



Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Dr. Antonio Núñez Jiménez
Facultad de Geología y Minas
Departamento de Minería

Trabajo de Diploma

En opción al título de Ingeniero en Minas

Tema: Aprovechamiento de las escombreras en la cantera de mármol Botichino I como áridos para la construcción

Autor: Hélio Bruno Luís Paulo

Tutores: Dr. C. Yoandro Diéguez García

Ing. Yanetsis Chacón Pérez

Moa, 2017
"Año 59 de la Revolución"





Ministerio de Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Dr. Antonio Núñez Jiménez
Facultad de Geología y Minas
Departamento de Minería

Trabajo de Diploma

En opción al título de Ingeniero en Minas

Tema: Aprovechamiento de las escombreras en la cantera de mármol Botichino I como áridos para la construcción

Autor: Hélio Bruno Luís Paulo _____

Tutores: Dr. C. Yoandro Diéguez García _____

Ing. Yanetsis Chacón Pérez _____

Moa, 2017
"Año 59 de la Revolución"



DEDICATORIA

Dedico este trabajo de diploma a Dios Todo Poderoso por haberme brindado sabiduría, enseñanza y entendimiento, a mis padres, João Agostinho Gouveia Paulo y Ana Maria Pascoal Luis, quienes han luchado y luchan cada día para mi bien estar, así como a mis hermanas y abuelos, en especial, a mi abuelo Mateus Luis, que Dios lo tenga en su santo tabernáculo.

Gracias por su confianza, apoyo y amor incondicional, los amo con el alma.

AGRADECIMIENTOS

A Jehová Dios por haberme protegido, guiado y mantenido con vida todos estos años. Gracias Señor Jehová por estar siempre conmigo, gracias por tus bendiciones y por confortarme en todos momentos de mi vida.

A mis padres por su amor, confianza y apoyo incondicional. Por sus enseñanzas, y por el sacrificio que hicieron para mi educación.

A mis tutores, el Dr.C. Yoandro Diéguez García y a la Ingeniera Yanetsis Chacón Pérez por haberme ayudado y guiado para la realización de éste trabajo, así como también por los conocimientos que me aportaron.

A todas mis hermanas, ustedes son la razón por la que luché todos los días. Las quiero muchísimo mis amores. Así como, mis abuelos, tíos y primos, quienes desde muy lejos me hicieron llegar su amor y apoyo incondicional, durante estos cinco años que me encuentro distante de la casa.

A mi novia Dumila Suzelene Antonio Fernandes, por el apoyo en todos los momentos de mi vida. ¡Gracias Cariño!

Agradezco a todos los profesores del departamento de minería y del centro que contribuyeron para mi formación profesional.

Agradezco a todos los trabajadores de la cantera Crema Valle Botichino I, en especial el Ingeniero Eriel Martínez y el director de la cantera Gilberto Alonso Sánchez, quienes dedicaron su tiempo y

paciencia para la realización de éste trabajo y me atendieron con mucha amabilidad.

A mis compañeros y amigos Paulo Luzendo Eduardo Vieira, el Ingeniero Yosbel Romero Ramirez y Edvaldo Serra Alexandre por acreditar en mis capacidades y brindarme fuerzas para seguir luchando, y hacerse siempre presente como buenos amigos. ¡Gracias Hermanos!

A todas aquellas personas que contribuyeron directa o indirectamente en mi formación, mi sincera gratitud.

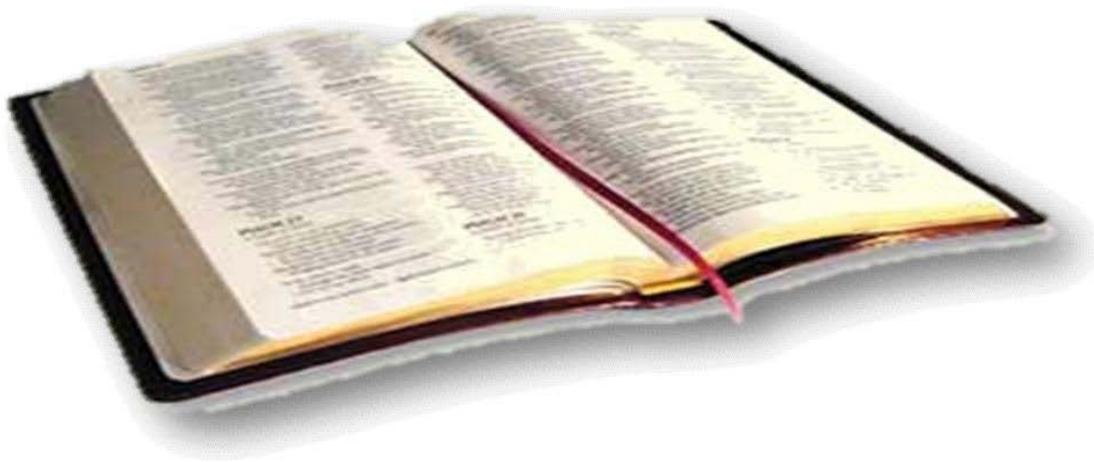
PENSAMIENTO

Porque JEHOVÁ da la sabiduría, y de su boca viene el conocimiento y la inteligencia.

Él provee de sana sabiduría a los rectos; Es escudo a los que caminan rectamente.

Es el que guarda las veredas del juicio, y preserva el camino de sus santos.

Proverbios 2:6-8



RESUMEN

La cantera Botichino I, fue investigada en la década del 70 del pasado siglo y desde entonces se ha explotado por más de 40 años. La misma se encuentra ubicada en el municipio Jiguaní, en la provincia de Granma. La explotación se realiza por el modo a cielo abierto produciendo la variedad Crema Valle, que corresponde a una caliza de color crema blanco que se obtiene a partir de la extracción de los bloques de calizas marmolizadas con fines ornamentales.

El presente trabajo tuvo como objetivo, determinar el aprovechamiento integral de los escombros generados en la cantera Botichino I, para disminuir el volumen de estéril producido durante la explotación y generar un aporte económico al proceso productivo de la entidad minera.

En la investigación se realizó una caracterización ingeniero-geológica del material de la cantera y un análisis de las propiedades físico – mecánicas de las rocas en la escombrera, lo cual permitió definir las distintas aplicaciones como árido en la rama de la construcción a partir de lo que establece la NC 251; además se propone la tecnología a emplear en el procesamiento de estos escombros y la valoración económica y ambiental que genera para la empresa el aprovechamiento de este material.

SUMARY

The quarry Botichino I, was investigated in the decade of the 70 of the last century and since then has been exploited for more than 40 years. It is located in the municipality Jiguaní, in the province of Granma. The exploitation takes place as an open pit/quarry producing the variety Crema Valle, which corresponds to a white creamy limestone that is obtained from the extraction of blocks of marble limestone for ornamental purposes.

The objective of the present work was to determine the integral use of the debris generated in the Botichino I quarry, in order to reduce the volume of barren produced during the operation and generate an economic contribution to the production process of the mining entity.

In the research, characterization of the material at the quarry and an analysis of the physical - mechanical properties of the rocks in the dump was made, which allowed to define the different applications of it as an arid in the branch of the construction from what CN 251 Establishes; It also proposes the technology to be used in the processing of these debris, the economic and environmental evaluation that the use of this material generates for the company.

Índice

INTRODUCCIÓN	3
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y ACTUALIDAD DEL TEMA	7
1.1 Introducción.....	7
1.2 Conceptos generales	7
1.3 Antecedentes y actualidad del tema en el mundo.....	8
1.4 Antecedentes y actualidad en Cuba.....	10
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN INGENIERO-GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO.....	11
2.1 Ubicación del yacimiento	11
2.2 Relieve	12
2.3 Poblaciones y red de comunicación.....	12
2.4 Hidrografía	12
2.5 Hidrología del yacimiento.....	12
2.6 Clima.....	13
2.7 Vías de comunicación	13
2.8 Vegetación	13
2.9 Historia de la concesión y de los trabajos previos en la región.....	13
2.10 Geología de la región.....	14
2.11 Geología del yacimiento.....	15
2.12 Tectónica	16
2.13 Grietas	18
2.14 Economía de la región	18
2.15 Características mineralógicas y físico-mecánicas de la roca	19
2.15.1 Propiedades mineralógicas.....	19

2.15.2 Propiedades físico-mecánicas	19
CAPÍTULO 3. UTILIZACIÓN DEL MATERIAL DE ESCOMBRO COMO ÁRIDO PARA LA CONSTRUCCIÓN	20
3.1 Utilidad e importancia de los áridos	20
3.2 Sistema de explotación y proceso de producción de la cantera.....	20
3.3 Plan de producción de la cantera y su rendimiento.....	21
3.4 Características del material estéril	22
3.5 Características físico-mecánicas y químicas de las rocas en el yacimiento	23
3.6 Utilización del material de escombros como árido	28
3.7 Resultados de los ensayos que determinan la aplicación de los áridos en la elaboración de hormigón.....	29
3.7.1 Áridos gruesos	29
3.7.2 Áridos finos	31
3.8 Propuesta de la tecnología para el procesamiento del árido	34
3.9 Valoración económica y ambiental.....	41
CONCLUSIONES.....	46
RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	48
ANEXOS	50

INTRODUCCIÓN

El sector de las rocas ornamentales es en estos momentos uno de los más poderosos dentro de la actividad minera, con un aumento continuado de producciones y volumen de empleo. Estos aumentos han ido en paralelo con los avances tecnológicos, los cuales han conducido al uso de sistemas de explotación más racionales y sofisticados, que han permitido lograr incrementos en la capacidad y calidad del arranque, mayores aprovechamientos de los recursos disponibles y, por supuesto, el logro de unos costos de extracción cada vez más competitivos.

Durante la larga historia de la construcción ha habido una sustitución constante de materiales industriales, por la utilización de materiales naturales como por ejemplo la piedra o piedras naturales; pues como se menciona el Mármol es una piedra caliza metamórfica de textura compacta y cristalina. La industria de la producción es un sector productivo que incluye desde la realización de grandes obras hasta la edificación de viviendas, existiendo demanda por el uso de este material, por ser elegante y vistoso.

Las rocas ornamentales dentro del grupo de materiales de construcción son rocas metamórficas, magmáticas y sedimentarias que por su características físico-mecánicas y químicas, así como por su apariencia (textura y color), permiten que mediante su elaboración y su utilización en las obras y diseños artísticos cumplan con la función de satisfacer las demandas decorativas en la construcción. Según su génesis se clasifican en: metamórficas: mármoles y gneis; magmáticas: granitos y serpentinitas; sedimentarias: calizas, areniscas y calcarenitas.

