



**Ministerio de la Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Dr. Antonio Núñez Jiménez
Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento de Metalurgia**



*ESTUDIO DE LA PREPARACIÓN MECÁNICA DE LOS MINERALES
SERPENTINÍTICOS EN TRITURADORAS DE MANDÍBULAS PARA LA
UTILIZACIÓN DE SUS PRODUCTOS EN LA INDUSTRIA DE LOS
MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN.*

Layra del Carmen Jiménez Barthelemis

**Moa, 2008
“Año 50 de la Revolución”**



Ministerio de la Educación Superior

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

Dr. Antonio Núñez Jiménez

Facultad de Metalurgia y Electromecánica

Departamento de Metalurgia

Trabajo de Diploma

En Opción al Título de Ingeniero Metalúrgico

*ESTUDIO DE LA PREPARACIÓN MECÁNICA DE LOS
MINERALES SERPENTINÍTICOS EN TRITURADORAS DE
MANDÍBULAS PARA LA UTILIZACIÓN DE SUS PRODUCTOS EN
LA INDUSTRIA DE LOS MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN.*

Autor: Layra del Carmen Jiménez Barthelemis

Firma -----

Tutores: Dr.C. Pedro E. Beyris Mazar.

Firma -----

Dr.C. Carlos Alberto Leyva Rodríguez.

Firma -----

Moa, 2008
“Año 50 de la Revolución”

Dedicatoria

Dedico este trabajo de diploma a las personas que más quiero y aprecio en la vida, 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, de los cuales siempre estaré orgullosa. A mi hermano por todo el amor que le tengo y por la dicha de tener un hermano como él que a pesar de nuestras diferencias siempre será mi mayor amor. A mi novio por su amor incondicional, su comprensión y por todo el cariño y amor que siento por él. 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.

Agradecimientos

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

A la Revolución Cubana por el privilegio de permitir prepararme y forjarme como profesional.

A mis padres Leonardo Jiménez Marzo y María Juana Barthelemis Azahares por ser la razón de mi existencia, a los que le debo todo lo que soy y seré el día de mañana, por su confianza depositada en mí, por apoyarme y aconsejarme siempre de que en el mundo no hay nada inalcanzable y que solo triunfa en la vida aquel que es capaz de sacrificarse por obtener lo que desea, le doy gracias a la vida por permitirme tener unos padres como ellos.

A mi hermano Leonys Jiménez Barthelemis por su amor infinito, por ser la persona que más quiero en la vida, por su preocupación en la culminación de este trabajo, al cual exhorto a que continúe sus estudios para que sea un hombre de bien.

A mi novio Yendry Mora Foster por su amor incondicional, su confianza depositada en mí, por estar siempre presente en los momentos que más lo necesité y por su paciencia en estos cinco años en los cuales compartió los buenos y malos momentos de mi vida.

A mis Tutores Ing. Roger Samuel Almenares Reyes, Dr.C. Pedro Enrique Beyris Mazar, Dr.C. Carlos Leyva Rodríguez por su ayuda y preocupación en la realización de este Trabajo de Diploma.

A todos los profesores del Departamento de Metalurgia y en especial al Dr.C. Eulicer Fernández Maresma por su apoyo, preocupación y sobre todo paciencia en la realización y culminación de este Trabajo de Diploma.

A los compañeros del laboratorio de materiales de construcción de la Empresa de Reparaciones y Construcciones del Níquel (ECRIN), a los que me brindaron su apoyo incondicional, en especial a los compañeros Modesto, Camilo, Amaury, Liens y María.

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

A mi cuñada María del Carmen por su confianza y sus sabios consejos, la cual es para mí una amiga.

A mis amistades y compañeros de la universidad los que siempre me brindaron su ayuda, y estuvieron prestos a dar su mano amiga cuando más los necesitaba, en especial a: Maricela Guilarte Mariño, Luis Ledesma Peña, Jorge Yannier Nieves Hernández, Henry Pantoja Santiesteban, Alexander Rodríguez Guerrero, Yanet Caballero Noa, Yulia Nela Estévez Girón, Carlos Frómata Cardero, Gilber Escalona Tamayo.

A todos muchas gracias

RESUMEN

El propósito de este trabajo está basado en el estudio de la preparación mecánica del material serpentínico rechazado en el Taller de Secadero de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”, en trituradores de mandíbulas para la posible utilización de sus productos en la Industria de los materiales de la construcción. Se evaluaron las características físicas – mecánicas de los materiales serpentínicos para su uso como materiales de construcción. Se determinaron las características típicas de las trituradoras de mandíbulas TQ - 320 x 165 y TQ - 150 x 75. Se evaluó la alternativa tecnológica de preparación mecánica, de los residuos serpentínicos para la posible utilización de sus productos en la industria de materiales de construcción.

Se realizó un análisis de los antecedentes y estado actual del tema para conocer el comportamiento de las investigaciones con respecto al tema. Se realizaron ensayos destinados a conocer las principales propiedades geométricas y físico- mecánicas de los áridos, teniendo en cuenta los aspectos que podrían imposibilitar el uso de este material serpentínico como áridos.

Palabras Claves: Preparación mecánica. Residuo serpentínico. Trituradora de mandíbulas. Materiales de construcción.

ABSTRACT

The purpose of this work is based on the study of the mechanical preparation of the material serpentínico rejected in the Rotary Driers of the Company "Major Ernesto Che Guevara", in crushers of jaws for the possible use of its products in the Industry of the construction materials. The physical characteristics were evaluated - mechanical of the material serpentínicos for their use as construction materials. The typical characteristics of the Jaws crusher TQ - 320 x 165 and TQ - 150 x 75 was determined. The technological alternative of mechanical preparation was evaluated, of the residuals serpentínicos for the possible use of its products in the industry of construction materials.

It was carried out an analysis of the antecedents and current state of the topic to know the behaviour of the investigations with regard to the topic. Realization rehearsals dedicated to know the geometric and physical main properties - mechanical of the arid ones, keeping in mind the aspects that could disable the use of this material serpentínico like arid.

Key words: Mechanical preparation, serpentine residual, jaws crusher, construction Materials.

ÍNDICE

Pág.

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS Y MARCO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1. 1. ESTADO DEL ARTE.....	16
1. 2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	19
!ESPECIFICACIÓN DE CARÁCTER NO VÁLIDA	
1. 4. COMPORTAMIENTO DE LAS EXPLOTACIONES DE PIEDRA Y ARENA A NIVEL NACIONAL.....	21
1. 5. TRANSFORMACIONES EN LA EXPLOTACIÓN DE LOS YACIMIENTOS.....	25
1. 6. LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA REGIÓN ORIENTAL.....	25
1. 6. 1. <i>La producción de áridos en el municipio de Sagua de Tánamo.....</i>	<i>25</i>
1. 6. 2. <i>Consumo de materiales de construcción por el municipio de Moa en el</i>	<i>27</i>
<i>año 2006.....</i>	<i>27</i>
1. 7. PRINCIPIO DE SELECCIÓN DE LOS ESQUEMAS DE FRAGMENTACIÓN.....	29
1.7.1. <i>Reglas para elegir los esquemas de trituración.....</i>	<i>31</i>
1.8. PRINCIPIOS GENERALES PARA LA ELECCIÓN Y EL CÁLCULO TECNOLÓGICO DE LA MAQUINARIA.....	32
1. 8.1. <i>Elección de la maquinaria para la fragmentación.....</i>	<i>33</i>
1.8.1.1. Fragmentación de materiales duros y de dureza media.....	33
1.8.1. 2. Fragmentación de materiales blandos y frágiles.....	35
1.9 CARACTERÍSTICAS DE LAS TRITURADORAS DE MANDÍBULAS.....	36
CONCLUSIONES PARCIALES.....	38
CAPÍTULO II. MATERIALES Y ÉTODOS.....	40
INTRODUCCIÓN.....	40
2.1. CARACTERÍSTICA DE LA MATERIA PRIMA.....	40
2.1.1. <i>Composición química.....</i>	<i>40</i>
2.2. TOMA Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	44
2.3. CARACTERIZACIÓN GRANULOMÉTRICA DEL MATERIAL.....	46
2.4. PROCESO DE REDUCCIÓN DE TAMAÑO.....	47
2.5. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LAS TRITURADORAS.....	48
2.6. ESQUEMA TECNOLÓGICO.....	49
2.7. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES GEOMÉTRICAS, FÍSICOS - MECÁNICOS, QUÍMICAS Y DE ALTERABILIDAD.....	51
2.7.1. <i>Ensayos para la determinación de las propiedades geométricas.....</i>	<i>51</i>
2.7.1.1. Determinación de la granulometría de las partículas, según la NC 178: 2002. Áridos.....	51
2.7.1.2. Determinación del contenido de partículas planas y alargadas, según la NC 189: 2002. Áridos gruesos.....	52
2.7.1.3. Determinación del material más fino que 0. 074 mm, según la NC 182: 2002. Áridos.....	55
2.7.1.4. Determinación de las impurezas orgánicas, según la NC 185: 2002. Arena.....	55
2.7.2. <i>Ensayos para la determinación de las propiedades físico- mecánicas de los áridos.....</i>	<i>56</i>
2.7.2.1. Determinación del peso específico y absorción de agua, según la NC 187: 2002. Árido grueso.....	56
2.7.2.2. Determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión.....	62
CONCLUSIONES PARCIALES.....	63
!Introducción.....	65
3.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN GRANULOMÉTRICA DE LOS MATERIALES OBJETO DE ESTUDIO.....	65
3.2 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS AL MATERIAL SERPENTINÍTICO PARA SU USO COMO ÁRIDO EN LA CONSTRUCCIÓN.....	70
3.3 RESULTADOS DE LAS CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LAS TRITURADORAS DE MANDÍBULAS.....	75
3.4 RESULTADOS DE LA PROPUESTA DEL ESQUEMA TECNOLÓGICO.....	77
3.4.1 <i>Resultados de la metodología empleada para el cálculo del esquema de fragmentación.....</i>	<i>78</i>
CONCLUSIONES PARCIALES.....	79
CONCLUSIONES.....	73
RECOMENDACIONES.....	74
BIBLIGRAFÍA.....	75
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

Los materiales utilizados en la construcción son muy diversos, desde la arcilla para la fabricación de cementos, de ladrillos y de otros productos moldeados en frío o productos cerámicos sometidos a cocción, hasta los áridos (arenas, gravas, piedra para sillería y escollera de gran tonelaje para presas y escolleras para obras marítimas).

Los áridos son materiales insustituibles para la sociedad actual, ya que se emplean en cantidades muy importantes en todos los ámbitos de la construcción, ya sea en vías de comunicación y en obras de infraestructura.

Se conoce con el nombre popular de áridos, a los materiales minerales, sólidos inertes, que con las granulometrías adecuadas, se emplean en la fabricación de productos artificiales resistentes. Por extensión, también se llaman áridos a los materiales granulares rocosos que se emplean en los firmes de carreteras con o sin adición de elementos activos, al balasto empleado en vías de ferrocarril y a las escolleras para protección de obras portuarias, ríos y canales. (http://www.canterasare.com/es/aridos_izda.htm)

Sería imposible imaginar la industria de la edificación y transporte, sin el recurso de utilizar masivamente los áridos, los cuales son la materia prima más utilizada por el hombre después del agua.

Los áridos son sin duda la materia prima básica para el desarrollo de las construcciones. La cantidad de estos recursos no es escasa a nivel global. Sin embargo, pueden llegar a ser insuficientes en determinadas áreas por diversas razones. Es cerca de las ciudades donde se necesitan, pudiéndose dar el caso de no existir depósitos con recursos suficientes, por agotamiento progresivo de los originales o por indisponibilidad de los remanentes como consecuencia de una ordenación del territorio o desarrollo urbano mal planificado. En algunos lugares, los áridos artificiales de trituración pueden llegar a sustituir parcialmente o a complementar a los materiales granulares de origen natural. La dispersión de los áridos puede llegar a tener alto impacto en los costos de construcción.

La reducción de la disponibilidad de recursos en algunos países está produciendo la importación de áridos (Estados Unidos, Venezuela, Australia y otros países de Asia, Europa y Centroamérica), algo impensable hace algunos años. Los precios medios de los áridos siguen en alza.

Para fabricar 1 m³ de hormigón son necesarias entre 1,8 y 1,9 toneladas de áridos, para una vivienda unifamiliar entre 100 y 300 toneladas, para un colegio de tamaño medio o un hospital entre 4 000 y 15 000 toneladas, para un kilómetro de vía férrea unas 1 000 toneladas y para un kilómetro de autopista unas 30 000 toneladas. (Fernández Aller, F. 2003).

Según el informe de las Naciones Unidas sobre el hábitat, la población urbana crecerá de 2 860 millones en el 2000 a 4 980 millones en el 2030. El aumento previsto de 2 000 millones en la población del tercer mundo se producirá en especial en las ciudades, por lo que la demanda de materiales de construcción no tendrá precedente en esos países, de similar forma viene ocurriendo en Cuba, con los diferentes programas sociales que esta desarrollando la Revolución y la gran demanda de materiales de construcción que esto implica.

Los áridos son, por lo tanto, básicos e imprescindibles en la construcción de edificaciones, obras civiles e infraestructuras de cualquier país y, por ello, un indicador muy preciso del estado de su economía y de su desarrollo socioeconómico. (Calvo et al, 2000).

Cuba, al igual que Inglaterra, Japón y otros países de plataforma insular, no cuenta con las condiciones extraordinarias de reservas naturales que existen en los países de plataforma continental como Estados Unidos, Rusia y Europa Central.

Según Sosa, Rosell, y Rodríguez en el 2002, en Cuba, se explotaban 60 canteras a cielo abierto para la obtención de áridos de diferentes granulometrías, destinados a la producción de morteros y hormigones. De forma general, los procesos se estructuran en 13 actividades fundamentales, estas varían en función de la magnitud de la instalación tecnológica y del estado en que se encuentre la materia prima, lo que haría que se

desarrollaran procesos de obtención de áridos en su forma natural o procesos de preparación mecánica y beneficio.

En la mayor parte de las aplicaciones industriales, el empleo de los áridos se justifica en razón a su comportamiento estable frente a la acción química de los compuestos del cemento o a los agentes externos, así como a su resistencia mecánica frente a cargas y vibraciones.

En la región nororiental de Cuba, se encuentran ubicadas una de las mayores reservas lateríticas del mundo, las que hoy en día se explotan solamente para la extracción y procesamiento primario del níquel más cobalto, también en el interior de estas reserva minerales se encuentran grandes cantidades de minerales valiosos con elevada demanda en el ámbito mundial. La explotación minera de estos yacimientos en Cuba, al igual que en todos los países donde esta labor constituye una actividad económica importante, genera un volumen inmenso de residuos sólidos, los que sin dudas, son una de las fuentes de contaminación del ecosistema de la zona.

La introducción de un sistema de beneficio (Clasificación) en la descarga de los hornos de tambor rotatorios para el secado en la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”, con el objetivo de aumentar la eficiencia del proceso con la separación de un mayor volumen de material serpentínico estéril, que anteriormente se enviaba al proceso metalúrgico a pesar de su pobre contenido de níquel con el consiguiente gasto energético y disminución de la eficiencia tecnológica del proceso, ha traído como consecuencia un incremento sustancial de la cantidad de material serpentínico de rechazo, aproximadamente 250 t/día de este material, que aún empleándolo en el mejoramiento de caminos mineros y otros discretos usos, continúan incrementándose y se convierten en un problema de afectación al entorno.

La cantidad de rechazo serpentínico de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” es significativa, pues equivale a un promedio de $2\,745\text{ m}^3$ al mes. Lo cual representa un total de $32\,940\text{ m}^3$ al año; teniendo en cuenta que este material posee ya un beneficio mecánico importante, pues oscila en su tamaño entre 10 y 150 mm y que la producción de una planta de áridos convencional (Ejemplo, Sagua de Tánamo, Pílon) produce

anualmente alrededor de 20 000 m³, se puede comprobar la presencia de un depósito potencial artificial de materiales de construcción, que a la vez, son considerados desechos por esta industria y que se contribuye a buscar un empleo para él. (Leyva, 2007 et al).

La serpentina es utilizada generalmente como roca ornamental que abarca diversos usos, sobre todo, en la construcción, con fines decorativos o estructurales.

