

MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”
FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Geólogo



Título:

Caracterización y evaluación del desecho serpentinitica de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara como áridos para la obtención de hormigones hidráulicos

Diplomante: José Luis Pérez Stest

Tutor (es): Dr. Carlos Leyva Rodríguez
Ms C. Freddys Lueges Anidos
Ms C José Carmenate Fernández

Julio 2009



Agradecimientos

Les doy las gracias a Dios por estar siempre a mi lado y por bendecirme siempre, a mis padres Luis Pérez y Ana Rosa por todo su apoyo incondicional, mis tutores Carlos Leyva y Freddy los cuales siempre estuvieron ayudándome en la tesis, mis profesores que me han forjado para ser un buen profesional, familia y amigos que me estuvieron alentando de una forma u otra; los técnicos de laboratorio de la ECRIN, que me brindaron su apoyo, en especial a Lén, Modesto y Camilo, a todos los que de una manera u otra han contribuido en mi desarrollo como estudiante.



Dedicatoria

Dedico este trabajo de diploma a las personas que más quiero y aprecio en la vida a mi Dios Jehová y a mis padres, que son la razón de mi existencia, los que me guiaron por el camino del bien desde los primeros momentos de mi vida y me ofrecieron todo lo que estaba a su alcance para terminar mis estudios, de los cuales siempre estaré orgullosa. A mis hermanas por todo el amor que les tengo y que a pesar de nuestras diferencias siempre serán una parte muy importante en mi vida. A mi familia por su apoyo. A mis amistades, los que siempre me brindaron su ayuda, su cariño desinteresado, los que no vacilaron y siempre estuvieron prestos a dar su mano amiga cuando más los necesitaba, por el aprecio que les tengo los cuales llevo siempre en el corazón.



Pensamiento

... "cemento hidráulico, masa que, celoso de la naturaleza que creo breñas duras, ha inventado el hombre"...

José Martí

ÍNDICE

Agradecimientos.....	I
Dedicatoria	II
Pensamiento	III
RESUMEN.....	VI
SUMMARY	VII
INTRODUCCIÓN	1
Generalidades de los yacimientos de Materiales de Construcción:	1
Diseño de la investigación.....	3
ESTADO DEL ARTE:.....	4
TIPO DE MATERIA PRIMA.....	12
CAPÍTULO I.....	16
CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS DEL TERRITORIO. ..	16
1.1 Generalidades.....	16
1.2 Clima	17
1.3 Hidrogeología.....	18
1.4 Vegetación.....	19
1.5 Economía.....	19
1.6 Generalidades físico-geográficas del yacimiento.....	19
1.1.1 Marco geológico regional.....	20
1.1.2 Estratigrafía regional.....	21
1.1.3 Marco tectónico regional.....	24
1.1.4 Geomorfología regional.....	27
1.1.6 Generalidades geológicas del yacimiento	29
CAPITULO II: METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS. ..	33
2.1.Introducción.....	33
2.2 Metodología de la investigación.....	33
2.2.1 Recopilación y procesamiento de la información preexistente:.....	33
2.2.2 Trabajos de campo	33
2.2.3 Trabajos de laboratorio.....	34
Composición química	34
Proceso de reducción de tamaño	34
2.3 Determinación de las propiedades geométricas, físicos - mecánicos, químicas y de alterabilidad.....	36
2.3.1. Ensayos para la determinación de las propiedades geométricas	36
2.3.1.2. Determinación del contenido de partículas planas y alargadas, según la NC 189: 2002. Áridos gruesos.....	37
2.3.1.3. Determinación del material menor que 0. 074 mm, según la NC 182: 2002. Áridos.....	38
2.3.1.4. Determinación de las impurezas orgánicas, según la NC 185: 2002. Arena.	39
2.3.2. Ensayos para la determinación de las propiedades físico- mecánicas de los áridos. 39	
2.3.2.1. Determinación del peso específico y absorción de agua, según la NC 187: 2002. Árido grueso.....	39
CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.....	46
3.1 Introducción:	46
3.2 Caracterización de la composición sustancial de la materia prima. Composición química.....	47



3.3 Resultados de los trabajos de laboratorio al árido fino.	49
3.4 Resultados de los trabajos de laboratorio al árido grueso.	53
3.5 Dosificaciones para Hormigones de hasta 20 Mpa y resultados a la compresión de las probetas.	57
3. 6 Aportes del trabajo a la temática del medio ambiente y el desarrollo sostenible.....	61
CONCLUSIONES	66
RECOMENDACIONES	68
Bibliografía.....	69



RESUMEN

El presente trabajo valora y propone soluciones para el empleo de los desechos Serpentiníticos de la ECEG, como materiales de construcción alternativos y especialmente de áridos para la producción de hormigones hidráulicos. Se resumen además los resultados logrados en trabajos anteriores.

Se dan aportes a la caracterización petrológica de los desechos serpentiniticos y se demuestra a través de ensayos realizados en el laboratorio de la ECRIN, que el Municipio de Moa puede proceder a la obtención de áridos para hormigones hidráulicos de hasta 20 Megapascal y otros usos, Se propone emplear el molino de la Planta de Cayo Guam que fue cedida por Cuba níquel al Gobierno Municipal, para la molienda de este material.

Por otra parte la aplicación de este trabajo traerá mejoras en el entorno ambiental ya que volúmenes considerables de este rechazo se vierte en áreas mineras contribuyendo a provocar un impacto ambiental negativo y por otra parte logrará eliminar las explotaciones de áridos aluviales que se hacen actualmente, por excepción, en el Río Cayo Guam con las correspondientes afectaciones.



SUMMARY

The present work values and it proposes solutions for the employment of the waste Serpentinítico of the ECEG, as alternative construction materials and especially of arid for the production of hydraulic concretes. The results achieved in previous works are also summarized.

Contributions are given to the characterization petrológica of the waste serpentinitico and it is demonstrated through rehearsals carried out in the laboratory of the ECRIN that the Municipality of Moa can proceed to the obtaining of arid for hydraulic concretes of until 20 Megapascal and other uses, he/she intends to use the mill of the Plant of Key Guam that was given by Cuba nickel to the Municipal Government, for the mill of this material.

On the other hand the application of this work will bring improvements since in the environmental environment considerable volumes of this rejection he/she spills in mining areas contributing to cause a negative environmental impact and on the other hand it will be able to eliminate the exploitations of arid alluvial that are made at the moment, for exception, in the one he/she Laughed Key Guam with the corresponding affectations.



INTRODUCCIÓN

Generalidades de los yacimientos de Materiales de Construcción:

Los materiales de construcción constituyen, en su conjunto, el grupo mineral que más volumen de extracción supone en la Tierra. En cuanto a su valor total, se sitúa solamente por detrás de los combustibles fósiles. Casi todos las rocas y minerales conocidos tienen un papel en la industria de la construcción, en la que se incluyen carreteras, edificios, puentes, presas, puertos y otras estructuras muy variadas. Por lo tanto, el sector de la construcción es, largamente, el sector industrial que más Rocas Minerales Industriales (RMI) consume. Si bien los volúmenes son muy altos, los precios a pie de cantera suelen ser muy bajos, adquiriendo mayor o menor valor añadido según el tratamiento posterior que se requiera. Por ejemplo, la arcilla y la caliza usadas en la fabricación de cemento tienen valores de unos 5 US dólares/tonelada a pie de cantera, pero este valor se multiplica por 10 una vez convertido en cemento de alta calidad. Las piedras ornamentales y las arcillas cerámicas sufren un incremento aún mayor.

Como son muy abundantes, los factores que controlan la explotación y comercialización de los materiales de construcción son muy distintos de las otras RMI. Normalmente, las canteras se abren para satisfacer demandas locales, porque el bajo coste no soporta largos transportes. La producción se suele consumir en el propio país. Las reservas y los recursos potenciales suelen ser muy grandes para materiales baratos (áridos, arcillas comunes, yeso), aunque pueden ser mucho menores para materiales de alta calidad (piedra ornamental, materia prima para aislantes).

Las RMI que se emplean en la fabricación de materiales de construcción son, entre otros: arenas, gravas y toda clase de rocas trituradas como áridos o agregados; caliza y arcilla, yeso y materiales puzolánicos para cementos; arcillas, feldespatos, cuarzo, caolín y otros minerales para la fabricación de tejas, ladrillos, loza, gres \ porcelana; granitos, mármoles, pizarras, calizas, serpentinas y otras rocas como piedra ornamental; yesos y cales como aglomerantes; materiales asfálticos; arenas silíceas y diversos óxidos v carbonates en la fabricación de vidrio; crisotilo, anfíboles, sepiolita, wollastonita y otros minerales en la fabricación de fibrocementos; pumita, perilla, vermiculita, arcilla, pizarra y otras rocas en la fabricación de elementos ligeros o aislantes.

Los materiales de construcción deben ser considerados recursos de la comunidad pues son fundamentales para el desarrollo de cualquier sociedad y constituyen materias primas



esenciales para la construcción de nuestras casas, carreteras, aeropuertos, edificios de oficinas, puentes, fábricas. etc. Las comunidades modernas requieren grandes cantidades de arenas, gravas, roca para triturar y arcillas estructurales. Aunque son recursos fácilmente localizables, su disponibilidad se ve restringida por varios factores. En primer lugar, existen problemas técnicos. Los yacimientos de materiales de construcción de buena calidad no se encuentran generalmente cerca de los sitios donde son necesarios. En segundo término, hay una presión creciente sobre la competencia del uso del suelo. La extracción de los materiales de construcción es frecuentemente restringida, y en algunos casos, prohibida. Para asegurar la disponibilidad de nuestras futuras necesidades de construcción y edificación, es necesario identificar los recursos potenciales de materiales de construcción. (Whitehouse et al., 1996).

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

Los áridos son, por lo tanto, básicos e imprescindibles en la construcción de edificaciones, obra civil e infraestructuras de cualquier país y, por ello, un indicador muy preciso del estado de su economía y de su desarrollo socioeconómico.

En la mayor parte de las aplicaciones industriales, el empleo del árido se justifica en razón a su comportamiento estable frente a la acción química o a los agentes externos, así como a su resistencia mecánica frente a cargas y vibraciones. No se deben considerar como áridos, por lo tanto, aquellas sustancias minerales utilizadas como cargas en diversos procesos industriales por sus características físico-químicas, que afectan sustancialmente al producto obtenido y a sus especificaciones (por ejemplo, calizas para cargas en la industria del papel), ni aquellas otras cuyo empleo en procesos industriales no tiene que ver con su estabilidad e inercia química o con su resistencia mecánica, sino con la aportación al proceso de unos determinados elementos químicos que hacen posible la elaboración del producto (caso de las calizas para cementos o para cales, arenas síliceas para fabricación de vidrio, etc.).

El árido debe ser, por los enormes volúmenes utilizados, un material barato y abundante, precisando además que los yacimientos estén situados cerca de los centros de consumo. Por otra parte, las características geológicas y litológicas de los yacimientos de áridos son

muy variables, lo que implica técnicas de explotación y procesos de transformación muy diversos, no obstante lo cuál, cada vez son mayores las solicitudes de homogeneidad y calidad del producto final a poner en obra.

Con el comienzo de la recuperación económica cubana a partir del año 2000, se ponen en práctica numerosos planes constructivos para la rehabilitación y construcción de nueva infraestructura de los sistemas de Salud Pública, Educación, Transportes, Comunicaciones, Vivienda, Turismo, Energético, etc. Esto conlleva a la necesidad de una reevaluación del potencial de los recursos minerales para la industria constructiva, partir del concepto “Desarrollo Sostenible”, los elevados precios de los energéticos, y las fuertes restricciones medioambientales existentes.

El viceministro del MICONS Rafael Soler Deschapells (según MARTÍN. M. 2009) en el periódico juventud rebelde recientemente: explicó que a mediados de 2004, vísperas de retomar nuevamente un programa de construcción de vivienda fuerte, se le solicitó al Ministro de la Construcción hacer un levantamiento de todos los productos locales y las potencialidades que había en cada lugar. También que se debe trabajar en ir logrando un balance local en la producción y comercialización de materiales constructivos y que de esto depende el desarrollo que alcancemos en estas pequeñas industrias, sobre todos de bloques, áridos y elementos de piso; o sea un grupo de materiales pesados; cargas voluminosas y su costo de transportación es elevado.

Diseño de la investigación

Problema:

Las Materias Primas Minerales para Áridos de la Construcción que tradicionalmente se utilizan en nuestro país no satisfacen la demanda para acometer los diferentes Programas Constructivos que se llevan a cabo como parte de La Batalla de Ideas, fundamentalmente de Viviendas y Obras Sociales; lo que nos induce a buscar nuevas alternativas que logren paliar esta situación. En esta dirección es que se proyecta caracterizar y evaluar la serpentinita de rechazo de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (ECEG) para su empleo como áridos en la construcción y específicamente para obtener hormigones hidráulicos.

Objeto:

El rechazo serpentinitico de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara (fracción entre 10 – 150 mm).

Objetivo general:



Caracterizar y evaluar, mediante los ensayos correspondientes, el rechazo serpentinitico de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara para su empleo como áridos en la fabricación de hormigones hidráulicos, que puedan ser empleados en los programas sociales de construcción de viviendas y obras sociales de medias prestaciones (20 MPa).

Objetivos específicos:

1. Contribuir a la caracterización petrológica del rechazo serpentinitico de la ECEG.
2. Realizar el complejo de ensayos para establecer las dosificaciones requeridas para obtener hormigones hidráulicos de medias prestaciones a partir de los áridos serpentiniticos de rechazo de la ECEG.
3. Establecer los problemas ambientales que pueden llegar a ocasionar la continuación de las extracciones de áridos aluviales en el río Cayo Guam y su solución al emplear la propuesta del uso de los desechos serpentiniticos.

Hipótesis:

Si se logra establecer la caracterización y evaluación del rechazo serpentinitico de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara para su empleo como áridos en la construcción, se podrá poner en manos de las autoridades del territorio este resultado permitiendo la toma de decisiones en función de resolver las principales necesidades locales de áridos en el municipio de Moa, con su contribución también, en el ahorro de combustibles y otros insumos durante la transportación, así como la generación de nuevas fuentes de empleo.

ESTADO DEL ARTE:

Breve información sobre el uso de la serpentinita como material de construcción en el mundo.

Las variedades de peridotitas que dan origen a las serpentinitas son las siguientes:



1. Dunitas
2. Harzburgitas
3. Lherzolitas
4. Wehrlitas
5. Piroxenitas

A nivel mundial se han reportado la explotación de minerales serpentínicos como materiales de construcción.

La serpentinita se encuentra habitualmente asociada a importantes yacimientos de cobre, hierro, níquel, asbesto y talco. Su uso en la construcción ha sido tradicionalmente como roca ornamental. Trabajada en láminas delgadas, se emplea para el cubrimiento de tejados y revestimientos exteriores. También se corta y se pule para usarlo como material ornamental de gran calidad.

A nivel mundial se emplea, aunque discretamente, la serpentinita como fuente de áridos, aunque es necesario esclarecer que esta roca no es muy abundante en el mundo; por ejemplo en España se reporta su empleo como áridos de trituración y para balastro de ferrocarril; incluso es recomendada a nivel internacional para la fabricación de hormigones que adsorben radiaciones neutrónicas durante la construcción de los bunker para estos objetivos, lo cual sin lugar a dudas puede tener en esta dirección una importancia especial para el país.