“Mármol, es el nombre con el que se conocen las rocas extraídas de la cantera utilizadas para la ornamentación y construcción de edificios; mucho en recubrimiento de paredes, mostradores, muebles de cocina, muebles de oficina, monumentos, pisos, artesanías y un sinfín de productos que dan elegancia, belleza y distinción, cualidades que le han valido para ser muy apreciado desde tiempos inmemoriales como en la antigua Roma y Grecia, hasta nuestros días”.

Geológicamente en Cuba están identificados 14 yacimientos de mármol, de ellos en explotación cinco. La principal cantera se ubica en la provincia de Granma, desde 1826 en esta región cubana se logran altos niveles de extracción, elaboración y comercialización del mármol que hoy se procesa, allí se producen las variedades: Crema Valle, Rosa Aurora y Orquídea Sierra, en la zona central el Rojo Campiña y Crema Escambray y le sigue el Municipio Especial Isla de la Juventud con el Gris Siboney. De la cantera marmórea Botichino I de la provincia de Granma deviene uno de los más importantes mármoles pues el color de la variedad que allí se obtiene goza de gran aceptación en el mercado nacional e internacional.

Comercialmente hablando, el nombre de mármol se utiliza en muchos casos de manera genérica para denominar una piedra natural, con determinada textura a la vista y capaz de recibir un gran pulido, aunque en su composición el componente predominante no sea la calcita y en algunos casos incluso, este está completamente inexistente.

La cantera Botichino I desde su investigación produce la variedad Crema Valle correspondiente a una caliza organodetrítica estratificada según $50^{\circ}/12^{\circ}$, de color crema blanco, con carsificación rellena fundamentalmente de arcillas de color pardo oscuro, con sistemas de agrietamiento moderados y fuertes, pertenecientes a la Fm (formación) charco redondo, de edad paleógeno, con potencias estimadas entre 50 y 200 m. La explotación se realiza a cielo abierto, con escalones de explotación, con altura media de 6 m, sin explosivos, según la secuencia; perforación, corte, extracción, carga y transporte, con escombreras de borde. La productividad anual de la cantera es de aproximadamente $55\ 000\ m^3$ de masa minera con un aprovechamiento de bloques de $5\ 000\ m^3$, para un porcentaje de recuperación de 9% aproximadamente. Los bloques son generalmente de dimensiones $2,5 \times 1,5 \times 1,75\ m$, con aproximadamente $6,5\ m^3$.

Actualmente la cantera cuenta con 4 frentes de explotación; hasta la fecha no se ha dado ningún tipo de solución o uso a los escombros que allí se generan, tampoco disponen de las tecnologías necesarias para eso.

En el momento de la extracción del bloque primario, se generan grandes volúmenes de escombros debido a la cantidad de material fracturado y/o no aprovechado que por sus características físico-mecánicas se pueden aprovechar como áridos para la construcción.

En este trabajo se pretende determinar el aprovechamiento de las escombreras en la cantera de mármol Crema Valle Botichino I como árido para la construcción.

Problema científico

Necesidad de aprovechar las escombreras como árido para la construcción en la cantera de mármol Botichino I, para disminuir el volumen de estéril producido durante la explotación y generar un aporte económico al proceso productivo de la entidad minera.

Objeto de estudio

Aprovechamiento de las escombreras de mármol como árido para la construcción.

Campo de acción

Las escombreras en la cantera de mármol Botichino I en la provincia de Granma.

Objetivo general

Aprovechar el escombros que se genera en la cantera de mármol Botichino I como árido para la construcción, y con esto disminuir el volumen de estéril producido durante la explotación y generar un aporte económico al proceso productivo de la entidad minera.

Hipótesis

Si se realiza el estudio ingeniero-geológico del estéril en la cantera, se evalúan los diferentes usos del escombros a partir de sus propiedades y se analiza la tecnología a emplear en el procesamiento del material, es posible aprovechar el escombros que se genera en la cantera de mármol Botichino I como árido para la construcción, y con esto disminuir el volumen de estéril producido durante la explotación y generar un aporte económico al proceso productivo de la entidad minera.

Objetivos específicos

1. Realizar una caracterización ingeniero - geológica del material de escombros.
2. Evaluar los diferentes usos del material de escombros a partir de sus propiedades.
3. Proponer la tecnología a emplear en el procesamiento del material de escombros.
4. Realizar una valoración económica y ambiental.

En el desarrollo del trabajo se aplicaron métodos empíricos y teóricos de la investigación científica.

Entre los métodos empíricos:

- Observación y entrevista: para conocer la realidad de la cantera de mármol, las características tecnológicas, el estado actual del material de escombros así como su lugar de ubicación, entrevistas a especialistas para la fundamentación del tema, lo que permitió conocer todos los aspectos relacionados con el proceso primario y de producción que se realiza en la cantera.
- Compilación: permite reunir y sistematizar información mediante la revisión de fuentes bibliográficas, orales, digitales o de otro tipo.

Entre los métodos teóricos:

- Histórico - lógico: este método permitió conocer los antecedentes y actualidad del tema, para dominar los conceptos y elementos básicos del proceso productivo y posteriormente darle una solución al estéril que se genera en la cantera.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES Y ACTUALIDAD DEL TEMA

1.1 Introducción

En este capítulo se muestran algunos conceptos generales así como la problemática existente en el mundo y en Cuba acerca del aprovechamiento de los escombros que se genera en las canteras de mármol.

1.2 Conceptos generales

Existen numerosas definiciones de los conceptos relacionados con el tema, en función de la fuente a la que se acuda:

Piedra Natural: se puede definir, como producto industrial, a aquellas rocas que después de un proceso de elaboración son aptas para ser utilizadas como materiales nobles de construcción, elementos de ornamentación, arte funerario y escultórico, objetos artísticos y variados, conservando íntegramente su composición, textura y características fisicoquímicas

Mármol: conjunto de rocas constituidas fundamentalmente por minerales carbonatados. Incluye los mármoles propiamente dichos, que son rocas metamórficas compuestas esencialmente de calcita o de dolomita. Las calizas denominadas marmolizadas son rocas carbonatadas, frecuentemente recristalizadas, compactas, de grano fino, normalmente con vetas de calcita e impurezas que proporcionan colores variados y, a veces, con inclusión de fósiles.

En geología se denomina mármol a una roca metamórfica compacta formada a partir de rocas calizas que, sometidas a elevadas temperaturas y presiones, alcanzan un alto grado de cristalización.

Cantera: es una explotación minera, generalmente a cielo abierto, en la que se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridas.

Árido: se denomina árido al material granulado que se utiliza fundamentalmente como materia prima en la construcción.

López (1994) citado por Víctor, F, (2016), en su trabajo de diploma, plantea que áridos son materiales minerales, sólidos inertes, con las granulometrías adecuadas y se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla íntima con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cales, cementos, etc.) o con ligantes bituminosos.

Escombro de mármol: se denomina escombros de mármol al conjunto de fragmentos o restos de materiales que provienen de los desechos de la extracción y/o del proceso de corte y pulido del mármol.

1.3 Antecedentes y actualidad del tema en el mundo

Los materiales de la construcción constituyen una prioridad para la sociedad en el desarrollo de infraestructuras y otras obras sociales, por esto, en este trabajo le damos una opción para la utilización de los residuos de mármol como árido para la construcción.

Actualmente, dos de los mayores problemas a los que se enfrenta el sector de las rocas ornamentales son la de generación de lodos procedentes de las naves de elaboración y de estériles rocosos originados en las canteras durante la extracción.

Uno de los aspectos a resolver es la deposición de esos residuos en condiciones de seguridad y sin afectar al medio ambiente. Una solución es la de su aprovechamiento en diferentes industrias, siempre que se cumplan determinadas especificaciones.

Esta temática ha sido abordada por varios autores e instituciones por medios de revistas y publicaciones a nivel internacional, entre los que se relacionan:

En Cataluña las formas de cómo se puede gestionar los residuos, así como los procedimientos que se han de utilizar, están enmarcados por los preceptos que la legislación vigente en este territorio en materia de residuos señala y de acuerdo con los principios y objetivos de la legislación, el 12 de abril de 1999 se publicó el Decreto 93/1999, de 6 de Abril, sobre procedimientos de gestión de residuos.

Este Decreto regula, básicamente, el control de las actividades de producción y gestión de los residuos industriales de acuerdo con el riesgo ambiental que pueden suponer según el tipo de residuo y de la actividad productora. (DOGC, Diario Oficial de la Generalidad de Cataluña)

Cerdera, 2009, plantea que los residuos generados por la industria del mármol al no ser aprovechados generan un importante impacto ambiental, que se traduce en problemas sociales y económicos.

Rodríguez, 2012, expone que existe una fuerte contaminación del suelo debido a la acumulación de polvo sobre la superficie donde es depositado el residuo, por ocupación parcial de la superficie por escombros. De esta manera, el suelo absorbe el óxido de calcio (CaO) del residuo que con el tiempo va provocando que el suelo en donde se encuentra se vuelva infértil y no permita el crecimiento de vegetación.

En ese sentido, se están desarrollando numerosas investigaciones a nivel nacional e internacional con el objetivo de reutilizar el Residuo del Mármol (RM) en diferentes materiales constructivos con el fin de disminuir la contaminación visual, ambiental y de daños a la salud. (Bonavetti et al., 2003; Bosilijkov, 2003; Calmon, 2005; Girbes et al., 2008).

También existen numerosos trabajos que se centran en el estudio de las propiedades físicas y químicas (Nehdi et al., 2004; Topcu et al., 2008; Vázquez et al., 2004, Fernández et al., 2004).

Dichos trabajos y estudios previos reflejan la clara necesidad de reducir la cantidad de desechos del mármol, por medio de propuestas de utilización de los mismos en la elaboración de nuevos materiales de construcción (Codina, 2002).

Estudios llevados a cabo por Correia Gomes et al. (2005) concluyen que la utilización de los residuos de corte de mármol y granito hasta en un 50% en peso del cemento, no conlleva ningún perjuicio para las propiedades de los hormigones y corroboran que la adición de dichos residuos ayuda a conseguir las propiedades de autocompactabilidad.

En general, las principales afectaciones que producen los residuos de mármol son: la alteración de la topografía, ocupación de suelo, degradación de aguas superficiales y subterráneas, contaminación del aire y la contaminación visual.

1.4 Antecedentes y actualidad en Cuba

Desde el punto de vista ambiental, se han desarrollado numerosas investigaciones que abordan caracterización minero-ambiental en las canteras de materiales para la construcción de las provincias de Holguín, Guantánamo, Granma y Santiago de Cuba; entre ellos, García (2013); Guindo (2013); Almenares (2014); Pérez (2015), analizaron la estructura productiva de las canteras y las características geológicas y minero técnicas de cada yacimiento en explotación. Estos autores identifican y caracterizan los efectos ambientales que se producen en cada cantera y proponen medidas generales de mitigación de los impactos negativos. Concluyen que en todos los casos se pueden observar acumulación de grandes cantidades de material de escombros.