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 con estos objetivos, lo cual sin lugar a dudas puede tener en esta dirección una importancia especial para el país. (Leyva, 2007 et al).

En la actualidad 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 positivamente. Los ensayos realizados se encuentran en los trabajos (Céspedes, 2007 y Lueges, 2008).

Leyva, 2007 et al plantean que un aspecto de gran importancia es el hecho de que actualmente se cuenta con una planta de beneficio en el municipio que fue paralizada durante el cierre de la minería de las cromitas y que brinda las condiciones requeridas para convertirla en una planta de áridos para abastecer al municipio de Moa.

Otra perspectiva estaría relacionada con el rechazo serpentinitico de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”, es un material que está menos contaminado de material laterítico y posee una granulometría menor que el de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”. Puede representar también otra fuente importante de áridos para el municipio y provincia.

Los materiales de construcción constituyen una línea de investigación y una tarea priorizada del país. Las arenas y piedras trituradas son productos que se obtienen de los

ríos realizando su elaboración en las instalaciones procesadoras destinadas a ello. La gran demanda de materiales conlleva a la constante explotación, así como a la proyección e instalación de nuevos equipos.

Los principales equipos que definen el proceso tecnológico en la producción de arena y piedra, lo que constituyen equipos de recepción y almacenamiento, como clasificación y lavado, trituradoras, transportadores entre otros. Estas instalaciones deben garantizar alta productividad y bajos costos.

Atendiendo a la actual situación económica por la que está atravesando el país, la cual exige la búsqueda de materias primas, así como de métodos, vías y soluciones para lograr abastecer (total o parcial), a los consumidores industriales, y sufragar las demandas locales, y buscar soluciones al desequilibrio generado en el ecosistema producto de la explotación de los yacimientos lateríticos. Es imprescindible e inminente la necesidad de poner en explotación una instalación para la obtención de áridos a partir de la utilización de la materia prima presente en la región, como el residuo serpentinitico de la Empresa "Comandante Ernesto Che Guevara", debido a que constituye uno de los municipios de mayor demanda de áridos del país, posee una gran demanda de materiales para la construcción de obras sociales, viviendas y otros proyectos que desarrolla la industria del níquel en Moa que no se garantiza en la localidad.

Actualmente los áridos para la construcción en el municipio de Moa se transportan desde la planta de Miguel y la del Jobo (ubicada aproximadamente 45 Km), Pílon de Mayarí (ubicada aproximadamente 108 Km) y en ocasiones de Buena Ventura y Gibara distante a más de 220 Km. Actualmente el Proyecto de expansión de la Empresa "Comandante Pedro Sotto Alba" importa esta materia prima desde la República Dominicana por el escaso volumen de estos materiales en la región.

La necesidad de incrementar la producción de áridos, impone la instalación de nuevas procesadoras de áridos y conlleva a adquirir en el territorio muchos de los equipos. Además la caracterización de los parámetros tecnológicos de los diferentes equipos a utilizar en una planta de preparación mecánica y beneficio, ha demostrado que para alcanzar eficiencia y eficacia en el proceso tecnológico de materiales áridos, es necesario

la introducción de nuevos métodos y técnicas para disminuir los altos consumos energéticos, el costo de explotación, eficiencia de la actividad de mantenimiento y reparación, y aumentar el aprovechamiento de la capacidad de trabajo del equipamiento.

El Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, en colaboración con otros centros, especialmente el Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción lleva a cabo un amplio programa con el objetivo de que el país logre que cada municipio se pueda autoabastecer de áridos.

En el municipio de Moa la carencia de estos materiales es grande debido al agotamiento de las fuentes suministradoras de áridos con que contaba el municipio. Producto a la ausencia de estos materiales, se lleva a cabo un estudio para la utilización de las serpentinitas residuales del proceso metalúrgico de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” como áridos para la construcción.

Problema:

Desconocimiento de la preparación mecánica de los residuos serpentiniticos del Taller de Secaderos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” en trituradores de mandíbulas para la utilización de sus productos como materiales de construcción.

Objetivo:

Estudiar la preparación mecánica del material serpentinitico rechazado en el Taller de Secaderos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” en trituradores de mandíbulas para la posible utilización de sus productos en la Industria de materiales de construcción.

Objetivos específicos:

1. Evaluar las características físicas, y físico – mecánicas de los materiales serpentiniticos para su uso como materiales de construcción.

2. Determinar las características típicas de trituración para el material serpentinitico rechazado en el Taller de Secaderos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” en las trituradoras de mandíbulas 320 x 165 y 150 x 75.
3. Evaluar la alternativa tecnológica de preparación mecánica de los residuos serpentiniticos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” para la posible utilización de sus productos en la industria de materiales de construcción.

Objeto de estudio:

Residuos serpentiniticos del Taller de Secaderos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.

Campo de Acción:

Preparación mecánica en trituradores de mandíbulas de los residuos serpentiniticos del Taller de Secaderos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”.

Hipótesis

El estudio de la alternativa de preparación mecánica en trituradores de mandíbulas para el tratamiento de los residuos serpentiniticos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” permitirá determinar, la posible utilización de sus productos en la Industria de Materiales de Construcción.

Tareas a realizar

1. Recopilación y análisis de trabajos relacionados con los materiales de construcción y el estudio de la serpentina como material de construcción.
2. Caracterización de la materia prima desde el punto de vista físico (granulométrico y mineralógico) y químico.
3. Ensayos de preparación mecánica en trituradores de mandíbulas.
4. Determinación de las características típicas de las trituradoras de mandíbulas 320 x 165 y 150 x 75.
5. Ensayos físicos – mecánicos de los residuos serpentiniticos.

CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS Y MARCO REFERENCIAL DE LA INVESTIGACIÓN

1. 1. Estado del Arte

A nivel mundial se han reportado la explotación de minerales 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 Campomarzo, propiedad de Explotación Minera Campomarzo S.A., que extrae y machaca unas de 300 000 t/año de áridos, destinados a balasto de ferrocarril y obras públicas.

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

Se ha reportado que en España en el municipio de Moeche, existe una explotación de serpentina (formada por metamorfismo de rocas ultrabásicas), llamada cantera Penas Albas, cuya producción (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.

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

En la parte general del trabajo se expone el resultado de un análisis detallado de los materiales de archivo y de las investigaciones realizadas para la utilización del material serpentínico como base de las obras hidráulicas y para su empleo como material de construcción. Abordó además la clasificación de las rocas y su composición química y mineralógica, así como los resultados de las investigaciones geológicas realizadas para el diseño de presas locales en los cuales se han empleado materiales serpentínicos.

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

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 a un rechazo de serpentinitas no menor del orden de 200 000 m³ al año.

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

donde se demuestra la factibilidad de empleo de estas rocas como áridos para obras sociales del Gobierno en hormigones hasta 30 MPa.

Montero, en el 2007 en su trabajo, "Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentínico 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 serpentínico 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. "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 Telles 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, al igual que se intentan diseñar algunos de los equipos componentes del proceso tecnológico de producción de áridos, donde se tienen en cuenta materias primas tales como vidrio volcánico, aluviones y materiales serpentínicos rechazados en el proceso CARON de La Empresa "Comandante Ernesto Che Guevara".

En el 2007, León y otros en el trabajo "Propiedades de la Menas Niquelíferas del yacimiento Punta Gorda". Interrelación con la cadena productiva y beneficio de las mismas, presentado y discutido en la Segunda Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, se demuestran los beneficios físicos mecánicos que recibe el mineral durante los

eventos que ocurren en el proceso industrial. Recoge además, las características granulométricas y la composición química del rechazo serpentinitico para las siguientes clases de tamaño: +12 -18; +18 - 25; +25 - 50 y mayores de 50 mm.

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

1. 2. Características generales de los materiales de construcción.

Los materiales constructivos pueden ser clasificados según su origen en:

1. **Materiales pétreos naturales** (rocas de todo tipo);
2. **Materiales pétreos artificiales** (piedra artificial, cerámicas, vidrios...);
3. **Materiales aglomerantes** (cales y cementos) y aglomerados (hormigones);
4. **Materiales metálicos** (hierro, acero...);
5. **Materiales orgánicos** (madera, corcho...);
6. **Materiales plásticos.**

Las rocas constituyen materiales de construcción tradicionales utilizados desde tiempos prehistóricos y forman parte de los materiales pétreos naturales. Son adecuadas para la construcción, todas aquellas que por sus condiciones de compacidad y dureza son aptas para ser talladas. Existen muchas variedades, siendo las más habituales la arenisca, granito y la caliza, entre otras.

Entre los materiales pétreos artificiales se cuenta la propiamente denominada piedra artificial, muy usada en la construcción, de propiedades y aspecto análogo a algunas piedras naturales, formando bloques de hormigones compuestos de cemento y arena, gravilla, etc. El ladrillo, situado también en este grupo, pertenece a la rama de la tejería o de los productos cerámicos que adquieren consistencia por procesos físicos como la cocción. Es una masa de arcilla cocida, en forma de paralelepípedo rectangular, que posee destacadas cualidades de resistencia, rigidez y duración. También el vidrio

pertenece al grupo de los materiales pétreos artificiales, según la clasificación de Orus Asso, obteniéndose por la fusión de ciertos óxidos.

Los materiales aglomerantes son aquellos que tienen la propiedad de adherirse unos a otros y se usan en construcción para unir los materiales, para recubrirlos o bien para formar pastas llamadas morteros u hormigones que pueden extenderse o disponerse en moldes, encofrados, que al secarse adquieren el estado sólido. Entre los más habituales figuran la cal, el cemento, el yeso, etc.

El primer aglomerante utilizado en la historia fue la arcilla y en los países cercanos al Mar Muerto (Asiria, Babilonia...), el betún. La cal, óxido de calcio, es una sustancia que al contacto con el agua se hidrata y que al mezclarla con arena forma la argamasa o mortero.

El cemento es un compuesto natural o artificial formado a base de cal cocida y pulverizada mezclando un aglomerante, el cemento, con arena, grava o piedra machacada y agua, se obtiene el hormigón. Para darle forma se utilizan unos moldes de madera o metálicos, encofrados, dentro de los cuales se seca y adquiere las características de un bloque sólido. Estos bloques deben ser incluidos en el grupo de materiales aglomerados, materiales obtenidos por moldeo de una sustancia granulada. El hormigón ya se utilizó en Asia y Egipto. En Grecia existieron acueductos y depósitos de agua hechos con este material, y en Roma se empleó en la construcción de las grandes obras públicas. Antes del descubrimiento del cemento (siglo XIX) se usaban como aglomerantes las cales grasas e hidráulicas.

Debido a que la temática de este trabajo está orientado a la aplicación de los materiales serpentínicos como árido, creemos conveniente destacar que 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. (Lueges, 2008).

1. 3. Características generales de los materiales serpentínicos

Los materiales serpentínicos son el producto resultante del proceso de metamorfismo de las rocas ultrabásicas. Dentro de la clasificación de las rocas ultrabásicas en Cuba, han sido reportadas las siguientes:

- Dunitas
- Hazburgitas
- Lherzolitas
- Wehrlitas
- Piroxenitas

Estas rocas se encuentran ampliamente distribuidas, formando una franja a lo largo de toda la costa norte de la isla, alcanzando extensión de 900 Km.

Además de su abundancia en todo el territorio nacional, con ellos se relacionan diversos proyectos constructivos con amplias perspectivas para el desarrollo económico del país en la ejecución de obras hidráulicas.

Debido al gran interés que se le atribuye a los áridos como material de construcción, en este trabajo se hará énfasis en sus características más generales en lo que respecta a composición química, mineralógica, dureza, etc.

Las rocas ultrabásicas atendiendo a su composición química se caracterizan por presentar muy bajos contenidos de sílice (menor de 45 %) encontrándose dentro de este grupo las peridotitas y piroxenitas.

Con respecto a su composición mineralógica están compuestas por olivino y piroxenos. Por lo que, las rocas ricas en olivino reciben el nombre de peridotitas, aunque en algunos petrógrafos excluyen a la dunita y denominan peridotitas a las mezclas con piroxeno.

1. 4. Comportamiento de las explotaciones de piedra y arena a nivel nacional

La producción de áridos en nuestro país dentro del Período de Construcción del Socialismo, ha estado vinculada a este de manera directa. Antes del triunfo de la Revolución no existía una industria dedicada a esta especialidad, lo cual frenaba su desarrollo desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo y por consiguiente ejercía gran influencia en el desarrollo tecnológico y en el grado de modernización de los medios empleados para su obtención determinante en el proceso económico – productivo que se iniciaba.

La importancia de la construcción en la economía nacional es evidente y mucho más para un país en vías de desarrollo, donde la ejecución de todo tipo de construcción, ya sean edificios o instalaciones industriales, construcciones de carácter social (viviendas, escuelas, carreteras, ferrocarriles, etc.), constituyen un importante apoyo para un sostenido despegue económico y más aún en la economía socialista cuyo desarrollo tiene como objetivo mejorar y transformar la base material de vida de toda la sociedad.

Es por esto, que nuestro país ha trazado toda la estrategia que durante años se ha venido ejecutando en el desarrollo de la construcción, su modernización, mecanización y el desarrollo aparejado y necesario de la industria de materiales.

Las curvas de su desarrollo son totalmente identificables con las del desarrollo de nuestra nueva sociedad como se muestra en la figura 1, donde se puede apreciar el comportamiento de las inversiones en la industria de los materiales de la construcción.

Eso se explica por la relación directa que existe sin lugar a dudas entre la producción del hormigón y la forma contemporánea de hacer las construcciones y por la relación, también existente entre el desarrollo de las construcciones y el desarrollo de la comunidad.

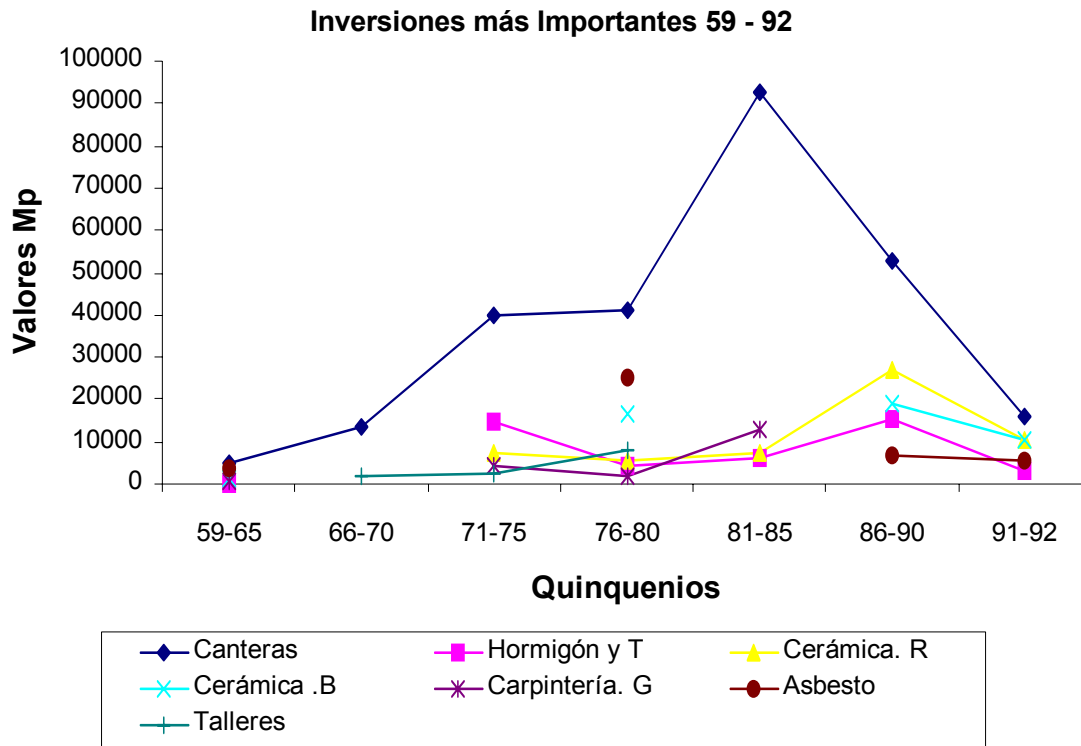


Figura 1.1 Comportamiento de las inversiones en la industria de materiales de construcción. Fuente: Grupo Empresarial de la Industria de la Construcción. (GEICON)

El hormigón es uno de los elementos que caracteriza el desarrollo mundial contemporáneo y seguirá presente en las construcciones, quiérase o no, por lo menos un siglo más.

