		<b>Abs. Promedia</b>	<b>11.53</b>

Los bloques no deberán presentar un valor de absorción de agua superior al establecido para su grado y reflejado en la Tabla 31.

Tabla 24. Requisitos para la Absorción de los bloques. Según NC 247: 2005

	Límites en por ciento	
Grados	Absorción máxima	Máximo valor individual
I	Media $\leq 9$	Individual $\leq 11$
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 no está limitada.

Confección de mortero con el 50% de rechazo		
	Convencional	Rechazo
	peso (g)	peso (g)
Cantidad de arena	1350	1350
Cantidad de cemento	300	
Volumen de agua	273.5	273.5
Peso total de la muestra	3847	
Peso volumétrico del agua 29.4		

**Tabla 25. Valores de Resistencia a la flexión a los 7 días**

No de mortero	Valor de la carga	Resistencia a Flexión (Mpa)
1	1.1	2.65
2	1.2	2.89
3	1.1	2.65
		2.73

**Tabla 26. Valores de Resistencia a la Flexión a los 14 días**

No de mortero	Valor de la carga	Resistencia a Flexión (Mpa)
1	2	4.82
2	2	4.82
3	2.1	5.06
		4.9

**Tabla 27. Valores de Resistencia a la flexión a los 28 días**

No de mortero	Valor de la carga	Resistencia a Flexión (Mpa)
1	3	7.2
2	3.1	7.44
3	2.9	6.98
		7.2

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

**Tabla 28. Valores de Resistencia a compresión a los 7 días**

No. de mortero	Valor de carga aplicada(kN)	R <sub>c</sub> (Mpa)
M1	22.2	13.87
M1	24.67	15.41
M1'	27	16.8
		<u>15.36</u>

**Tabla 29. Valores de resistencia a compresión a los 14 días**

No. de mortero	Valor de carga aplicada(kN)	R <sub>c</sub> (Mpa)
M2	28.1	17.56
M2	27.45	17.15
M2	29	18.125
		<u>17.6</u>

**Tabla 30. Valores de Resistencia a compresión a los 28 días**

No. de mortero	Valor de carga aplicada(kN)	R <sub>c</sub> (Mpa)
M3	29.2	18.25
M3	28.9	18.06
M3	31.1	19.43
		<u>18.58</u>

Según la NC 175: 2002 (Mortero de albañilería y sus especificaciones), la dosificación empleada por nosotros corresponde a los morteros de categoría V, estos morteros se usan para saber la resistencia de las losas hexagonales. Comparando los valores obtenidos en los ensayos realizados a los morteros preparados con arena al 50% de rechazos serpentínicos obtuvo un valor de resistencia a compresión a los 28 días de 18.58 Mpa lo cual es superior al de 12,4 Mpa establecido en dicha norma.

## **IV.5 Mitigación a los impactos ambientales**

### **Impacto ambiental**

El problema a resolver en este trabajo tributa directamente a disminuir el impacto ambiental en relación con dos direcciones principales, buscar un uso para los desechos serpentínicos de la industria del níquel, como solución a la búsqueda de espacio para su acomodo y 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 de los ríos, ya que el CITMA ha prohibido la extracción de materiales aluviales de estos ríos 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.

### **Impacto económico**

El ministerio de la construcción en la fabricación de casas realiza grandes gastos tales como la transportación y compra de los materiales, y otros. La empresa MICRO SERVI para la construcción de un bloque con dimensiones de 10 cm incurre en gasto de 2.69\$ de ello gastan en fuerza de trabajo 0.91centavo, en gasto de materiales 1.49\$ y en gasto de transportación 0.287centavos. Esta también tiene gasto por concepto de transportación en el caso de la arena proveniente de Las Tunas a 248km de Moa el costo es de 17.27\$ por m<sup>3</sup> de arena, y para la grava desde Holguín a 238km de Moa el gasto de transportación es de 16.62\$ y del cemento es de 17.92\$ por ton. El precio de la arena por m<sup>3</sup> es de 20.41\$, de la grava es de 19.82\$ y del cemento 136.89\$ por ton.