En la consulta realizada se pudo corroborar que Cuba en la explotación de rocas ornamentales se dedica fundamentalmente en la obtención de los bloques primarios (producción primaria) y de los diferentes elementos que se producen a partir de ellos, así como servicios de colocación y restauración de los productos ornamentales, y no, al aprovechamiento del resto de volumen de roca que queda y no cumple con las características de la explotación primaria.

Como se puede observar, las diversas investigaciones han encontrado resultados positivos para el uso de los escombros generados por las canteras de mármol en distintas áreas industriales, así como en la rama de la construcción. Además, se debe tomar en cuenta que, en general, al aprovechar ese material de escombros se logra un impacto menos agresivo al medioambiente.

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN INGENIERO-GEOLÓGICA DEL YACIMIENTO

2.1 Ubicación del yacimiento

El yacimiento Botichino I se localiza a una distancia aproximada de 3 km al noreste del poblado de Charco Redondo, localidad que pertenece al municipio Jiguaní en la provincia de Granma, localizada en la plancheta 4976 IV "Baire", escala 1: 50 000 con coordenadas Lambert.

X = 543 700 - 543 950

Y = 179 800 - 180 100

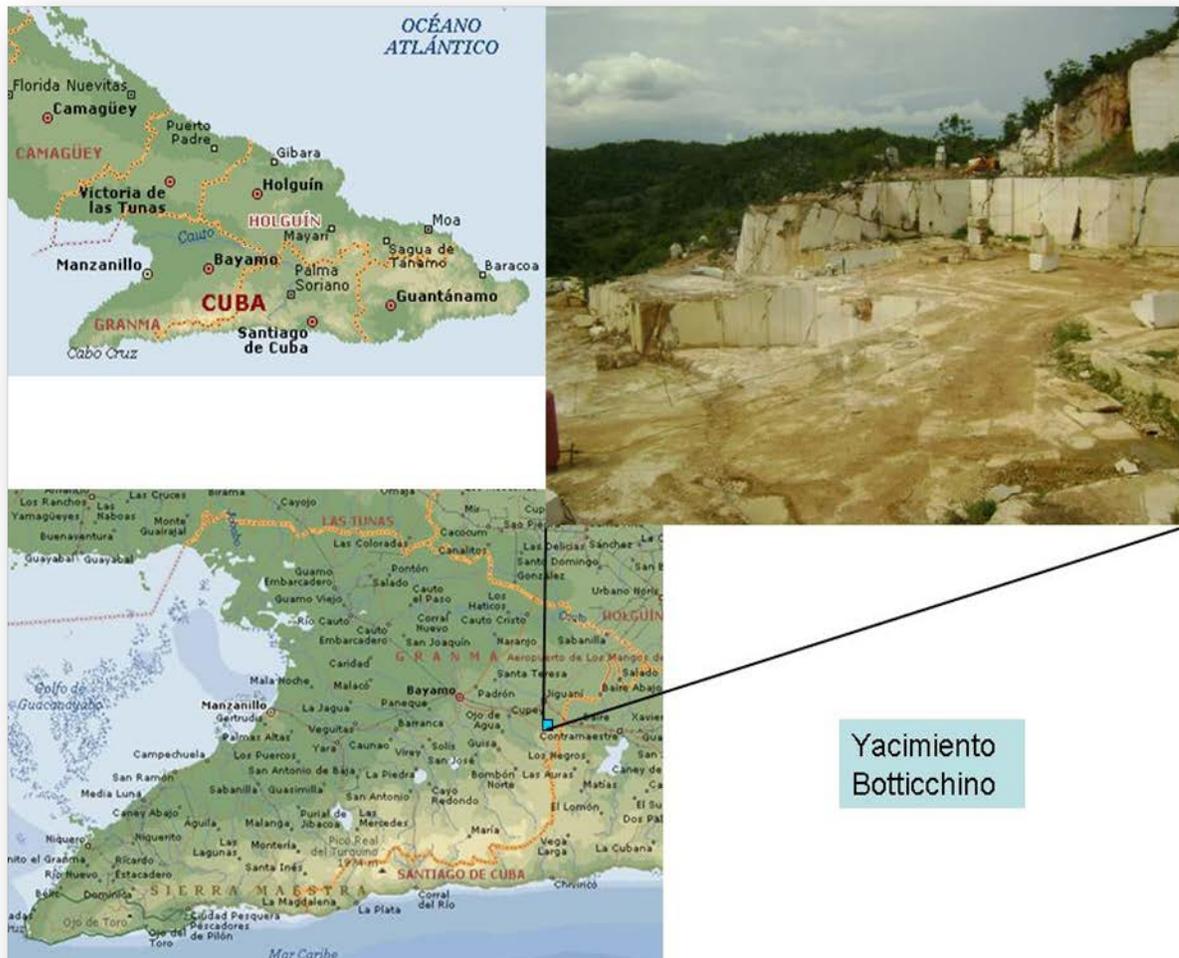


Figura 2.1.1: mapa de ubicación geográfica del yacimiento Botichino

2.2 Relieve

El relieve es pre montañoso, con mesetas que oscilan alrededor de los 300 metros sobre el nivel del mar.

2.3 Poblaciones y red de comunicación

Este yacimiento está ubicado al NE del poblado de Charco Redondo, municipio Jiguaní provincia Granma, con vía de comunicación por un terraplén en buenas condiciones, a una distancia de 3 km del mismo. La red eléctrica está compuesta por líneas de 10 Kv de potencia que pasan cerca del yacimiento.

El poblado de Charco Redondo y sus alrededores tiene fuerza laboral con capacidades para desarrollar dichos trabajos, por la larga tradición minera de este pueblo, tanto en la minería de manganeso, como en la explotación de las canteras de mármol, además está constituida por agricultores pequeños, así como por obreros de empresas minoristas.

2.4 Hidrografía

La red hidrográfica regional está relativamente desarrollada destacándose el río Cautillo y el arroyo El Cacao, que pasa al sur del poblado “Charco Redondo”.

La red también está compuesta por sistema de drenajes superficiales, los que forman cañadas secas, las que alimentan el manto freático en temporadas de lluvias y emergen en forma de un manantial en el lugar conocido por “El Cacao”, el que abastece de agua a parte de los centros industriales del poblado.

2.5 Hidrología del yacimiento

Desde el punto de vista hidrológico, la zona se encuentra en la región XVII de aguas de tipo filoneanas y relacionadas con las calizas, estas aguas se asocian al contacto de las formaciones (Charco Redondo) y Formación Cobre, así como las zonas de fallas y carso.

Las mediciones de régimen evidencian que el nivel freático se encuentra por debajo de la cota +250 aunque esta puede llegar hasta la +251 en períodos de intensas lluvias.

Hasta la fecha no se reportan problemas con el nivel freático aunque es necesario que los pisos de las canteras tengan la caída requerida para evacuar el agua de lluvia por la vía gravitacional.

En la zona norte la cota del Valle está por debajo de la cota +250 y en este no se observan ni ríos ni estancamientos de agua.

2.6 Clima

El clima es de tipo tropical húmedo, con temperatura media de 24 grados Celsius, con una temporada de lluvia entre los meses (mayo –noviembre) y la estación seca (noviembre – abril), con medias de precipitaciones de 300 -1000 mm.

2.7 Vías de comunicación

Las vías de comunicaciones tienen buen desarrollo existiendo una carretera asfaltada que une la localidad de Charco Redondo con la carretera central, tanto hacia el poblado de Santa Rita, como hacia la cabecera Municipal Jiguaní.

2.8 Vegetación

En la localidad se presenta la vegetación de tipo de charrasco, con guao, magueyes y arboles espinosos como principales representantes.

La agricultura se dedica principalmente a los frutos menores y hortalizas.

2.9 Historia de la concesión y de los trabajos previos en la región

Las rocas ornamentales de la región Guisa – Baire comienzan a utilizarse con estos fines en la primera mitad del siglo XX, por personas de origen Italiano, los que establecen un centro de procesamiento de estas rocas en las cercanías del Rio Cautillo, próximos además a la carretera central nacional.

En el año 1991 se entregó el informe de prospección detallada y exploración orientativa y detallada de calizas marmóreas de la variedad Botichino, de los autores Ing. R. Ortega y otros, de las cuales se calcularon recursos en categorías de B ascendentes a 77242.7m^3 y en C_1 a 80118.95m^3 , con 27 y 25% de recuperación de bloques, estos son los recursos con los que se trabaja hoy en día en el balance Nacional de Reservas.

2.10 Geología de la región

En la región de los trabajos aparecen rocas de distintas edades las que son enunciadas a continuación:

Formación Tejas, de edad ($T_3 - K_2$) constituidas por areniscas tobáceas, micáceas y esquistosas.

Grupo El Cobre, de edad ($Pg_1 - Pg_2$) integrado por el complejo vulcanógeno-sedimentario, con tobas, dacitas, riolitas, andesitas, basaltos y sus lavas.

Formación Charco Redondo, de edad (Pg_2^2) constituidas por calizas organodetríticas, masivas de colores muy variados.

Formación San Luis de edad ($Pg_2^2 - Pg_2^3$) constituidas por areniscas, lutitas y calizas finamente estratificadas.

Las rocas que afloran en el yacimiento Botichino I, están constituidas por calizas color crema las que pertenecen a la formación Charco Redondo, con recristalización y fuerte desarrollo del carso, el que forma en las rocas todas las variedades de carso conocidas, desde mogotes, dolinas, lapies y diente de perro en superficie, así como furnias y cavernas con forma de embudo en el paquete de rocas carbonatadas. Todas estas formas erosivas de la roca están determinadas por un fuerte agrietamiento asociado a zonas tectónicas las que tienen dos direcciones principales, norte – sur y este – oeste.

Este paquete de rocas forma un monoclinal con ángulos de buzamiento suaves al sureste con 10 – 15 grados.

El paquete de roca es subyacida por las rocas volcánicas del grupo El Cobre, las que no se cortaron durante las perforaciones.

2.11 Geología del yacimiento

La geología del yacimiento Botichino I está representada por paquetes de calizas recristalizadas color blanco a crema, las que pertenecen a la formación Charco Redondo, en forma de capas potentes, cuyas capas están separadas por planos de agrietamientos de poco espesor, las grietas pueden estar rellenas de material laterítico, o en general son grietas abiertas. El paquete de calizas puede tener potencias de más de 40 m, las que forman un monoclinal de buzamiento suave, entre 10 y 15 grados con azimut de buzamiento SE. Entre las capas de calizas se observan zonas de fuerte desarrollo de los procesos cársicos, los que afectan la calidad de los bloques que se extraen. Dando complejidad al yacimiento por lo que es necesario que en rocas ornamentales para la formación Charco Redondo las redes de exploración sean por debajo de 25x25 m.