El hormigón es, en su conjunto y relativamente:

- ⇒ Duradero ante el deterioro bioclimático; su duración sobrepasa la de una generación productivamente activa.
- ⇒ Seguro ante los fenómenos atmosféricos y los de la corteza terrestre; es la tecnología constructiva que más universalmente los enfrenta a todos proporcionalmente, con los mejores resultados.
- ⇒ Tecnológicamente es fácil y barato de producir. Su producción se corresponde con los gastos soportables por la mayor cantidad de los grupos económicos que existen en la sociedad mundial contemporánea.

- ⇒ Sus componentes son de fácil adquisición local. La batalla por hacer sostenibles energéticamente los gastos actuales del transporte no son solo un problema cubano, sino mundial.
- ⇒ Es el material más conocido por la sociedad. Este conocimiento, académico y popular, cuenta con el respaldo de la práctica de los seres humanos que lo han producido en la etapa de la mayor y más explosiva evolución científica que haya experimentado la Humanidad, jamás.

Como se conoce el hormigón se produce por la mezcla sencilla del cemento, los áridos y el agua que son sus materias fundamentales. De todas ellas la de mayor volumen son los áridos.

Por tanto, la sostenibilidad del hormigón en el escenario constructivo futuro dependerá, fundamentalmente, del uso racional que hagamos de esta materia prima, de la disminución de los gastos en que incurramos para la obtención de ella y de la forma que estos áridos permitan la producción de hormigones con las prestaciones solicitadas por la construcción actual. En la figura 2 se aprecia la serie histórica de la producción de arena y piedra a nivel nacional antes del Período Especial.

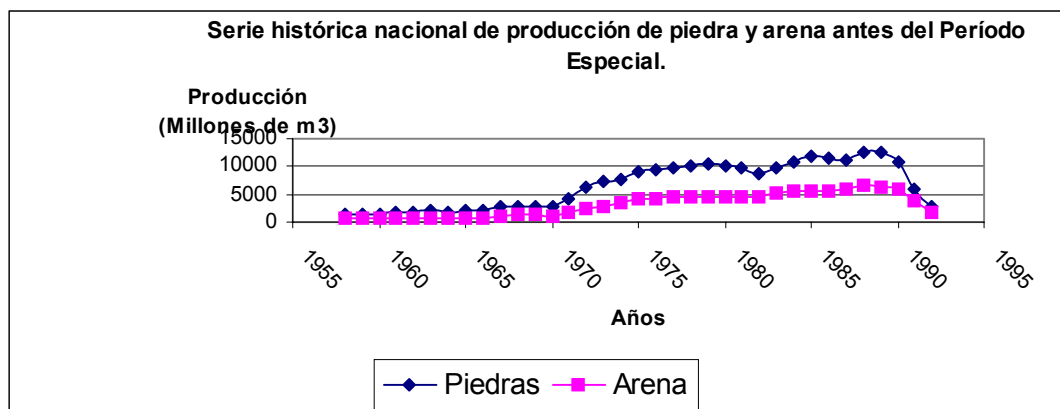


Figura 1. 2. Serie histórica de producción de piedra y arena a nivel nacional antes del Período Especial. Fuente: Centro técnico de materiales de construcción (CTDMC).

En los años más duros del Período Especial estas producciones llegaron a ser inferiores a los 4 millones de metros cúbicos de piedra y arena sumados.

1. 5. Transformaciones en la Explotación de los Yacimientos.

En los últimos 15 años, se han operado importantes transformaciones de manera generalizada en las técnicas de la explotación de las canteras en el mundo y muy en particular nuestro país.

La combinación de producciones regionales en grandes yacimientos conocidos, con la explotación incluso por primera vez con carácter industrial de pequeños yacimientos locales, es un rasgo que está caracterizando el programa actual de reconstrucción de la industria de los áridos.

En el período de 1976 – 1980, la industria de los materiales de construcción estuvo impelida por el auge impetuoso del sector de la construcción, el cual alcanzó un gran desarrollo, obteniéndose altos ritmos de producción en la mayoría de los renglones, aunque es conveniente aclarar que aún no están satisfechas las crecientes demandas en el país. En la actualidad la industria de materiales de construcción realiza un conjunto de inversiones tendentes a aumentar la elaboración de los productos necesarios para mantener el ritmo de construcciones del país. Por esta razón se construyen y se amplían canteras, areneras, las fábricas de cemento, prefabricados, cerámicas y otros materiales complementarios, que provienen del trabajo de las canteras de las cuales se extrae la materia prima para la industria de los materiales de la construcción. Es evidente entonces, que las fuentes de materias primas más comunes son las canteras de áridos, que son utilizadas para la fabricación de hormigones.

1. 6. La producción de materiales de la construcción en la región oriental

Actualmente con el programa de reanimación de la industria de materiales de construcción, en la región oriental se consumen aproximadamente más de un millón de m³ de materiales áridos para la construcción según estimados realizados.

1. 6. 1. La producción de áridos en el municipio de Sagua de Tánamo.

En este epígrafe se muestra la producción de materiales de la construcción en el municipio de Sagua de Tánamo, la misma fue realizada en el año 2006 como se aprecia

en la Tabla 1.1. en la cual se establece una comparación entre las Plantas “el Jobo” y la “Comandante Pinares” respectivamente.

Tabla 1. 1 Producción de materiales de construcción de Sagua de Tánamo en el año 2006.

Planta	Arena (m ³)	Piedra (m ³)	Polvo de Piedra (m ³)	Total (m ³)
“El Jobo”	21172	16486	-	37658
“Comandante Pinares”	10172	30192	67	40431
Totales	31344	46678	67	78089

Fuente: UEB “El Jobo”, “Cte. Pinares”

Los precios de los diferentes productos o agregados que integran los materiales de construcción, según las Unidades Básicas Empresariales: El Jobo y la Comandante Pinares se muestran en las tablas 1.2 y 1.3. respectivamente.

Tabla 1.2. Productos y precios. UEB “El Jobo”.

Productos	U/M	MN	CUC	Total
Arena	m ³	3.16	6.61	7.97
Grava 3/8	m ³	3.26	6.17	9.43
Grava 3/4	m ³	2.96	6.47	9.43
Grava 1 1/2	m ³	0.75	7.55	8.03
Bloques 10 cm	U	0.26	0.14	0.40
Bloques 15 cm	U	0.40	0.22	0.62
Bloques 20 cm	U	0.48	0.27	0.75
Celosías	U	0.98	1.35	2.33
Losas hexagonales	U	1.07	2.01	3.08

Fuente: UEB “El Jobo”.

Tabla 1. 3 Productos y precios. UEB “Comandante Pinares”

Productos	U/M	MN	CUC	Total
Arena	m ³	4.88	3.84	8.72
Polvo de piedra	m ³	3.04	6.57	9.61
Grava 3/4	m ³	2.96	6.47	9.43
Grava 1 1/2	m ³	0.75	7.55	8.03
Bloques 10 cm	U	0.26	0.14	0.40
Bloques 15 cm	U	0.40	0.22	0.62
Bloques 20 cm	U	0.48	0.27	0.75
Mosaicos	U	0.34	0.19	0.53
Rodapiés	U	0.25	0.08	0.33
Losas hexagonales	U	1.07	2.01	3.08

Fuente: UEB “Comandante Pinares”

1. 6. 2. Consumo de materiales de construcción por el municipio de Moa en el año 2006.

Los materiales de construcción deben poseer requisitos mínimos para conformar las obras, lo que significa que la primera condición la constituyen las propiedades técnicas intrínsecas de cada uno de ellas. Entre las principales propiedades se encuentran la resistencia mecánica, es decir la capacidad de una sustancia o cuerpo para resistir según su composición, forma y tamaño determinadas tensiones (esfuerzos internos que tratan de oponerse a las fuerzas externas que se le aplican al cuerpo) en un lugar específico de una construcción. Como ejemplo de esta propiedad se encuentra la dureza, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión. En segundo lugar se encuentran las propiedades que se refieren a la capacidad del material para resistir la acción de los agentes con los cuales va a estar en contacto la construcción o una parte de ella, como pueden ser: la atmósfera en sus diversas composiciones relativas, las aguas en sus diversas formas y otros líquidos, gases o sólidos que pueden ponerse en contacto o estar contenidas en ellas.

Algunas de estas propiedades son la porosidad, la capilaridad, permeabilidad, resistencia a agentes químicos, las propiedades reológicas etc.

En la tabla 1. 4 se muestran los consumos de materiales de construcción en el año 2006 de la Empresa de Construcciones Integrales – 3. En la tabla 1.5 se aprecian las dosificaciones de los materiales áridos para la obtención del Hormigón 200 y en la tabla 1.6 se muestran las dosificaciones de áridos para la preparación de una tonelada de hormigones asfálticos todos referidos al año 2006.

Tabla 1. 4. Consumo de materiales de construcción en el año 2006.

Empresa	Materiales áridos	Consumo total de áridos (m ³)
ECI - 3	Piedra	185 261
	Arena	10 788
	Total	196 049

Fuente: Empresa de Construcciones Integrales ECI – 3.

Tabla 1. 5. Dosificaciones de materiales áridos para la obtención del Hormigón 200.

Producto	Materiales Áridos	Consumo total (m ³)
Hormigón 200	Arena	0.41
	Grava	0.76
Total	-	1.17

Tabla 1.6. Dosificaciones de áridos para la preparación de una tonelada de hormigones asfálticos calientes (HAC).

Una tonelada de asfalto	Arena (m ³)	Polvo de piedra (m ³)	Grava 3/8 (m ³)	Grava 3/4 (m ³)	Total (m ³)
Espesor 0.3	-	0.44	0.30	-	0.74
Espesor 0.4	0.27	0.13	0.13	0.21	0.74
Espesor 0.5	0.15	0.15	0.15	0.30	0.75
Total	0.42	0.72	0.58	0.51	2.23

Fuente: Empresa de Construcciones Integrales ECI – 3

En la tabla 1. 7 se muestran los consumos de materiales de construcción en el año 2006 de la Empresa de Construcción y Reparación de la Industria del Níquel (ECRIN).

Tabla 1.7. Consumo del año 2006 de materiales de construcción.

Empresa	Materiales	Consumo total de áridos (m ³)
ECRIN	Piedra	30 259
	Arena	10 172
	Total	40 431

Fuente: Empresa de Construcción y Reparaciones del Níquel

1. 7. Principio de selección de los esquemas de fragmentación.

Según Rázumov (1982), el esquema de preparación de materiales que contienen las operaciones de fragmentación (machaqueo), cribado y trituración se crean partiendo de las propiedades de las mena, sobre la base de los resultados de investigaciones de la concentrabilidad, las características tecnológica de la maquinaria que es posible aplicar y, además de la experiencia de transformación de materiales con propiedades y composición análogas. En el proyecto de la parte de minería se determina el grosor del material que se envía a la planta, mientras que el grosor del material que llega a la primera etapa de concentración, así como el propio procedimiento de ésta, se establecen en función de los ensayos de concentrabilidad.

Las propiedades físicas de la mena: tenacidad, composición granulométrica, humedad, contenido de arcilla, quebrantabilidad, capacidad de cribado, triturabilidad determinan el procedimiento de quebrantadura (fragmentación), cribado y trituración y los tipos de aparatos para realizar estas operaciones. Influyen también sobre la elección del esquema, las condiciones generales para la realización del proyecto: condiciones climática de la región, procedimiento de explotación del yacimiento, procedimiento de la alimentación de la mena a la planta y otros muchos, por ejemplo, cuando la mena es arcillosa y húmeda, pegajosa y no transportable, es posible que surja la necesidad del lavado de la mena y, en ocasiones, según las condiciones de congelación, su desecación.

A veces, es preciso separar los menudos y el almacenaje independiente de la mena en trozos. Es muy importante conocer los datos de explotación de las plantas de preparación de materiales para la construcción que trabajan empleando menas semejantes a las que se investigan.

Debido a las características del material que se estudia, la fundamentación de los esquemas tecnológicos, que se analizan a continuación, se refieren, principalmente, a las menas tenaces y tenacidad media, para cuyo machacado pueden ser utilizadas quebrantadoras de mandíbulas y de conos.

Las operaciones de quebrantadura se emplean al preparar las menas para su trituración en molinos o bien con el fin de prepararla directamente para las operaciones de concentración, cuando la mena tiene gran concentración, cuando la mena tiene gran diseminación de materiales útiles (o simplemente útiles). En las planta de quebrantar y clasificar, las operaciones de quebrantadura tienen significado independiente.

En los esquemas de quebrantadura se incluyen, por regla, las operaciones de cribado previo y de control. Se relacionan con aquella operación de quebrantadura en que se alimenta el rechazo de la criba.

Las etapas de quebrantadura tienen cuatro variedades:

A - Operaciones de cribado previo, quebrantadura y cribado de control;

B - Operaciones de cribado previo y quebrantadura;

C - Operaciones de quebrantadura y cribado de control;

D - Operaciones de quebrantadura.

En los esquemas de machaqueo se incluyen una, dos, tres y más etapas de quebrantadura.

Para la elección del esquema más racional de quebrantadura, entre una gran cantidad de esquemas posibles, hay que resolver las siguientes cuestiones: el número de etapas de quebrantadura, la necesidad de las operaciones de cribado previo y de control en las etapas aisladas de quebrantadura.

El número de etapas de quebrantadura se determina por la relación del tamaño máximo de los trozos antes de la trituración y el tamaño máximo del producto triturado del material, a esto se le denomina grado de trituración.

El grado total de trituración es igual al producto de los grados de trituración en etapas por separado. Las trituradoras para gruesos, medios y finos permiten obtener de una vez los siguientes grados de trituración:

- Trituradores para gruesos hasta 5.
- Trituradores de conos para medios al trabajar sin cribado de control hasta 6 y al trabajar en ciclo cerrado con cribado de control hasta 8.
- Trituradores de conos para finos al trabajar sin cribado de control de 3 a 5 y al trabajar en ciclo cerrado hasta 8.

1.7.1. Reglas para elegir los esquemas de trituración

Primera regla

- El número de etapas de trituración durante la preparación de las menas debe ser igual a dos o tres.

Segunda regla

- El cribado previo antes de la primera etapa se utiliza raras veces y al hacer uso de él es necesario una fundamentación especial.
- El cribado previo antes de la segunda etapa se prevé, su refutación debe ser argumentada.
- Antes de la tercera etapa siempre se prevé el cribado previo.

Tercera regla

- Para obtener el producto fragmentado del grosor óptimo, la operación de cribado de control deberá ejecutarse.

De acuerdo con las reglas enunciadas para la elección, dos grupos de esquemas pueden ser considerados racionales: uno para obtener el producto de grosor no más de 25 mm y el segundo para productos más finos que 10 – 20 mm.

Las características del grosor de los productos de las quebrantaduras se necesitan para calcular los esquemas de quebrantadura y elección de trituradoras y cribas. En la representación gráfica de la composición granulométrica de los productos fragmentados, por los ejes de las abscisas se traza el grosor relativo que es igual a la razón entre el tamaño de los granos y la anchura de la boca de salida. Mientras que por los ejes de las ordenadas el contenido de las clases más gruesas que el grosor relativo a la izquierda y menos gruesas a la derecha.

Durante la quebrantadura sin cribado de control de menas de dureza media en quebrantadoras de conos para finos, la salida del producto excesivo alcanza el 60 %, mientras que el grosor máximo convencional del producto quebrantado supera 4,5 - 5 veces la anchura de la boca de salida. Al tratar menas duras, la salida del producto excesivo aumenta hasta el 85 %, mientras que el grosor máximo relativo convencional constituye 5,5 para la boca de salida de 5 mm.

1.8. Principios generales para la elección y el cálculo tecnológico de la maquinaria.

Al elegir la maquinaria para la concentración es necesario resolver tres problemas principales: elección del tipo de equipos, definición de su rendimiento, elección de la dimensión óptima del aparato desde el punto técnico económico y la cantidad necesaria de aparatos.

La potencia instalada y consumida, el número de revoluciones y otros índices no se calculan durante la elección de la maquinaria, ya que estos datos se toman de los catálogos de las fábricas constructoras.