Un ejemplo claro de la utilización de los áridos es España, donde la producción de áridos de construcción registrada en la *Estadística Minera de España 2001* muestra un incremento superior al 13% respecto al año anterior, con algo más de 306 mt. Aproximadamente un 56% de esta cantidad correspondió a rocas calcáreas sedimentarias (caliza, dolomía, creta), con un 29% de productos granulados (arenas, cantos y gravas) y el 15% restante a rocas ígneas, metamórficas y otras (granito, basalto, cuarcita, ofitas, etc. y arenisca). La evolución de la misma en el periodo 1998-2001, desglosada por tipo de rocas extraídas (en t), puede verse en la tabla 1.1.

Tabla 1.1

	1998	1999	2000	2001
Arena y grava	69 129 874	71 090 124	77 854 563	88 077 483
Arenas silíceas	962 315	573 338	786 852	1 324 865
Arenisca	1 653 239	2 081 136	2 168 974	2 618 912
Basalto	1 685 754	2 203 882	3 011 566	7 246 133
Caliza	120 477 316	143 878 748	149 583 054	163 059 380
Creta	24 014	39 420	41 635	41 700
Cuarcita	86 501	2 264 291	2 088 919	2 420 154
Dolomía	7 234 873	7 413 251	7 666 654	9 034 799
Fonolita	1 149 810	1 486 250	1 478 500	1 610 727
Granito	16 210 260	18 072 708	18 386 278	19 825 272
Mármol	188 269	--	-	95 500
Ofita	2 003 620	1 906 924	2 481 142	3 468 840
Pizarra	1 270 835	1 152 482	1 320 414	2 006 621
Pórfido	1 533 554	1 665 862	2 146 729	1 899 520
Serpentina y dunita	199 319	202 233	174 000	129 600
Otros	1 875 610	2 329 145	2 530 245	3 312 366
TOTAL	228 195 584	255 097 860	270 509 720	306 171 872



A nivel mundial se han reportado diferentes explotaciones de materiales serpentínicos como materiales de construcción. Tal es el caso del área de Bandeira - Silleda (Pontevedra), en España donde se explota una peridotita serpentínizada, que se destina casi en su totalidad a áridos. La explotación más importante es la cantera de Campo marzo, propiedad de Explotación Minera Campo marzo 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].

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

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

Según 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.

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

Las serpentinas ornamentales, aunque no son rocas carbonatadas, ya que proceden del metamorfismo de rocas ultrabásicas, se consideran tradicionalmente dentro de este grupo, hasta el punto de que se las llega a conocer como mármol verde.

La producción mundial de piedra natural asciende anualmente a unos 35 millones de toneladas, de las cuales algo más de 4 millones se extraen en España el cual es el primer productor mundial de pizarra para techar y posiblemente también de granito ornamental. Los cuatro millones de toneladas de piedra natural, con un valor aproximado a pie de cantera de 60 000 MPTA (casi 200 000 MPTA de elaborados), hacen de España el segundo productor del mundo de piedra natural. Los productos españoles se exportan a todo el mundo, sin embargo, la creciente demanda interna sustituyó a la exportación como motor de las ventas. Pese a todo, el mercado internacional de la piedra natural no es todo lo halagüeño para España que puede parecer a la vista de los datos anteriores.

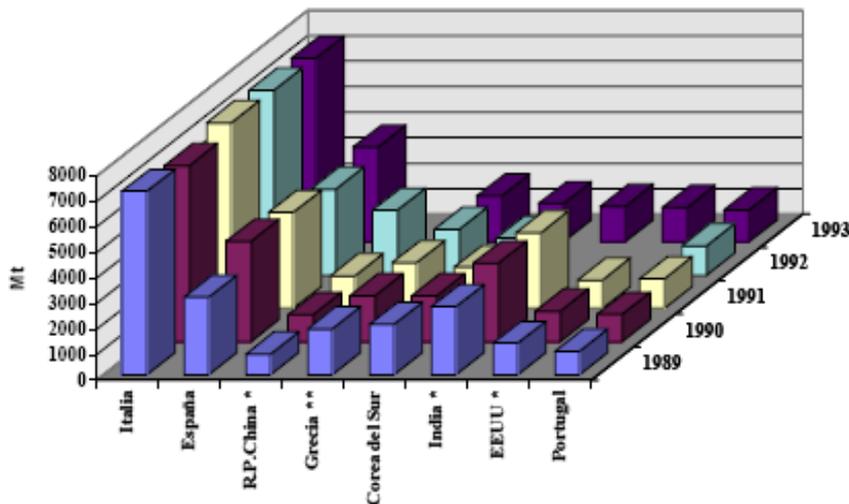
La mayor parte del aumento de la producción mundial se debe a la Incorporación, como productores de bloques, de numerosos países en vías de desarrollo, con unos costos salariales sin competencia. Ello va en detrimento de los países que podríamos llamar "productores históricos": Italia, España, Portugal, Grecia, EE.UU. En particular, la oferta china de piedra natural ha irrumpido hace pocos años con gran fuerza y con un crecimiento anual fortísimo. Así, actualmente es China el tercer productor mundial, con 2,5 Mt, destinadas casi totalmente a la exportación, dada su baja demanda interna. Las estadísticas mundiales de la piedra natural son bastante incompletas. La fuente de información más importante es el Informe Anual que edita la *Società Editrice Apuana* de Carrara (Italia), con ocasión de la Feria de Carrara. Actualmente, sólo se dispone de datos globales de 1993, referidos a mármoles y granitos, ya que dichas estadísticas no incluyen la pizarra.

Sobre esta última sustancia, las estimaciones han de hacerse partiendo de las exportaciones españolas, que suponen del 75 al 80% de la oferta mundial de pizarra.

La oferta mundial de piedra natural, incluyendo pizarras, alcanzó en 1993 los 34,5 millones de toneladas. El primer productor es Italia, con 7,2 Mt, seguido aún por España, con algo más de 4 Mt y, a continuación, se ha incorporado China como gran productor (2,5 Mt). El gráfico que se adjunta (Ver gráfico 1) detalla las producciones, en los últimos años, de los ocho primeros países productores.

El comercio internacional de piedra natural ha experimentado un importantísimo incremento en los últimos años, pasando de 9,8 Mt en 1989 a 17 Mt en 1993.

Grafico1.Principales países productores de piedra natural.



Trabajos realizados en Cuba sobre la serpentinita como material de construcción.

Rocosos serpentiniticos:

Las rocas serpentiniticas fueron las primeras utilizadas en la construcción de presas en las Provincias Orientales, ya hay varias obras construidas con estos rocosos que se encuentran en explotación, tales como la presa Moa, Gibara, San Andrés y otras.

En las excavaciones que se han hecho en los rocosos serpentiniticos se observa que las serpentinitas están meteorizadas e intensamente meteorizadas. Son de color verde con manchas pardas de oxido de hierro. Se presentan como gravas y cantos generalmente de baja a media tenacidad en matriz arenosa y aisladamente areno-limosa producto de zonas en el macizo muy serpentinizadas, donde las serpentinitas son talcosas y los fragmentos pueden fácilmente partirse con la mano. También los fragmentos pueden aparecer en forma esquistosa. Dentro de las serpentinitas es frecuente la aparición de dique de gabro y gabro diabasa de alta tenacidad, los fragmentos de estos tipos litológicos son muy tenaces y de color gris oscuro.

Las obras donde se han investigado estos rocosos serpentiniticos se localizan en los cuerpos ultrabásicos serpentinizados ubicado en el norte de la antigua Provincia de Oriente. Algunos de ellos son:

- Presa Gibara

- Presa San Andrés
- Presa Naranja

A pesar de ser unos de los rocosos mas utilizados, los datos de los estudios realizados a los mismos no se han archivado y se han quedado disperso. Aquí mencionamos muchos parámetros de interés para el estudio de estas.

a) Granulometría: En las obras utilizadas para la confección del trabajo se hicieron granulometría in situ por vía seca con el juego de tamices gigantes desde el tamiz 6/2 hasta el tamiz $\frac{3}{4}$ y por vía húmeda se hizo granulometría de laboratorio con las fracciones menores de $\frac{3}{4}$ hasta el tamiz 200(0,074mm) e hidrómetro a la fracciones menores que el tamiz 10(2mm) aplicándose dos correcciones (en el tamiz $\frac{3}{4}$ y 10).

Son aplicables en el grafico de rango granulométrico con variaciones amplias en el contenido de las diferentes fracciones.

Los valores promedios son los siguientes:

Material mas fino que el tamiz 200-----3%

Limo-----2%

Arena----- 22%

Gravas -----66%

De acuerdo a los valores promedios estos materiales se comportan como rocosos finos no plástico, donde el peso de las gravas mayores de 2 mm es de un 30 – 70% y las partículas finas que pasan el tamiz 200(0,074mm) componen menos del 20% del peso. Según la curva promedio, en estos rocosos no aparecen bloques mayores de 3" (76,2mm), por la curva mínima pueden alcanzar hasta un 25%. Los bloques de diámetros superiores a los 200mm no aparecen en los rocosos serpentínicos. Cuando por alguna intrusión de roca básica o por la conservación de algunos bloques de ultrabasitas menos serpentinizadas, aparecen bloques de diámetro mayores de 200mm, que litológicamente no representan las rocas serpentínicas, los mismos deben ser eliminados de la construcción del pedraplén.

- b) Peso específico: varía entre 2,70 y 2,85 g/cm³ para un promedio de 2,74 g/cm³
- c) Límite de Atterberg: En este tipo de rocoso no esta establecido realizar este ensayo dado a la pobre matriz que posee.
- d) Humedad natural: Varía de un 2,8 a un 13,0%.

Es recomendable siempre realizar las humedades de muestra representativas de 6 - 8 Kg. tomadas de excavaciones.

- e) Ensayo de Próctor: En las investigaciones de rocosos serpentiniticos se han usado varios métodos de ensayo siendo los más frecuentes los Próctor Standard en cilindro C.B.R.
- f) Para los rocosos finos no plástico y rocosos grueso, esta no se recomienda, para la investigación de rocosos serpentiniticos, la realización de ensayos de compactación Próctor y se ofrece la siguiente tabla orientativa en base a la granulometría.

En 1985, Rodríguez en el trabajo, "Materiales serpentiniticos en la construcción de presas de materiales locales." está encaminado a mostrar el uso del material serpentinitico en la construcción de presas locales.

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 Serpentininitas 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).

Según Wilson 2008, la utilización de la serpentinita como material de construcción ha sido cuestionada por los proyectistas y constructores sobre la base de su comportamiento tacto-visual, ya que este tipo de roca cuando se encuentra muy meteorizada sufre variaciones notables en su granulometría y por tanto varían también sus propiedades de resistencia y deformación al compactarse y saturarse, existiendo dudas respecto a su comportamiento a través de los años. Como el grado de meteorización de estas rocas se relaciona directamente con sus características ingenieriles, representadas con las características físico-mecánicas, las cuales son las que determinan su utilización como material de construcción, por lo que su aprovechamiento en la construcción evitaría el uso de otros materiales que por su ubicación, en muchos lugares, fundamentalmente en la provincia de Holguín, se encuentran en el mismo sitio. La particularidad que presenta la serpentinita de alterarse notablemente con la meteorización tropical presente en nuestro país, es lo que da el traste al estudio de estas, con vista a la obtención de resultados que permitan el aprovechamiento de este material en la construcción de obras importantes para el desarrollo socio económico del país, de una manera técnicamente segura y económicamente eficiente.

En nuestra opinión lo anteriormente planteado carece de un basamento real pues ante todo habría que diferenciar a que tipo de serpentinita nos estamos refiriendo desde el punto de vista petrológico y de su comportamiento físico mecánico. Prueba de lo anterior es el empleo que se le da a estas litologías como rocas ornamentales.

Principales trabajos que han estudiado el empleo de las serpentinitas como áridos en nuestro país.

Los trabajos en esta dirección se pueden considerar hasta cierto punto novedosos pues en Cuba la serpentinita no está considerada una roca para obtener áridos, según la clasificación oficialmente aprobada (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de las materias primas no metálicas y combustibles según su principal uso industrial en Cuba. Reducida solo para materiales de construcción.

GRUPO INDUSTRIAL	USO INDUSTRIAL	TIPO DE MATERIA PRIMA
MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION	Áridos naturales	Arena y Grava, Arena polimictica, y Arena cuarzosa
	Áridos de trituración	
	Piedra de cantería	Caliza, Caliza dolomítica, Dolomita calcárea, Andesita, Basalto, Gabro, Granosienita, Granito, Granodiorita, Dacita, Diabasa, Mármol, Anfibolita, Toba andesítica, Calcarenita, caliza



En el Informe sobre la Caracterización del Mineral de Rechazo por el Proceso de Planta de Preparación de Pulpa de Lavaut y otros en el 2001 se hace referencia al volumen de rechazo de serpentinitas el cual es no menor del orden de 200 000 m³ al año, aun cuando el mismo sale del proceso con una calidad muy inestable en su limpieza respecto al material laterítico impregnado en los fragmentos de serpentinitas. Consideramos para el futuro se debe prestar mayor atención al mismo pues estos volúmenes son muy significativos y a la vez provocan afectaciones ambientales considerables para esta industria (presas de rechazo).

En el año 2006 una de las soluciones de mayor impacto en la Empresa niquelífera Ernesto Guevara fue lograr aumentar la eficiencia del proceso con la separación de un mayor volumen de material serpentinitico, que siendo pobre en su contenido de níquel, antes era enviado al proceso con el consiguiente gasto energético y disminución de la eficiencia. Esto ha traído como consecuencia un incremento sustancial de la cantidad de material serpentinitico de rechazo, que aun cuando se le da empleo en el mejoramiento de caminos mineros y otros discretos usos, continúan incrementándose sostenidamente y se convierten en un problema de afectación al entorno. La cantidad de rechazo es significativa, pues equivale a 88 725,00 ton/año. Lo cual representa un total de 59 150 metros cúbicos al año.

Tomando en cuenta que este material posee ya un beneficio mecánico importante, pues oscila en su tamaño entre 10 mm y 150 mm y que la producción de una planta de áridos convencional (Ejemplo, Sagua de Tánamo, Pílon) produce anualmente alrededor de 20 000 metros cúbicos, comprobamos que estamos en presencia de un deposito potencial artificial de materiales de construcción, que a la vez son considerados desechos por esta industria y que se contribuye a buscar un acomodo para él.

En el 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.

Montero, en el 2007 en su trabajo, "Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentinitico 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 serpentinitico de la Empresa Comandante Pedro Sotto Alba.

Existe referencia de la utilización de las serpentinas en el proceso de hormigonado de la Termonuclear de Cienfuegos pues 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).

En el trabajo de Cardero (2007), " Estudio del proyecto de una planta procesadora de grava y arena para el municipio de Moa", se establecen los parámetros tecnológicos del proceso de preparación mecánica y beneficio de los materiales de construcción serpentiniticos rechazados en el proceso CARON de La Empresa "Comandante Ernesto Che Guevara".

En el 2007, León y otros en el trabajo "Propiedades de la Menas Niquelíferas del yacimiento Punta Gorda". Se demuestran los beneficios físicos mecánicos que recibe el mineral durante los eventos que ocurren en el proceso industrial. Establece las características granulométricas y la composición química del rechazo serpentinitico para las siguientes clases de tamaño: +12 -18; +18 - 25; +25 - 50 y mayores de 50 mm.

En el año 2008 R. Wilson M. presenta su trabajo de diploma caracterización de la serpentinitas del municipio de Holguín como áridos para la construcción, para este estudio se empleo 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).

Desde hace aproximadamente cinco años se han efectuado ensayos 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 en el laboratorio de la ECRIN, donde se le han hecho ensayos físico-mecánicos.

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.