La variedad Crema del valle es una caliza biomicrítica, color crema o blanco, masivas con magnificas cualidades ornamentales. Aunque la variedad crema es la predominante, aparece una variedad color rosado crema de potencia hasta 2 metros de los estratos, los cuales poseen un fuerte desarrollo del agrietamiento, las que por lo general están rellenas de minerales arcillosos de coloración rosado o verde.

El carso interno de las calizas aparecen rellenos de lateritas calcificadas, coloración pardo o pardo amarillentas, aunque también se presentan espacios vacíos con formas de embudos cársicos. El desarrollo de la tectónica predomina en las partes NE y SE del yacimiento, teniendo un aumento hacia la superficie de la cantera.

Las rocas encajantes del yacimiento lo constituyen los depósitos vulcanógeno - sedimentarios del grupo el cobre, las cuales no se cortaron en los pozos.

El principal agente de intemperismo es el agua, lo que activa los sistemas de grietas existentes, desarrollando un sistema de carso típico que crean zonas de corrosión y porosidad alta, así como diferentes grados de oxidación que afectan cualidades ornamentales de esta roca.

En el yacimiento se detectó la variedad ornamental (caliza blanco - crema) con el nombre comercial de Botichino y muy restringido una variedad rosada (Rosa Aurora), se perforaron potencias de hasta 30 m, aunque se estiman sean mayores, no se cortó la formación Cobre (subyacente). El estéril está representado por la arcilla que rellena el sistema cársico, así como por las zonas altamente trituradas y corridas.

En estas zonas investigadas, los elementos de yacencia de los estratos no pudieron ser detectados ya que están enmascarados.

2.12 Tectónica

La tectónica dentro del área de la concesión está desarrollada por grietas verticales y subverticales las que se transforman en sistemas cársicos, los que pueden o no estar rellenos de lateritas calcificadas, tiene dos direcciones principales, una de primer orden con rumbo norte – sur, la cual secciona al yacimiento en una porción Oeste y una Este con características diferentes en los paquetes de calizas. En cuanto a los parámetro físico-mecánicos, la parte oeste constituye un bloque elevado respecto a la del este, con fuerte desarrollo de los procesos cársicos, de tipo embudo; en los planos tectónicos observados en los frentes de canteras, así como en la descripción de los pozos, coincide con grietas que tienen ángulos de entre 45 – 60 grados, con buzamiento al oeste lo cual influye en la extracción de los bloques.



Figura 2.12.1: dirección de fallas norte-sur



Figura 2.12.2: dirección de fallas este-oeste

2.13 Grietas

El agrietamiento fue estudiado tomando grietas de los trabajos anteriores y en los frentes de cantera, ya que el piso de la misma posee una gruesa capa de arcilla, la cual no permite la observación de estas. Las grietas se clasifican por orden de aparición, en grietas de tipo III estilolíticas, las que se rellenan por óxidos e hidróxidos de Mn o Fe, con alta frecuencia por calcitas micro cristalinas, grietas de tipo I rellenas de minerales de tacto jabonoso y coloraciones verde claro, posible minerales del grupo de la clorita, o minerales arcillosos laterítico calcificados, en ocasiones son grietas vacías, las grietas de tipo II que son provocadas por el instrumento de perforación, las cuales no afectan la extracción de bloques. Existen unas grietas que podrían ser llamadas grietas de estratificación, las cuales se localizan cercanas a los planos entre los estratos, con pocos centímetros de espesor, pueden ser grietas cerradas o grietas abiertas, tienen gran desarrollo en la porción oriental del yacimiento. Tienen como material de relleno lateritas calcificadas o calcita, en muchas ocasiones son grietas vacías.

2.14 Economía de la región

La región se sustenta fundamentalmente en la agricultura, principalmente en el cultivo del tabaco, además de cítricos, vegetales, caña de azúcar, etc.

La región se abastece de la red eléctrica nacional, utilizada en el yacimiento Cacao y el poblado Charco Redondo. Localmente se destaca la Industria de Materiales de la Construcción con la explotación de áridos en el molino El Cacao, que produce aproximadamente 1,2 millones m³/año, así como la extracción y procesamiento de bloques para roca ornamental.

2.15 Características mineralógicas y físico-mecánicas de la roca

2.15.1 Propiedades mineralógicas

En sentido geológico petrográfico, sólo son mármoles aquellas calizas que presentan una estructura cristalina con gránulos y láminas de calcita que ha determinado un aumento de su dureza y resistencia. Son particularmente compactos y pocos porosos.

2.15.2 Propiedades físico-mecánicas

Tabla 1. Propiedades físico-mecánicas de la roca

PROPIEDADES	ESTADO	U/M	VALOR
Peso específico	Seco	g/cm ³	2,62
	Saturada	g/cm ³	2,66
Masa volumétrica	Seco	g/cm ³	2,65
Dureza			3-4
Resistencia a compresión	Seco	Kg/cm ²	400-600
	Saturada	Kg/cm ²	300-500
Resistencia a flexión	Seco	Kg/cm ²	100,5-187,7
	Saturada	Kg/cm ²	83,2-138,7
Absorción		%	0,2-0,4
Porosidad		%	2,67

CAPÍTULO 3. UTILIZACIÓN DEL MATERIAL DE ESCOMBRO COMO ÁRIDO PARA LA CONSTRUCCIÓN

3.1 Utilidad e importancia de los áridos

Los áridos son un material insustituible para la sociedad actual, ya que se emplean en cantidades muy importantes en todos los ámbitos de la construcción: vías de comunicación, obras de infraestructuras, equipamientos, viviendas, industria química, etc.

El control de la calidad en la producción de los áridos y sus distintas aplicaciones tiene una incidencia elevada en la economía del país. La utilización de áridos de calidad insatisfactoria significa desperdicio de material, de mano de obra, de tiempo de equipo, baja durabilidad y, como consecuencia, implica mayores costos. Los áridos, por sus características, tienen una gran importancia en la calidad de las obras a la que son destinados; su aceptabilidad depende de una serie de propiedades que se evalúan a partir de determinadas técnicas de ensayo recogidas en las normativas nacionales e internacionales.

La producción de áridos se obtiene a partir de cualquier roca convenientemente triturada natural o artificialmente. Los áridos son conformados en diferentes fracciones comerciales, que varían desde 0,149 mm hasta un tamaño máximo especificado. En general, se subdividen áridos gruesos y áridos finos. El árido grueso es aquel que posee principalmente partículas de un tamaño superior a 4,76 mm, y árido fino (arena), son compuestos por partículas de un tamaño desde 0,149 hasta 4,76 mm. Rosa R.; Blanco R.

3.2 Sistema de explotación y proceso de producción de la cantera

La explotación de la cantera se realiza a cielo abierto, con escalones de explotación, con altura media de 6 m, sin explosivos, y con escombreras de borde. La cantera se encuentra aperturada, los frentes están listos para avanzar con los trabajos de perforación y corte, excepto el frente 1 que se debe desarrollar (limpiar y destapar).

La cantera cuenta con los siguientes procesos productivos; perforación y corte de la masa, extracción, conformación en bloques, carga y traslado a la industria.

Para la realización del proceso primario, se hace una planificación del frente, los metros cúbicos que se debe extraer, y una vez alcanzado el frente de explotación, se empieza el proceso de arranque del material. Para la perforación se utiliza el método con máquinas hidráulicas y neumáticas (rotopercutoras), y para el corte, el hilo diamantado o la máquina de brazo que puede servir tanto para el corte horizontal como para el vertical en dependencia del tamaño del bloque deseado y permite obtener un bloque en forma de prisma recto bien escuadrado que se denomina bloque primario.

En el proceso de extracción, posteriormente, el bloque primario se trocea en la cantera en otros bloques más pequeños, dándoles así las dimensiones deseadas o preestablecido de acuerdo a la tecnología empleada en la industria, y después que éste queda conformado se carga con los cargadores y se transporta hacia la industria con los camiones. El material que no cumple con los parámetros requerido por la industria para ser procesado es fragmentado con una retroexcavadora que está equipada con un martillo rompedor con el objetivo de reducir su tamaño y hacer fácil su transportación para entonces acomodarlo en las escombreras.

3.3 Plan de producción de la cantera y su rendimiento

La productividad anual de la cantera en el año 2016 fue de 55 334,337 m³ de masa minera, con un aprovechamiento de bloques de 4028,65 m³, para un porcentaje de recuperación de 7% aproximadamente. Como se dijo previamente, los bloques son generalmente de dimensiones 2,5 × 1,5 × 1,75 m, con aproximadamente 6,5 m³ de volumen.

Para el primer trimestre del año 2017, la productividad de la cantera fue de 11 418,222 m³ de masa minera movida, con un aprovechamiento de bloques de 1 820,544 m³, con un porcentaje de rendimiento de 16%. El porcentaje de rendimiento de la cantera aunque supera los trimestres anteriores, todavía es muy bajo. Del 100% de masa movida en el año 2016 solo se aprovechó el 7%, lo que quiere

decir que un 93% de esa masa movida fue a las escombreras, y para el primer trimestre del año en curso el porcentaje de pérdida aunque bajó (84%) aún sigue muy alto. Con toda la cantidad de escombros que se genera en el proceso primario, la cantera ya no cuenta con áreas disponibles para el depósito del material, lo que viene siendo una preocupación de extrema importancia para la empresa.

3.4 Características del material estéril

La empresa mármol cubano se dedica fundamentalmente a la explotación y procesamiento de rocas ornamentales, así como servicios de colocación y restauración de los productos ornamentales, y no al aprovechamiento de los volúmenes de roca que no cumplen con las características vigentes en las normas cubanas para la ornamentación.

En la cantera el material estéril está conformado por los materiales que presentan un sistema cársico rellenos por arcillas ferrosas de color rojizo carmelita y arcillas margosas de color crema. Además, es considerado estéril, todo aquel material que mediante el proceso de extracción de bloques se fractura y pierde las dimensiones y características deseadas por la industria, lo que implica que no se puede aprovechar.

En la siguiente figura se puede observar que en estas rocas calizas marmolizadas el carso está ampliamente desarrollado, tanto en superficie como en profundidad, el sistema de agrietamiento constituye otro de los defectos de este material, lo cual incide en su calidad. Es un sistema de carso típico, se observa que crean zonas de corrosión y porosidad alta, así como diferentes grados de oxidación que afectan la calidad ornamental de la roca.



Figura 3.4.1: desarrollo del sistema cársico en la roca

3.5 Características físico-mecánicas y químicas de las rocas en el yacimiento

Para el estudio del yacimiento de mármol Botichino I se tomaron muestras básicas y complementarias, de forma continua, a las mismas se realizaron ensayos, los cuales se relacionan a continuación:

Muestras básicas:

- Resistencia a la compresión en cubo (5x5x5) cm o cilindro (1:1) en estado seco y saturado.
- Absorción, en cubo o cilindro (1:1).
- Masa volumétrica, en cubo o cilindro (1:1).