Con la utilización del material de rechazo como material de construcción se elimina un gran porcentaje de estos gastos, ya que este material no se tiene que comprar, el único gasto que tendría este es el de transportación y limpieza.



## **CONCLUSIONES**

1. Los ensayos realizados a los productos elaborados con el 50% de los desechos serpentínicos y 50% de árido convencional demuestra que está pueden emplearse como material de construcción alternativo al cumplir con las normas cubanas.
2. Disminuye la afectación al medio ambiente, empleando los residuos sólidos provenientes de la planta de preparación de pulpa como material de construcción.

## **RECOMENDACIONES**

1. Continuar el estudio de la utilización de los desechos serpentínícos con otras proporciones en los hormigones.
2. Se analicen las vías para que la planta de preparación de pulpa aumente la eficiencia operacional y entregue una materia libre de contaminantes.

## 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.

BARTHELEMI, 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-anefa/Bouso-M3/Sol\\_Medamb\\_Aridos\\_Via\\_Humeda.pdf](http://www.minas.upm.es/catedra-anefa/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](http://www.minas.upm.es/relext/Red-Cyted-XIII/web-rimin/rimin1/jornadas/01ibermac_pdf/08_Calidad/Sosa.pdf)

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

Collectivos 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 serpentínicos 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

## **. 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 conforme. 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 µm) 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 más 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 SO<sub>3</sub> 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 m<sup>3</sup>.



Anexo 1



Fotografía de los moldes de los morteros

Anexo 2



Fotografía 8 prensa para los morteros de (10 t)

Anexo 3



Bloque realizado con el 50% del material de rechazo

Anexo 4



El bloque realizado con el 50% del material de rechazo.

Anexo5



Bloque y testigo realizado con el 50% del material de rechazo.

anexo 6



Losa realizada con el 50% de rechazo.

Anexo 7



Ensayo a la resistencia a compresión del bloque morteros

Anexo 8



Ensayo a la resistencia a flexión de los

Anexo 9



Ensayo a la resistencia a compresión del mortero

Anexo 10



Muestra de rechazo < 4.75mm

Anexo 11



muestra de rechazo (>12.5--<4.75)

Anexo 12



Muestra de rechazo mayor de 12.5 mm

Tabla 1. Análisis granulométrico 1

Peso de la muestra húmeda						10180.6
Peso de la muestra seca						9332.3
Tamices	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Peso Retenido Acumulado (%)	%
<b>Grava</b>						
<b>En mm</b>	<b>PI</b>	<b>PF</b>	<b>PRP</b>	<b>PRA</b>	<b>RA</b>	<b>PASADO</b>
≥ 76,2	9332.3	9332.3	0	0	0	100
≤ 76,2 - > 63,5	9332.3	8959.01	373.29	373.29	4	96
≤ 63,5 - > 50,8	8959.01	8421.47	537.54	910.83	9.76	90.24
≤ 50,8 - > 38,1	8421.47	7831.96	589.5	1500.34	16.077	83.92
≤ 38,1 - > 25,4	7831.96	5090.78	2741.19	4241.52	45.45	54.55
<b>Gravilla</b>						
≤ 25,4 - > 19,1	5090.78	4734.42	356.35	4597.88	49.268	50.73
≤ 19,1 - > 12,7	4734.42	4232.57	501.85	5099.73	54.646	45.35
≤ 12,7 - > 9,52	4232.57	3809.32	423.26	5522.98	59.181	40.82
≤ 9,52 - > 4,76	3809.32	2790.32	1018.99	6541.98	70.1	29.9
				<b>24.65</b>		
<b>Arena</b>						
≤ 4,76 - > 2,38	2790.32	1381.21	1409.11	7951.09	85.2	14.8
≤ 2,38 - > 1,18	1381.21	483.42	897.79	8848.88	94.82	5.18
≤ 1,18 - > 0,59	483.42	84.6	398.82	9247.7	99.093	0.91
≤ 0,59 - > 0,30	84.6	31.3	53.3	9301	99.665	0.34
≤ 0,30 - > 0,149	31.3	2.19	29.11	9330.11	99.977	0.02
Fondo	2.19	0.01	2.18	9332.29	100	0
<b>Total</b>				<b>9332.29</b>		