En algunos casos, de acuerdo con las condiciones del proyecto, sólo puede ser utilizado un tipo de aparato. No obstante, con frecuencia para realizar una misma operación es posible emplear aparatos de varios tipos. En tal caso, la elección correcta sólo puede ser efectuada basándose en la comparación técnico-económica de diferentes tipos de aparatos.

En el problema de la elección del tipo de aparato desempeña decisivo papel el estudio de los datos prácticos acumulados sobre la explotación de máquinas semejantes, que trabajan en condiciones análogas a las existentes en las fábricas cuyo proyecto se elabora.

1. 8.1. Elección de la maquinaria para la fragmentación

La elección del tipo y la dimensión de las trituradoras para gruesos y medios dependen de las propiedades físicas del mineral, del rendimiento necesario de la trituradora y del grosor del producto fragmentado. Entre dichas propiedades del material tiene importancia la dureza y la viscosidad, la presencia de arcilla, la humedad y el grosor de los trozos mayores.

1.8.1.1. Fragmentación de materiales duros y de dureza media

Para la primera etapa de trituración en grueso se utilizan las trituradoras de mandíbulas o de conos para gruesos, y para la segunda etapa de trituración se emplean trituradoras de cono reductoras. La trituradora elegida deberá asegurar el rendimiento necesario para el grosor del producto fragmentado previsto en el proyecto. La anchura de la boca de entrada de la trituradora debe ser el 10 – 15 % mayor que los trozos más grandes en la alimentación. Durante la elección hay que comparar las trituradoras de mandíbulas y de cono, en lo que respecta a la potencia instalada, masa, coste y comodidad de disposición de la maquinaria.

La dimensión de las trituradoras se elige en los catálogos de las fábricas constructoras. La trituradora de la primera etapa de fragmentación debe ser elegida de tales dimensiones que el rendimiento necesario de las fábricas de preparación de materiales se asegure con una sola trituradora.

La elección del tipo de trituradora se determina principalmente, por la correlación entre el tamaño de los trozos mayores en la alimentación y el rendimiento requerido. Siendo igual la anchura de la boca de entrada, el largo de la boca de salida de las trituradoras de conos es 2, 5 a 3 veces mayor que las de mandíbulas. Por esta causa el rendimiento de las trituradoras de conos es también 2, 5 a 3 veces más elevado que las de mandíbulas, con igual anchura de la boca de entrada. Así cuando la mena es de gran grosor y se dispone de pequeño rendimiento, la trituradora de conos puede resultar cargada insuficientemente. En tal caso es más ventajoso instalar una trituradora de mandíbulas. Y viceversa, siendo grande el rendimiento y relativamente pequeño el grosor de la mena, es más conveniente la instalación de una trituradora de conos.

Además del rendimiento y el grosor de los trozos mayores, al elegir el tipo de triturador hay que tener en cuenta que la estructura de las trituradora de mandíbulas es más sencilla, estas ocupan menor área, tienen menor tendencia al atascamiento al fragmentar menas húmedas y arcillosas están mejor capacitadas para triturar menas viscosas que requieren mayor amplitud de oscilación de las mandíbulas. Pero estas trituradoras exigen alimentación más uniforme por lo que requiere la instalación de alimentadores se adaptan menos a la fragmentación de materiales en placas, sus partes cambiables se desgastan con mayor rapidez que las trituradoras de conos.

Por esta razón si la comparación técnico económica no ofrece claras ventajas de las trituradoras de mandíbulas deberán instalarse trituradoras de cono.

La fragmentación media y menuda de menas duras y de dureza media se realiza en las trituradoras para medios y menudos. Las trituradoras se eligen en catálogos y manuales. Como en los catálogos se aduce el rendimiento para la mena media deben introducirse correcciones para la triturabilidad, la densidad de relleno y el grosor de la mena.

1.8.1. 2. Fragmentación de materiales blandos y frágiles

Para la fragmentación gruesa, media y fina se utilizan trituradoras de uno y dos cilindros dentados o estriados, trituradores de martillos y de rotor, desintegradores. Las trituradoras de dos cilindros dentados están destinadas a la fragmentación media y gruesa del carbón bruto y los esquistos con mezclas de ganga en grandes trozos, con coeficientes de tenacidad menores de 4 – 6 (según Protodiákonov). También se emplean para triturar menas blandas como el manganeso. En comparación con las trituradoras de otros tipos, las de cilindros dentados forman menor cantidad de menudos. Dichas máquinas se fabrican de dos tipos de alta y baja velocidad. Las primeras se utilizan para la fragmentación de géneros más duros de carbones de piedra, mientras que las segundas, para sus variedades más blandas. Las trituradoras de baja velocidad proporcionan menor fragmentación excesiva que las de alta velocidad y por esta razón se utilizan cuando la limitación de la trituración tiene particular importancia.

De acuerdo con las condiciones de agarre, el diámetro de los cilindros debe ser 1.85 – 3.5 veces mayor que el tamaño de los trozos máximos en la alimentación y para el grado de trituración de 2.5 – 4.

Las trituradoras de martillos y los desintegradores proporcionan mayor fragmentación excesiva que las trituradoras de cilindros dentados, por lo que no deben ser instaladas cuando ha de ser obtenido material en trozos y suficientemente grueso. Por regla, los trituradores de martillos y los desintegradores se emplean para la trituración fina. A causa de debilidad de su estructura los desintegradores pueden ser instalados sólo para la fragmentación de los materiales más blandos y frágiles.

Las trituradoras de martillos y de rotor se distinguen por tener sencilla estructura, pequeña masa, bajo coste por unidad de rendimiento y pequeño consumo específico de energía. Estas máquinas han obtenido en los últimos años extensa aplicación para fragmentar materiales blandos y de dureza media, tales como el carbón de piedra, la carga de coque, la cal, las menas de metales ligeros, ferrosos, no ferrosos, raros y nobles, sales potásicas, menas de asbesto, de baritina y fluorita, materiales para la construcción.

El grosor de los trozos en la alimentación en las trituradoras de martillos de rotor único puede alcanzar hasta 400 – 500 mm para las birrotores, hasta 1 000 mm, estas últimas se utilizan, por regla, para fragmentar materiales más húmedos y adhesivos, así cuando en la alimentación hay grandes trozos.

La anchura de la rendija entre los barrotes de las trituradoras de martillos y la distancia entre la rejilla de barrotes y el extremo de los martillos se elige en función del grosor requerido de producto fragmentado y la humedad del material fragmentado. La anchura entre los barrotes debe ser de 3 – 6 veces mayor que el tamaño transversal del producto fragmentado al triturar hasta 5 mm y 1.5 – 2 veces mayor al triturar hasta 50 mm.

En las trituradoras de martillos y de rotores el rendimiento, triturabilidad del material, el grado de trituración y la potencia consumida están interrelacionadas. Al fragmentar un material dado en una trituradora, para una misma potencia de accionamiento, el aumento del rendimiento según la alimentación inicial reduce el grado de trituración y viceversa.

1.9 Características de las trituradoras de mandíbulas.

Los principales aspectos de los procesos de trituración son: Los principales tipos de trituradores según la búsqueda realizada (Andreiev (1980), Tagart (1972), Lynch (1980), Shubin (1975) y Otros) utilizadas en los procesos de reducción de tamaño de los Materiales son:

- Trituradoras de mandíbulas.
- Trituradoras de conos.
- Trituradoras de cilindro.
- Trituradoras por choques o impacto.

Para el estudio se utilizan dos trituradores de mandíbulas. La quijada (mandíbula) móvil realiza movimientos de vaivén, acercándose y alejándose de la quijada fija. El material se alimenta por la parte superior y por su propio peso cae en la cámara de trituración, donde ocurre su quebrantamiento por el mecanismo de compresión durante el acercamiento de

la quijada móvil a la fija. La descarga se lleva a cabo de forma periódica durante el alejamiento de la mandíbula móvil.

Existen dos prototipos de trituradoras de quijada:

- De movimiento complejo (de doble barra).
- De movimiento simple (de barra simple).

En el trabajo se utilizaron trituradoras de movimiento simple, donde la quijada móvil está dispuesta concéntricamente en el eje del volante, la parte inferior de la quijada se apoya en una barra de transmisión que está unida al regulador de la abertura de descarga. La transmisión es por correa y polea

Las quijadas se revisten con planchas de acero al manganeso, de Ni-hard o Ni-Cr, lo cual reduce enormemente el desgaste y minimiza los gastos energéticos. Estas planchas (liners) pueden ser lisas o corrugadas, las últimas permiten introducir los métodos de corte y flexión. El ángulo entre las mandíbulas debe ser menor a 26° , el uso de ángulos mayores a este valor da lugar a un incremento del desgaste de los órganos trituradoras; este ángulo depende del ancho de la abertura de descarga de la trituradora: la disminución del abertura de descarga trae consigo el aumento de este ángulo, en consecuencia disminuye la productividad de la máquina y aumenta el grado de reducción. Estas trituradoras garantizan un grado de reducción de 3 - 4, aunque en ocasiones puede llegar a 8; las trituradoras que trabajan con un grado de reducción igual 6 el consumo de energía es de 0.3 - 1.3 kWh/t (Andreev et al). La trituradora de mandíbula se muestra en la *Figura 3*.

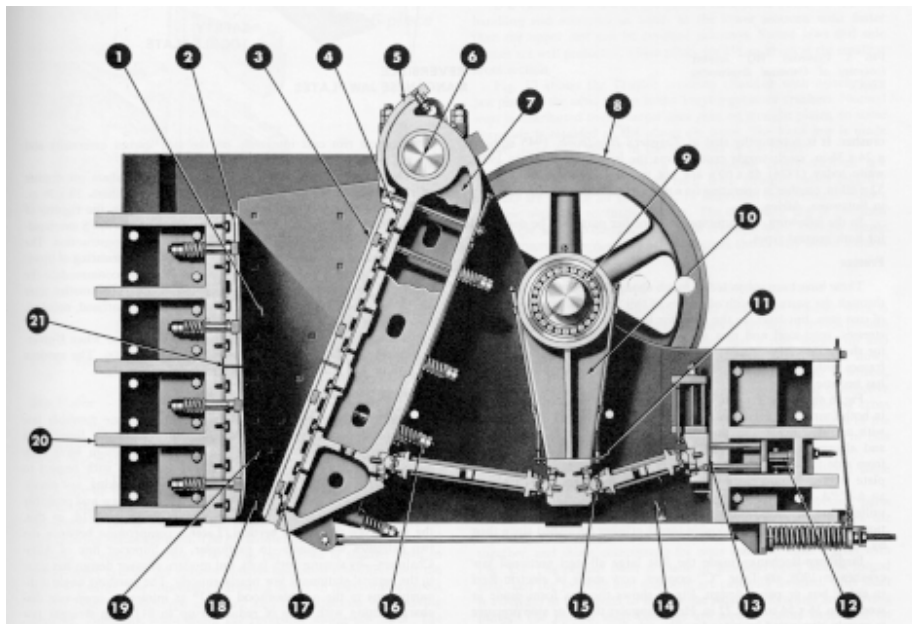


Figura 1. 3. Trituradora de mandíbula. 1- cámara de trituración; 2- quijada fija; 3- cuerpo de la cámara de trituración, 4- tornillos de ajuste; 5- Unión móvil de la quijada, 6- eje de apoyo; 7- quijada móvil, 8- volante; 9- biela, 10- manivela, 11- unión de las planchas tirantes; 12- ajuste de la abertura de la trituradora; 13- unión de las planchas tirantes; 14- planchas tirantes; 15- unión de las planchas tirantes; 16- tornillo de sujeción del revestimiento, 17 y 19- revestimiento de la quijada, 18- abertura de descarga.

Conclusiones parciales

- En el municipio de Moa existe insuficiente nivel de satisfacción de las demandas de los materiales de construcción, por lo que la utilización de los materiales serpentiniticos rechazados en el Taller de Secaderos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” pueden servir de materias primas para ser empleados como tales.
- La serpentina es un mineral que a nivel mundial se utiliza como roca ornamental, la cual abarca diversos usos sobre todo en la construcción con fines decorativos o estructurales, aunque se reporta su empleo como material de construcción, principalmente, destinados a balasto de ferrocarril y obras públicas.
- En los esquemas tecnológicos propuestos para la preparación mecánica de los residuos serpentiniticos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” solo se

han tenido en cuenta los parámetros tecnológicos y no las principales características físicos - mecánicas y las regularidades del material en la preparación mecánica.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS

Introducción

En este capítulo se establece la metodología a seguir para determinar y evaluar la preparación mecánica del residuo serpentinitico de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”, su posible utilización como árido para la industria de la construcción y la realización de diferentes ensayos para determinar las principales propiedades físico - mecánicas de los áridos. Se determina además las características fundamentales de la materia prima como composición química y mineralógica.

2.1. Característica de la materia prima.

2.1.1. 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) los que describen y plantean la variación del contenido de los elementos químicos en diferentes perfiles del yacimiento Punta Gorda, el cual se está explotando para su procesamiento en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara.

Estos autores coinciden en los resultados de las pruebas realizadas a las diferentes muestras tecnológicas de la materia prima, especialmente para el material grueso (muestra Q146 - 5) y el resto del muestreo (muestras Mn 5, Mn 6, Mn 10, Mn 11, Mn 19, Mn 20) a los perfiles lateríticos tipos óxidos del Yacimiento Punta Gorda. Tabla 2.1. En esta tabla se puede observar que los principales elementos químicos que aportan mayor volumen al material objeto de estudio son: el Oxido de Silicio (SiO_2) el cual presenta un contenido de 35, 9 %, el Oxido de Magnesio (MgO) con 32, 3 % y la Hematita (Fe_2O_3) con 14, 5 %.

Los resultados de la Caracterización Mineralógicas de los perfiles lateríticos L - 48 y L - 47 tipos óxidos del Yacimiento Punta Gorda (Cuba Oriental) y en específico de las muestras Mn 5 y Mn 6 se pueden observar en las tablas 2. 2 y 2. 3.

Tabla 2.1. Composición química de peridotitos serpentinizadas, del perfil L-48 y M- 47 del yacimiento Punta Gorda, según Rojas, 2005.

Componente	Perfil L- 48		Perfil M- 47		-		-
	Mn 5	Mn 6	Mn 11	Mn 20	Mn 10	Mn 19	Q 146-5
Contenido en %							
SiO ₂	35,9	40,9	39,2	39,4	37,71	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	35,9	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	-
P.F.(1000°C)	12,3	11,5	12,9	13,2	-	-	-

2.1.2. Caracterización mineralógica

La composición mineralógica de peridotitos serpentinizadas, del perfil L - 48 y M - 47 del yacimiento Punta Gorda, según Rojas, 2005 se puede observar en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Características generales de las muestras del perfil L - 48.

Muestra	Características generales	Observaciones
Mn 5	Material serpentinitico alterado verdoso grisáceo-claro, con impregnaciones terrosas parduzcas y material negro disperso y granos verde oliva pálido, con clivaje y brillo vítreo intenso. Predominante la antigorita, algo de goethita (18 % de Fe ₂ O ₃) y magnetita.	Serpentinita Alterada (saproilita).
Mn 6	Material verde oscuro, con granos bronceados prismáticos (observable a simple vista) de buen clivaje, brillo vítreo. Superficialmente una fina costra verde. Predominantemente antigorita.	Serpentinita Inalterada

Tabla 2.3 Características generales de las muestras del perfil M - 47.

Muestra	Características generales	Observaciones
Mn11	Material verde válido, alterado. Con alto contenido de NiO. Con bajo Al (1,95 %). Se detectó granos de enstatita y olivino.	Serpentinita Alterada
Mn20	Contigua a Mn11, de su mismo horizonte. Predominan los silicatos de Mg del grupo de las serpentinas. Además goethita, un 30 %. Es significativo para esta roca los contenidos de maghemita y magnetita. Posee, además un poco de cuarzo y hematita.	Serpentinita poco alterada
Mn12*	Material verde grisáceo oscuro. Bajo microscopio se distingue: material rojo y otro verde. Posee alto Al_2O_3 (11,7 %) y poco NiO (0,19 %).	Cuerpo de piroxeno augítico, próximo al perfil de alteración.

Muestra fuera del perfil de alteración laterítica M - 47, perteneciente a un cuerpo rico en piroxeno augita, con lizardita y nontronita.