Muestras básicas (para la roca agrietada o fracturada):

- Triturabilidad en el cilindro \varnothing 150 mm en estado saturado en la fracción 20-10 mm (preferentemente).
- Absorción (para el método de la grava).
- Masa volumétrica.

Muestras complementarias:

- Absorción.
- Masa volumétrica.
- Peso específico real.

- Resistencia a la compresión congelada después de 25 ciclos de enfriamiento a 20 °C.
- Abrasividad.
- Resistencia a la flexión en estado seco y saturado.
- Abrasión Los Ángeles.
- Estudio petrográfico.
- Pulido y brillado.
- Análisis químico: SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, SO₃, CO₂.

➤ **Muestras Básicas**

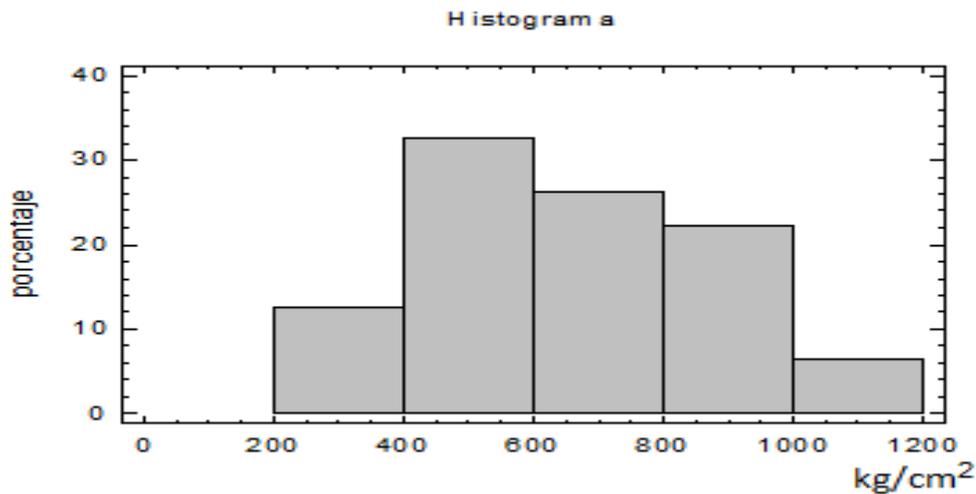


Figura 3.5.1: resistencia a la compresión seca

Del histograma de frecuencia de este ensayo, podemos destacar que de las muestras que fueron procesadas estadísticamente el mayor porcentaje, el 32%, está comprendido entre los valores de 400 – 600 kg/cm², así como que el 88% de todos los valores están comprendidos en el rango de 400-1200 kg/cm², la frecuencia disminuye a la medida que van aumentando los valores de la resistencia a la compresión seca, solo se observa que el 11 % de las muestras no cumplen con los parámetros exigidos para el cálculo de recursos, que es para valores menores que 400 kg/cm².

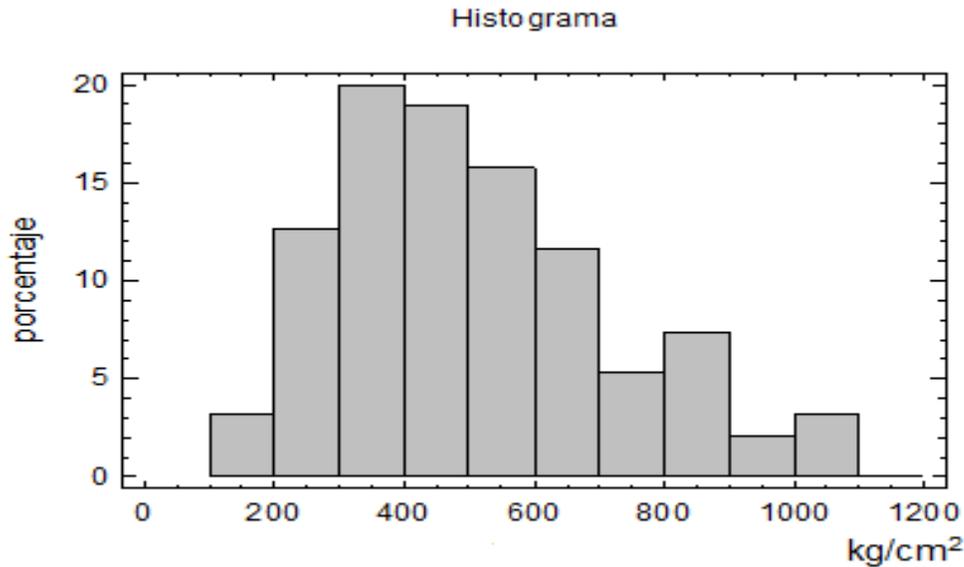


Figura 3.5.2: resistencia a la compresión saturada

Se debe destacar que los mayores porcentajes de este parámetro, 20% de las muestras, oscilan en valores entre 300- 400kg/cm², seguidas por valores entre 400-500 kg/cm², el 60% de los valores están comprendidos entre 500-1100 kg/cm², donde la frecuencia de los valores altos disminuye a medida que aumentan los valores a la resistencia, solo el 16% de las muestras tienen valores en rangos de 100-300kg/cm².

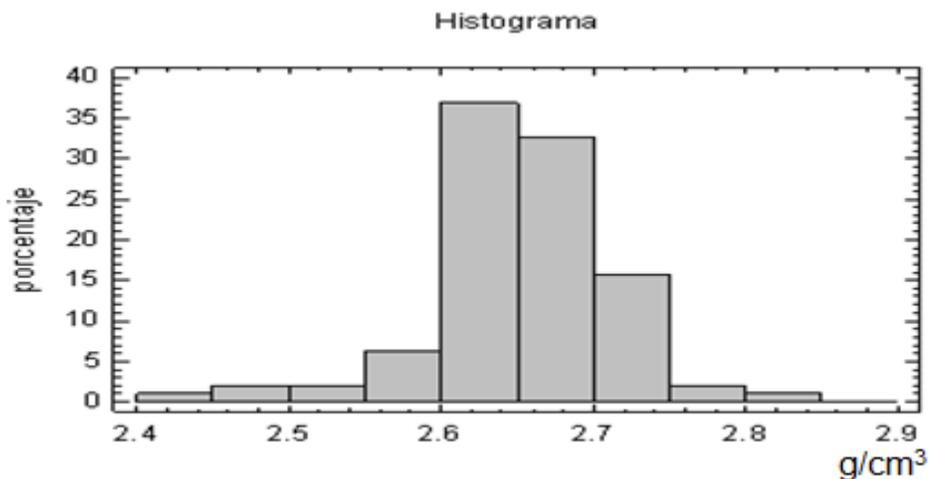


Figura 3.5.3: masa volumétrica seca

La masa volumétrica tiene sus valores de frecuencia más altos entre 2,6 – 2,7 g/cm³, teniendo como promedio 2,65 g/cm³. Con valores del 33 al 37 % los valores son menores que 2,6 g/cm³ que son insignificantes.

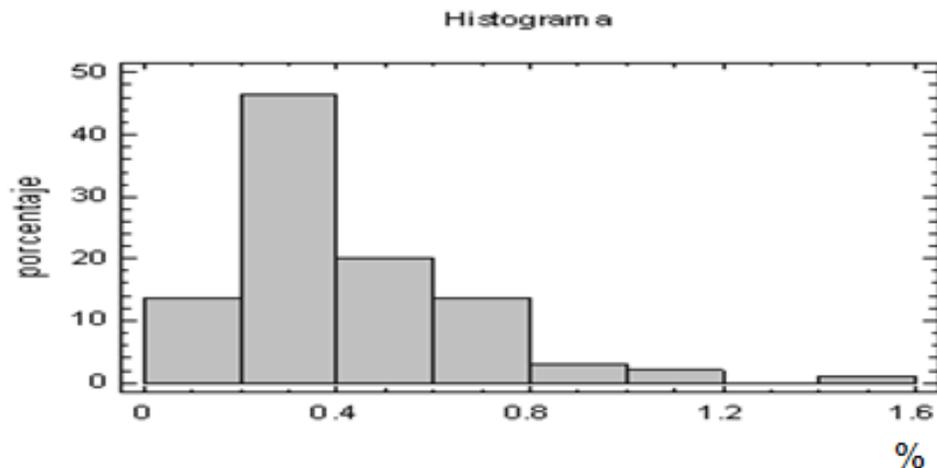


Figura 3.5.4: absorción

El parámetro de absorción tiene su mayor frecuencia entre los valores de 0,2 a 0,4 con el 46 %, los valores menores que 3 alcanzan el 100 % de las muestras. De lo que se infiere que las calizas muestreadas poseen bajo índice de porosidad, lo que cumple con uno de los parámetros básicos para las rocas ornamentales.

Muestras complementarias

Se realizaron 21 muestras complementarias a las que se analizaron para completar el estudio.

De los resultados de la abrasión realizada a las muestras complementarias mediante el molino Los Ángeles llegamos a la conclusión de que las muestras oscilan entre 36,6 – 58,2%, clasificadas en grado B la mayoría de las mismas.

De la resistencia a la compresión después de 25 ciclos de enfriamiento, podemos deducir que las rocas se pueden utilizar en condiciones invernales, ya que no existe pérdida de peso durante los ciclos.

El peso Específico real ayuda a complementar el estudio del yacimiento con valor mínimo de 2,66 g/cm³ y valor mayor de 2,77 g/cm³.

De las muestras analizadas y ensayadas se llegó a la siguiente conclusión:

Tabla 2. Propiedades físico-mecánicas de las muestras ensayadas

PROPIEDADES	ESTADO	U/M	VALOR
Peso específico	Seco	g/cm ³	2,60-2,64 (2,62)
	Saturada	g/cm ³	2,66-2,77
Masa volumétrica	Seco	g/cm ³	2,6-2,7 (2,65)
Resistencia a compresión	Seco	Kg/cm ²	400-600
	Saturada	Kg/cm ²	300-500
Resistencia a flexión	Seco	Kg/cm ²	100,5-187,7
	Saturada	Kg/cm ²	83,2-138,7
Absorción		%	0,2-0,4
Porosidad		%	0,65-2,67
Marca de la piedra triturada		Kg/cm ²	300-1 200
Coeficiente de trituración		Kg/cm ²	400
Abrasión los ángeles		%	32-58,2 (36,6)
Abrasividad		g/cm ²	0,2-0,8

A las muestras analizadas se le realizó un control de calidad el cual se hace al 10 % de las muestras ensayadas.