Tabla 2. Análisis granulométrico 2

Peso de la muestra húmeda en (g)						10112.4
Peso de la muestra seca en (g)						9269.75
Tamices	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Peso Retenido Acumulado (%)	%
<b>Gravas</b>						
<b>En mm</b>	<b>PI</b>	<b>PF</b>	<b>PRP</b>	<b>PRA</b>	<b>RA</b>	<b>PASADO</b>
≥ 76,2	9269.75	9269.75	0	0	0	100
≤ 76,2 - > 63,5	9269.75	8898.96	370.79	370.79	4	96
≤ 63,5 - > 50,8	8898.96	8454.01	444.95	815.74	8.8	91.2
≤ 50,8 - > 38,1	8454.01	7862.23	591.78	1407.52	15.184	84.82
≤ 38,1 - > 25,4	7862.23	5110.45	2751.78	4159.3	44.87	55.13
				<b>44.87</b>		
<b>Gravillas</b>						
≤ 25,4 - > 19,1	5110.45	4752.72	357.73	4517.03	48.729	51.27
≤ 19,1 - > 12,7	4752.72	4248.93	503.79	5020.82	54.163	45.84
≤ 12,7 - > 9,52	4248.93	3951.5	297.43	5318.24	57.372	42.63
≤ 9,52 - > 4,76	3951.5	2894.48	1057.03	6375.27	68.775	31.22
				<b>23.91</b>		
<b>Arena</b>						
≤ 4,76 - > 2,38	2894.48	1432.77	1461.71	7836.98	84.544	15.46
≤ 2,38 - > 1,18	1432.77	501.47	931.3	8768.28	94.59	5.41
≤ 1,18 - > 0,59	501.47	87.76	413.71	9181.99	98.389	1.61
≤ 0,59 - > 0,30	87.76	32.47	55.29	9237.28	98.982	1.02
≤ 0,30 - > 0,149	32.47	2.27	30.2	9267.47	99.305	0.69
				<b>30.53</b>		
Fondo	2.27	0.01	2.262	9269.73	100	0
<b>Total</b>						<b>9269.73</b>



Tabla 4. Análisis granulométrico 4

Peso de la muestra húmeda en (g)						10108.9
Peso de la muestra seca en (g)						9266.57
Tamices	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Peso Retenido Acumulado (%)	%
<b>Gravas</b>						
<b>En mm</b>	<b>PI</b>	<b>PF</b>	<b>PRP</b>	<b>PRA</b>	<b>RA</b>	<b>PASADO</b>
≥ 76,2	9266.57	9266.57	0	0	0	100
≤ 76,2 - > 63,5	9266.57	8895.91	370.66	370.66	4	96
≤ 63,5 - > 50,8	8895.91	8184.24	711.67	1082.34	11.68	88.32
≤ 50,8 - > 38,1	8184.24	7611.34	572.9	1655.23	17.862	82.14
≤ 38,1 - > 25,4	7611.34	4947.37	2663.97	4319.2	46.611	53.39
				<b>46.61</b>		
<b>Gravillas</b>						
≤ 25,4 - > 19,1	4947.37	4601.06	346.32	4665.52	50.348	49.65
≤ 19,1 - > 12,7	4601.06	4113.34	487.71	5153.23	55.611	44.39
≤ 12,7 - > 9,52	4113.34	3743.14	370.2	5523.43	59.606	40.39
≤ 9,52 - > 4,76	3743.14	2741.85	1001.29	6524.72	70.411	29.59
				<b>23.8</b>		
<b>Arenas</b>						
≤ 4,76 - > 2,38	2741.85	1357.22	1384.64	7909.36	85.354	14.65
≤ 2,38 - > 1,18	1357.22	475.03	882.19	8791.55	94.874	5.13
≤ 1,18 - > 0,59	475.03	83.13	391.9	9183.44	98.405	1.6
≤ 0,59 - > 0,30	83.13	30.76	52.37	9235.82	98.966	1.03
≤ 0,30 - > 0,149	30.76	2.15	28.6	9264.42	99.273	0.73
				<b>28.86</b>		
Fondo	2.15	0.01	2.142	9266.56	100	0
<b>Total</b>						<b>9266.56</b>