CAPÍTULO I

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-GEOGRÁFICAS, GEOLÓGICAS DEL TERRITORIO.

1.1 Generalidades.

El municipio de Moa, ubicado en el extremo oriental de la provincia de Holguín, limita al norte con el Océano Atlántico, al sur con el municipio Yateras, al este con el municipio Baracoa, y al oeste con los municipios Sagua de Tánamo y Frank País. (Tabla 1.1, Figura 1.1).



Figura 1.1. Ubicación geográfica del área de estudio.

Tabla. 1.1. Límites espaciales del territorio.

Límites espaciales		
Vértices	X	Y
1	700761	218500
2	704500	221400

El área forma parte del grupo orográfico Sagua - Baracoa. Se caracteriza por un relieve predominantemente montañoso, por lo general hacia el sur. Hacia el norte, el comportamiento del relieve es más suave, disminuyendo gradualmente hacia la costa. La red fluvial es densa y dendrítica, representada de este a oeste por numerosos ríos y arroyos permanentes como: Yamanigüey, El Medio, Semillero, Quesigua, Cayo Guam, Yagrumaje, Los Lirios, Moa, Cabañas y Aserrío, drenando en el mismo sentido que presenta la red. Su fuente de alimentación principal en período húmedo son las precipitaciones atmosféricas y en período de seca el drenaje de las aguas subterráneas almacenadas en la corteza de intemperismo de las rocas en períodos húmedos en las montañas del territorio, desembocando las arterias principales en el Océano Atlántico, formando deltas cubiertos de sedimentos palustres y vegetación típica de manglar.

1.2 Clima

El clima es tropical con abundantes precipitaciones (las más altas del país), estando estrechamente relacionadas con el relieve montañoso que se desarrolla en la región y la dirección de los vientos alisios provenientes del Océano Atlántico cargado de humedad.

Como nueva hipótesis de estas altas precipitaciones se considera que influye en ello de gran forma los altos volúmenes de evaporación desde el territorio con desarrollo de los yacimientos lateríticos, adicional a la evotranspiración del territorio, debido a las altas propiedades de ascensos capilares de las lateritas que absorben las aguas desde la peridotitas serpentinizadas que las subyacen y transmiten hasta la superficie del terreno donde se evaporan con una lámina estimada de unos 1500 mm/año adicional (De Miguel F.C.; 2007). De ahí que, su comportamiento no coincida con las del resto del territorio nacional.

En la estación hidrometeorológica, El Sitio y el pluviómetro Vista Alegre reportaron datos, donde la temperatura media mensual máxima se presenta en el mes de julio con 27.4°C y la mínima en el mes de febrero con 23 °C, donde la temperatura media anual fue de 25.6°C, siendo los meses más calurosos los de julio, agosto y septiembre, y los más fríos enero y febrero. El promedio de precipitaciones anuales es de 1800 mm/año, siendo noviembre y diciembre los meses de mayores precipitaciones y la evaporación media anual es de 2040 mm/año, donde en julio y agosto se reportaron los mayores valores de evaporación. Fig. 1.2

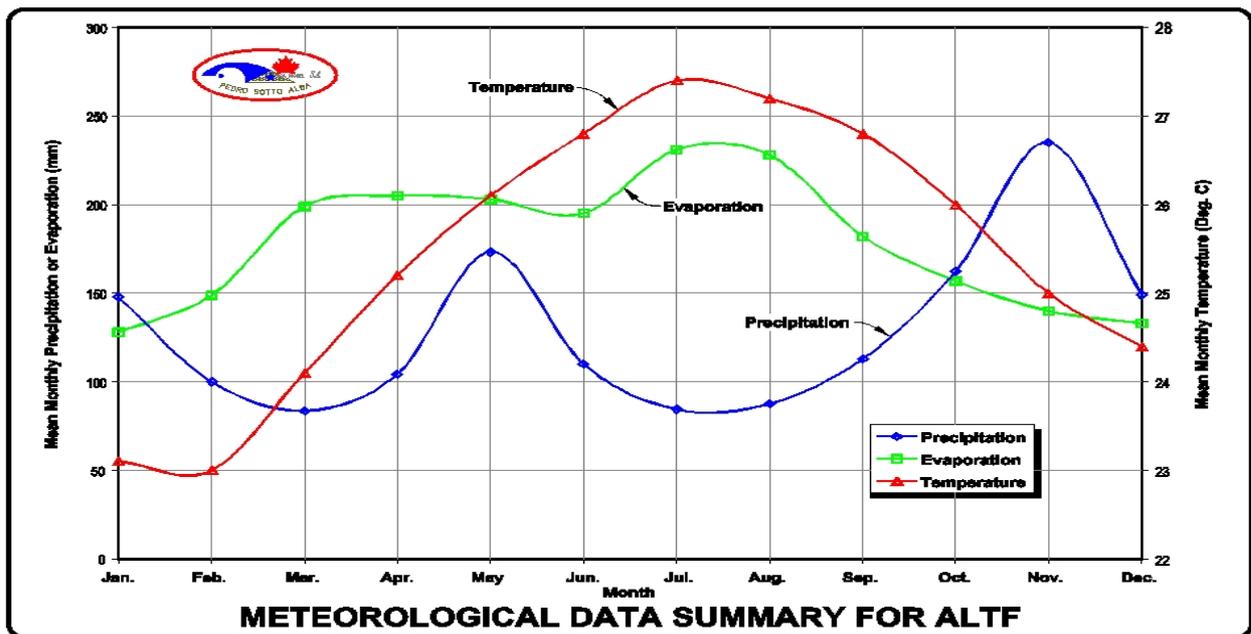


Fig. 1.2 Datos de precipitaciones, evaporación y temperatura del territorio de Moa. Por valores medios del territorio.

1.3 Hidrogeología

Según el “Informe geológica de exploración detallada...” desde el punto de vista hidrogeológico no existen complicaciones mayores para los trabajos futuros de minería, lo cual depende del método y dirección en que se realice la apertura.

De acuerdo a este informe las condiciones hidrogeológicas de este yacimiento están condicionadas a los períodos de seca y lluvia, presentando complejidades mayores en

época de lluvia y en período de sequía moderada, mientras que en época de intensas sequía las condiciones hidrogeológicas son simples.

Según el mapa de hidroisohipsas en época de lluvia las cotas del nivel del agua subterránea oscilan entre 15 y 90 m y la descarga de éstas se realiza hacia el Norte, el Oeste, el Sureste y el Suroeste.

Ver “Informe de exploración detallada del Yacimiento Yagrumaje Norte”.

1.4 Vegetación

La vegetación se caracteriza por la existencia de bosques de *Pinus cubensis* en las cortezas lateríticas, y donde hay menores potencias de las mismas, matorrales espinosos, típicos de las rocas ultramáficas serpentinizadas. Las zonas bajas litorales, están cubiertas por una vegetación costera típica representada fundamentalmente por mangles.

1.5 Economía

Económicamente la región es una de las más industrializadas del país, debido a sus riquezas minerales y a la existencia de dos plantas procesadoras de níquel en producción, la Cdte. Ernesto Che Guevara y Cdte. Pedro Sotto Alba, constituyendo este renglón el segundo más exportable del país. Existen instalaciones de apoyo a la metalurgia y minería, tales como la Empresa Mecánica del Níquel, Centro de Proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL), la Empresa Constructora y Reparadora del Níquel (ECRIN). Distribuidos en las cuencas de los ríos Cayo Guam y Yamanigüey, el cromo refractario es extraído, y procesado seguidamente en la planta de beneficio Cayo Guam, clasificado como el mejor de su tipo en el territorio nacional. Como áridos en la industria de materiales de la construcción se emplean gabroides y ultramafitas presentes en la región.

Se han establecido en la región organismos como: la Empresa Geólogo- Minera, la Presa Nuevo Mundo, el Tejar, el Combinado Lácteo, etc. Sectores económicos como la agricultura con poco desarrollo, la ganadería aunque a pequeña escala se desarrolla al sur de la región, la explotación de recursos naturales como la maderera provocado por su abundancia en la zona, y la actividad pesquera poco desarrollada.

1.6 Generalidades físico-geográficas del yacimiento.

El yacimiento Yagrumaje Norte se encuentra ubicado en el municipio de Moa, el cual tiene límites naturales: por el Norte el Océano Atlántico, en el Sur y Sureste el río Punta Gorda, y en el Oeste el río Yagrumaje (en la orilla opuesta está el yacimiento Punta Gorda). La

superficie es inclinada de Sur a Norte con una diferencia de las cotas absolutas dentro de los límites del yacimiento explorados de 88 m (de 108 a 20m). Su forma es regular con dimensiones de 1800 m de longitud de Norte a Sur y de 1400m de Este a Oeste y un área aproximada de 2.00Km². Resulta significativa la gran energía del relieve de la región donde predominan las pendientes entre 10-15⁰, 15-35⁰ (en ocasiones 35-55⁰), y condicionan el intenso modelado de su superficie y por ende de las cortezas de intemperismo formadas sobre ellas. Las pendientes menos favorables al desarrollo erosivo se corresponden con las superficies de plantación o de nivelación escalonadas (3-8⁰) y en las llanuras marinas, fluviales y lacustres periféricas (1-3⁰, y menores de 0.5-1⁰ y menores de 0.5⁰).

Límites espaciales del yacimiento Yagrumaje Norte

Vértice	X	Y
1	704 395	220 965
2	704 900	221 000
3	704 800	221 000
4	704 800	220 950
5	705 000	220 950
6	705 000	220 900
7	705 200	220 900
8	705 200	220 850
9	705 300	220 850
10	705 300	220 800
11	705 600	220 800
12	705 600	220 550
13	705 700	220 550
14	705 700	220 200
15	705 900	220 200
16	705 900	219 700
17	705 600	219 700
18	705 600	219 200
19	704 100	219 200
20	704 500	219 700
21	704 100	220 533
22	704 100	220 770

1.1.1 Marco geológico regional.

La evolución geológica de la región se caracteriza por una gran complejidad, debido a la existencia de una variada composición litológica y ocurrencia de procesos y fenómenos geológicos de génesis diversa, tomando en cuenta el enfoque movilita del desarrollo geológico. De ahí que Cuba, y específicamente el oriente cubano en el Mesozoico, hayan estado asociados al desarrollo de sistemas de arcos insulares y cuenca marginal, típicos de zonas de convergencia entre placas; ocurriendo a fines del Campaniano Superior-Maestrichtiano la extinción del arco volcánico cretácico cubano. (Rodríguez, 1998). Los

procesos de acreción tectónica provocaron la abducción del complejo ofiolítico en forma de escamas de sobrecorrimiento sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas.

1.1.2 Estratigrafía regional.

Debido a los procesos geotectónicos recientes ocurridos en la región de estudio, las rocas más viejas corresponden a la asociación ofiolítica representada por rocas de los complejos máficos y ultramáficos, que en el Cretácico Superior fueron sobrecorridas en forma de escamas tectónicas hacia la superficie con carácter alóctono, ya que constituyen restos de una antigua corteza oceánica. (Rodríguez, 1998).

A continuación se hace la descripción de las formaciones existentes (Rodríguez, 1998; Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1998):

Fm. Quibiján. Constituida por rocas vulcano-sedimentarias instruidas por gabro-pegmatitas, dioritas y diabasas. En la base se encuentran lavas y lavas-brechas, aglomerados y tobas gruesas de composición basáltica y basáltico-andesítica. En su conjunto son de color negro o verde oscuro. Las lavas son amigdaloidales, con amígdalas rellenas de cuarzo y clorita. La porción media superior de la formación se compone de lavas, lavas-brechas, tufo-lavas y en cantidades subordinadas tobas lapillíticas, las cuales se caracterizan por presentar una estratificación gruesa, a veces gradacional.

Edad. Desconocida ya que no se han reportado fósiles que puedan revelarla. Algunos autores le asignan una edad Cretácico Inferior - Superior.

Área de afloramiento. Región de Farallones, al sur de Yamanigüey y en un pequeño bloque de Cupey.

Fm. Santo Domingo. Es la única representante del arco volcánico cretácico en el área. Está constituida por tobas, lavas y aglomerados, apareciendo pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas. Se incluyen además en esta formación las calizas pizarrosas finamente estratificadas y muy plegadas de color grisáceo. Las tobas ocupan más del cincuenta por ciento de la formación, apareciendo en la parte superior preferentemente, siendo comunes las variedades cristalovitroclásticas y vitroclástica. Las lavas aparecen en ocasiones con textura amigdaloidal, predominando las variedades porfidíticas, yaciendo en forma de mantos interestratificados casi concordantes con las tobas. A menudo, junto con las lavas se observan aglomerados de composición entre dacítica y andesítica, muy alterados.

Edad. Cretácico Aptiano - Turoniano.

Área de afloramiento. Región de Farallones - Calentura y en una pequeña área en la localidad de Centeno.

Fm. Mícara. Pertenece a la cuenca de piggy-back de primera generación del Cretácico Superior al Paleoceno Inferior, tipo flyschoides, acumulada en algunos casos en zonas de intensa actividad tectónica, por lo que localmente puede aparecer muy deformada y formar parte de melanges. Está compuesta de facies terrígenas y terrígenas carbonatadas. La secuencia inferior es de tipo molásica y la superior de tipo flysch. El límite inferior no se ha observado, pero se supone discordante sobre la formación Santo Domingo.

En la zona de Cananova, Quintas (1993) reportó esta formación compuesta por areniscas de granos medios, con intercalaciones olistostrómicas compuestas de areniscas y gravelitas, con bloques de diversos tamaños de rocas ígneas básicas.

Edad. Maestrichtiano-Daniano.

Área de afloramiento. Zona de Los Indios de Cananova y borde suroeste del cerro de Miraflores.

Fm. Picota. Al igual que la formación Mícara pertenece a cuencas de piggy-back de primera generación del Cretácico Superior al Paleoceno Inferior, tipo molásico, acumulada en algunos casos en zonas de intensa actividad tectónica, por lo que localmente puede aparecer muy deformada y formar parte de melanges. Tiene una composición muy variable en cortas distancias, a veces con apariencia brechosa y en ocasiones conglomerática, presentando en proporciones variables la matriz y el cemento, este último carbonatado. Existen dudas en algunas regiones donde afloran brechas muy cataclastizadas formando parte de los melanges acerca de su pertenencia a esta formación o si son brechas tectónicas.

Edad. De acuerdo a sus características se estima que la misma se acumuló a finales del Cretácico e incluso en el Paleoceno inicial, asociada al emplazamiento de las ofiolitas, que constituyeron su principal fuente de suministro.

Área de afloramiento. Base de la Sierra del Maquey y en la meseta de Caimanes.

Fm. Sabaneta. Está constituida por rocas vulcanógenas-sedimentarias de granos finos, frecuentemente zeolitizadas o montmorillonitizadas, con intercalaciones de calizas, silicitas, tobas cloritizadas y rara vez basaltos.

En Farallones el corte está compuesto por tobas vitroclásticas y cristalolitoclásticas zeolitizadas, en menor grado argilitizadas, tufitas, calizas, radiolaritas, tobas vítreas y tobas cineríticas. Las calizas tobáceas y tufitas aparecen regularmente hacia la parte alta de la formación. La estratificación es buena, siendo frecuentemente gradacional.

Edad. Paleoceno - Daneano, ya que se reportaron en Los Indios de Cananova, fósiles en la base de la formación donde se intercalan areniscas de granos gruesos y algunas brechas.

Área de afloramiento. En un área extensa de la región de Cananova hasta Farallones y en un pequeño bloque en Yamanigüey.