2.1.3. Propiedades físicas

Sobre las propiedades físicas se puede plantear que se tomó como base la clasificación según (Casall, 1986) de las rocas serpentínicas teniendo en cuenta el peso volumétrico, índice fundamental de las rocas de acuerdo a su amplia variación; así como la variación experimentada de dichas propiedades a los procesos de meteorización, por lo que se dividen en diferentes grupos.

- I. Rocas muy meteorizadas (rd 2. 10 g/cm³).
- II. Rocas meteorizadas (rd 2.10 g/cm³ a 2. 32 g/cm³).
- III. Rocas ligeramente meteorizadas (rd 2. 32 g/cm³ a 2. 74 g/cm³).
- IV. Rocas no meteorizadas (rd 2. 75 g/cm³).

En el grupo de las rocas muy meteorizadas el grado de serpentinización, de meteorización y tectonismo es muy intenso, las serpentinas se comportan como una semiroca donde la densidad seca es menor de 3. 10 g/cm³.

Por lo que se puede observar que el peso específico oscila entre $2.65 - 2.49 \text{ g/cm}^3$, teniendo en cuenta que el peso específico de la serpentinita es de $2.50 - 2.60 \text{ g/cm}^3$ y el de la clorita de $2.65 - 2.94 \text{ g/cm}^3$ y en los minerales primarios el olivino tiene un peso específico de 3.2 g/cm^3 y el piroxeno de $3.10 - 3.59 \text{ g/cm}^3$.

Esto sucede porque al producirse la sustitución de los minerales primarios piroxeno y olivino por minerales del grupo de la serpentinita (crisotilo, antigorita, serpofita) también se produce la reducción simultánea de la compacidad y por consiguiente de la densidad de las rocas.

El valor promedio de la resistencia a la compresión saturada es $< 72 \text{ kg/cm}^2$. En estado seco los valores son máximo 197 kg/cm^2 , mínimo 29 kg/cm^2 y promedio 98 kg/cm^2 presenta un ablandamiento muy intenso $0,44$. La serpentinita es altamente porosa 22% y son muy absorbentes 14% .

Las rocas Meteorizadas son rocas alteradas y agrietadas, pero el valor máximo se acerca más al peso específico del talco que es de 2.70 g/cm^3 por lo que no presenta variación respecto al grupo anterior de las rocas muy meteorizadas, ya que el promedio es de 2.57 g/cm^3 .

El peso volumétrico seco promedio es de 2.20 g/cm^3 . Mientras que la resistencia a la compresión saturada tiene un valor mayor a 72 kg/cm^2 por lo que se comporta como un rocoso muy blando.

El coeficiente de ablandamiento es de 0.60 . Son rocas que presentan una porosidad media (14%), y son absorbentes ($<12 \%$).

Las rocas ligeramente meteorizadas están constituidas por las serpentinitas algo meteorizada y constituyen rocas semiduras con resistencia a la compresión seca de 495 kg/cm^2 y saturadas de 298 kg/cm^2 . El peso volumétrico seco fluctúa entre 2.32 y 2.74 g/cm^3 . El rango de densidad es amplio por lo cual existe una dispersión más amplia. En este caso el material de estudio se puede categorizar como una roca ligeramente meteorizada.

Las rocas no meteorizadas son duras y frescas. El peso específico es mayor de 2.86 g/cm³. El peso volumétrico promedio es de 2.82 g/cm³.

Los valores promedios de la resistencia a la compresión seca es de 723 kg/cm² y saturado es de 470 kg/cm², pero sin embargo mantiene la característica de tener un ablandamiento (0.65) semejantes a los grupos II y III.

Estas serpentinitas son rocas que mantienen una baja porosidad (2.66 %) y la absorción igual a 0.27 %. El coeficiente de variación es de 1.10.

Estas propiedades expuestas anteriormente fueron tomadas de los trabajos (Céspedes, 2007 y Luegés 2008), los cuales plantean que las serpentinitas objeto de estudio se pueden correlacionar con las ligeramente meteorizadas pero con tendencia a aquellas donde el peso volumétrico esté entre 2.5 – 2.74 g/cm³.

2.2. Toma y preparación de la muestra

La realización de los experimentos a escala de laboratorio se inició con material serpentinitico tomado del Taller de Secado de la Empresa "Comandante Ernesto Che Guevara". La muestra fue tomada por varios días cada 1 hora y se reunió el material suficiente para conformar una muestra representativa, estos materiales fueron transportados hasta el laboratorio de beneficio de materiales del ISMM "Dr. Antonio Núñez Jiménez". Antes de desarrollar los distintos experimentos, a este material se le realizó una preparación previa, donde se efectuó el proceso de cuarteo, con el objetivo de homogenizar la muestra para lograr una mayor representatividad del material. Para la realización del proceso de homogenización la muestra fue colocada sobre una superficie limpia y seca, mezclándose todo el material con una pala, echando repetidas veces el material de los bordes hacia el centro. Todo el material mezclado y disperso se une en forma circular, y se divide en cuatro partes iguales abriendo con la pala dos zanjas diametrales y perpendiculares, de las cuales se eliminan dos partes opuestas quedando aproximadamente la mitad del material. Las dos partes que quedan se mezclan y se toman las cantidades necesarias para la realización de los distintos ensayos. Las muestras

fueron preparadas mediante este procedimiento y el esquema de preparación de las muestras se aprecia en la Figura 2. 1.

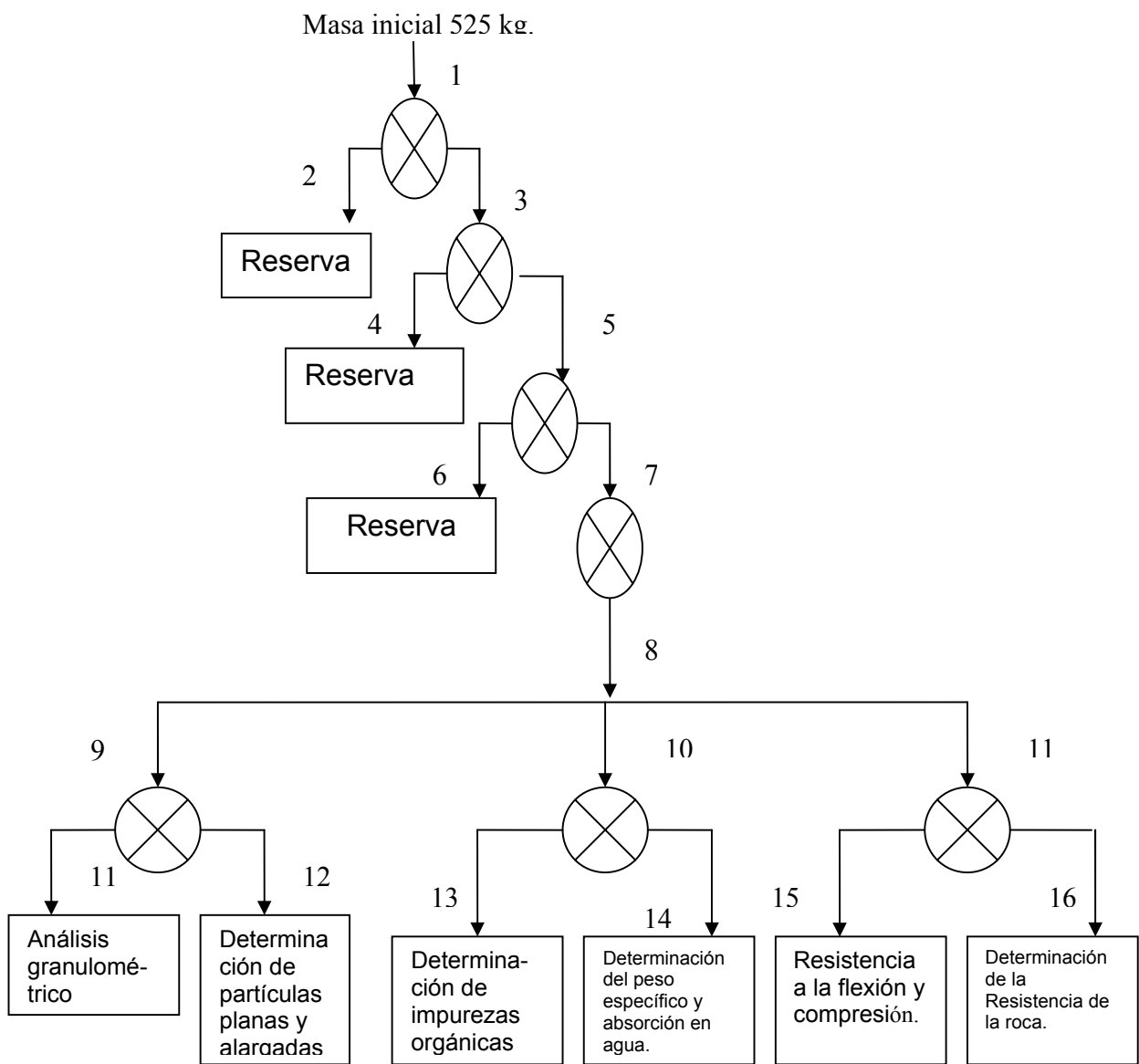


Figura 2. 1 Esquema de preparación de las muestras

2.3. Caracterización granulométrica del material.

La caracterización granulométrica inicial del material se realizó mediante el análisis de tamices, donde las muestras de residuo serpentínico fueron caracterizadas inicialmente desde el punto de vista granulométrico. Después de haber determinado el juego de tamices mediante la serie de Taylor $\sqrt{2}$; los tamices elegidos fueron los siguientes: (63; 50; 40; 25; 18; 10 y 5) mm.

La composición granulométrica del material, se realizó mediante el tamizado por vía seca de las fracciones seleccionadas: (+ 63; - 63 + 50; - 50 + 40; - 40 + 25; -25 +18; -18 + 10; -10 + 5), tomando la masa mínima necesaria mediante la expresión:

$$Q_{mínima} = 0.02 \cdot (d_{máximo})^2 + 0.5 \cdot d_{máximo} \dots\dots\dots (1)$$

Del material objeto de estudio tomado después del taller de secado, se preparó un conjunto de 6 muestras representativas (cada una de 8 kg) para la determinación de la composición granulométrica del material inicial. La representatividad de las muestras se logró mediante el método de homogenización del anillo y el cono.

El material obtenido por cada clase de tamaño es pesado de forma independiente para determinar los diferentes índices tecnológicos, luego se determinó un promedio del peso de las distintas clases de tamaño y se calculó el por ciento de salida sumaria de la cantidad de material cernido y retenido según los diferentes tipos de granulometrías, para determinar las características de tamaño parcial y acumulativas del material inicial. Para el pesaje de las muestras se utilizó la balanza Europea Gibertini como se muestra en la fotografía 1, la cual posee un error de precisión de 0.01.



Fotografía 1 Balanza

2.4. 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 2 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 (**Anexo II**) y para la clasificación del material triturado se utilizó el mismo juego de tamices anteriormente seleccionados por la serie de Taylor $\sqrt{2}$ como se muestra en la fotografía 3 , donde se

pudo comprobar que en la serie de tamices mayores de 63 y menores de 25 mm (+ 63, - 63 +50; - 50 +40; - 40 +25; - 25), no se logró retener material, pero en los tamices mayores de 18 y menores de 5 mm (+ 18; - 18 + 10; - 10 + 5; -5 mm) se logró el tamizado del producto triturado.



Fotografía 3. Serie de tamices empleados para la caracterización granulométrica

2. 5. Determinación de las características típicas de las trituradoras

Para la determinación de las características típicas fue necesario calcular el diámetro relativo de la trituradora por la expresión (6).

$$d_r = \frac{d_i}{e_{m\acute{a}x}} \dots\dots\dots (6)$$

Dónde:

d_r - diámetro relativo, unidades.

$e_{m\acute{a}x}$ - diámetro máximo de la descarga del triturador, mm.

d_i - diámetro de cada clase de tamaño, mm.

Esta metodología se aplicó para determinar la composición granulométrica de los productos triturados en ambas trituradoras.

2. 6. Propuesta del esquema tecnológico.

El esquema tecnológico propuesto para tratar el material de rechazo de etapas básicas son:

Trituración: Tiene como objetivo disminuir en sucesivas fases, el tamaño de las partículas. Generalmente se utilizan tres fases, trituración primaria, secundaria y terciaria. Pueden emplearse equipos de diferentes características tales como: Trituradores de mandíbulas, de percusión, giratorios o los molinos de bolas o de barras. En las arenas y gravas de origen aluvial, únicamente se trituran los tamaños superiores y por tanto el número de etapas de trituración suele ser inferior. **Clasificación:** Tiene como objetivo seleccionar el tamaño de las partículas separándolas entre las que pasan y las que no, lográndose áridos de todos los tamaños posibles, en función de la demanda del mercado.

Lavado: Las operaciones de lavado o desempolvado del material permiten obtener áridos limpios, ya que la presencia de lodos, arcillas o polvos mezclados con el árido o envolviendo a las partículas puede alterar la adherencia con los aglomerantes (cemento, cal, compuestos asfálticos u otros) e impedir una correcta aplicación.

En este caso se va a evaluar el proceso de trituración en una sola etapa con una trituradora de mandíbula, un proceso de clasificación en cuatro cribas y un clasificador.

En la tabla 2.4 se muestra la eficiencia del cribado y los contenidos de material serpentinitico que representa cada fracción empleada para el cálculo del esquema de fragmentación.

Tabla 2.4. Eficiencia del cribado y contenidos de material serpentinitico según la salida sumaria por menos.

Eficiencia	0.85
β^{-25}	0.40
$\beta^{-19,1}$	0.30
$\beta^{-9,52}$	0.15
$\beta^{-4,76}$	0.05

Cálculo del Esquema tecnológico de trituración

$$Q_1 = 250 \text{ t / d}$$

$$Q_2 = Q_1 = 250 \text{ t / d}$$

$$Q_3 = Q_1 * \beta^{-25} * E^{-25}$$

$$Q_3 = 250 * 0.40 * 0.85$$

$$Q_3 = 85 \text{ t / h}$$

$$Q_4 = Q_2 - Q_3 = 250 - 85$$

$$Q_4 = 165$$

$$Q_5 = Q_1 * \beta^{-19.2} * E^{-19.2}$$

$$Q_5 = 250 * 0.30 * 0.85$$

$$Q_5 = 63.75$$

$$Q_6 = Q_3 - Q_5 = 85 - 63.75$$

$$Q_6 = 21.25$$

$$Q_7 = Q_1 * \beta^{-9.52} * E^{-9.52}$$

$$Q_7 = 250 * 0.15 * 0.85$$

$$Q_7 = 31.876$$

$$Q_8 = Q_5 - Q_7 = 63.75 - 31.876$$

$$Q_8 = 31.875$$

$$Q_9 = Q_1 * \beta^{-4.76} * E^{-4.76}$$

$$Q_9 = 250 * 0.05 * 0.85$$

$$Q_9 = 10.625$$

$$Q_{10} = Q_7 - Q_9 = 31.876 - 10.625$$

$$Q_{10} = 21.25$$

$$Q_{11} = Q_1 * \beta^{-4.70} * E^{-4.70}$$

$$Q_{11} = 250 * 0.04 * 0.85$$

$$Q_{11} = 8.5$$

$$Q_{12} = Q_9 - Q_{11}$$

$$Q_{12} = 10.625 - 8.5$$

$$Q_{12} = 2.125$$

Balance

$$Q_4 + Q_6 + Q_8 + Q_{10} + Q_{12} + Q_{11} = 165 + 21.25 + 31.875 + 21.25 + 2.125 + 8.5 = 250t/h$$

2.7.

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.

2.7.1. Ensayos para la determinación de las propiedades geométricas

2.7.1.1. 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 10 minutos.

Las muestras se obtuvieron por el sistema de cuarteado, empleando la cuarteadora mecánica como se pudo apreciar en la fotografía 5, con el objetivo de lograr una mayor homogenización de las muestras y esta a su vez sea más representativa.



Fotografía 4 Tamizadora Eléctrica.

La muestra de material se separó en una serie de tamaño usando para ello los tamices siguientes 101. 6; 76. 2; 63. 5; 38. 1; 19. 1 para el caso del material sin triturar y 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. 3; 0. 149 de acuerdo con las especificaciones para el uso del material que se ensaya.

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

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.