Tabla 5 Análisis granulométrico 5

Peso de la muestra húmeda en (g)						9998.9
Peso de la muestra seca en (g)						9165.7
Tamices	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Peso Retenido Acumulado (%)	%
<b>Gravas</b>						
<b>En mm</b>	<b>PI</b>	<b>PF</b>	<b>PRP</b>	<b>PRA</b>	<b>RA</b>	<b>PASADO</b>
≥ 76,2	9165.74	9165.74	0	0	0	100
≤ 76,2 - > 63,5	9165.74	8615.8	549.94	549.94	6	94
≤ 63,5 - > 50,8	8615.8	8098.85	516.95	1066.89	11.64	88.36
≤ 50,8 - > 38,1	8098.85	7531.93	566.92	1633.81	17.825	82.17
≤ 38,1 - > 25,4	7531.93	4895.75	2636.18	4269.99	46.586	53.41
				<b>46.59</b>		
<b>Gravillas</b>						
≤ 25,4 - > 19,1	4895.75	4553.05	342.7	4612.69	50.325	49.67
≤ 19,1 - > 12,7	4553.05	4070.43	482.62	5095.31	55.591	44.41
≤ 12,7 - > 9,52	4070.43	3744.79	325.63	5420.95	59.144	40.86
≤ 9,52 - > 4,76	3744.79	2743.06	1001.73	6422.68	70.073	29.93
				<b>23.49</b>		
<b>Arenas</b>						
≤ 4,76 - > 2,38	2743.06	1357.82	1385.25	7807.92	85.186	14.81
≤ 2,38 - > 1,18	1357.82	475.24	882.58	8690.5	94.815	5.18
≤ 1,18 - > 0,59	475.24	80.79	394.45	9084.95	97.35	2.65
≤ 0,59 - > 0,30	80.79	29.89	50.9	9135.85	97.895	2.11
≤ 0,30 - > 0,149	29.89	2.09	27.8	9163.65	98.193	1.81
				<b>28.12</b>		
Fondo	2.09	0.01	2.082	9165.73	100	0
<b>Total</b>				<b>9165.73</b>		



Tabla 6. Análisis granulométrico 6

Peso de la muestra húmeda en (g)						10112
Peso de la muestra seca en (g)						9269.4
Tamices	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Peso Retenido Acumulado (%)	%
<b>Gravas</b>						
<b>En mm</b>	<b>PI</b>	<b>PF</b>	<b>PRP</b>	<b>PRA</b>	<b>RA</b>	<b>PASADO</b>
≥ 76,2	9269.42	9269.42	0	0	0	100
≤ 76,2 - > 63,5	9269.42	8342.47	926.94	926.94	10	90
≤ 63,5 - > 50,8	8342.47	7841.93	500.55	1427.49	15.4	84.6
≤ 50,8 - > 38,1	7841.93	7292.99	548.93	1976.42	21.322	78.68
≤ 38,1 - > 25,4	7292.99	4740.44	2552.55	4528.97	48.859	51.14
				<b>48.86</b>		
<b>Gravillas</b>						
≤ 25,4 - > 19,1	4740.44	4408.61	331.83	4860.8	52.439	47.56
≤ 19,1 - > 12,7	4408.61	3941.3	467.31	5328.12	57.481	42.52
≤ 12,7 - > 9,52	3941.3	3547.17	394.13	5722.25	61.733	38.27
≤ 9,52 - > 4,76	3547.17	2598.3	948.87	6671.11	71.969	28.03
				<b>23.11</b>		
<b>Arenas</b>						
≤ 4,76 - > 2,38		2598.3	1286.16	1312.14	7983.26	86.125
≤ 2,38 - > 1,18		450.16	836	8819.26	95.144	4.86
≤ 1,18 - > 0,59		78.78	371.38	9190.64	98.482	1.52
≤ 0,59 - > 0,30		29.15	49.63	9240.27	99.014	0.99
≤ 0,30 - > 0,149		2.04	27.11	9267.38	99.304	0.7
				<b>27.34</b>		
Fondo		0.01	2.03	9269.41	100	0
<b>Total</b>				<b>9269.41</b>		