Fm. Capiro. Pertenece a las cuencas superpuestas o piggy-back de segunda generación. Está compuesta por areniscas, aleurolitas y margas bien estratificadas con intercalaciones de conglomerados finos compuestos por cantos de serpentinitas, calizas y cristaloclastos de piroxeno y cuarzo. Hacia la base de la formación se localizan olistostromas de bloques de serpentinitas muy alteradas y diabasas. En muchos lugares se observa una clara gradación de conglomerados y areniscas. Los olistolitos de calizas organodetríticas contienen fragmentos de serpentinitas, cuarzo y hematita.

Edad. Eoceno Superior.

Área de afloramiento. Región de Yamanigüey formando una franja a lo largo de toda la costa.

El neoa autóctono, constituido por secuencias sedimentarias donde predominan las rocas carbonatadas sobre rocas terrígenas, depositadas en régimen de plataforma continental, aparece representado en la región por las formaciones Júcaro y Majimiana que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado.

Fm. Júcaro. Constituida por calizas margosas poco consolidadas y a veces por margas.

Edad. Oligoceno-Mioceno.

Área de afloramiento. Toda la costa en la región de Cananova y Yamanigüey.

Fm. Majimiana. Constituida por calizas organodetríticas típicas de complejos arrecifales y bancos carbonatados con intercalaciones de margas. Las secuencias de esta formación presentan bruscos cambios faciales en cortas distancias, conteniendo una abundante fauna de foraminíferos bentónicos y planctónicos.

Edad. Oligoceno Superior hasta el Mioceno.

Área de afloramiento. Región de Yamanigüey, formando una franja por toda la costa.

Depósitos Cuaternarios. Se encuentran sobre todas las litologías antes descritas, constituyendo una cobertura prácticamente continua de génesis predominantemente continental de pocas variaciones diagenéticas y pequeño espesor. Están constituidos por calizas organodetríticas con gran contenido de fauna, predominando los moluscos contemporáneos. Aparecen también aleurolitas calcáreas, arenas margosas y arcillas. Los depósitos ubicados en los márgenes, cauces y desembocaduras fluviales están constituidos

por bloques, cantos rodados, gravas, arenas, aleurolitas y arcillas derivadas de la erosión fluvial.

Área de afloramiento. Constituyen una cobertura prácticamente continua en forma de franja a lo largo de la costa y discontinua en las partes interiores.

1.1.3 Marco tectónico regional.

En la literatura publicada sobre el territorio acerca de la tectónica se proponen cuatro sistemas principales de fallas que se describen a continuación (Rodríguez, 1998).

El sistema más antiguo de los reflejados actualmente en la superficie tiene su origen asociado al cese de la subducción que generó la colisión entre el arco insular y la margen continental, originando el emplazamiento del complejo ofiolítico, por lo cual las fallas de este sistema se encuentran espacial y genéticamente relacionadas con los límites de los cuerpos máficos y ultramáficos dentro del complejo y de éste con las secuencias más antiguas.

Las fallas de este sistema aparecen frecuentemente cortadas, dislocadas y enmascaradas por sistemas más jóvenes; así como, por las potentes cortezas de meteorización desarrolladas sobre el complejo ofiolítico. Estas fallas en su mayoría se encuentran pasivas, lo que se demuestra por su pobre reflejo en el relieve, pudiendo notarse su presencia fundamentalmente por el contacto alineado y brusco entre litologías diferentes. Excepción de lo anterior lo constituye la falla ubicada al sur de Quesigua que aún se refleja a través de un escarpe pronunciado arqueado, con su parte cóncava hacia el norte que sigue la línea de falla, lo que consideramos está asociado a la actividad geodinámica actual del sector que es considerado uno de los más activos dentro del territorio.

El segundo sistema y de mayor importancia en el territorio está constituido por fallas de dos direcciones: noreste y norte - noroeste que se desplazan mutuamente y se cortan entre sí, constituido por las dislocaciones más abundantes y de mayor extensión de la región, que indistintamente afectan todas las litologías presentes y son a su vez los límites principales de los bloques morfoTECTÓNICOS. Su origen se encuentra asociado al proceso de colisión del arco volcánico cretácico sobre el paleomargen de Bahamas en el Eoceno medio.

Las principales estructuras representativas de este sistema son:

- Falla Cabaña: Se extiende desde el extremo centro occidental del área al noroeste del poblado de Peña y Ramírez hasta el norte de la ciudad de Moa, cortando la barrera arrecifal y limitando el extremo oriental de Cayo Moa Grande. En su parte

meridional presenta una orientación de N 70° E hasta la zona de Zambumbia, donde es truncada por un sistema de fallas submeridionales aflorando nuevamente con nitidez al nordeste del poblado de Conrado, donde inicia su control estructural sobre el río Cabaña. En las cercanías de Centeno esta estructura es cortada y desplazada por la falla Cananova, tomando una orientación N 56° E la cual se mantiene hasta penetrar en el océano Atlántico.

- Falla Moa: Dentro del territorio es la estructura de mayor extensión y su trazo corresponde con una línea cóncava hacia el este cuyo arco mayor se encuentra en la zona de Calentura, haciéndose más recta hacia el norte con una dirección de N 48° E, mientras que en su parte meridional tiene un rumbo N 25° W. En la parte norte esta estructura se bifurca en dos tramos, uno de rumbo N 35° E denominado La Vigía y el otro de rumbo N 74° E nombrado La Veguita, con índices y criterios similares.
- Falla Cayo Guam: Con una dirección N 15° W, se extiende desde la parte alta del río de igual nombre, siguiéndose con nitidez hasta Punta Yagrumaje. Al igual que la falla Los Indios, esta estructura aparece cortada y desplazada en varios tramos por fallas de dirección noreste y sublatitudinales.
- Falla Quesigua: Se expresa a través de un arco con su parte cóncava hacia el este nordeste, manteniendo en su parte septentrional un rumbo N 10° E y en la meridional N 40° W. Se extiende desde la barrera arrecifal hasta interceptar el río Jiguaní al sudeste del área de trabajo.

El tercer sistema de estructuras está constituido por dos fallas de tipo strike - slip denominadas Cananova y El Medio. Por la posición que ocupan, orientación y componentes fundamentales de los desplazamientos no tienen similitud con las fallas antes descritas y su origen corresponde al Mioceno medio, cuando se inician los movimientos hacia el este de la placa Caribeña a través de la falla Oriente, lo que desarrolla un campo de esfuerzo que provoca la compresión del bloque oriental cubano en la zona de sutura de éste con la Plataforma de Bahamas, lo que originó la ruptura y el acomodamiento de la corteza.

- Falla Cananova: Fue mapeada a escala 1: 25 000 desde la Bahía de Yaguaneque hasta el poblado de Jucaral presentando un rumbo predominante N 53° W. Es cortada en diferentes puntos por estructuras submeridionales, caracterizándose toda la zona de falla por el grado de cizallamiento de las rocas.
- Falla El Medio: Fue mapeada desde Punta Mangle hasta su intersección con el río Quesigua con un rumbo aproximado de N 40° E. Al igual que la Falla Cananova, origina un alto cizallamiento de las rocas a través de todo su trazo.

El cuarto sistema de fracturas que aparece desarrollado en el territorio, corresponde a estructuras sublongitudinales que aparecen en toda el área pero que tienen su máxima expresión en las zonas periféricas de los sectores de máximo levantamiento, como por ejemplo las fallas a través de las cuales corren algunos tributarios como el arroyo La Veguita del río Moa, el arroyo La Vaca, arroyo Colorado al oeste del Cerro Miraflores y la de mayor envergadura que se encuentra al sur de Caimanes, lo cual permite considerar su origen asociado a procesos de descompresión o expansión de bloques al disminuir las tensiones horizontales que mantienen cohesionado los macizos rocosos debido a los movimientos verticales diferenciales, lo que justifica la ausencia de desplazamientos geológicos y geomorfológicos apreciables. La edad de este sistema es considerado post Mioceno, cuando se inicia el proceso de ascenso definitivo del territorio actual de Cuba oriental como tendencia general.

Desde el punto de vista morfotectónico, al territorio se divide en varios bloques que se desplazan entre sí a través de las fallas activas, fundamentalmente del segundo sistema, con movimientos verticales y horizontales, formando un sistema de horts y grabens (Rodríguez, 1998).

Los principales bloques propuestos para el área de Moa son los siguientes:

- Bloque Cabaña: Situado en el extremo occidental del área de trabajo, con una orientación noreste desde la localidad de Zambumbia hasta Cayo Moa Grande y hacia su porción meridional, en la zona Cayo Grande - Caimanes Abajo mantiene una dirección noroeste.
- Bloque Moa: Se encuentra ubicado en la parte centroccidental del área de trabajo, al este de bloque Cabaña con el cual contacta a través de la falla de igual nombre y al este con el bloque El Toldo según la falla Moa, extendiéndose de norte a sur en forma de una franja cóncava hacia el este.
- Bloque El Toldo: Ocupa la posición central del área de estudio, estando su límite occidental marcado por la falla Moa y el oriental por las estructuras Cayo Guam y Quesigua, siendo el bloque de máxima extensión, al cual le corresponden también los máximos valores del levantamiento relativo de la región.
- Bloque Cayo Guam: Es el de más pequeña extensión en el área y se dispone como una cuña entre los bloques El Toldo y Cupey a través de las fallas Cayo Guam y Quesigua respectivamente y al igual que el bloque Moa se comporta como un escalón intermedio en descenso respecto al bloque El Toldo.
- Bloque Cupey: Se ubica en el extremo oriental del área de estudio desde la falla Quesigua hasta la coordenada 721 000 tomada como límite convencional. Este

bloque aparece subdividido en cinco sub - bloques menores a través de las fallas El Medio, Cupey y Jiguaní.

1.1.4 Geomorfología regional.

Debido a la existencia de condiciones geológicas contrastantes desde el Mesozoico, se reflejan de forma singular en el relieve de la región el accionar de complejos procesos geotectónicos. A estos se han superpuesto desplazamientos verticales, oscilatorios, diferenciados e interrumpidos así como la separación en bloques del territorio.

El territorio se clasifica en dos zonas geomorfológicas fundamentales: la zona de relieve de llanuras y la zona de relieve de montañas, con subtipos específicos. (Rodríguez, 1998).

Zona de Llanuras. Se desarrolla en toda la parte norte del área ocupando la zona comprendida desde la barrera arrecifal hasta los 100-110 m de altura hacia el sur. La formación de estas llanuras está relacionada con la acción conjunta de diferentes procesos morfogénicos que en ella han actuado, predominando los procesos fluviales y marinos.

La zona de llanura fue clasificada en tres subtipos:

- Llanuras acumulativas marinas.
- Llanuras fluviales.
 1. Acumulativas
 2. Erosivo-acumulativas
- Llanuras acumulativas palustres parálidas.

Zona de Montañas. Esta zona geomorfológica es la más extendida dentro del área de las investigaciones ocupando toda la parte sur y central, además del Cerro de Miraflores y las zonas nordeste y noroeste del poblado de Cananova.

Teniendo en cuenta esos parámetros la zona de relieve de montaña fue clasificada en cuatro subtipos:

- Zona de premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas.
- Zona de submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas.
- Zona de montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas.
- Zona de montañas bajas diseccionadas.

Conjuntamente con estas zonas geomorfológicas, aparecen en la región un conjunto de formas menores del relieve o elementos del paisaje que constituyen elementos importantes en la caracterización geomorfológica regional, son criterios de evaluación tectónica y

algunas representan un peligro para el medio ambiente. A continuación se hace un análisis de cada una de ellas partiendo de su origen e importancia en el contexto territorial.

Formas Cársicas. En las rocas del complejo ultramáfico, en el área comprendida entre las cuencas de los ríos Moa y Calentura por el noroeste y el cauce superior del río Jiguaní por el sudeste, correspondiendo a la parte más alta del peniplano antiguo y a las mayores elevaciones de las Cuchillas de Moa (700-1200 m), aparecen dolinas, lapiez o karren; así como, otras formas cársicas típicas de la zona como las estructuras columnares y piramidales de extremos afilados y cuellos erosionados. Muchas de estas formas aparecen alineadas y orientadas en dirección nordeste y noroeste sirviendo como criterio de fotointerpretación de estructuras disyuntivas.

Barrancos. Es muy frecuente dentro del territorio encontrar formación de barrancos en la parte alta y media de los ríos que atraviesan el complejo ofiolítico y que tienen un fuerte control estructural. Estos barrancos alcanzan su mayor expresión en la parte centro meridional y llegan a desarrollar pendientes de hasta 45° con alturas máximas de 240 m, lo cual hace susceptible a estos sectores al deslizamiento y arrastre de suelos. Ante la actividad sísmica estos barrancos constituyen sectores de alta vulnerabilidad, no sólo porque su génesis está relacionada con las estructuras tectónicas activas del territorio, sino también, porque favorecen la dinámica erosiva en su superficie que debido a las grandes pendientes se encuentran descubiertas de vegetación.

Existen formas del relieve que han sido provocadas por la actividad antrópica, las cuales se citan a continuación:

Áreas minadas y escombreras. Con el crecimiento de la producción niquelífera se agigantan, constituyendo sectores descubiertos y desmembrados que aceleran el proceso de acarreamiento, intensifican el arrastre de los suelos con la consabida ruptura del equilibrio fluvial y provocan la acumulación anómala de sedimentos en las zonas bajas.

Presas de colas. Estas se multiplican en el paisaje moense y degradan progresivamente el medio físico.

1.1.6 Generalidades geológicas del yacimiento

El yacimiento Yagrumaje Norte tiene un área general de 2 km². Presenta una forma bastante regular, con dimensión de 1.8 Km. de largo y 1.4 Km. de ancho ubicándose en una meseta aplanada entre los ríos yagrumaje y Punta Gorda. Se formó producto de la acción de los agentes del intemperismo sobre las rocas ultrabásicas metamorizadas pertenecientes a la Asociación Ofiolítica de la región oriental. (Ver figura 1.1)

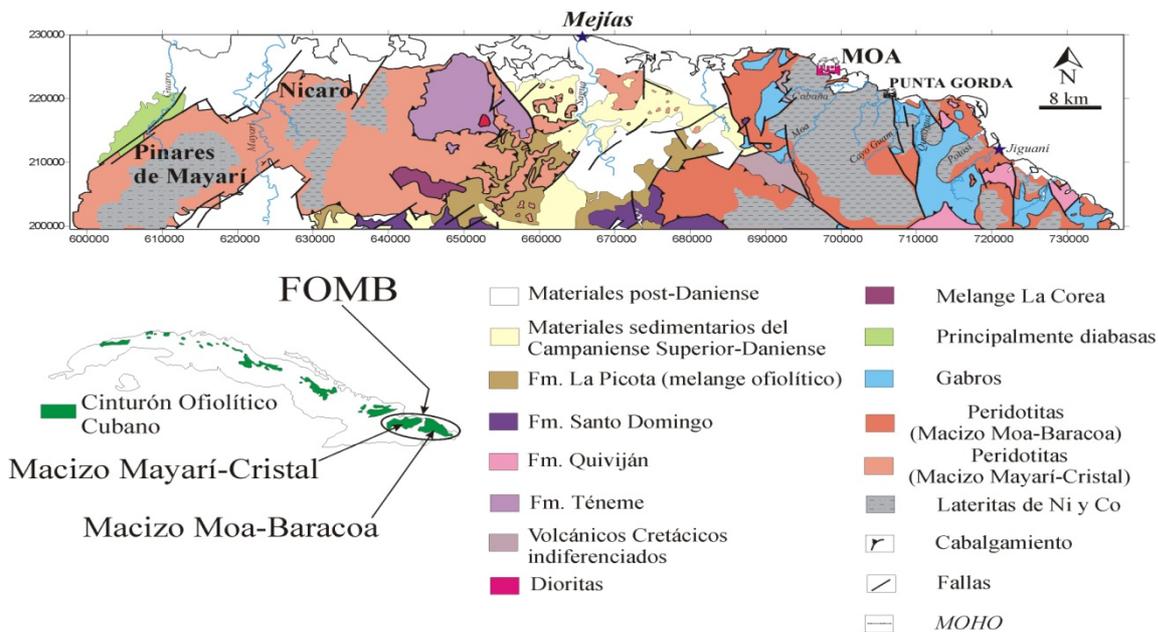


Figura 1.1. Mapa geológico regional de la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa.