Químicamente la caliza es pura, presentando los siguientes promedios para todo el yacimiento:

Tabla 3. Propiedades químicas de las rocas calizas marmolizadas

Contenido	Valores (%)
SiO ₂	0,32-0,80
Fe ₂ O ₃	0,07-0,14
Al ₂ O ₃	1,33-1,46
CaO	53,72-53,84
SO ₃	0,10-0,12
CO ₂	42,3
MgO	0,76-0,82
Na ₂ O + K ₂ O	0,021

3.6 Utilización del material de escombros como árido

Actualmente la cantera cuenta con un plan de producción anual que varía en dependencia del plan establecido mensualmente de material que va hacia la industria para ser procesado. Este plan inicial mensual puede sufrir alteración, pues la cantera no extrae masa minera todos los días. Además, actualmente la cantera produce anualmente un volumen total de material de escombros de 50 834 m³ aproximadamente, lo que implica que el porcentaje de recuperación todavía se encuentra por debajo de lo admisible (20%).

3.7 Resultados de los ensayos que determinan la aplicación los áridos en la elaboración de hormigón

3.7.1 Áridos gruesos

La resistencia mecánica de los áridos gruesos se determinó por el Índice de triturabilidad y por el ensayo de Abrasión Los Ángeles (Tabla 4) establecidos en las NC 190 y NC 188 respectivamente.

El ensayo del índice de triturabilidad y el de abrasión Los Ángeles, están establecidos para la fracción 20-10 mm.

➤ **Resistencia mecánica de los áridos gruesos**

Tabla 4. Resultados según el Índice de Triturabilidad y Abrasión Los Ángeles

Índice de Triturabilidad (%)	
Seco	Saturado
15-24	20-28
Abrasión Los Ángeles (%)	
Abrasión	36,6

El índice de triturabilidad se halló según la correlación con la resistencia a compresión y la marca de la roca.

➤ **Análisis granulométricos**

Tabla 5. Resultados de los análisis granulométricos

Límites de la fracción (mm)	Abertura de malla de tamices normalizados (mm)	Porcentaje de pasado (%)
Equivalente		
76-38	101,6	100
	76,2	97
	63,5	68,6
	38,1	13,7
	19,1	4,65

63-38	76,2	100
	63,5	95,06
	50,8	63,7
	38,1	11,01
	19,1	4,9
38-19	50,8	100
	38,1	93
	25,4	48,6
	19,1	8,97
	9,52	4,7
38-13	50,8	100
	38,1	93,1
	19,1	41
	12,7	9,7
	9,52	4,71
25-13	38,1	100
	25,4	91
	19,1	57
	12,7	8,9
	9,52	4,4
25-5	38,1	100
	25,4	93
	12,7	52
	4,76	8,3
	2,38	4,46
19-10	25,4	100
	19,1	96
	12,7	46
	9,52	13
	4,76	4,71

19-5	25,4	100
	19,1	97
	9,52	50,04
	4,76	8,06
	2,38	4,74
13-5	19,1	100
	12,7	92,09
	9,52	63,8
	4,76	13,6
	2,38	4,81
10-5	12,7	100
	9,52	91
	4,76	27,03
	2,38	4,83
	1,19	4,80

3.7.2 Áridos finos

➤ Análisis granulométricos

Tabla 6. Resultados de los análisis granulométricos

Límites nominales de la fracción (mm)	Abertura de malla de tamices normalizados (mm)	% pasado
5-0,15	9,52	100
	4,76	95
	2,38	86,2
	1,19	77
	0,59	58,1
	0,297	26
	0,149	8,6

➤ **Sustancias perjudiciales en los áridos**

Tabla 7. Resultados de las sustancias perjudiciales

Indicador de calidad	Cantidad máxima del peso total de la muestra (%)
Partícula de arcilla	0,16

Ver anexos de los requisitos que deben satisfacer los áridos para la elaboración de hormigones.

Después de haberse evaluado tecnológicamente el material que compone el yacimiento Botichino I, se puede decir que de acuerdo a los ensayos físico-mecánicos, la roca es masiva, dura, poco absorbente y muy resistente, lo que cumple con los parámetros establecidos por las normas cubanas de ensayos, las cuales se referencian generalmente con las normas ASTM (Asociación Americana para Ensayos y Materiales).

Según los parámetros exigidos y vigentes en las normas cubanas, revisadas por el Comité Técnico de Normalización de los Áridos (CTN 23), los resultados de los ensayos físico-mecánicos de esta roca caliza marmolizada sirve para los fines de la rama de la construcción, tales como; para la producción de agregados gruesos y finos para la elaboración de hormigones, morteros, mamposterías, y otros, así como también, para distintas aplicaciones industriales. A continuación se muestra las posibles aplicaciones de esta roca como árido para la construcción.

Tabla 8. Aplicación de las rocas ensayadas como áridos en la construcción

TIPO DE ÁRIDO	APLICACIÓN	LABOREO
Áridos naturales (rocas trituradas, arenas y gravas)	Construcción	Morteros
		Hormigones
		Prefabricados
		Materiales de relleno
		Bases para carreteras
		Balasto de construcción de vías férreas
		Firmes de aglomerados asfálticos
		Piedras para escolleras

Según los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia de la roca y del análisis granulométrico de los áridos se puede concluir que estos áridos están aptos para la elaboración de diversos tipos de hormigón, como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 9. Aplicación de los áridos en el laboreo de hormigones

APLICACIÓN	Hormigón
LABOREO	Pavimentos de hormigón para tráfico pesado (hormigones de más de 40 MPa); Pavimentos y pisos sometidos a desgaste (hormigones arquitectónicos, expuestos a diferentes tipos de erosiones); Hormigones sometidos a la erosión elevada y hormigones de obras marítimas; Hormigones sometidos a desgaste en pavimentos para tráfico vehicular, y peatonal (hormigones de

	más de 50 MPa); Otros tipos de hormigones menores de 50 MPa.
--	---

3.8 Propuesta de la tecnología para el procesamiento del árido

Los materiales de escombros pueden ser aprovechados y procesados en instalaciones extremadamente simples o complejas, para esto, se debe tener siempre un control riguroso de la composición y el procesamiento del material para obtener productos de buena calidad.

Para el aprovechamiento de los escombros generados en la cantera producto a la actividad de extracción y corte de los bloques, es posible usar equipos apropiados para su procesamiento en el propio lugar de ubicación de las escombreras, teniendo en cuenta la distancia de transportación, evitando pérdida de material y costos de transportación muy altos. Según las condiciones presentadas por la cantera, se propone como tecnología para el procesamiento de este material, una planta móvil.

Para las plantas móviles se destacan tres fases de trituración que cuentan con tres trituradoras de tipo móvil, que son:

Trituración primaria: trituradora móvil de mandíbulas

Trituración secundaria: trituradora móvil de impacto o de conos

Trituración terciaria: trituradora móvil de cono

Es importante destacar que estas etapas del procesamiento pueden variar consecuentemente cuando el diámetro de entrada y salida del material a procesar varía y también con la variación de las características físicas y físico-mecánicas del material en cuestión.

Posteriormente al proceso de trituración se pueden emplear procesos que permitan una mayor reducción del material, es decir, cuando se quieren obtener granulometrías bien pequeñas se utiliza el proceso de molienda, donde se pueden utilizar los siguientes equipos:

- Molinos de bolas (donde se pueden alcanzar diámetros extremadamente pequeños y estos equipos poseen una alta eficiencia).
- Molinos de barras (son utilizados con menos frecuencia, debido a que actualmente existen trituradoras que pueden ejercer su función, el diámetro de salida que se obtiene es un poco mayor que para los molinos de bolas).

Para el caso de estudio de nuestra investigación después de tener en cuenta las características del material, que fundamentalmente está compuesto por una roca caliza, que la misma posee una baja dureza, y partiendo de que existe una gran diversidad de tamaños se propone la siguiente tecnología:

➤ **Trituración:**

El sistema de trituración que se representa en la figura 3.7.1 está compuesto por una trituradora primaria y una secundaria. La elección del sistema de trituración depende en primera instancia del tipo de roca a triturar, su composición mineralógica, el tamaño del grano de las mismas como así también su textura. Si bien es cierto que no se cambia el sistema de trituración para cada tipo de roca, lo que sí se observa es que son productos diferentes para un mismo sistema de trituración. Por ello se pueden observar que muchas veces un árido puede salir del sistema con más o menos angularidad, lajosidad o rugosidad de sus caras fracturadas.

El esquema representado en la figura 3.7.1 de trituración en dos etapas está compuesto por:

- Una trituradora primaria en general de mandíbula
- Un sistema de trituración secundario compuesto por trituradoras de cono
- Cintas transportadoras
- Cribado.

La trituración secundaria requiere en general entre dos y tres trituradoras de cono, dependiendo el tamaño final del producto y las características del agregado.

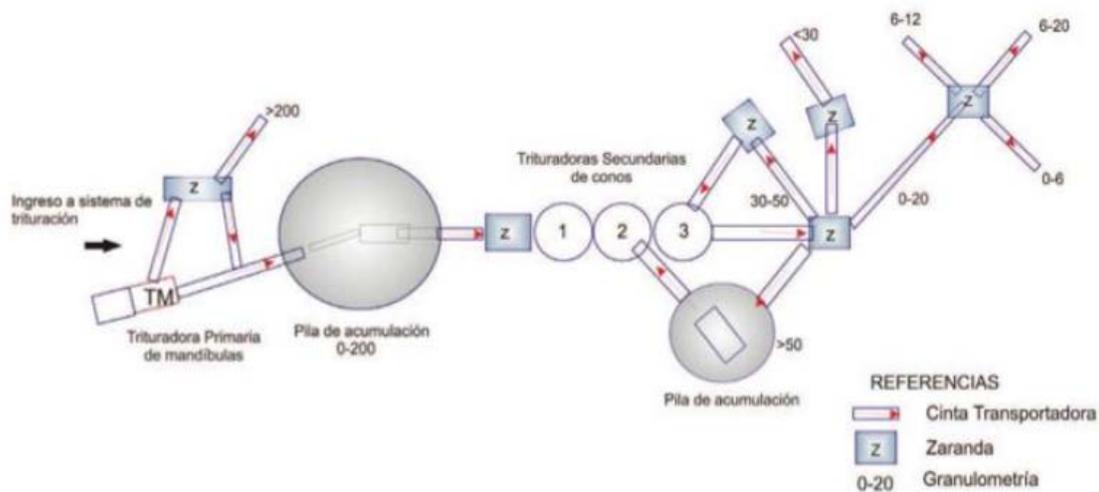


Figura 3.8.1: esquema general de trituración de 2 etapas

El caso que se presenta en este trabajo, se puede mostrar la tecnología disponible como sistema primario y secundario. La Trituración primaria tiene como objetivo reducir el tamaño del mineral, debido en que en algunos casos la materia prima inicial es demasiado grande, esto se realiza con el objetivo de preparar la materia prima para la segunda etapa de trituración más fina, las tecnologías a utilizar pueden ser, trituradoras de mandíbula, o de cono, la elección de una de ellas depende de las características de la materia prima, generalmente para productos de gran tamaño se utiliza la trituradora de mandíbula, si no presenta un gran tamaño se puede utilizar la de cono que a pesar de que es muy difícil su mantenimiento, presenta una gran productividad y es muy fácil de operar.