Tabla 7 Análisis granulométrico 7

						10180
Peso de la muestra seca en (g)						9331.75
Tamices	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Peso Retenido Acumulado (%)	%
<b>Gravas</b>						
<b>en mm</b>	<b>PI</b>	<b>PF</b>	<b>PRP</b>	<b>PRA</b>	<b>RA</b>	<b>PASADO</b>
≥ 76,2	9331.75	9331.75	0	0	0	100
≤ 76,2 - > 63,5	9331.75	8958.48	373.27	373.27	4	96
≤ 63,5 - > 50,8	8958.48	8420.97	537.51	910.78	9.76	90.24
≤ 50,8 - > 38,1	8420.97	7663.08	757.89	1668.67	17.882	82.12
≤ 38,1 - > 25,4	7663.08	4981	2682.08	4350.75	46.623	53.38
					<b>46.62</b>	
<b>Gravillas</b>						
≤ 25,4 - > 19,1	4981	4632.33	348.67	4699.42	50.359	49.64
≤ 19,1 - > 12,7	4632.33	4141.31	491.03	5190.44	55.621	44.38
≤ 12,7 - > 9,52	4141.31	3727.18	414.13	5604.57	60.059	39.94
≤ 9,52 - > 4,76	3727.18	2730.16	997.02	6601.59	70.743	29.26
					<b>24.12</b>	
<b>Arenas</b>						
≤ 4,76 - > 2,38	2730.16		1351.43	1378.73	7980.32	85.518
≤ 2,38 - > 1,18	1351.43	473	878.43	8858.75	94.931	5.07
≤ 1,18 - > 0,59	473	82.77	390.22	9248.98	99.107	0.89
≤ 0,59 - > 0,30	82.77	30.63	52.15	9301.12	99.666	0.33
≤ 0,30 - > 0,149	30.63	2.14	28.48	9329.61	99.971	0.03
					<b>29.23</b>	
Fondo	2.14	0.01	2.133	9331.74	100	0
<b>Total</b>					<b>9331.74</b>	

Tabla 8. Análisis granulométrico 8

Peso de la muestra húmeda en (g)						10105
Peso de la muestra seca en (g)						9263
Tamices	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Peso Retenido Acumulado (%)	%
<b>Gravas</b>						
<b>en mm</b>	<b>PI</b>	<b>PF</b>	<b>PRP</b>	<b>PRA</b>	<b>RA</b>	<b>PASADO</b>
≥ 76,2	9263	9263	0	0	0	100
≤ 76,2 - > 63,5	9263	8892.48	370.52	370.52	4	96
≤ 63,5 - > 50,8	8892.48	8447.86	444.62	815.14	8.8	91.2
≤ 50,8 - > 38,1	8447.86	7856.51	591.35	1406.49	15.184	84.82
≤ 38,1 - > 25,4	7856.51	5106.73	2749.8	4156.27	44.87	55.13
				<b>44.87</b>		
<b>Gravillas</b>						
≤ 25,4 - > 19,1	5106.73	4749.26	357.47	4513.74	48.729	51.27
≤ 19,1 - > 12,7	4749.26	4226.84	522.42	5036.16	54.369	45.63
≤ 12,7 - > 9,52	4226.84	3804.16	422.68	5458.84	58.932	41.07
≤ 9,52 - > 4,76	3804.16	2786.54	1017.6	6476.46	69.917	30.08
				<b>25.05</b>		
<b>Arenas</b>						
≤ 4,76 - > 2,38	2786.54	1379.34	1407.2	7883.66	85.109	14.89
≤ 2,38 - > 1,18	1379.34	482.77	896.57	8780.23	94.788	5.21
≤ 1,18 - > 0,59	482.77	82.07	400.7	9180.93	98.378	1.62
≤ 0,59 - > 0,30	82.07	30.37	51.7	9232.63	98.932	1.07
≤ 0,30 - > 0,149	30.37	2.13	28.24	9260.87	99.235	0.77
				<b>29.32</b>		
Fondo	2.13	0.01	2.115	9262.99	100	0
<b>Total</b>				<b>9262.99</b>		