Según el Informe geológico de la exploración detallada del yacimiento Yagrumaje Norte emitido por la EGMO en junio del 2002, Yagrumaje Norte resulta un depósito más laterítico con una mayor difusión de perfiles litológicos de intemperismo de tipo laterítico que lo que se había reportado por la exploración de la red de 100x100m. Esta situación conlleva al incremento del promedio del contenido de Fe y Co por bloques, así como el incremento de la potencia de la mena LB y al decrecimiento de la potencia de SB en una serie de bloques lo que constituye un factor positivo para el proceso tecnológico de la planta.

Las mayores fluctuaciones de la potencia de escombros y menas, coeficiente de mineralización y contenidos de metales nocivos especialmente se relacionan con los cambios de las rocas madres: de ultramáficas a gabroideas según quien predomine en uno u otro bloque del yacimiento.

. En las estructuras geológicas del yacimiento toman parte las peridotitas serpentinizadas del tipo harzburgitas, estas rocas se encuentran en la mayoría de los sectores. Las rocas que no aparecen intemperizadas se encuentran en el área bastante serpentinizadas (60-

70%), esto significa que las peridotitas serpentinizadas han jugado un papel importante en la formación de las cortezas de intemperismo

La densificación de la red, por otro lado confirmó la propagación de corteza de intemperismo por rocas gabroideas (desde peridotitas impregnadas hasta gabros), principalmente en la porción más occidental de depósito. Estas se reportan en este informe bien localizadas espacialmente para que sean tomadas en cuenta durante los trabajos geólogo-mineros pendientes. Estas cortezas son totalmente estériles o de baja productividad niquelíferas por su baja potencia menífera y alta potencia de escombros que generan, a pesar de producir contenidos de Ni relativamente altos en ocasiones. No obstante en los lugares donde hay cuerpos minerales LB+SB estas cortezas afectan poco, ya que la mayor parte de ellas se ubican en el escombros. De todas formas, las menas de mayor contenido de aluminio, silicio y bajo hierro y magnesio se relacionan con rocas ultramáficas impregnadas y peridotitas con un carácter toleítico más marcado que el usual que colinda con los gabros de este depósito. De igual manera, los posos prácticamente no cobaltíferos (contienen menos de 0.1% de Co en la mena SB), se ubican en áreas y puntos de la corteza de intemperismo sobre ultramafitas específicas, colindantes con cuerpos de gabroides y adquieren diferencias de las ultramafitas específicas, colindantes con cuerpos de gabroides y adquieren diferencias de las ultramafitas típicas, que usualmente acumulan Co en los ocreos (OEF principalmente).

Composición de la LB+SB

La fase mineralógica principal en estas menas es la goethítica

Químicamente predominan contenidos de SiO_2 , Al_2O_3 , MgO y Fe_2O_3 hay que señalar que aunque el valor medio del cuarzo presente en estas menas es bajo existen puntualmente valores superiores al 20% (bloques 660 y 561). El valor medio del contenido de minerales arcillosos en esta mena es de 11.25 %, contenido que no debe causar problemas durante el proceso de sedimentación, sin embargo existen zonas donde el contenido es alto de este mineral y de un compuesto amorfo [AIO (OH)] que posee características físicas similares a los minerales arcillosos, y que sí podría traer dificultades durante el proceso tecnológico, fundamentalmente en la etapa de sedimentación razón por la cual las fases mineralógicas fundamentales son los minerales de serpentina, la goethita y los minerales arcillosos

La perforación confirmó la existencia de de dos zonas comunes de alta potencia de corteza de intemperismo (más de 20m de espesor friable), separadas por una franja más estrecha que las separa con potencia friable de 15 y 20m y que se extienden mayormente Norte-Sur.

Con estos espesores de corteza friable de intemperismo se relacionan las capas de escombros y menas LB+SB espacialmente en dirección Norte-Noreste a suroeste, lo que se relaciona con la distribución espacial de las rocas gabroides (hacia el NO) del área del depósito. Con las periferias del depósito donde existen las mayores pendientes, se relacionan franjas estrechas de corteza friable de baja potencia (menor de 15m).

Las mayores fluctuaciones de la potencia de escombros y mena, coeficiente de mineralización y contenidos de metales nocivos especialmente se relacionan con los cambios de las rocas madres: de ultramafitas a gabroideas según quien predomine en uno u otro bloque del yacimiento, siendo este el factor geológico que incide en el modelo de recursos minerales de Yagrumaje Norte.

Prácticamente toda el área del yacimiento, con excepción de los sectores con desarrollo extensivo de cortezas de intemperismo por rocas gabroides, presenta una relevante continuidad espacial tanto de la potencia de menas como de la ley de Ni de condiciones industriales, por encima de 5m de LB+SB y por encima de 1 % de Ni, con amplios sectores continuos de potencias de LB+SB superiores a 10m y contenidos de Ni no inferiores a 1.3%. Los coeficientes de variación del contenido de Ni en las menas LB+SB es muy estable estadísticamente e inferior a 20%

Por otro lado, las mayores potencias de escombros (superiores a 10m) se ubican en el yacimiento no precisamente sobre las áreas de las mayores potencias de menas industriales LB+SB

y se extienden en la parte NO del depósito donde hay una amplia difusión de potencias de LB+SB entre 1 y 5m.

Por sus características composicionales, las menas de Yagrumaje Norte se presentan mucho menos magnesianas y ligeramente más ferruginosas y menos síliceas que las del Yacimiento Punta Gorda que han sido ampliamente procesadas por esta industria durante muchos años.

En el basamento del yacimiento hay predominio de harzburgitas ("peridotitas normales" de acuerdo a la terminología local utilizada) sobre todo en la parte S-SE, con una distribución menor de harzburgitas ricas en Opx ("peridotitas piroxénicas" de acuerdo a la terminología local utilizada). También se encuentran rocas gabroicas, poco productivas o estériles respecto al Ni, localizadas hacia el NW del yacimiento (Fig. 1.2).

YACIMIENTO YAGRUMAJE NORTE
REDES 23x23m - 33x33m - 100x100m

Anexo No.1.1

MAPA LITOLÓGICO DE LA CORTEZA DE INTEMPERISMO

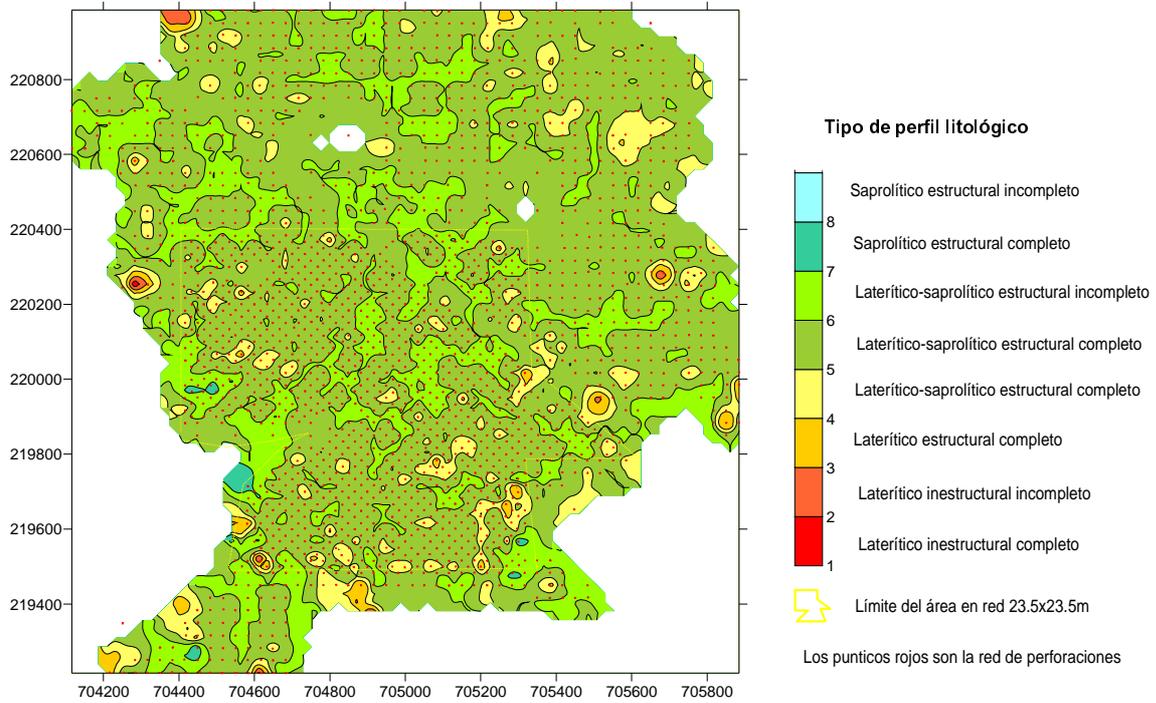


Figura 1.2 Mapa Litológico de la corteza de intemperismo.

CAPITULO II: METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS.

2.1.Introducción.

En este capítulo se describe la metodología que seguimos para la evaluación del rechazo serpentinitico como árido para la construcción y los ensayos realizados a las muestras. Hemos tenido en cuenta tres de las etapas de la investigación:

2.2 Metodología de la investigación.

1. Recopilación y procesamiento de la información preexistente.
2. Trabajos de campo.
3. Trabajos de laboratorio

2.2.1 Recopilación y procesamiento de la información preexistente:

Para desarrollar esta etapa utilizamos la base de datos con que cuenta el Centro de Información del ISMM y el empleo de su biblioteca virtual insertada en su página Web <http://www.ismm.edu.cu> y los datos que pudimos obtener en el CTDMC. Luego de 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, mapas geológicos, entre otras cosas también incluidos en el trabajo).

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

2.2.2 Trabajos de campo

El desarrollo de los trabajos de campo estuvo dirigido a obtener el mayor volumen de información geológica básica. Durante estos recorridos se tomaron muestras de serpentinitas del rechazo de la planta de Molienda de la fábrica Ernesto Che Guevara del municipio Moa, las

cuales una parte fue llevada hacia el molino de Cayo Guan, y la otra parte hacia la planta de beneficio del ISMM, donde se molieron y se clasificaron según su granulometría. A pesar que el material sale del proceso de lavado, un poco contaminado, las muestras fueron tomadas con la mayor representatividad posible y eran lo suficientemente frescas para los estudios de laboratorio posteriores que incluyen las propiedades físico mecánicas de las muestras, las serpentinitas que son de mayor interés y no contar con anterioridad con ningún tipo de estudio exceptuando los anteriormente mencionados pero con otros usos y destino del área de estudio.

2.2.3 Trabajos de laboratorio

Estos trabajos de laboratorio tuvieron dos direcciones fundamentales los ensayos químicos y los ensayos físico-mecánicos: la primera dirigida a la obtención de la composición química y mineralógica, y la segunda al análisis granulométrico de la muestra, peso volumétrico, peso específico (corriente, aparente y saturado), pesos unitarios (suelos y compactos), absorción de agua, partículas planas y alargadas, determinación del material más fino que el tamiz 200 (0,074 mm), etc.

Composición química

La composición química del material serpentinitico ha sido objeto de estudio de varios investigadores (Rojas y otros, 2005; Céspedes, 2007 y Lueges 2008). Según Niurka 2004-2005 en "El Yacimiento de Lateritas Yagrumaje Norte (Cuba Oriental): Estructura, Mineralogía y Fases Portadoras de Ni y Co" da su resultado de la composición química del yacimiento Yagrumaje Norte, el cual se está explotando para su procesamiento en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.++

Proceso de reducción de tamaño

Después de realizada la composición granulométrica del material inicial, se seleccionaron las distintas clases de tamaño mayores de 40 mm y estas fueron sometidas a un proceso de trituración primaria empleando la trituradora de quijada 320 x 165 (Fotografía 2) por aplastamiento entre las dos mandíbulas del equipo, empleando este triturador con superficies ranuradas, provisto de suspensión superior y movimiento simple.



Fotografía 1. Triturador de mandíbula de (320 x 165 mm).

Las características técnicas del triturador de mandíbulas (320 x 165):

- Longitud de la quijada 320 mm
- El sistema de alimentación
- ❖ Ancho 100 mm
- ❖ Largo 165 mm
- Longitud de la boca de salida 30 mm.

Al producto triturado se le determinó la composición granulométrica y para la clasificación del material triturado se utilizó el juego de tamices seleccionados por el técnico de laboratorio como se muestra en la fotografía 3, utilizando las normas cubanas, donde se pudieron obtener varias granulometrías de la muestra inicial ,las cuales se les hicieron varios ensayos.



Fotografía 2. Serie de tamices

empleados para la caracterización granulométrica.

2.3 Determinación de las propiedades geométricas, físicos - mecánicos, químicas y de alterabilidad

Los análisis realizados estuvieron encaminados en la realización de diferentes ensayos físicos, mecánicos y químicos, así como de alterabilidad.

2. 3.1. Ensayos para la determinación de las propiedades geométricas

2. 3. 1. 1. Determinación de la granulometría de las partículas, según la NC 178: 2002. Áridos.

El procedimiento se basa en la determinación de las fracciones granulométricas de los áridos, por medio de un movimiento lateral y vertical del tamiz, acompañado de una acción de sacudida de manera que la muestra se mueva continuamente sobre la superficie de los tamices, mediante la utilización de la tamizadora eléctrica mostrada en la fotografía 4 y el tiempo de tamizado de las muestras fue de 1 minutos.

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



Fotografía 3. Tamizadora eléctrica.

La muestra de material se separó en una serie de tamaño usando para ello los tamices siguientes 25. 4; 19. 1; 9. 52; 4. 76; 2. 38 para el caso del material grueso triturado, y para el material fino 9. 52; 4. 76; 2. 38; 1. 19; 0. 59; 0. 297; 0. 149 de acuerdo con las especificaciones para el uso del material que se ensaya.

2.3.1.2. Determinación del contenido de partículas planas y alargadas, según la NC 189: 2002. Áridos gruesos.

Las partículas planas y alargadas contenidas en los áridos se obtienen por medio de la separación de la muestra en fracciones, separando las partículas planas y alargadas y determinando el por ciento que representan del peso del árido, mediante el pesaje de las partículas que hayan sido seleccionadas como planas y alargadas de manera tal como se muestra en la fotografía 5.

Para desarrollar este ensayo fueron utilizados los tamices con aberturas de malla de 25, 4 mm; 19, 1 mm; 12, 7 mm; 9, 52 mm; 4,76 mm. Después de separadas las cantidades de partículas a ensayar se depositan en bandejas perfectamente identificadas para evitar que los diferentes tamaños o fracciones se mezclen, posteriormente todo el contenido de una de las bandejas se extiende sobre una superficie limpia y por simple inspección visual se separan las partículas planas y alargadas que no ofrezcan dudas de sus formas y dimensiones. De esta misma forma se realiza para las partículas que no sean planas y alargadas.