Para la trituración secundaria resulta conveniente utilizar trituradoras de cono que permitan clasificar a los áridos por tamaño. Se muestran dos casos de dos instalaciones de trituración secundaria por cono. En esta etapa se utilizan trituradoras de conos, en las cuales la ruptura de la roca se produce en el espacio comprendido entre dos conos truncados.

El cono exterior es fijo y el interior móvil. El movimiento que se genera es de rodadura sobre la superficie interior del cono fijo. El eje de movimiento puede ser centrado o excéntrico. La distancia mínima entre ambos conos corresponde al tamaño de partículas que se desea obtener.

En ocasiones resulta necesario para elevar la calidad del producto final, en cuanto su forma cumpliendo con las necesidades expresadas en las especificaciones, la instalación de un impactor. En algunos casos se adiciona otro tipo de equipo denominado “impactor dual”. Éstos se utilizan en aquellos casos en que la roca al ser triturada se parte en agregados con forma de lascas. Al hacer pasar los fragmentos de roca por el impactor se evita esta forma indeseada del agregado y se obtienen formas cúbicas que cumplen con los requisitos de las normativas existentes. En los casos estudiados para el presente trabajo se ha incorporado al proceso esta tecnología con el fin de lograr los índices de lajosidad necesarios para cumplir con las especificaciones vigentes.

➤ **Proceso de cribado:**

El cribado es una de las operaciones más utilizadas en la industria de los minerales, se emplea para materiales relativamente gruesos, su eficiencia disminuye con la disminución del tamaño de las partículas minerales, como norma se usa para tamaños mayores de 0,25 mm, para tamaños menores se emplea la clasificación.

El cribado es un proceso de separación de minerales de acuerdo a su tamaño, el material se separa por clases de tamaño mediante su cernido, los granos mayores son retenidos en la parte superior de la criba (rejilla), y el mineral de menor tamaño pasa a través de ella. En terminología del procesamiento de minerales a estos productos se les denomina retenido y cernido.

➤ Esquema a utilizar para el procesamiento del material

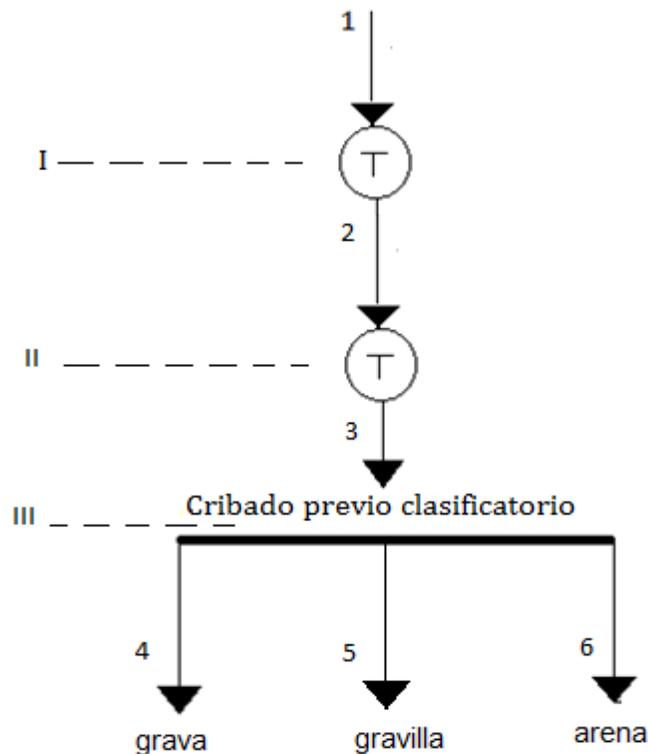


Figura 3.8.2: esquema de trituración utilizado de dos etapas

La elección del esquema de trituración lleva a cabo la reducción del material inicial con tamaño máximo $D_{m\acute{a}x}=1\ 200\text{ mm}$, hasta un producto final con tamaño máximo $d_{m\acute{a}x}=5\text{ mm}$. Para obtener un producto finalmente fino que cumpla con el objetivo de seleccionar todos los tamaños posibles de las partículas, se elige un esquema de cribado para la clasificación del material que se desea obtener.

Actualmente la cantera Botichino I genera aproximadamente un total de $50\ 834\text{ m}^3$ de material de escombros anuales. Desde que empezó el proceso de explotación de la cantera (aproximadamente 20 años), la entidad minera no ha podido buscar solución de aprovechamiento y/o uso a ese material que por sus características físico-mecánicas y químicas cumplen con las normas nacionales (cubanas) e internacionales para ser utilizados como áridos para la construcción en la

elaboración de hormigones, morteros, materiales de relleno, firmes de aglomerados asfálticos, prefabricados, y otros. Según los años de explotación de la cantera y los escombros generados anualmente por la misma, se estima que el volumen total de escombros existente en la cantera en estos momentos suman los 1 016 680 m³ aproximadamente.

De los datos existentes en la cantera, se selecciona las características tecnológicas que debe tener el equipamiento para satisfacer el nivel de producción de la cantera.

Tabla 10. Características tecnológicas que debe tener el equipamiento según las características del material

Capacidad Q(m ³ /h)	Dmáx. (mm)	dmáx (mm)	Densidad (t/m ³)	Dureza (Mohs)
101,89	1 200	5	2,65	3-4

La anchura de la boca de entrada y de la boca de salida de las trituradoras está en dependencia de los grosores de los trozos mayores en la alimentación y en la salida de los materiales.

Clasificación general de los áridos según su tamaño

Árido grueso:

Bolón (80 mm < D)

Grava (20 mm < D < 40 mm)

Gravilla (5 mm < D < 20 mm)

Árido fino:

Arena (0,08 mm < D < 5 mm)

Finos (D < 0,08 mm)

Limos (0,02 mm < D < 0,06 mm)

Arcilla (< 0,02 mm)

➤ **Análisis de la producción anual de la planta**

Capacidad de la planta: 270 t/h = 101,89 m³/h

- Dividiendo la capacidad de la planta entre la densidad del material se obtiene el valor en unidades de m³/h

Año de explotación de la cantera: 20 años (aproximado)

Volumen de escombros producido por la cantera en 1 año: 50 834 m³ (aproximado)

Volumen de escombros producido por la cantera en 20 años: 1 016 680 m³ (aproximado)

Densidad de la roca: 2,65 t/m³

Régimen de trabajo de la cantera:

- 6 días laborales en la semana
- 1 turno de 12 horas
- 22 días de trabajo en 1 mes (no incluí domingos, feriados y causas imprevistas)
- 264 días laborales al año

Producción de la planta en la cantera

➤ **Producción diaria**

$$P_d = Q * 12 = 101,89 * 12 = 1 222,68 \text{ m}^3/\text{día}$$

➤ **Productividad mensual**

$$P_m = P_d * 22 = 1 222,68 * 22 = 26 898,26 \text{ m}^3/\text{mes}$$

➤ **Productividad anual**

$$P_a = P_m * 12 = 26 898,26 * 12 = 322 787,52 \text{ m}^3/\text{mes}$$

➤ **Tiempo de producción de la planta en el procesamiento del árido en la cantera**

$$T_p = \frac{V_{\text{esc total}}}{P_a} = \frac{1 016 680}{322 787,52} = 3,15 \text{ años}$$

Procedimiento de encendido y arrancado del equipo:

Por la necesidad de tener un centro de trabajo seguro, se dictaron una serie de medidas relacionadas con la operación de los equipos a la hora de ponerlos en marcha, y de pararlos. Estas son reglas cada operador debe cumplirlas al margen para evitar pérdidas tanto materiales como humanas, a continuación se darán a conocer el procedimiento de encendido y apagado del equipo en el orden correcto.

Procedimiento de arranque del equipo:

- ✓ Antes de ser arrancado el equipo el operador deberá cumplir con varias instrucciones como son:
- ✓ Verificar que el equipo esté en buen estado, que no hallan objetos ajenos al mismo en el área.
- ✓ Revisar las áreas de trabajo e informar cualquier situación anormal que se observe.
- ✓ Revisar que las conexiones estén en buen estado.
- ✓ Ponerse medio de protección individual para desarrollar su trabajo.

Procedimiento para la parada del equipo:

- ✓ Informar al operador entre cualquier anomalía que exista.
- ✓ Verificar que no halla ruidos extraños en el equipo.
- ✓ Limpieza y organización del puesto de trabajo.
- ✓ Después de efectuada la revisión informará al jefe de turno para que autorice el cambio.

3.9 Valoración económica y ambiental

Las canteras de mármol generan volúmenes de escombros considerables procedentes del proceso de extracción y cortes de bloques, lo que viene siendo uno de los problemas más importantes a resolver en la actualidad. Es de vital importancia desarrollar planes que implican el aprovechamiento de este material, con vista a solucionar uno de los principales problemas que afectan las canteras. Desde el punto de vista técnico, el aprovechamiento de estos escombros es

perfectamente viable teniendo sus principales aplicaciones en la industria de los áridos para la construcción, sin olvidar la industria cerámica, y la de los productos prefabricados de cemento como los terrazos, tejas de hormigón, y otros.

El aprovechamiento del material de escombros como árido para la construcción, fundamentalmente en la fabricación de hormigones, constituye beneficios económicos a la empresa y una disminución significativa del impacto al medio ambiente. La utilización de este material comporta, además de unos beneficios ambientales, un mejor aprovechamiento de los recursos, un incremento de la capacidad de producción de la cantera y una mejora de calidad de productos.

Económicamente el aprovechamiento de estos materiales de escombros para la fabricación de hormigones representa para la entidad minera un aumento significativo en sus ingresos. El objetivo es que la cantera con el procesamiento de estos áridos incremente su capacidad de producción atendiendo la demanda que se registra en el mercado de los áridos en la actualidad centrando sus ventas en empresas constructoras que tienen sus obras en el municipio, así como en la provincia en general.

Uno de los aspectos positivos de la cantera Botichino I al procesar este material de escombros y utilizarlo como árido para la construcción está centrado en las ventajas socioeconómicas, visto que está dirigido principalmente al incremento del nivel de empleo en la comunidad.