Tabla 9. Análisis granulométrico 9

Peso de la muestra húmeda en (g)						10100
Peso de la muestra seca en (g)						9258.42
Tamices	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Peso Retenido Acumulado (%)	%
<b>Gravas</b>						
en mm	PI	PF	PRP	PRA	RA	PASADO
≥ 76,2	9258.42	9258.42	0	0	0	100
≤ 76,2 - > 63,5	9258.42	8888.08	370.34	370.34	4	96
≤ 63,5 - > 50,8	8888.08	8177.03	711.05	1081.38	11.68	88.32
≤ 50,8 - > 38,1	8177.03	7604.64	572.39	1653.78	17.862	82.14
≤ 38,1 - > 25,4	7604.64	4943.02	2661.62	4315.4	46.611	53.39
				<b>46.61</b>		
<b>Gravillas</b>						
≤ 25,4 - > 19,1	4943.02	4597.01	346.01	4661.41	50.348	49.65
≤ 19,1 - > 12,7	4597.01	4109.72	487.28	5148.69	55.611	44.39
≤ 12,7 - > 9,52	4109.72	3780.94	328.78	5477.47	59.162	40.84
≤ 9,52 - > 4,76	3780.94	2769.54	1011.4	6488.87	70.086	29.91
				<b>23.48</b>		
<b>Arenas</b>						
≤ 4,76 - > 2,38	2769.54	1370.92	1398.62	7887.49	85.193	14.81
≤ 2,38 - > 1,18	1370.92	479.82	891.1	8778.59	94.817	5.18
≤ 1,18 - > 0,59	479.82	81.57	398.25	9176.85	98.334	1.67
≤ 0,59 - > 0,30	81.57	30.18	51.39	9228.24	98.885	1.12
≤ 0,30 - > 0,149	30.18	2.11	28.07	9256.3	99.186	0.81
				<b>29.1</b>		
Fondo	2.11	0.01	2.102	9258.41	100	0
<b>Total</b>	<b>9258.41</b>					

Tabla 10. Análisis granulométrico 10

Peso de la muestra húmeda en (g)						10100
Peso de la muestra seca en (g)						9258.42
Tamices	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Peso Retenido Parcial (g)	Peso Retenido Acumulado (g)	Peso Retenido Acumulado (%)	%
<b>Gravas</b>						
<b>en mm</b>	<b>PI</b>	<b>PF</b>	<b>PRP</b>	<b>PRA</b>	<b>RA</b>	<b>PASADO</b>
≥ 76,2	9258.42	9258.42	0	0	0	100
≤ 76,2 - > 63,5	9258.42	8702.91	555.5	555.5	6	94
≤ 63,5 - > 50,8	8702.91	8180.74	522.17	1077.68	11.64	88.36
≤ 50,8 - > 38,1	8180.74	7608.08	572.65	1650.33	17.825	82.17
≤ 38,1 - > 25,4	7608.08	4945.26	2662.83	4313.16	46.586	53.41
				<b>46.59</b>		
<b>Gravillas</b>						
≤ 25,4 - > 19,1	4945.26	4599.09	346.17	4659.33	50.325	49.67
≤ 19,1 - > 12,7	4599.09	4093.19	505.9	5165.23	55.79	44.21
≤ 12,7 - > 9,52	4093.19	3683.87	409.32	5574.55	60.211	39.79
≤ 9,52 - > 4,76	3683.87	2698.43	985.43	6559.98	70.854	29.15
				<b>24.27</b>		
<b>Arenas</b>						
≤ 4,76 - > 2,38	2698.43	1335.72	1362.71	7922.69	85.573	14.43
≤ 2,38 - > 1,18	1335.72	467.5	868.22	8790.91	94.951	5.05
≤ 1,18 - > 0,59	467.5	79.48	388.03	9178.94	98.357	1.64
≤ 0,59 - > 0,30	79.48	29.41	50.07	9229.01	98.893	1.11
≤ 0,30 - > 0,149	29.41	2.06	27.35	9256.36	99.186	0.81
				<b>28.33</b>		
Fondo	2.06	0.01	2.048	9258.41	100	0
<b>Total</b>				<b>9258.41</b>		