Las partículas que no hayan podido ser determinadas en la inspección visual serán medidas con el pie de rey, determinándose así la relación existente entre sus dimensiones según se puede apreciar en la fotografía 6.



Fotografía 4. Pesaje de las partículas planas y alargadas.



Fotografía 5. Determinación de partículas planas y alargadas con el pie de rey.

Determinación del por ciento de partículas planas y alargadas



Los porcentajes de partículas planas y alargadas halladas en cada muestra ensayada se determinan aplicando la expresión (10)

$$PPA = \frac{A}{B} \cdot 100 \dots\dots\dots (10)$$

Donde:

PPA – Por ciento en masa de partículas planas y alargadas

A – Masa de las partículas planas y alargadas halladas en cada muestra ensayada (g)

B – Masa de la muestra ensayada (g)

Determinación del por ciento corregido de partículas planas y alargadas

El por ciento corregido de partículas planas y alargadas = $\frac{(PPA) \cdot (RP)}{100}$ se determina por la expresión anterior: (11)

Donde:

PPA – Por ciento en masa de partículas planas y alargadas

RP – Por ciento retenido parcial de la fracción de la muestra ensayada

2.3.1.3. Determinación del material menor que 0.074 mm, según la NC 182: 2002. Áridos.

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

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

$$\text{Porcentaje de material que pasa por el tamiz de } 0,074 \text{ mm} = \frac{a-b}{a} \cdot 100 \dots\dots (12)$$

Donde:

a: peso de la muestra original seca

b: peso de la muestra seca después de lavada

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

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

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

2.3.2. Ensayos para la determinación de las propiedades físico-mecánicas de los áridos.

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

Arena

Los pesos específicos y la absorción de agua se obtienen por medio del pesaje de la arena en estado seco y saturado en agua. Se introducen inmediatamente en un frasco volumétrico 500 g de la muestra, añadiendo agua destilada hasta un poco por debajo de la

marca del enrase del frasco. Para eliminar las burbujas que hayan quedado en el frasco se pueden aplicar los siguientes métodos de operación:

- a) El frasco se somete al Baño de María y se mantiene en ebullición durante 2 horas aproximadamente hasta que sean expulsadas todas las burbujas. El equipo que se utiliza para este ensayo se puede apreciar en la fotografía 7.
- b) Se coloca el frasco volumétrico sobre una superficie plana, se inclina unos 30 ° y se hace rodar con rapidez sobre la misma, sujetándolo por la boca hasta que sean expulsadas todas las burbujas.

Después se coloca en un baño de agua durante una hora aproximadamente, hasta alcanzar la temperatura ambiente. Al final de ese tiempo se añade agua destilada hasta alcanzar el enrase y se determina el peso total con un error menor de 0.01 g. A continuación se extrae la arena del frasco volumétrico y se deseca a peso constante en una estufa cuya temperatura esté comprendida entre 105 °C y 110 °C. Se deja enfriar a la temperatura ambiente y se pesa con un error menor de 0.01 g



Fotografía 6. Equipo eléctrico.

Peso específico corriente

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

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

Donde:

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



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

C: Peso del frasco lleno con agua (g)

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

Peso específico saturado

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

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

Donde:

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

C: Peso en gramos del frasco lleno con agua

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

Peso específico aparente

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

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

Donde:

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

C: Peso en gramos del frasco lleno con agua

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

Absorción

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

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



Donde:

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

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

Árido grueso

Los pesos específicos y la absorción de agua en los áridos gruesos se determinan por medio de pesadas. Por el método de cuarteo se selecciona una muestra de 5 kg del árido, donde se separa todo el material que pasa por el tamiz de 9.52 mm. Si la calidad del material es homogénea, se puede emplear para el realizar el ensayo, el retenido en el tamiz de 25.4 mm. Según la Norma Cubana 187- 2002.

Después de haber lavado bien el árido, para quitarle el polvo o cualquier otro material adherido a la superficie de las partículas, se seca la muestra hasta peso constante a una temperatura de 105 - 110 ° C. La muestra se sumerge en agua a temperatura ambiente durante 24 horas. Después del periodo de inmersión en agua, se secan las partículas rodándolas sobre una tela absorbente hasta que se haya eliminado toda la película de agua visible, aunque la superficie aparezca todavía húmeda. La muestra se pesa en el aire.

Una vez pesada, la muestra saturada y superficialmente seca se coloca inmediatamente en el cesto de alambre o en el cubo metálico y se determina su peso dentro del agua. Se seca en la estufa hasta peso constante a una temperatura de 105 - 110 °C, se deja enfriar a temperatura ambiente y se pesa en el aire.

Método de la balanza hidrostática.

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

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

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

Se utiliza para ello una balanza hidrostática, como se muestra en la fotografía 7 o una balanza que permita utilizar un dispositivo para colgar el cesto en el centro del platillo de la balanza y un recipiente de tamaño apropiado para poder sumergir el cesto metálico que se muestra en la fotografía 8.



Fotografía 7 Balanza hidrostática.



Fotografía 8 Cesto metálico

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

El secado de las superficies de los áridos de peso normal es también difícil y deberán tenerse cuidados si presentan superficies rugosas e irregulares para obtener resultados consistentes

- Las balanzas deberán ser adecuadas para pesar la cantidad de material requerido.
- El contenedor para sostener la muestra deberá ser sumergida hasta la profundidad que permita cubrir el contenedor todo el tiempo.
- El aro de alambres que soporta el contenedor deberá ser de la menor dimensión posible a fin de disminuir los efectos de variaciones en la inmersión por el largo del soporte.
- El aire atrapado deberá ser liberado de la muestra ante de determinar el peso de la muestra inmersa mediante movimientos del contenedor mientras se sumerge.
- Debido a las dificultades del secado de las superficies de las partículas mas finas contenidas muestras para ensayos de áridos gruesos, los materiales mas finos que el tamiz de abertura 4.76 mm deberá ser eliminado.
- El método de ensayo proporciona los procedimientos para la separación de los materiales contenido en el tamiz de abertura 2.36 mm para los áridos gruesos muy finos.
- Cuando el resultado de los ensayos serán usados para la proporción de mezclas de hormigón con áridos en condiciones húmedas, el secado de los áridos hasta peso constante al inicio del ensayo puede ser eliminado



- El peso seco en estufa no es necesario si la determinación del pesos saturado superficie seca brinda suficiente información.
- El secado en estufa pudiera ser necesario para determinar la absorción de los áridos.
- El uso de los áridos sin secado antes de su humedecimiento cuando se emplean áridos de alta absorción se considera preferible, debido que el secado en estufa antes del ensayo puede remover la humedad que no puede recuperarse en 24 horas de humedecimiento.

Peso específico corriente

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

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

Donde:

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

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

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

Peso específico saturado

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

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

Donde:

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

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

Peso específico aparente

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



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

Donde:

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

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

CAPÍTULO III: CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.

3.1 Introducción:

Para determinar la caracterización del material objeto de nuestro estudio es necesario esclarecer que el mismo se origina producto a cambios tecnológicos que se realizaron hace dos años en esta industria con el objetivo de eliminar del proceso volúmenes considerables de serpentinitas que antes pasaban al proceso de molienda y continuaban en la cadena productiva trayendo como resultado una disminución de la eficiencia del proceso metalúrgico.

Este material luego de separado de la planta de secadero es trasladado a las escombreras en camiones y algunos volúmenes son enviados para el relleno de caminos mineros.

Como se ve en las fotos expuestas a continuación el material de rechazo se aprecia bastante limpio de minerales lateríticos, ya que el proceso de haber pasado por los secaderos y los movimientos de rotación de estos tambores le facilitan la limpieza y una especie de autotrituración que influyen en sus propiedades físico mecánicas.



Fotos 9 y 10 del material de rechazo serpentínico. Tomada en la escombrera.



Fotos 11 y 12 del material de rechazo serpentínico. Tomada en los camiones de transporte.

3.2 Caracterización de la composición sustancial de la materia prima. Composición química.

Los resultados de la composición química los tomamos como referencia del trabajo de Pérez M.N., 2004.

Tabla 3.1. Composición química de serpentinitas del yacimiento Yagrumaje Norte. (Pérez M. 2004).

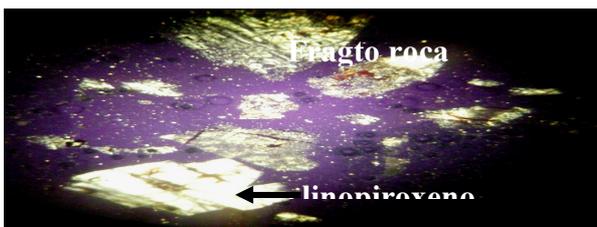
Contenido, %	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7
SiO ₂	35,3	39,9	39,2	39,9	37,1	38,68	32,41
TiO ₂	0,01	0	0,01	0,01	-	-	-
Al ₂ O ₃	1,6	0,6	2,6	0,9	0,87	1,01	5,17
Fe ₂ O ₃	14,5	8,6	9	8,9	7,59	7,21	22,25
MnO	0,12	0,1	0,11	0,09	-	-	-
MgO	32,3	36,9	34,1	36,6	29,32	32,68	23,51

CaO	0,02	0,28	0,11	0,02	-	-	1,14
Na ₂ O	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	-	-	-
K ₂ O	0,01	0,01	0,01	<0,01	-	-	-
P ₂ O ₅	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	-	-	-
Co ₃ O ₄	0,02	0,01	0,01	0,01	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0,74	0,39	0,43	0,53	0,41	0,51	-
NiO	2,37	1,69	1,43	0,32	0,02	0,01	-

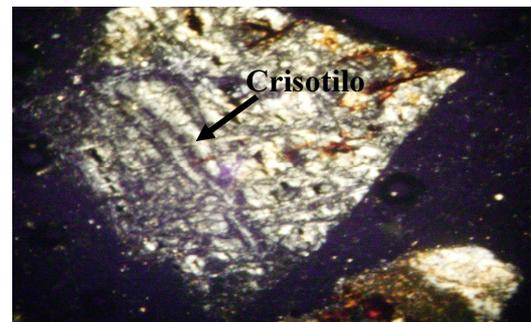
Análisis de láminas delgadas.

Estos resultados fueron efectuados en el laboratorio Nacional de Minerales José Isaac del Corral de Ciudad de La Habana de cuatro muestras tomadas del rechazo serpentinitico de la ECEG.

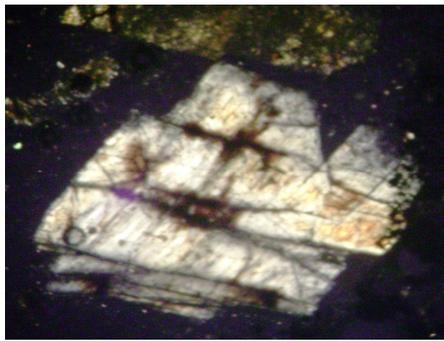
Figura 1. Ensayos petrográficos realizados a muestras del Rechazo serpentinitico de la Planta de Níquel "Ernesto Ché Guevara". Laboratorio Isaac del Corral. C. de la Habana, 2009.



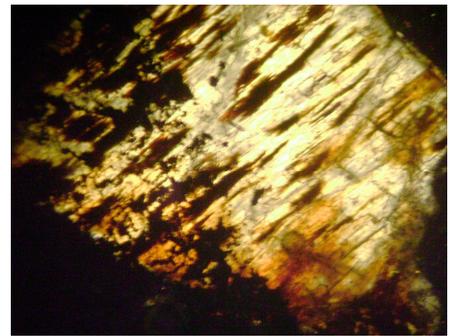
Muestra R-1. obj. 4x/10x con nicoles. La muestra es constituida por un 98% de fragmentos angulosos de roca peridotita y piroxenita serpentinizadas y granos individuales de magnetita: El tamaño de los fragmentos varía de 0.06-1.3mm. La serpentina fue originada por la alteración de los minerales ferromagnesianos como olivino y clinopiroxeno constituyentes de estas rocas.



Muestra R-2. obj. 10x/10x con nicoles. Detalle de fragmento de roca alterado a minerales del grupo de la serpentina, principalmente crisotilo en estructuras bandeadas y fibras, asociado a antigorita en crecimientos hojosos y residuo de magnetita en cadenas discontinuas.



Muestra R-3. obj. 10x/10x con nicoles. Detalle del clinopiroxeno, alterado a serpentina con magnetita oxidada por las grietas.



Muestra R-4. obj. 10x/10x con nicoles. Detalle, cristal de clinopiroxeno alterado a serpentina. En esta sustitución se produce magnetita en polvo de grano muy fino como residuo por las líneas de exfoliación del cristal.

3.3 Resultados de los trabajos de laboratorio al árido fino.

- **Serie fina (arena)**

Análisis Granulométrico: El procedimiento se basa en la determinación de las fracciones granulométricas de los áridos, por medio de un juego de tamices, los cuales se ponen sobre el tamizador eléctrico, acompañado por movimientos de vibración de manera que la muestra se mueva continuamente sobre la superficie de los tamices.

Tabla 3.2. Análisis granulométricos promedio.

Tamices (mm)	Peso retenido (g)	Peso retenido acumulado (g)	% retenido acumulado	% pasado
9,52	0	0	0	100
4,76	293,0	293	8	92
2,38	1071,0	1364	36	64
1,19	711,5	2075,5	55	45
0,59	493,0	2568,5	68	32
0,297	424,5	2993	80	20
0,149	360,5	3353,5	89	11
Fondo	409,5	3763	100	0

No cumple con lo especificado en los tamices 2,38mm y 0,149mm. Ver Tabla 3.3.

Modulo de finura = 3,4

Tabla 3.3. Requisitos de la granulometría de los áridos finos

Departamento de Geología



Limite nominal de la fracción, mm	Abertura de maya de los tamices mm	% Pasado
5 – 0,15	9,52	100
	4,76	90 – 100
	2,38	70 – 100
	1,19	45 – 80
	0,59	25 – 60
	0,297	10 – 30
	0,149	2 – 10

Determinación del material más fino que el tamiz 200 (0,074 mm).

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

Los ensayos de la determinación del material menor que el tamiz 200 (0.074 mm) Tabla 3.4, cumplen con las especificaciones cubanas empleadas en la Norma 251:2005. En la Tabla 3.5 se muestran los requisitos para el material más fino que el tamiz 200 (0.074 mm), según NC 251: 2005

Tabla 3.4 Resultados del ensayo de la determinación del material menor que 0.074 mm, según la NC 182: 2002. Áridos.

Determinación del material más fino que el tamiz 200 (0.074 mm)	
Arena	3.95%

Tabla 3.5. Requisitos para el material menor que el tamiz 200 (0.074 mm), Según NC 251: 2005 de especificaciones.

Tipos de arena	Tipos de hormigones	Tamiz 200 (%)
Áridos finos (Arenas no trituradas beneficiadas)	Hormigones sometidos a la abrasión	3



de yacimiento y arenas de rocas trituradas)	Todos los restantes hormigones	5
---	--------------------------------	---

Si se comparan los resultados del ensayo (tabla 3.4) para los áridos finos, con los requisitos para el material menor que el tamiz 200 que establece la NC 251 de especificaciones (tabla 3.5), es evidente que el material serpentinitico se puede utilizar en diferentes tipos de hormigones, exceptuando los hormigones sometidos a la abrasión. Aunque el material serpentinitico ensayado estaba contaminado por polvo, no contenía impurezas orgánicas, y se obtuvieron buenos resultados en los ensayos.

Los resultados que se muestran en la tabla 3.4 están muy cercano al límite de la norma tanto para áridos gruesos como para finos, pero debe ser más pequeño si se somete el material a un proceso de lavado o desempolvado, eliminándose partículas nocivas.