Por otra parte, con proporciones altas de partículas de planas y alargadas en las mezclas asfálticas, se corre el riesgo de que estas partículas se rompan ante las tensiones del tráfico o durante los procesos de compactación, modificándose la granulometría de la mezcla, su degradación y por tanto la disminución de su resistencia a la deformación. 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.

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 76, 2 mm; 63, 5 mm; 50, 8 mm; 38, 1 mm; 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 5. **Pesaje de las partículas planas y alargadas.**



Fotografía 6. **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

2.7.1.3. Determinación del material más fino 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:

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

Donde:

a: peso de la muestra original seca

b: peso de la muestra seca después de lavada

2.7.1.4. 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 sobrenada por encima de la muestra con los colores que contienen la placa patrón, manteniendo esta placa al lado de la probeta, para comparar estos colores con el color del líquido obtenido en la muestra. El resultado es satisfactorio si el color de la muestra ensayada es más débil que el color de la placa patrón.

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

2.7.2.1. 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 7.

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 8 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 9



Fotografía 8 Balanza hidrostática.



Fotografía 9 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)

2.7.2.2. Determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión

Los ensayos mecánicos son aquellos que determinan la resistencia de las rocas o los áridos obtenidos con ellas, tanto en unidades fundamentales (N/mm²) o mediante otras unidades arbitrarias por ejemplo en MPa y kg/cm². Estos pueden dividirse en:

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

La resistencia a la flexión y a la compresión de los áridos se determinó mediante la realización de pruebas de morteros efectuados según la siguiente dosificación: 3250 g de cemento de Cienfuegos, ml de agua y g de arena de material serpentinitico. La mezcla se preparó mediante la mezcladora mostrada en la fotografía 10, con esta se preparó un conjunto de 3 morteros los cuales, para determinar la resistencia a la flexión y la compresión fue necesario romper los morteros a los siete días.



Fotografía 10 Mezcladora utilizada para la elaboración de los morteros

Conclusiones parciales

- Se efectuaron ensayos para determinar las principales propiedades de los áridos como: propiedades geométricas, físico – mecánicas y de alterabilidad.
- Se realizó la caracterización granulométrica inicial del material serpentinitico, donde se determinó que este material está compuesto por fracciones mayores de 40 mm,

las cuales fueron sometidas a un proceso de reducción de tamaño para obtener las granulometrías requeridas para el empleo como árido grueso y arena respectivamente para la construcción.

- Se realizó la metodología a seguir para la determinación de las características típicas de la trituradora.

CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

Introducción

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos a partir de la metodología planteada en el anterior. Estos después de calculados y graficados fueron sometidos a su análisis y discusión, los cuales se apoyaron en una amplia búsqueda bibliográfica que permitió de manera coherente profundizar en las estimaciones científicas de los resultados alcanzados.

3.1. Resultados de la caracterización granulométrica de los materiales objeto de estudio.

El material serpentínico utilizado para la realización de los diferentes experimentos se caracterizó desde el punto de vista granulométrico, el cual arrojó los siguientes resultados. En la determinación de la característica granulométrica inicial del material serpentínico, se puede apreciar que la clase de tamaño que predomina es la mayor de 25 mm, (**Anexo I**) la cual representa el 20.31 % de la masa total del material, y en esta fracción es donde se encuentra aproximadamente el **65.43 %** del material serpentínico (figura 3.1). Comparando los resultados con la composición granulométrica realizada por otros investigadores como por ejemplo: (León 2007); se puede plantear que existe correspondencia en los resultados obtenidos, al comprobar que en este último, también existe un predominio de material grueso, lo cual valida la representatividad de la muestra y consolida el punto de partida de esta investigación.

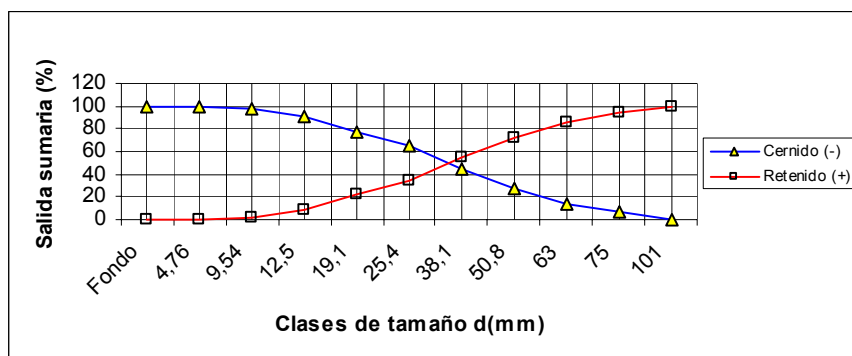


Figura 3,1 Característica de tamaño del material serpentínico realizado en la ECRIN.

En los resultados de la composición granulométrica obtenidos en la figura 3.1, se muestra la característica sumaria acumulativa, según el por ciento pasado y retenido, respecto al diámetro de las partículas del material serpentinitico realizados en la Empresa de Construcciones y Reparaciones de la Industria del Níquel (ECRIN). Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se puede observar que en el diámetro de 25.4 mm se igualan los valores alcanzados en el cernido y el retenido del material. A partir de la clase de tamaño menor de 38.1 mm, representa un contenido aproximadamente menor que 55 % de la masa total del mineral, la cual es la granulometría requerida para su utilización como áridos. El resultado de la característica del diámetro d_{80} se encuentra aproximadamente ubicado en el orden del diámetro de partículas igual a 57.9 mm.

Los resultados de la determinación de la composición granulométrica del material triturado, realizados en el laboratorio de materiales de construcción de la Empresa de Construcciones y Reparaciones de la Industria del Níquel, según la clasificación de distintos agregados para la construcción, se exponen en el Anexo III. Esta caracterización fue realizada a los áridos gruesos para diferentes series de tamices como se muestran el (Anexo III.1; III.2) y a la arena reflejado en el (Anexo III.3) respectivamente, según la NC 178: 2002. Los resultados de las características acumulativas según los diferentes análisis granulométricos se muestran en las figuras 3.2; 3.3 y 3.4, respectivamente. En la figura 3.2 se determinan las características acumulativa de la grava $\frac{3}{4}$ para la serie de tamices 19 – 5 mm, en la misma se observa que el punto donde se igualan los valores que arrojaron la composición granulométrica según el cernido y el retenido es el punto con diámetro igual a 9,52 mm, el cual es el tamaño del grano predominante en esta caracterización y representa un contenido de 46,32 % de la masa total del material.

Según el resultado del diámetro d_{80} en la característica acumulativa del material se puede decir que el 80 % del árido grueso 19 – 5 mm está representado por el orden de las partículas con diámetros aproximadamente igual a 15,5 mm.

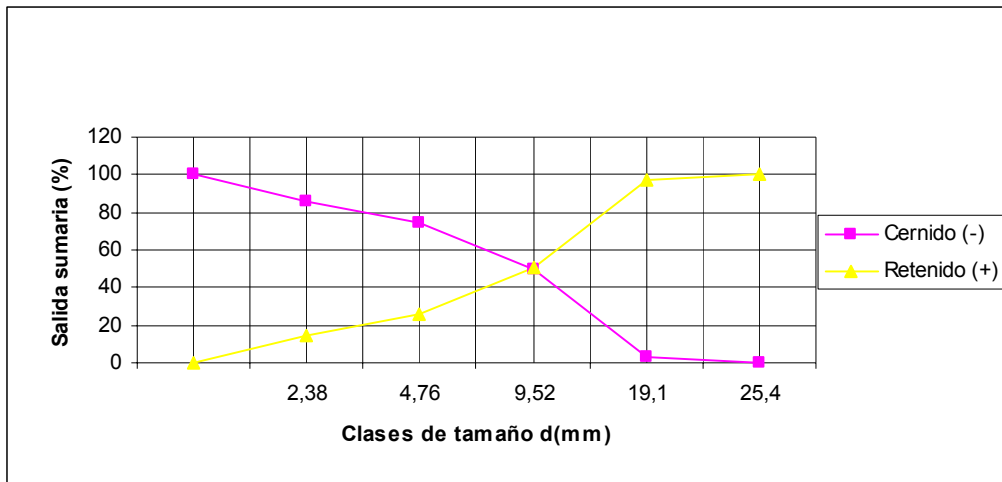


Figura 3.2 Característica de tamaño acumulativa de la grava 3/4 " para la serie de tamices +19 – 5 mm, según la NC 178: 2002.

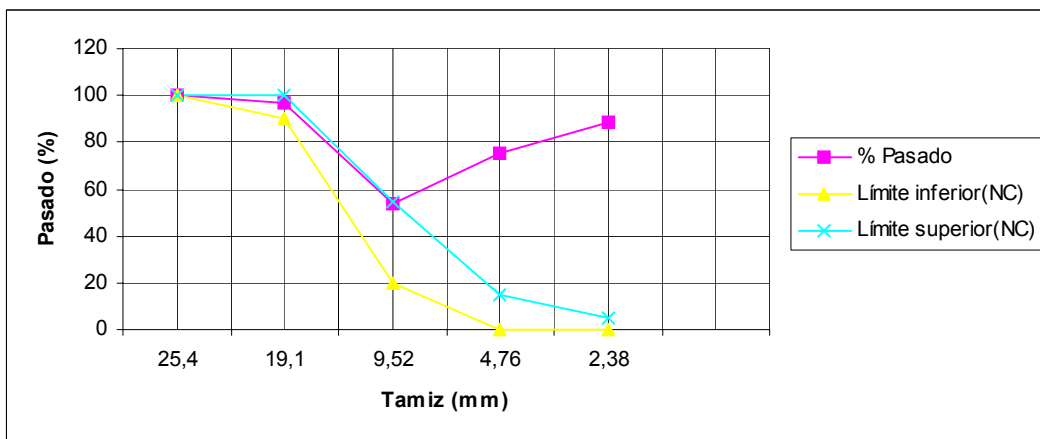


Figura 3.3. Resultado de la granulometría realizada al árido grueso 19 - 5, de acuerdo al límite superior e inferior reflejado en la Norma Cubana 251: 2002.

Al analizar el resultado de granulometría obtenido en la figura 3.3 se puede comprobar que el por ciento pasado de algunos tamices empleados para el análisis granulométrico realizado para el árido grueso según la serie de tamices de 19 – 5, no cumple con lo especificado en la Norma Cubana 251.

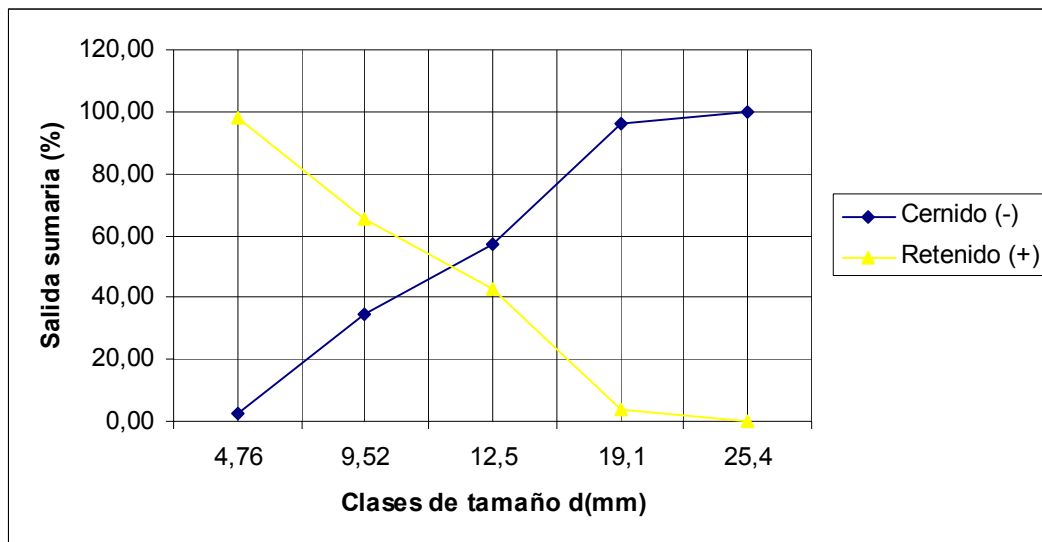


Figura 3.4 Característica de tamaño acumulativa de la grava 3/4 para la serie de tamices +19 – 10 mm, según la NC 178: 2002.

El resultado obtenido en la figura 3.4 de la característica de tamaño de la grava $\frac{3}{4}$ para la serie de tamices + 19 – 10 se puede decir que la clase de tamaño que predomina es la mayor de 12, 5 mm, la cual representa el 38,54 % de la masa total del material serpentínico triturado. De acuerdo a la característica del método del d_{80} se puede determinar que el 80 % de la grava $\frac{3}{4}$ (19 – 10) se encuentra situado en el orden de las partículas con diámetros aproximadamente igual a 15,8 mm.

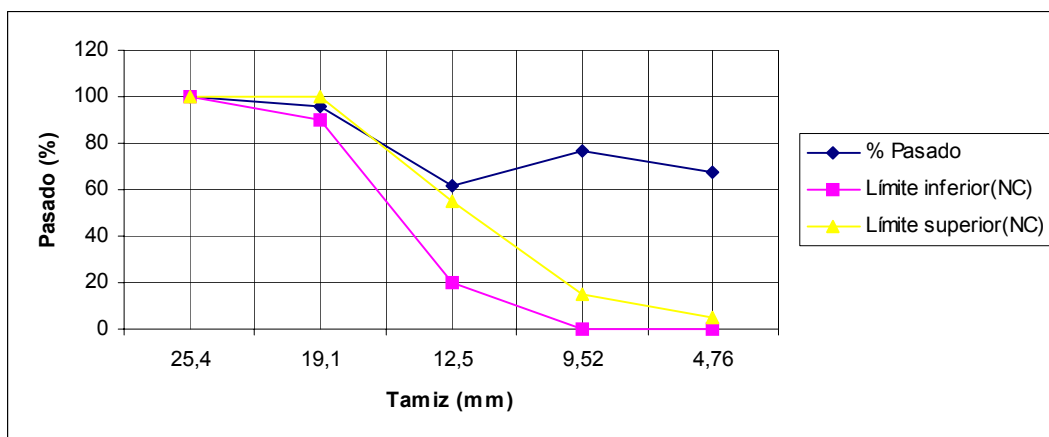


Figura 3.5 Resultado de la granulometría realizada al árido grueso (+19 – 10 mm).

Al analizar el resultado de granulometría realizado para el árido grueso según la serie de tamices de +19 – 10 mm, obtenido en la figura 3.5 se puede comprobar que el porcentaje pasado de los tamices de 25 mm y 19.1 mm cumplen con las especificaciones de la NC 251, mientras que los demás tamices utilizados para el análisis (12.5; 9.52 y 4.76 mm) no cumplen con los requisitos establecidos, y sale por encima del límite superior de la norma cubana NC 251, lo que quiere decir que hay un predominio de material fino.

La figura 3,6 representa el resultado de la característica de tamaño acumulativa de la arena. En la misma se determina por el d_{80} , que el 80 % de la arena se encuentra aproximadamente ubicado en el orden del diámetro de partículas igual a 3,57 mm. Teniendo en cuenta los resultados, se puede observar que los valores obtenidos a partir del cernido y el retenido del material, se igualan en el punto con diámetro igual a 1,18 mm.

El resultado de la composición granulométrica de la arena se expone en el Anexo III.3, representa que el tamaño máximo de los granos que predominan, es la clase de tamaño mayor de 2,38 mm la que representa el 35,50 % de la masa total empleada para la caracterización de la arena.

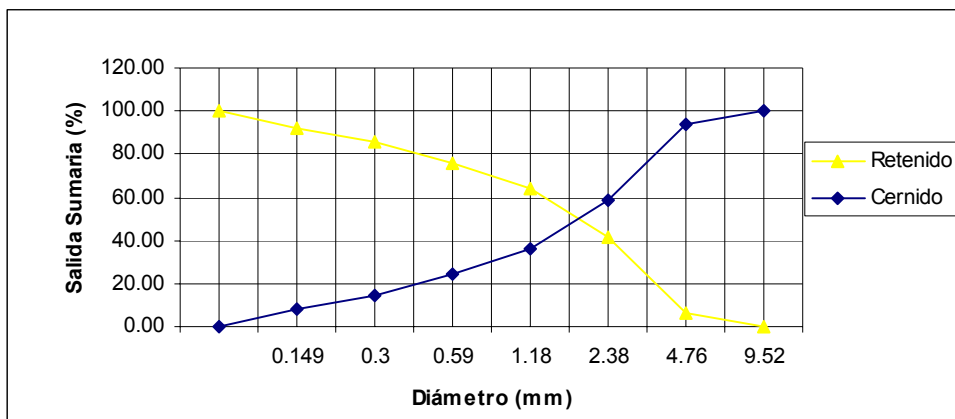


Figura 3.6 Característica de tamaño acumulativa de la arena, según la NC 178: 2002.