La utilización de los escombros generados en la cantera Botichino I conlleva impactos positivos y una mejor imagen del sector o empresa. Es por ello que destacamos los aspectos positivos a la hora de utilizar estos materiales de escombros como áridos para la construcción. Entre los aspectos se destacan:

- ✓ Mejora de la imagen de la cantera y menor contaminación en el medio ambiente.
- ✓ Mejora de la competitividad de la cantera y valoración del material de escombros generado.

- ✓ Incremento de ventas, reducción de costes e incremento de cuota del mercado.
- ✓ Minimización de los escombros generados.
- ✓ Avance tecnológico de las empresas en cuestión de maquinaria para el tratamiento de este material.
- ✓ Nuevas líneas de investigación y desarrollo.
- ✓ Capacidad de difusión / demostración del proyecto en empresas del sector, explicando los mecanismos para la reducción y utilización de estos materiales de escombros.
- ✓ Aprovechamiento de los materiales de escombros de la cantera para el mejoramiento y construcción de viales.

Identificación del impacto de la planta sobre el hombre y el medio ambiente:

Uno de los parámetros que se debe tener en cuenta antes de utilizar este esquema de trituración es el impacto que este provocaría sobre el medio ambiente.

Tabla 11. Análisis potencial del impacto ambiental, efectos y medidas

Acciones impactantes	Efectos ambientales	Medidas
Alteración de la cubierta (excavación superficial)	Acumulación de aguas pluviales en excavaciones si drenajes. Modificación del paisaje.	Asegurar buen drenaje Rellenar los pozos y zonas bajas.
Extracción de la roca	Disminución progresiva de la reserva. Deterioro de la reserva por mala explotación de la cantera. Riesgo de derrumbe de rocas y deslizamiento de suelos. Graves daños al lecho del río.	Explotación racional. Evitar excavaciones sin drenaje. Evitar acumulaciones de escombros. Equipos básicos para la emergencia

	Afectaciones a los animales del río.	
--	--------------------------------------	--

Tabla 12. Acciones impactantes

Acciones impactantes	Efecto ambiental	Medidas
Trituración de rocas	Ruidos y vibraciones de las máquinas y los motores. Emisión de polvos y gases. Daño a la salud del personal. Contaminación del aire. Molestia a pobladores	Riego de aspersion en la planta trituradora y boca de salida del producto. Uso obligatorio de máscaras contra el polvo y protección auditiva, en los operadores de máquinas.
Carga de transporte de producto(Roca triturada)	Emisión de polvos en la carga de productos. Cauda de producto durante el transporte.	Uso de máscaras por operadoras de pala, cargadoras. Uso de camiones volquetes con carrocería en buen estado.
Acumulación del destape y desechos de canteras	Deterioro del paisaje. Erosión.	Utilización de desechos para conservación de caminos, relleno de excavación, nivelación de terreno.

Vertido de residuales	Contaminación con residuos, derrame de lubricantes usados y agua de lavado de motores. Desagües de servicio higiénicos y aguas servidas, acumulación de basuras	Eliminación por quema de relleno sanitario. Sistema de evacuación de excretas.
-----------------------	---	--

CONCLUSIONES

1. La caracterización ingeniero - geológica realizada en la cantera Botichino I permitió conocer las características del material de escombros.
2. Las propiedades físico-mecánicas y químicas realizadas a la roca de las escombreras permitió definir los usos de este árido en la elaboración de hormigones, según lo establece la norma cubana 251 (NC 251).
3. Se propuso la tecnología para el procesamiento y tratamiento del material a partir de las características y volumen de estéril.
4. Se realizó una breve valoración económica y ambiental, en la cual se pudo corroborar que el aprovechamiento del material de escombros como árido para la construcción, aporta beneficios socioeconómicos y ambientales para la cantera.

RECOMENDACIONES

1. Continuar con el estudio del aprovechamiento del material de escombros generado por la explotación del mármol en la cantera Botichino I, para ser utilizado en otras aplicaciones industriales.
2. Gestionar adecuadamente los escombros producidos durante el proceso de extracción y corte de mármol, para evitar las posibles afectaciones ambientales.
3. Realizar un estudio amplio e investigaciones similares en otros sectores de las rocas ornamentales.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGUIRRE, I. *Utilización de los desechos serpentínicos del mineral extraído de la mina Pedro Sotto Alba como material de construcción alternativo*. Otaño Noguel. (Tutor). Trabajo de Diploma en opción al título de ingeniero de Minas. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2011. 53 p.
2. ALMENARES AGUILAR, A. *Caracterización Minero – Ambiental de las Canteras de Materiales de Construcción de la Provincia Granma*. Oca Risco. (Tutor). Trabajo de Diploma en opción al título de ingeniero de Minas. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2014. 65h
3. ANDREIEV, S. E. et al. 1980. *Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales*. Editorial MIR. 536 p.
4. Geominera Oriente. (2015) *Informe de exploración yacimiento caliza marmórea Botichino I*.
5. NC 178: 2002 Áridos. *Análisis granulométrico*.
6. NC 181: 2002 Áridos. *Determinación del peso volumétrico. Método de ensayo*.
7. NC 182: 2002 Áridos. *Determinación del material más fino que el tamiz de 0.074 mm (no. 200). Método de ensayo*
8. NC 185: 2002 Arena. *Determinación de impurezas orgánicas. Método de ensayo*.
9. NC 186: 2002 Arena. *Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo*.
10. NC 186: 2002 Árido grueso. *Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo*.
11. NC 189: 2002 Áridos gruesos. *Determinación de partículas planas y alargadas*.
12. NC 251: 2005 Áridos para hormigones hidráulicos—requisitos.
13. OTAÑO NOGUEL, J. *Curso de explotación de rocas ornamentales*. 166 p.
14. Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 9. *Revisión sobre el uso de residuos de mármol, para elaborar materiales para la construcción*. [En línea]. 2015 [Consultado: 7 de mayo 2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193943013004>

15. Revista de la Construcción, vol.11. *Residuo de mármol como insumo en la construcción civil-diagnóstico de la comarca lagunera*. [En línea]. 2012 [Consultado: 7 de mayo 2017]. Disponible en: www.scielo.cl
16. ROSA, R. & BLANCO, R. *Áridos para hormigón: especificaciones y ensayos*. 106 p.
17. VICTOR, F. *Diagnóstico tecnológico de la cantera de áridos El Pilon de la provincia Holguín*. Ulloa Carcassés. (Tutor). Trabajo de Diploma en opción al título de ingeniero de Minas. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, 2016. 60 p.

ANEXOS

Anexo 1. Conformación de los escombros en la cantera



Anexo 2. Maquina con hilo diamantado cortando el bloque



Anexo 3. Aspectos generales de una planta de tratamiento



Anexo 4. Requisitos que deben cumplir los áridos para hormigón, según norma cubana 251.

Índice de triturabilidad

Tipo de hormigón	Índice de triturabilidad (%)	
	húmedo	Seco
Pavimentos de hormigón para tráfico pesado Hormigones de más de 40 MPa	Menos de 15	Menos de 25
Pavimentos y pisos sometidos a desgaste. Hormigones arquitectónicos, expuestos a diferentes tipos de	15-20	25-35

erosiones		
Otros hormigones menores de 40 MPa	25-30	35-40

Abrasión Los Ángeles

Tipo de hormigón	Abrasión (máx, %)
Hormigones sometidos a la erosión elevada y hormigones arquitectónicos y de obras marítimas	30
Hormigones sometidos a desgaste en pavimentos para tráfico Vehicular, y peatonal. Hormigones de más de 50 MPa	40
Otros tipos de hormigones menores de 50 MPa	50

Granulometría para áridos gruesos

Límites de la fracción (mm) Equivalente	Abertura de malla de tamices normalizados (mm)	Porcentaje de pasado (%)
76-38	101,6	100
	76,2	90-100
	63,5	35-70
	38,1	0-15
	19,1	0-5
63-38	76,2	100
	63,5	90-100
	50,8	35-70
	38,1	0-15
	19,1	0-5
	50,8	100

38-19	38,1	90-100
	25,4	20-55
	19,1	0-15
	9,52	0-5
38-13	50,8	100
	38,1	90-100
	19,1	20-60
	12,7	0-15
	9,52	0.5
25-13	38,1	100
	25,4	90-100
	19,1	20-55
	12,7	0-10
	9,52	0-5
25-5	38,1	100
	25,4	90-100
	12,7	25-60
	4,76	0-10
	2,38	0-5
19-10	25,4	100
	19,1	90-100
	12,7	25-5
	9,52	0-15
	4,76	0-5
19-5	25,4	100
	19,1	90-100
	9,52	20-55
	4,76	0-10
	2,38	0-5
	19,1	100

13-5	12,7	90-100
	9,52	40-70
	4,76	0-15
	2,38	0-5
10-5	12,7	100
	9,52	85-100
	4,76	15-35
	2,38	0-10
	1,19	0-5

Granulometría para áridos finos

Límites nominales de la fracción (mm)	Abertura de malla de tamices normalizados (mm)	% pasado
5-0,15	9,52	100
	4,76	90-100
	2,38	70-100
	1,19	45-80
	0,59	25-60
	0,297	10-30
	0,149	2-10

Sustancias perjudiciales

Indicador de calidad	Tipo de árido	Cantidad máxima del peso total de la muestra (%)
Partícula de arcilla	Grueso	Inferior o igual a 0,25
	Fino	1

Anexo 5. Análisis de las producciones mensuales de la cantera Botichino I y su rendimiento en el año 2016

Mes	Masa movida (m ³)			Producción obtenida (m ³)		
	Desarrollo	Producción	Total	Desarrollo	Producción	Total
Enero	2 848,800	1 310,400	4 159,200	163,333	71,974	235,307
Febrero	3 113,000	2 594,200	5 707,200	76,565	306,944	383,509
Marzo	1 818,200	2 122,800	3 941,000	195,651	209,076	404,727
Abril	4 811,28	369,497	5 180,777	89,57	30,88	120,45
Mayo	5 290,10	528,64	5 818,74	71,088	187,193	258,281
Junio	3 940,20	391,00	4 331,20	87,668	25,184	112,852
Julio	3 208,68	835,20	4 043,88	100,944	147,840	248,784
Agosto	1 452,600	3 740,000	5 192,600	10,374	340,84	351,214
Septiembre	1 937,490	3 579,730	5 517,220	101,180	403,830	505,010
Octubre	2 340,900	1 883,700	4 224,600	153,948	169,537	323,485
Noviembre	866,160	2 806,950	3 673,110	94,080	431,452	525,532
Diciembre	1 134,940	2 409,870	3 544,810	85,511	473,988	559,499
Año	32 762,350	22 571,987	55 334,337	1 050,321	1 893,298	4028,65

Mes	Rendimiento (%)
Enero	6
Febrero	7
Marzo	10
Abril	2
Mayo	4
Junio	3
Julio	6
Agosto	7
Septiembre	9
Octubre	8
Noviembre	14

Diciembre	16
Año	7