Pesos específicos. Se obtienen los pesos específicos y la absorción de agua por medio del pesaje de la arena en estado seco y saturado en agua.

A:	465,5 g	Peso muestra seca estufa.
B:	500,0 g	Peso muestra SSS
C:	616,5 g	Peso del frasco lleno con agua
C1:	891,0 g	Peso del frasco con la muestra y el agua hasta la marca del enrase.

Peso específico corriente	PEC = 2,06g/cm ³
	PEC =2064,30 g/m ³
Peso específico saturado	PES =2,22 g/cm ³
	PES =2217,29 g/m ³
Peso específico aparente	PEA =2,44 g/cm ³



	PEA =2437,17 kg/m ³
Adsorción	7,41%

Donde:

P e c – Peso específico corriente

P e s – Peso específico saturado

P e a – Peso específico aparente

ABS – Absorción de agua

El peso específico y la absorción de agua no cumplen con lo especificado. Ver nota 1 y 2.

Nota 1. El peso específico corriente debe ser superior a 2,5 g/cm³

Nota 2. La absorción del árido generalmente no supera el 3%.

Pesos unitarios (suelto y compacto).

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

	Suelto	Comp.		
A=	2600	2600	g	Peso del recipiente.
B=	5600	5600	g	Peso del recipiente más el agua.
C=B-A	3000	3000	g	Peso neto del agua.
				Temperatura del
T=	26,6	26,6	°C	agua.
D=	997,17	997,17	g/l	Peso volumétrico (NC-181 pág 2) según T
E=D/C	0,332	0,332	l	Factor de calibración.
F=	6400	7050	g	Peso de la muestra más recipiente.
				Peso neto de la
G=F-A	3800	4450	g	muestra.
G*E	1263,08	1479,14	g/l	Peso volumétrico.
	1263,08	1479,14	kg/m ³	

P u s = 1263,08 kg/m³



$$P_{uc} = 1479,14 \text{ kg/m}^3$$

P_{us} – Peso unitario suelto

P_{uc} – Peso unitario compactado

$$\% \text{ vació} = \frac{P_{ec} - P_{uc}}{P_{ec}}$$

$$P_{ec}$$

$$\% \text{ vació} = 0,283 \%$$

3.4 Resultados de los trabajos de laboratorio al árido grueso.

• Serie gruesa fracción (19 – 5 mm)

Análisis Granulométrico. El procedimiento es similar al análisis granulométrico de la arena, lo que utilizamos tamices con diámetros mayores que oscilan entre 25,4mm y 4,76mm según se muestra en la (Tabla 3.6)

Tabla 3.6 Análisis granulométrico de la serie gruesa.

Tamices (mm)	Peso retenido (g)	Peso retenido acumulado (g)	% retenido acumulado	% pasado
25,4	0	0	0	100
19,10	83,0	83	2	98
12,5	2358,5	2441,5	59	41
9,52	1271,0	3712,5	89	11
4,76	372,0	4084,5	98	2
Fondo	65,5	4150,0	100	0

Cumple con la norma, menos el tamiz 9,52mm y el 4,76mm. Ver Tabla 3.7.

Tabla 3.7 Requisitos granulometría del árido grueso

Limite de las fracciones (mm)		Abertura de Maya de los tamices (mm)	% pasado
Nominal	Equivalente		
20-5	19-5	25,4	100
		19,1	90-100

	9,52	20-55
	4,76	0-10
	2,38	0-5

Determinación del material mas fino que el tamiz 200 (0,074 mm)

Los ensayos de la determinación del material menor que el tamiz 200 (0.074 mm), cumplen con las especificaciones cubanas empleadas en la Norma 251:2005, la que plantea que para los áridos gruesos, el por ciento permitido de material más fino que el tamiz de 0.074 mm para cualquier tipo de hormigón es inferior o igual a uno.

Tabla 3.8. Determinación del por ciento más fino que el tamiz 200.

Determinación del material más fino que el tamiz 200 (0.074 mm)	
Árido grueso	0,10%

Cumple ya que el requisito es menor o igual a 1 para el árido grueso.

Determinación de las partículas planas y alargadas:

Las partículas conocidas como planas y alargadas pueden provocar disminución en la trabajabilidad ya que muy fácilmente pueden orientarse de manera preferencial en un solo plano, de manera que el agua y el espacio poroso pueden acumularse debajo de ellas. Además, las gravas con esta forma ocasionan mayores requerimientos de arena, y eso hace necesario un incremento en el volumen de agua para la mezcla y como consecuencia se producen caídas de las resistencias o incrementos en el consumo de cemento. Es deseable, entonces, que los agregados particularmente los gruesos tengan una forma un tanto angular y cúbica.

Los áridos obtenidos por trituración generalmente dan mejores condiciones de rozamiento interno al esqueleto mineral que los áridos naturales rodados. La roca triturada produce una adherencia superior comparado con la grava de canto rodado.

El tipo del molino en las plantas trituradoras de áridos influye en la obtención de la forma del árido. De los diferentes tipos de molinos existentes en el mercado el que mejor da el producto de forma mas regular es el molino de martillo, que debe emplearse con piedras blandas y medias porque con rocas duras tiene el inconveniente de sufrir un desgaste elevado.

En general con relación a los tipos de molinos y la forma del árido se puede establecer el siguiente orden de preferencia: Molinos de martillos, de mandíbulas, giratorios cilíndricos, de rodillos y como ultima opción los molinos giratorios cónicos.

Los resultados de la determinación del contenido, de las partículas planas y alargadas, se muestran en la tabla No 3.8.

Tabla 3.9 Resultados de la determinación del contenido de partículas planas y alargadas, según la NC 189: 2002. Áridos gruesos.

Tamices (mm)	% Retenido Parcial	Masa que se toma para cada tamiz (g)	Masa de partículas planas y alargadas (g)	Por ciento de partículas planas y alargadas	Por ciento corregido de partículas planas y alargadas
19,1	44	1000	250	25	11
12,1	31	700	69,5	10	3
9,52	13	300	26,5	9	1
4,76	11	250	42,5	17	2
		2250			17

La mayoría de los países limitan en sus especificaciones la forma de la partícula como condición de calidad de un árido. La forma de los áridos tiene incidencia sobre la trabajabilidad del hormigón fresco. Los ensayos realizados para determinar esta propiedad geométrica de los áridos arrojaron un 17 % (tabla 3.9) de estas partículas.

No se encuentran en la NC 251: 2005, los requisitos que debe cumplir este tipo de rocas (3.10). Aunque por su naturaleza se podría ajustar a las rocas ígneas ya que el material serpentinitico proviene de rocas metamórficas.

Tabla 3.10 Sustancias perjudiciales para los áridos gruesos. Resultados Reales

No.	Indicadores de Calidad	Cantidad máxima del peso total de la muestra (%)
1	Partículas de arcilla	Inferior o igual a 0,25 %



2	-Cantidad de partículas planas y alargadas: - Cuando el árido proviene de rocas sedimentarias - Cuando el árido proviene de rocas ígneas	Inferior o igual a 10 % Inferior o igual a 20 %
---	--	--

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

		Peso en el aire de la muestra seca
A:	965,0 g	estufa.
B:	1000,0 g	Peso en el aire de la muestra SSS
		Peso en el agua de la muestra
C:	587,0 g	saturada.

Peso específico corriente	PEC = 2,34g/cm ³
	PEC =2336,56 kg/m ³
Peso específico saturado	PES =2,42 g/cm ³
	PES =2421,31 kg/m ³
Peso específico aparente	PEA =2,55 g/cm ³
	PEA =2552,91 kg/m ³
Adsorción	3,63%

Pesos unitarios (suelto y compacto). Los pesos volumétricos se determinan por medio de pesadas del material contenido en recipientes calibrados de volumen conocido.

	Suelto	Comp.		
A=	2600	2600	g	Peso del recipiente.
B=	5600	5600	g	Peso del recipiente más el agua.
C=B-A	3000	3000	g	Peso neto del agua.
				Temperatura del
T=	26,6	26,6	°C	agua.
D=	997,17	997,17	g/l	Peso volumétrico (NC-181 pág 2) según T
E=D/C	0,332	0,332	l	Factor de calibración.
F=	6400	7050	g	Peso de la muestra más recipiente.
				Peso neto de la
G=F-A	3800	4450	g	muestra.
G*E	1263,08	1479,14	g/l	Peso volumétrico.
	1263,08	1479,14	kg/m ³	

Pesos unitarios

$$P_{u s} = 1263,08 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{u c} = 1479,14 \text{ kg/m}^3$$

$$\% \text{ vació} = \frac{P_{e c} - P_{u c}}{P_{e c}}$$

$$P_{e c}$$

$$\% \text{ vacíos} = 0,366\%$$

3.5 Dosificaciones para Hormigones de hasta 20 Mpa y resultados a la compresión de las probetas.

Para obtener unos resultados satisfactorio en la mezcla del hormigón acudimos a realizar dos dosificaciones para hormigón de hasta 20Mpa, con la realización de dos pares de probetas a romper por los días específicos, el primero y el segundo juego se romperá a los 7, 14, 28 días como se muestra a continuación.

Figura 2. Preparación de las probetas.



Tabla 3.11. Dosificación 1.

Material	Masa por m ³	Masa usada	Observaciones %
Cemento	440 kg/m ³	17,6kg/m ³	
Agua	200 kg/m ³	11L	
Cont. aire	0	0,0	
Agregado grueso	949 kg/m ³	38,0kg/m ³	55%
Agregado fino	776 kg/m ³	31,0kg/m ³	45%
Total	2354 kg/m ³	97,6 kg/m ³	

Resultado resistencia a compresión

Rotura de las probetas a los 7,14 y 28 días, para ver su resistencia a la compresión, y si su valor llega hasta los 20 Mpa.

7 días

Probeta 1	9,9 Mpa
Probeta 2	16,6 Mpa
media	13,5 Mpa



14 días

Probeta 1	17,6 Mpa
Probeta 2	17,6 Mpa
media	17,6 Mpa

28 días

Probeta 1	20, 9 Mpa
Probeta 2	20, 3 Mpa
media	20, 6 Mpa

Teniendo en cuenta que el valor a los 28 días, cumple con el objetivo para la esta dosificación, llegando a 20, 6 Mpa, y como aplicación se recomienda en una gran gama de variantes como establecen las NC este se puede utilizar en:

- Cimientos Aislados, Corridos y en Prefabricados.
- Pedestales Insitu y Prefabricados.
- Muros de contención Reforzados.
- Vigas cerramentos.

Figura 3. Maquina de 100t fuerza, la cual es utilizada para medir la resistencia a la compresión de las probetas de hormigones.



Tabla 3.13. Dosificación 2.

Material	Masa por m ³	Masa	Observaciones %
Cemento	440 kg/m ³	17,6 kg/m ³	
Agua	200 kg/m ³	12L	
Cont. aire	0	0,0	
Agregado grueso	863 kg/m ³	34,5 kg/m ³	50%
Agregado fino	863 kg/m ³	34,5 kg/m ³	50%
Total	2366 kg/m ³	98,6 kg/m ³	

Volumen = 0,04m³

Tiempo de inicio= 10 min.

Asentamiento= 11cm

Apariencia- normal

Relación agua-cemento=0,45

Resultado resistencia a compresión

Rotura de las probetas a los 7, 14 y 28 días, para medir su resistencia la compresión.

7 días

Probeta 1	11,3 Mpa
Probeta 2	11,9 Mpa
media	11,6 Mpa

14 días

Probeta 1	14,1Mpa
Probeta 2	14,1Mpa
media	14,1Mpa

28 días

Probeta 1	18,2 Mpa
Probeta 2	18,2 Mpa
media	18,2 Mpa

Los resultados de los 28 días en este segundo registro: quedan algo por debajo de lo requerido, lo cual nos dice que la dosificación empleada aquí no es la más adecuada para hormigones de resistencia de 20 Mpa.

3. 6 Aportes del trabajo a la temática del medio ambiente y el desarrollo sostenible.

El desarrollo sostenible en la rama geólogo minera.

El concepto de desarrollo sostenible y sus implicaciones ha sido largamente estudiado. Villas Boas (1995), por ejemplo, aludiendo concretamente al desarrollo sostenible en relación con la actividad minera y metalúrgica, señala una serie de desafíos tecnológicos a los que se enfrentan las actividades industriales. Tales son los tres mínimos exigibles (mínimo consumo de energía, mínimo consumo de materiales y mínimo impacto ambiental) y un máximo (máxima satisfacción social). La combinación de estos condicionantes no señala una estrategia concreta, sino una actitud global hacia el conjunto de estrategias que se incluyen bajo la denominación de tecnologías limpias (Calvo, 2000).

El desarrollo sostenible, en todo caso, se concibe como un equilibrio entre las necesidades de abastecimiento y la conservación del medio, para nosotros y para nuestros sucesores. Además del equilibrio, implica una componente de solidaridad para repartir de forma equitativa los bienes

entre países ricos y pobres, entre favorecidos y marginados. Precisa, en tercer lugar, el desarrollo de la eficiencia tecnológica, para conseguir el mayor número de recursos al menor costo social y económico.

Con este breve apunte se ha precisado, de forma elemental, lo que debe ser el desarrollo sostenible; puede ahora concebirse cómo se puede avanzar hacia ese objetivo y qué relación existe entre las estrategias necesarias y las rocas y minerales industriales.

Las actividades mineras en general y las explotaciones de RMI en particular, tal vez más que otras operaciones industriales, mantienen con el medio una relación difícil con el medio: para extraer, transportar, transformar y comercializar los minerales, es preciso perjudicar el medio, a veces de forma irreversible, y producir una cantidad de residuos que casi siempre es muy cuantiosa. Las tasas de recuperación de una cantera de piedra natural (granito, mármol o pizarra) pueden encontrarse en torno al 10-20%, lo que significa que por cada tonelada comercializada se vierten a la escombrera entre 5 y 10 toneladas de desechos. El oro es explotable con una ley de pocos gramos por tonelada; por tanto, el 99,9995 % del material extraído en la mina se convierte en un material desechable, en su mayoría contaminado, al que hay que buscar acomodo.

Además de los daños que se pueden producir por el volumen de residuos, es preciso considerar otras características medioambientales negativas de las explotaciones mineras: la primera es que la ubicación de las canteras y minas ha de hacerse en el lugar en que existe un yacimiento. A diferencia de otras industrias, no se puede elegir el emplazamiento, y este hecho puede causar daños ecológicos o paisajísticos. La segunda es que la minería es siempre agresiva hacia el medio en el que se sitúa. Dados los enormes volúmenes que es necesario tratar, se crean cicatrices en la superficie terrestre difíciles de ocultar, se afecta a la fauna y a la vegetación, a veces al clima, se producen explosiones, polvo y contaminación química por compuestos de tratamiento y se empeora la calidad de vida de los habitantes cercanos, entre los que se encuentran los propios mineros. La tercera característica, ligada a la producción de residuos, tiene que ver con la posible contaminación de cauces fluviales y de acuíferos y la posibilidad, por lo tanto, de trasladar el daño hasta parajes alejados de la propia mina.

La dicotomía no puede expresarse, por canto, en términos de explotar / no explotar o de contaminar / no contaminar. Como los recursos minerales son necesarios, y en proporción enormemente creciente, es preciso llegar a un compromiso de impacto medioambiental aceptable y recuperable. Este compromiso exige que los efectos del impacto sean controlados, controlables y reversibles, a escala humana de espacio y tiempo.