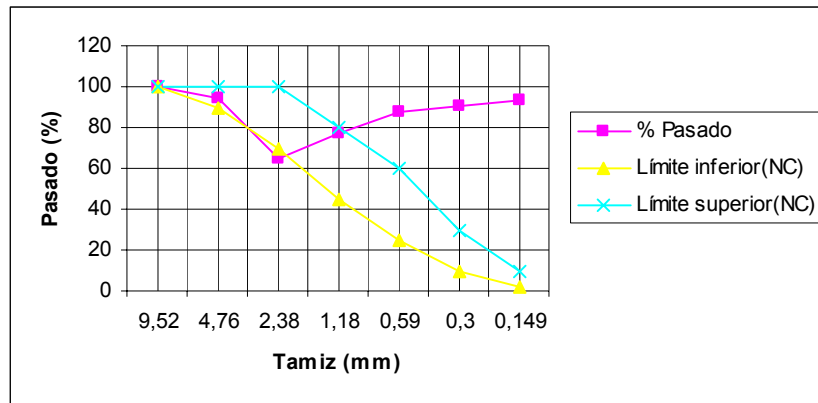


Figura 3.7 Resultado de la granulometría realizada a la arena (9.52 – 0.149 mm).

De los resultados obtenidos de la granulometría realizada a la arena que se muestran en la figura 3.7 se puede comprobar que el por ciento pasado de los tamices empleados para el análisis granulométrico realizado para la arena según la serie de tamices de 9.52-0.149 mm, sólo se cumple lo especificado en la Norma Cubana 251, para los tamices 9.52 mm y 4.76 mm. El por ciento pasado por los demás tamices está por encima del límite superior de la norma, lo que quiere decir que la arena obtenida del mineral serpentinitico está compuesta por material fino.

3.2 Resultados de los ensayos realizados al material serpentinitico para su uso como árido en la construcción.

Los resultados de los ensayos realizados para determinar el posible uso de los productos del material serpentinitico como árido para la industria de la construcción se exponen a continuación. En la tabla 3.1 se muestran los resultados arrojados en el ensayo realizado para la determinación de pesos específicos y absorción en agua.

Tabla 3.1 Resultados de los ensayos de peso específico y absorción de agua, según la NC 187: 2002. Árido grueso, y la NC 186: 2002. Arena. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.

Material	Peso específico corriente (g/cm ³)	Peso específico saturado (g/cm ³)	Peso específico aparente (g/cm ³)	Absorción (%)
Arena	2,27	2,41	2,64	6,27

Árido grueso	2,16	2,29	2,47	5,82
--------------	------	------	------	------

Al comparar los resultados obtenidos en la determinación de peso específico, con el trabajo realizado por Céspedes en el 2007 para el árido grueso como se muestran en la tabla 3.2. Se puede comprobar que los valores obtenidos para los áridos gruesos son similares, aunque existe poca diferencia con la Norma, no cumplen con las exigencias referidas en ella, donde se expresa que el peso específico del árido debe ser superior a 2.5 g/cm^3 para los hormigones hidráulicos. La absorción de agua da un valor elevado. Se recomienda tener en cuenta este aspecto para realizar las mezclas de hormigón, el valor obtenido no puede superar el 3 % de la masa seca del material.

Tabla 3.2 Resultado del ensayo de peso específico y absorción de agua, según Céspedes, 2007.

Material	Peso específico corriente (g/cm^3)	Peso específico saturado (g/cm^3)	Peso específico aparente (g/cm^3)	Absorción (%)
Árido grueso	2.22	2.39	2.69	7.9

Los ensayos de la determinación del material más fino que el tamiz 200 (0.074 mm) tabla 3.3, cumplen con las especificaciones cubanas empleadas (**Anexo V**) 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. En la tabla 3.4 se muestran los requisitos para el material más fino que el tamiz 200 (0.074 mm), según NC 251: 2005

Tabla 3.3 Resultados del ensayo de la determinación del material más fino que 0.074 mm, según la NC 182: 2002. Áridos.

Determinación del material más fino que el tamiz 200 (0.074 mm)	
Árido grueso	1.0
Arena	4.97

Tabla 3.4. Requisitos

os para el material más fino 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 de yacimiento y arenas de rocas trituradas)	Hormigones sometidos a la abrasión	3
	Todos los restantes hormigones	5

Si se comparan los resultados del ensayo (tabla 3.3) para los áridos finos, con los requisitos para el material más fino que el tamiz 200 que establece la NC 251 de especificaciones (tabla 3.4), es evidente que el material serpentínico se puede utilizar en diferentes tipos de hormigones, exceptuando los hormigones sometidos a la abrasión. Aunque el material serpentínico 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 3.3 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.

Tabla 3.5 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 3.5**) de estas partículas.

No se encuentran en la NC 251: 2005, los requisitos que debe cumplir para este tipo de rocas (**Tabla 3.6**). Aunque por su naturaleza se podría ajustar a las rocas ígneas ya que el material serpentínico proviene de rocas metamórficas.

Tabla 3.6 Sustancias perjudiciales para los áridos gruesos.

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 %

Resultado de la determinación de la resistencia de las rocas serpentínicas

La resistencia de las rocas serpentínicas es una propiedad mecánica importante para los materiales de la construcción. Los resultados obtenidos en este ensayo se reflejan en la tabla 3.7, en la cual se puede apreciar que los valores obtenidos en las tres pruebas realizadas son muy similares, lo cual implica que la resistencia máxima de las rocas de serpentina es aproximadamente 1.74 Mpa.

Tabla 3.7 Determinación de la resistencia de las rocas serpentínicas.

Nº. de probetas	Área	Resistencia (MPa)	Resistencia (kg/cm ²)
1	600.52	1.82	18.18
2	399.76	1.74	17.35
3	570.12	1.67	16.68

Resultados de la determinación de la resistencia a la flexión y la compresión de los morteros realizados con el material serpentinitico.

Los resultados de la resistencia a la flexión y a la compresión de los morteros realizados con material serpentinitico se exponen en la tabla 3.8 y en los Anexos IV y V. Los equipos utilizados para la realización de este ensayo, se muestran en las fotografías 11 y 12.

Los valores máximos arrojados a los siete días de realizados estos morteros son los siguientes: el valor de la resistencia a la flexión es de 2.96 MPa y el de la resistencia a la compresión es de 22.13 MPa, los cuales son valores que se encuentran dentro de los requerimientos expuestos por la NC. 251:2005.

Tabla 3.8 Determinación de la resistencia a la flexión y la compresión de los morteros realizados con el material serpentinitico.

Pruebas de resistencia	Área del mortero	Resistencia (MPa)	Resistencia (kg/cm ²)
Flexión	0.234	2.96	29.6
Compresión	16	22.13	221.3



Fotografías 11 y 12. Morteros realizados con material Serpentinítico

Comparando los resultados obtenidos con los valores arrojados en la prueba de morteros realizados con la arena de Sagua de Tánamo, a condiciones similares se puede comprobar que esta arena posee una resistencia mayor que la del residuo serpentínico.

Donde los valores obtenidos a los siete días de realizados estos morteros para la determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión son los siguientes: para el material serpentínico los resultados obtenidos son 2.96 MPa y 22.13 MPa y para la arena de Sagua de Tánamo los valores arrojados a los siete días de realizados son 4.66 MPa y 29.82 MPa respectivamente. A pesar de que los valores obtenidos con la arena de Sagua sean mayores que los resultados alcanzados con el material serpentínico, esto no quiere decir que estos resultados sean desfavorables debido a que se encuentran dentro de los requisitos establecidos por las especificaciones de la NC 251 del año 2005.

3.3 Resultados de las características típicas de las trituradoras de mandíbulas.

Las características típicas de las trituradoras de mandíbulas primaria y secundaria, utilizadas en el proceso de reducción de tamaño se muestran seguidamente en las tablas 3.9 y 3.10 respectivamente. En las mismas se determinan los diámetros relativos referidos a las trituradoras de mandíbulas (320 x 165 y 150 x 75 mm.), de los cuales se obtienen las Figuras 3.8 y 3.9.

Tabla 3.9. Características típicas de la trituradora de mandíbula (TQ 320x 165)

Diámetro (di)	Diámetro máximo	Diámetro relativo	Salida (%)
1,250	25	0,050	100,00
1,60	25	0,064	85,67
2,00	25	0,080	69,83
3,15	25	0,126	52,34
4,75	25	0,190	30,02
6,30	25	0,252	25,23
10,00	25	0,400	17,66
12,70	25	0,508	12,63
18,00	25	0,720	10,73
25,00	25	1,000	9,17

En la tabla 3.9 se puede apreciar el resultado de los valores calculados para la determinación de la característica de la trituradora de mandíbula primaria. Donde a partir del diámetro de cada clase de tamaño y el diámetro máximo de la descarga del triturador se determina el diámetro relativo, el cual en conjunto con la salida sumaria en el retenido se obtiene la curva de la característica típica de la trituradora TQ 320x165, como se muestra en la figura 3.8.

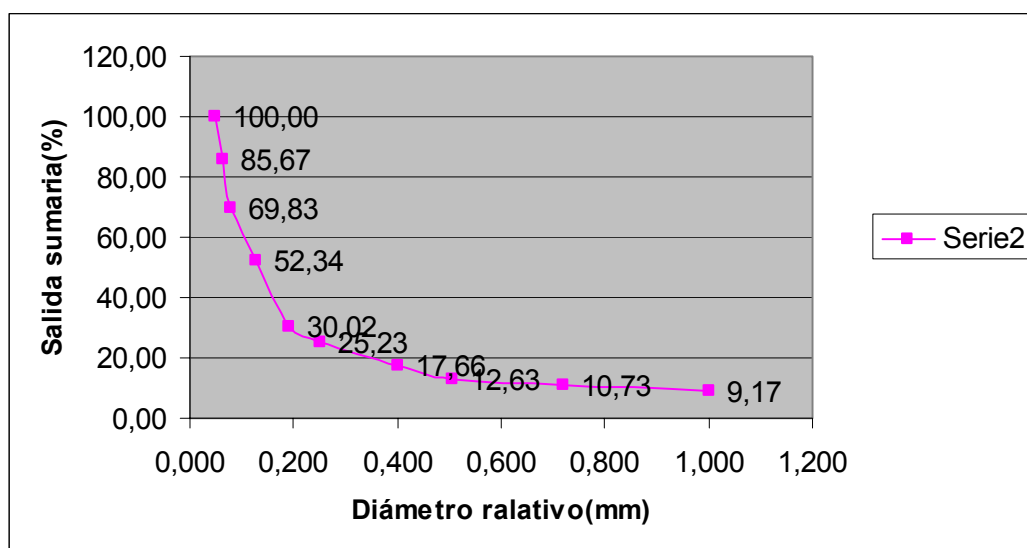


Figura 3.8 Característica típica de la trituradora TQ 320x165

En la tabla 3.10 se muestran los valores del resultado de la determinación de la característica de la trituradora de mandíbula secundaria, a partir de la cual se obtiene el gráfico de la característica típica de la trituradora TQ 150x75, como se muestra en la figura 3.9, donde se puede apreciar una curva descendente la que se obtiene teniendo en cuenta la salida sumaria en el retenido contra el diámetro relativo calculado.

Tabla 3.10 Característica típica de la trituradora de mandíbula TQ 150x75.

Diámetro (di)	Diámetro máximo	Diámetro relativo	Salida (%)
0,000	6,3	0,000	
0,125	6,3	0,020	100,00
0,190	6,3	0,030	84,27

0,400	6,3	0,063	55,97
0,850	6,3	0,135	40,13
1,250	6,3	0,198	32,95
1,600	6,3	0,254	27,71
2,000	6,3	0,317	20,33
3,150	6,3	0,500	11,96
4,750	6,3	0,754	7,39
6,300	6,3	1,000	5,49

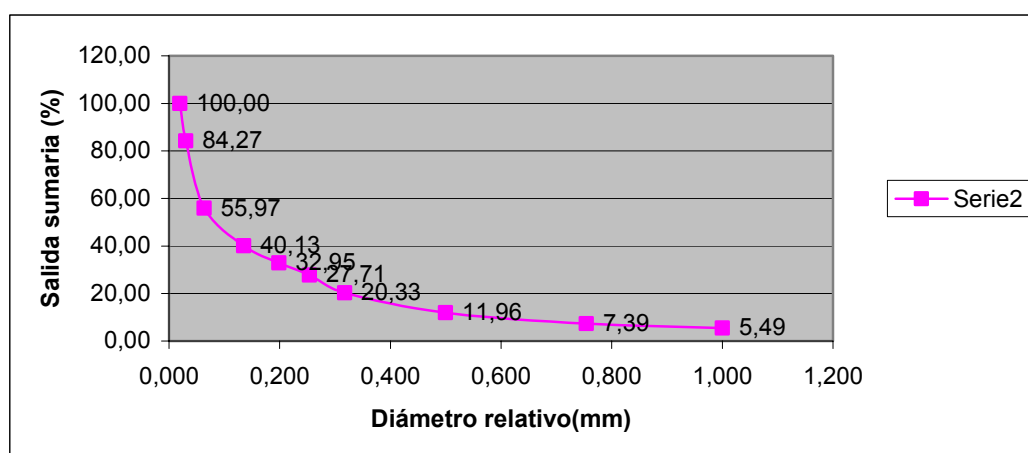


Figura 3.9 Característica típica de la trituradora TQ 150x75.

3.4 Resultados de la propuesta del esquema tecnológico.

La propuesta del esquema tecnológico para la preparación mecánica de los residuos serpentínicos de la Empresa Comandante Ernesto Ché Guevara para su posible utilización como árido en la industria de los materiales de la construcción, se muestra en la Figura 3.10.

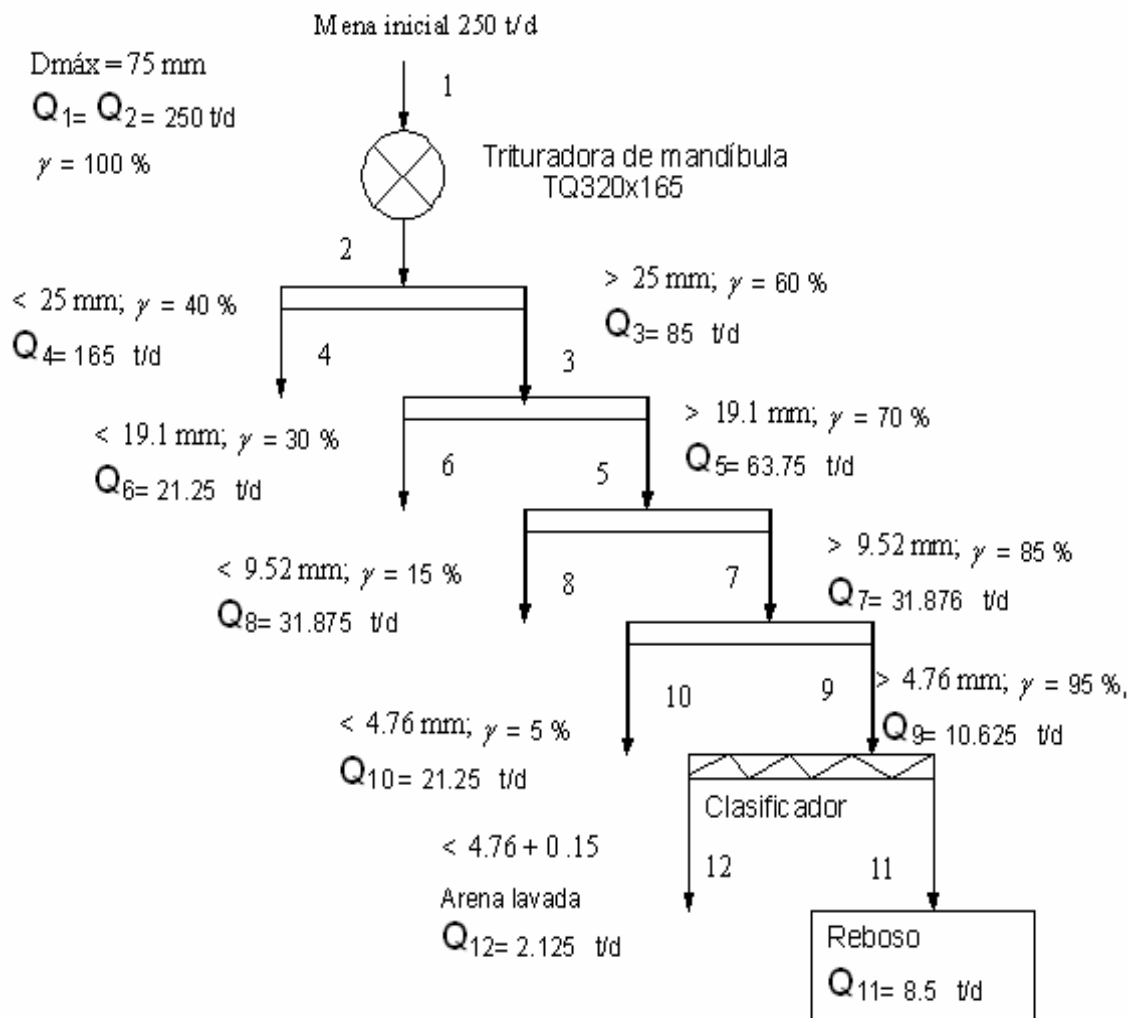


Figura 3.10. Esquema tecnol3gico propuesto para la preparaci3n mecánica de los residuos serpentínicos.