Es preciso aceptar que las explotaciones mineras, y dentro de ellas las de rocas y minerales industriales, que presentan características específicas en cuanto a su volumen, su tipo de beneficio, su transporte y su tratamiento, son actividades perjudiciales para el medio ambiente, pero compatibles con el desarrollo sostenible. Las explotaciones presentan un beneficio social y económico indudable, pero deben, también, procurar el mínimo consumo de energía y la producción mínima de residuos. Los usuarios de RMI, que somos todos, debemos igualmente procurar un consumo racional y no abusivo de las mismas.

La "sostenibilidad" de una explotación minera en un determinado entorno social y económico plantea problemas que no son siempre transparentes. Al calcular los costos de explotación, no siempre se tiene en cuenta el consumo de bienes naturales que se consideran libres (espacio, agua, aire...). Es preciso calcular, también, el coste de reposición de los terrenos afectados. En muchos países estos valores suponen una exigencia legal muy severa, y determinan en no pocas ocasiones, el cierre de la explotación y su inviabilidad. Las exigencias son menos severas en países en desarrollo, y pueden llevar a daños irreversibles en el medio ambiente y en la sociedad circundante.

A pesar de su importancia, la incidencia cuantitativa de las RMI en el Producto Interior Bruto de las naciones desarrolladas es, por lo general, bajo. Por ejemplo, el conjunto de las RMI producidas en el Reino Unido en 1990 tenía un valor de unos 2.000 millones de libras esterlinas, es decir, sólo un 0,4% del producto interior bruto de dicho país. En Estados Unidos, con volúmenes mucho mayores (33.319 millones de dólares), la relación alcanzaba sólo el 0,6% (Highley, 1994).

¿Por qué, a pesar de ser tan baja la participación en el PIB, debe atribuirse tanta importancia a las RMI? Pueden darse varias razones: En primer lugar, constituyen el fundamento de casi todas las industrias que sostienen el desarrollo de un país; su ausencia determina, pues, dependencias estratégicas peligrosas. En segundo término, son materiales que incrementan mucho su valor con el tratamiento adecuado: hay pocas materias que multipliquen • su valor, desde la obtención de la materia hasta la utilización. Mientras que, en Inglaterra, en 1990, la producción de piedra, arcillas y áridos, suponía un valor añadido al coste de los factores por empleado de 42 libras, y la producción de aglomerantes de 50 libras por empleado, la construcción de vehículos no llegaba a 18 libras, y la fabricación de equipos aeroespaciales sólo aumentaba en 32 libras por empleado, el valor de los materiales iniciales (Highley, 1994). Otra razón importante es que, por sus elevados volúmenes de producción y bajos precios unitarios, las RMI suponen una gran actividad de transporte y almacenamiento, y demandan mucha mano de obra. Por último es preciso decir que todos los países necesitan RMI,



fundamentalmente materiales de construcción. La disminución de las importaciones de estos materiales supone ahorros importantes, sobre todo en los países en desarrollo.

Contribución a la protección del medio ambiente.

El problema a resolver en este trabajo que tributa directamente a disminuir el impacto ambiental se relaciona con dos direcciones principales, buscar el acomodo de los desechos serpentínicos de la industria del níquel, como solución a la problemática de afectación al entorno que estos provocan ya que se vierte una buena parte de estos desechos en áreas de la propia mina, y por otra parte contribuir a disminuir la afectación al curso fluvial del Río cayo Guam, ya que el CITMA ha prohibido la extracción de materiales aluviales de este río desde hace mas de 15 años y sin embargo por la enorme necesidad que se tiene actualmente en cuanto al déficit de 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 hormigones hidráulicos.

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

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



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

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

CONCLUSIONES

1 El rechazo serpentinitico de la Empresa Che Guevara con el cual trabajamos esta constituido fundamentalmente por peridotitos serpentinizadas de color gris oscuro verdoso con estructura bien definida. Aparecen ademas subordinadamente (no mas de 5 %) los perdigones de hierro de color pardo rojizo que oscilan entre 1 mm hasta 2 cm de forma subredonda.

2. De los resultados obtenidos con los ensayos realizados a las probetas y el estudio de las dosificaciones se establece que con la dosificación 1 pueden obtenerse resistencia de hasta 20 Mpa, por lo cual esta dosificación es mas apropiada de las estudiadas. Estos hormigones pueden ser empleados según la norma cubana en : cimientos aislados, corridos y en prefabricados; pedestales insitu y prefabricados; muros de contencion forzados y vigas cerramientos.

3. La instalacion de Cayo Guam puede producir en las condiciones actuales a partir del rechazo serpentinitico, arena artificial o polvo de piedra para repellos y aridos para bloques, arido grueso de 19 ó 25 a 5 mm para hormigones y un sobre tamaño maximo de cerca de los 100 mm que puede resolver problemas de subbase de calles y carreteras de baja categoría.

4. A partir de los resultados de trabajos anteriores y los que aporta la presente investigación se debe incluir de manera oficial a la serpentinita como una roca para la producción de aridos en Cuba, aspecto este que no esta aprobado en la clasificación actual de los yacimientos de materiales de la construcción en Cuba.

5. El problema a resolver en este trabajo tributa directamente a disminuir el impacto ambiental en dos direcciones principales, buscar el acomodo de los desechos serpentiniticos de la industria del niquel, como solución a la problemática de afectación al entorno que estos provocan ya que se vierte una buena parte de estos desechos en areas de la propia mina, y por otra parte contribuir a disminuir la afectación al curso fluvial del Rio



Cayo Guam, ya que el CITMA ha prohibido la extracción de materiales aluviales de este río desde hace más de 15 años y sin embargo por la enorme necesidad que se tiene actualmente en cuanto al déficit de aridos se ha autorizado excepcionalmente la extracción de cantidades limitadas para paliar 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 serpentiniticos como arido para la fabricación de hormigones hidráulicos.



RECOMENDACIONES

1. Continuar los estudios sobre el tema buscando poder evaluar para mas altas prestaciones y dosificaciones los aridos serpentiniticos, ya que es discreto en el mundo el uso de la serpentinita como arido para la construccion y por tener nuestro pais en varias provincias volúmenes considerables de serpentinitas, incluyendo que se extraen en canteras de prestamos como material rocoso de relleno, y en la preparación de tuneles populares en diferentes municipios durante el avance de los mismos (ejemplo: Holguin, Mayari, Sagua de Tanamo etc).
2. Contar con muestras representativas donde de cada material según su granulometria se obtenga ma s de 1 m³ , para poder hacer varias dosificaciones.
3. Continuar buscando alternativas para el financiamiento y divulgación de estas investigaciones por su impacto en la solucion de problemas locales relacionados con el déficit de aridos para la construccion de viviendas y otras obras sociales.

Bibliografía

1. ALAVEDRA, P. et al. 1998. La construcción sostenible. El estado de la cuestión. Instituto Juan de Herrera. MADRID. ESPAÑA. ISSN: 1578-097X. [en línea]. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n4/apala.html> [Consulta: 20 enero, 2008].
2. ANDREIEV, S. E. et al. 1980. Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales. Editorial MIR. 536 p.
3. ALMAGUER, C. Y. y GUARDADO La C., R. 2005. Caracterización ingeniero geológica del perfil de meteorización de rocas ultrabásicas serpentinizadas en el territorio de Moa, Cuba. Revista Minería y Geología. 21 (3), ISSN 0258 5979.
4. ÁRIDOS Y PREFABRICADOS ANTOLÍN. 2008. [en línea]. <<http://www.aridosantolin.es/aridos/plantas/plantaduenas.htm>> [Consulta: 14 marzo, 2008].
5. BOUSO A., J.L. 2002. Soluciones medioambientales para las plantas de tratamiento de áridos vía húmeda. En: II Jornadas Iberoamericanas de Materiales de Construcción. Abril 2002, La Habana, CUBA.
6. CÁCERES T., J. 1996. Desenvolvament Sostenible. Revista Tracte, Número 66, Octubre del 1996. ISSN 1132-7081.
7. CALVO B. et al. 2000. Rocas y minerales industriales de Ibero América. Instituto Tecnológico Geominero de España, España, 436 p.
8. CARDERO R., A. 2007. Proyecto de una planta procesadora de grava y arena para el municipio de Moa. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Trabajo de Diploma. 71 p.
9. CASAL C., C. 1986. Las Serpentinitas en la Construcción de Obras Hidráulicas. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Trabajo de Diploma. 80 p.
10. CÉSPEDES R., A. 2007. Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentinitico de la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara como árido para la construcción. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Trabajo de Diploma. 51 p.
11. CURSO DE REALIZACION DE ENSAYOS DE ARIDOS PARA EL MERCADO CE. Laboratorio Oficial para Ensayos de Materiales de Construcción. Madrid, Abril de 2004
12. ESTUDIO DE MATERIALES CON LÁMINAS DELGADAS. 2008. [en línea]

- <<http://wzar.unizar.es/invest/sai/rocas/prestaci/ejemplo1.html>> [Consulta: 17 abril, 2008].
13. Fernando Álvaro-Villon y otros. 2004. MINERIA ALUVIAL DE AGREGADOS EN COSTA RICA. Simposio "Minería aluvial de agregados "San José, Costa Rica.
14. GARCIA, O. R. 2004. Laboreo en canteras y graveras de áridos. CATERPILLAR-FINANZAUTO, S.A. España.
15. GARCÍA, O. R. 2004. LABOREO EN CANTERAS Y GRAVERAS DE ÁRIDOS. CATERPILLAR-FINANZAUTO, S.A. España.
- [6. GRUPO EMPRESARIAL ARE. 2008. [en línea].
<http://www.canterasare.com/es/aridos_izda.htm> [consulta: 31 marzo 2008]
17. MITROFÁNOV, S. I. "et al". 1982. Investigación de la capacidad de enriquecimiento de los minerales. Moscú, Editorial Mir. 435 p.
18. LAVAUT y otros 2003. Informe sobre la caracterización del mineral de rechazo por el proceso de Planta de Preparación de Pulpa.
19. LEON M. M. M. "et al". 2007. Propiedades de las Menas Niquelíferas del Yacimiento Punta Gorda. Interrelación con la cadena productiva y beneficio de las mismas. 2da CONVENCIÓN CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA. 20 al 23 Marzo 2007. La Habana, Facultad de Minas – Geología. (MIN2: 018.)
20. 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.
21. LOZANO O., J. A. 2005. Estudio experimental sobre la influencia de la temperatura ambiental en la resistencia del hormigón preparado. Memoria de Doctor. Barcelona, España.
22. LYNCH A., J. 1980. Circuitos de Trituración y Molienda de minerales. Optimización, Diseño y Control. Madrid. Editorial Rocas y Minerales.
23. Materiales de construcción. 2007. [en línea]. <<http://www.bricopage.com/>> [Consulta: 13 junio, 2008].
24. MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN EN FERROCEMENTO. 2007. [en línea]. <<http://www.fao.org/DOCREP/003/V9468S/back.gif>> [Consulta: 20 enero, 2008].



25. MARTÍNEZ, M. O. 2006. La calidad en los materiales de construcción. Consejo general de aparejadores y arquitectos técnicos Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.
26. MARTÍN, M. "et al". Domingo 01 de Marzo de 2009. La cara oculta del ladrillo. Juventud Rebelde. (página 4 y 5).
27. MINERALES DE LA CORTEZA TERRESTRE. 2008. <<http://www.astromia.com/>> [Consulta: 20 enero, 2008].
28. MONTERO, E. 2007. Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentinitico de la Empresa Pedro Sotto Alba como árido para la construcción. Instituto Minero Metalúrgico de Moa, Trabajo de Diploma. 56 p.
29. MUSSO, M.; OYHANT, C. P. y GOSO, A. E. 2002. La construcción en Montevideo, Uruguay: ensayos de caracterización expedita y clasificación en función de la fracción fina. Montevideo, Uruguay, Facultad de Ciencias, Iguá.
30. NC 178: 2002 Áridos. Análisis granulométrico.
31. NC 181: 2002 Áridos. Determinación del peso volumétrico. Método de ensayo.
32. NC 182: 2002 Áridos. Determinación del material más fino que el tamiz de 0.074 mm (no. 200). Método de ensayo.
33. NC 185: 2002 Arena. Determinación de impurezas orgánicas. Método de ensayo.
34. NC 186: 2002 Arena. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.
35. NC 186: 2002 Árido grueso. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.
36. NC 189: 2002 Áridos gruesos. Determinación de partículas planas y alargadas. Método de ensayo.
37. NC 251: 2005 Áridos para hormigones hidráulicos—requisitos.
38. NOTICIAS MUNICIPALES. Cuesta arriba entre piedra y arena. [en línea]. <<http://www.radiocaribe.co.cu/secundaria/municipales/Locales.htm>> [Consulta: 27 marzo, 2008].
39. NÚÑEZ, F. A. [2008]. Almacenamiento, alimentación y transporte de sólidos en plantas de áridos. [diapositivas]. 64 diapositivas.
40. OTRAS SUSTANCIAS. 1994. [en línea].

http://www.igme.es/internet/RecursosMinerales/panoramaminero/historico/93-94/OT_SUST.pdf> [Consulta: 31 marzo, 2008].

41. PANORAMA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. PIEDRAS ORNAMENTALES. 2007. [en línea].

<http://mineria.gobhuila.gov.co/modulos/dinamicas/pagina_estatica.php?>
[Consulta: 13 junio, 2008].

42. PARRA, A., J.L. 2003. Materiales Utilizados como Áridos. Madrid, 18 de Marzo de 2003.

43. ROCAS Y MINERALES, abril 2000. Plantas de tratamiento. Nueva planta de CAPIEXSA - Cales y Piedras Extremeñas, S.A., para la clasificación y lavado con tratamiento de agua.

44. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES. 2008. [en línea].
<<http://www.monografias.com/>> [Consulta: 20 enero, 2008].

45. RAZUMOV, K.A. y PEROV, V.A. 1985. Proyectos de fábricas de preparación de minerales. Moscú, Edición Mir. 533 p.

46. RECURSO MINERALES. 2007. [en línea].

<<http://www.bajacalifornia.gob.mx/ecologia/index.html>> [Consulta: 13 junio, 2008].

45. RODRIGUEZ I, A. 1998. Estudio Geomorfológico de Moa y sus alrededores adyacentes para la evaluación de riesgos de Génesis tectónica.

46. RODRÍGUEZ S., V. E. 1985. Materiales serpentiniticos en la construcción de presas de materiales locales Presas Moa. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Moa. Trabajo de Diploma. 61 p.

47. ROJAS P., A., OROZCO, G., VERA, O., ARDERÍ, A. 2005. Caracterización mineralógica de los perfiles lateríticos del yacimiento Punta Gorda. I CONVENCIÓN CUBANA DE CIENCIAS DE LA TIERRA. Abril 2005. La Habana. ISSN: 0258 5979.

48. SANCHEZ R., F. 1990. Introducción a las técnicas de construcción. La Habana.

49. SERPENTINITA DE MANZANILLO. 1997. [en línea]. PDVSA-INTEVEP.
<<http://www.pdvsa.com/>>, [Consulta: 20 enero, 2008].

50. SORO, P. M. 2000. Materiales para la construcción. Federación de Rusia. Moscú Oficina Comercial de España.



51. TAGGART, A. F. 1972. Handbook of Mineral Dressing. Edición Revolucionaria. La Habana.
52. TERTRE, J. 2007. Informes de la Construcción, Vol 59, No 506. <<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/518/592>> [Consulta: 20 enero, 2008].
53. TORRENS B., R. y SOTO G., I.D. 1983. Materiales de Construcción. Editorial Pueblo y Educación.