3.4.1 Resultados de la metodología empleada para el cálculo del esquema de fragmentación.

Para determinar el cálculo del esquema de fragmentación primeramente se determinó la característica de tamaño de la mena inicial del material, teniendo en cuenta que al diámetro máximo corresponden 1.5 unidades trazadas por el eje de las abscisas. El tamaño máximo del trozo de residuo serpentínico, antes del proceso de trituración es igual a 75 mm y el diámetro de la boca de salida del triturador es igual a 25 mm. Por tanto,

la característica de tamaño obtenida después de realizado el procesos de reducción de tamaño se muestra en la tabla 3.10.

Tabla 3.11. Característica de tamaño de la mena inicial y del producto triturado

A partir de los resultados obtenidos en la característica de tamaño de la mena inicial se procede a determinar la característica del grosor del material, según se muestra en la **Figura 3.11.**

Según la característica tipo.		Mena inicial	Producto Triturado
Grosor de las clases	Salida sumaria. (%)	Grosor de las clases (mm)	Grosor de las clases (mm)
0.2	90	20	5
0.4	70	40	10
0.8	40	80	20
1	28	100	25
1.2	18	120	30
1.5	6	75	37.5

Conclusiones parciales

- Se determinó la composición granulométrica inicial del material serpentinitico, donde se comprobó que la dimensión de las clases de tamaños predominante en el material rechazado del Taller de Secado de la Empresa Comandante Ernesto Ché Guevara, son las mayores de 25 mm en su forma natural, la cual representa un contenido de 20.31 % de la masa total empleada para el ensayo.
- Se comprobó que en la determinación de las propiedades físico mecánicas del material serpentinitico, que estas rocas poseen una resistencia máxima de 1.741 MPa o 17.41 kg/cm². La resistencia a la flexión y a la compresión arrojaron valores iguales a 2.96 MPa y 22.13 MPa respectivamente.
- Se determinó las características típicas de las trituradoras de mandíbulas TQ 320x165 mm y la TQ 150x 75 mm, donde se determinó el diámetro relativo de las trituradoras a partir de las dimensiones de cada clase de tamaño y el diámetro máximo de la descarga del triturador.

- Se realizó la propuesta del esquema tecnológico para la preparación mecánica de los residuos serpentínicos a partir de diferentes alternativas realizadas, donde se emplearon las trituradoras de mandíbulas.

Conclusiones

El estudio de la preparación mecánica del material serpentínico rechazado en el Taller de Secaderos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara”, en trituradores de mandíbulas, evidenció que:

- La alternativa tecnológica de preparación mecánica del material serpentínico en trituradores de mandíbula evaluada, proporciona un material triturado que presenta un 17 % de partículas planas y alargadas. Para el árido grueso obtenido, las clases de tamaño +9,52 –2,38 mm y +12,5 – 4.76 mm, y para el fino, las clases +2, 38 – 0, 149 mm, sobrepasan el límite superior establecido en la NC 251 de especificaciones.
- La caracterización inicial de la materia prima desde el punto de vista granulométrico permitió conocer que este material está compuesto fundamentalmente por las clases de tamaño mayores de 25 mm y es donde se encuentra aproximadamente el 65, 43 % del material serpentínico de rechazo. Resultado similar a los obtenidos por León en el 2006.
- Las características típicas de las trituradoras de mandíbulas para un diámetro máximo del grano, igual a 75 mm para la trituradora TQ 320 x 165 y 40 mm para la trituradora TQ 150 x 75, permitió establecer las características de trituración del material serpentínico mediante la determinación del diámetro relativo para ambas trituradoras, a partir de la anchura de la boca de salida y el diámetro de cada clase de tamaño.
- Las propiedades físicas, y físico–mecánicas del rechazo serpentínico, demuestran el posible uso como árido en la industria de los materiales de la construcción.

Recomendaciones

- Se recomienda el posible uso de los residuos serpentínicos de la Empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” como árido para la construcción, debido a los resultados obtenidos en la determinación de impurezas orgánicas, partículas planas y alargadas, determinación del peso específico y absorción de agua y la resistencia a la flexión y compresión. Todos estos ensayos realizados, demuestran que los productos obtenidos de este rechazo se pueden emplear como áridos en la industria de los materiales de la construcción, a pesar de sus deficientes características geométricas.
- Se recomienda realizar ensayos en trituradores de impacto para la obtención de mejores formas geométricas del producto triturado, facilidad para variar el tamaño y la granulometría del producto resultante.
- Se recomienda darle continuidad a este tema de investigación, ya que como se conoce este material a nivel mundial no se conoce su empleo como árido para la construcción pero nuestro país cuenta con un gran volumen de serpentinitas la cual

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. Desenvolupament Sostenible. Revista Tracte, Número 66, Octubre del 1996. ISSN 1132-7081.
7. CALVO B. et al. 2000. Rocas y minerales industriales de Iberoamérica. 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. GARCÍA, O. R. 2004. LABOREO EN CANTERAS Y GRAVERAS DE ÁRIDOS. CATERPILLAR-FINANZAUTO, S.A. España.
14. GRUPO EMPRESARIAL ARE. 2008. [en línea]. <http://www.canterasare.com/es/aridos_izda.htm> [consulta: 31 marzo 2008]
15. MITROFÁNOV, S. I. “et al”. 1982. Investigación de la capacidad de enriquecimiento de los minerales. Moscú, Editorial Mir. 435 p.
16. LAVAUT y otros 2003. Informe sobre la caracterización del mineral de rechazo por el proceso de Planta de Preparación de Pulpa.
17. 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.)
18. 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.
19. 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.
20. LYNCH A., J. 1980. Circuitos de Trituración y Molienda de minerales. Optimización, Diseño y Control. Madrid. Editorial Rocas y Minerales.

21. Materiales de construcción. 2007. [en línea]. <<http://www.bricopage.com/>> [Consulta: 13 junio, 2008].
22. MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN EN FERROCEMENTO. 2007. [en línea]. <<http://www.fao.org/DOCREP/003/V9468S/back.gif>> [Consulta: 20 enero, 2008].
23. 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.
24. MINERALES DE LA CORTEZA TERRESTRE. 2008. <<http://www.astromia.com/>> [Consulta: 20 enero, 2008].
25. MONTERO, E. 2007. Caracterización y perspectivas de uso del rechazo serpentínico de la Empresa Pedro Sotro Alba como árido para la construcción. Instituto Minero Metalúrgico de Moa, Trabajo de Diploma. 56 p.
26. 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.
27. NC 178: 2002 Áridos. Análisis granulométrico.
28. NC 181: 2002 Áridos. Determinación del peso volumétrico. Método de ensayo.
29. NC 182: 2002 Áridos. Determinación del material más fino que el tamiz de 0.074 mm (no. 200). Método de ensayo.
30. NC 185: 2002 Arena. Determinación de impurezas orgánicas. Método de ensayo.
31. NC 186: 2002 Arena. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.
32. NC 186: 2002 Árido grueso. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo.
33. NC 189: 2002 Áridos gruesos. Determinación de partículas planas y alargadas. Método de ensayo.
34. NC 251: 2005 Áridos para hormigones hidráulicos—requisitos.

35. NOTICIAS MUNICIPALES. Cuesta arriba entre piedra y arena. [en línea].
<<http://www.radiocaribe.co.cu/secundaria/municipales/Locales.htm>> [Consulta: 27 marzo, 2008].
36. NÚÑEZ, F. A. [2008]. Almacenamiento, alimentación y transporte de sólidos en plantas de áridos. [diapositivas]. 64 diapositivas.
37. OTRAS SUSTANCIAS. 1994. [en línea].
http://www.igme.es/internet/RecursosMinerales/panoramaminero/historico/93-94/OT_SUST.pdf> [Consulta: 31 marzo, 2008].
38. 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].
39. PARRA, A., J.L. 2003. Materiales Utilizados como Áridos. Madrid, 18 de Marzo de 2003.
40. 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.
41. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MINERALES. 2008. [en línea].
<<http://www.monografias.com/>> [Consulta: 20 enero, 2008].
42. RAZUMOV, K.A. y PEROV, V.A. 1985. Proyectos de fábricas de preparación de minerales. Moscú, Edición Mir. 533 p.
43. RECURSO MINERALES. 2007. [en línea].
<<http://www.bajacalifornia.gob.mx/ecologia/index.html>> [Consulta: 13 junio, 2008].
44. RODRÍGUEZ S., V. E. 1985. Materiales serpentínicos en la construcción de presas de materiales locales Presas Moa. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Moa. Trabajo de Diploma. 61 p.

45. 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.
46. SANCHEZ R., F. 1990. Introducción a las técnicas de construcción. La Habana.
47. SERPENTINITA DE MANZANILLO. 1997. [en línea]. PDVSA-INTEVEP. <<http://www.pdvsa.com/>>, [Consulta: 20 enero, 2008].
48. SORO, P. M. 2000. Materiales para la construcción. Federación de Rusia. Moscú Oficina Comercial de España.
49. TAGGART, A. F. 1972. Handbook of Mineral Dressing. Edición Revolucionaria. La Habana.
50. 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].
51. TORRENS B., R. y SOTO G., I.D. 1983. Materiales de Construcción. Editorial Pueblo y Educación.

Anexo I Característica granulométrica inicial del residuo serpentinitico.

Clases de tamaño	Peso (g)	Salida (%)	Salida(+)	Salida(-)
>101	0	0	0	100,00
<101+75	2256,50	6,36	6,36	100,00
<75+63	2675,00	7,54	13,91	93,64
<63+50,8	4961,00	13,99	27,90	86,09
<50,8+38,1	6107,00	17,22	45,12	72,10
<38,1+25,4	7201,00	20,31	65,43	54,88
<25,4+19,1	4088,50	11,53	76,95	34,57
<19,1+12,5	4896,50	13,81	90,76	23,05
<12,1+9,52	2526,00	7,12	97,89	9,24
<9,52+4,76	665,50	1,88	99,76	2,11
Fondo	84,00	0,24	100,00	0,24
	35461,00	100,00		

Anexo II Caracterización granulométrica del material triturado

Clases de tamaño	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio (g)	Salida (%)	Salida(+)	Salida(-)
>18	443,20	414,00	439,30	1296,50	16,21	16,21	100,00
<18+10	943,90	887,20	964,90	2796,00	34,95	51,16	83,79
<10+5	657,93	613,53	652,00	1923,46	24,04	75,20	48,84
<5+0,149	676,82	606,12	701,10	1984,04	24,80	100,00	24,80
Total				8000,00			0,00

Anexo III Composición granulométrica del material triturado realizado en el laboratorio de materiales de la construcción de la Empresa de Construcciones y Reparaciones de la Industria del Níquel.

Tabla III.1 Composición granulométrica del material triturado. Grava $\frac{3}{4}$ para la serie de tamices (19 - 5), según la NC 178: 2002.

Clases de tamaño	Peso (g)	Salida (%)	Salida (+)	Salida (-)
> 25,4	0,00	0	0	100,00
< 25,4 > 19,1	202,00	2,91	2,91	100,00
< 19,1 > 9,52	3213,00	46,32	49,24	97,09
< 9,52 > 4,76	1736,50	25,04	74,27	50,76
< 9,76 > 2,38	786,50	11,34	85,61	25,73
Fondo	998,00	14,39	100,00	14,39
Total	6936,00	100		0,00

Anexo III. 2 Composición granulométrica del material triturado. Grava $\frac{3}{4}$ para la serie de tamices (19 – 10) según la NC 178: 2002.

Clases de tamaño	Peso(g)	Salida %	Salida +	Salida -
> 25,4	0	0	0	100,00
< 25,4 > 19,1	212,5	3,99	3,99	100,00
< 19,1 > 12,5	2052,5	38,54	42,53	96,01
< 12,5 > 9,52	1228,5	23,07	65,59	57,47
< 9,52 > 4,76	1711,5	32,13	97,73	34,41
Fondo	121	2,27	100,00	2,27
	5326	100		0,00

**Anexo III. 3 Composición granulométrica del material triturado. Arena
Según la NC 178: 2002.**

Clases de tamaño	Peso (g)	Salida (%)	Salida (+)	Salida (-)
> 9,52	0,00	0,00	0,00	100,00
< 9,52 > 4,76	446,50	5,87	5,87	100,00
<4,76 >2,38	2700,50	35,50	41,37	94,13
<2,38 > 1,18	1707,00	22,44	63,81	58,63
< 1,18 >0,59	926,00	12,17	75,98	36,19

< 0,59 > 0,30	738,00	9,70	85,68	24,02
< 0,30 > 0,149	497,00	6,53	92,21	14,32
Fondo	592,50	7,79	100,00	7,79
Total	7607,50	100,00		0,00

Anexo IV Determinación de la resistencia a la flexión y la compresión de los morteros realizados con el material serpentínico.

Pruebas de resistencia	Área de los morteros	Valor (1)	X_1	Valor (2)	X_2	Valor (3)	X_3	X_m (MPa)	Resistencia (Kg *f/ cm ²)
Flexión	0.234	120	2.81	140	3.28	120	2.81	2.96	29.64
Compresión	16	3800	23.75	3600	22.5	3220	20.13	22.13	221.35

Anexo V Determinación de la resistencia a la flexión y la compresión de los morteros realizados con la arena de Sagua de Tánamo.

Pruebas de resistencia	Área de los morteros	Valor (1)	X_1	Valor (2)	X_2	Valor (3)	X_3	X_m (MPa)	Resistencia (Kg *f/ cm ²)
Flexión	0.234	200	4.68	200	4.68	198	4.63	4,66	46,64
Compresión	16	4909	30.68	4707	29.42	4700	29.38	29,83	298,25

Anexo V Especificaciones realizadas en la Norma Cubana 251: 2005. ÁRIDOS PARA HORMIGONES HIDRÁULICOS - REQUISITOS

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

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

Referencias normativas

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

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

NC 178: 2002 Áridos. Análisis granulométrico

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Método de ensayo

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

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

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

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

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

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

Impurezas

El árido no contendrá impurezas cuya naturaleza o cantidad puedan afectar las propiedades esenciales del hormigón (resistencia, impermeabilidad, durabilidad, y otros). Se consideran prohibidas las partículas de carbón, de madera u otros residuos (coque, ceniza, escoria, asfalto, y otros).

Se consideran toleradas las pequeñas cantidades de sulfato de calcio (yeso) y de sulfuro de hierro (pirita) bajo reserva que su contenido total en azufre expresado en anhídrido sulfúrico SO_3 no sobrepasa el 1% del peso total de la muestra de árido seco. La distribución en el árido de las impurezas toleradas será uniforme y las partículas que la constituyen tendrán un volumen inferior de $0,05 \text{ m}^3$.