MINISTERIO DE LA EDUCACION SUPERIOR

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA

"DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"

FACULTAD METALURGIA –ELECTROMECÁNICA

Departamento de Metalurgia

Trabajo de Diploma

En opción al título de Ingeniero Metalúrgico

Título: Evaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tanamo para su utilización como árido y puzolana natural en la construcción

Autor: Rogério José Muxlhanga

Moa-Cuba

12 de Junio de 2009

"AÑO 50 DEL ANIVERSARIO DEL TRIUNFO DE LA REVOLUCION"

RESUMEN

El presente trabajo aborda la caracterización y preparación mecánica de las tobas vítreas para su uso como material de construcción.

Se constató que las tobas vítreas a nivel mundial han sido utilizadas como material filtrante, limpiadores y absorbente por las cualidades que poseen de ser porosos, ligeros, abrasivos y buenos aislantes de espacios.

Se han realizado ensayos de granulometría, impureza orgánica, resistencia a la flexión y compresión según la norma cubana para áridos. Para la trituración se utilizó el triturador de mandíbulas que se recomienda como segunda opción después del triturador de martillo en la preparación mecánica de áridos. Las pruebas realizadas arrojaron resultados no conformes con la norma para la utilización de tobas vítreas como árido en la industria de materiales de construcción, sin embargo la sustitución de 15 y 30 % de tobas vítreas volcánicas por cemento Portland (P350) para su utilización como puzolana natural ofrece resultados favorables.

El uso de puzolanas naturales permite un ahorro de energía y la reducción al 100 % de la emisión de gases a la atmósfera, a diferencia del uso de puzolanas artificiales que son más usadas mundialmente. Esto contribuye al desarrollo local sostenible.

SUMMARY

The present work is about the characterization and mechanical preparation of the volcanic vitreous tuffs for its use as construction material.

It was verified that the volcanic vitreous tuffs at world level have been used as material sieve, cleaners and absorbent for the qualities that possess of being porous, slight, abrasive and good insulating of spaces.

They have been carried out rehearsals of grain, organic impurity, resistance to the flexion and compression according to the Cuban norm for arid. For the crush the crusher of jaws was used that is recommended as second option after the hammer crusher in the mechanical preparation of arid. The reached results allowed negatives for the use of volcanic vitreous tuffs as arid in the industry of constructions however they behave as good preservatives to the cement Portland (P350) in 15 to 30 %.

The pozzolanic allows an energy saving and reduction at 100 % from the emission of gases to the atmosphere contrary to the use of artificial pozzolans that are more used worldwide. It means positive for local sustainable development.

Dedicatoria

Dedico este trabajo de diploma a las personas que más quiero y aprecio en la vida, refiero 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 orgulloso.

Agradecimiento

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

A mis padres María Mula y José Muchanga que siempre por sus consejos mi han encorajado a seguir mis estudios y a formarme como un hombre nuevo para el nuevo siglo de nuevas exigencias ingenieriles.

A mis hermanos Otilia José Muchanga, Ricardo José Muchanga, Orlando José Muchanga, António José Muchanga y Nilza José Muchanga por la confianza que siempre han depositado en mí, por los apoyos que siempre me han brindado y la gran preocupación por mi salud y estudios.

A la Embajada de la República de Mozambique en Cuba por su preocupación en la culminación de este Trabajo de Diploma, en la continuación de mis estudios de maestría y toda la confianza depositada en mí. Un agradecimiento especial va para excelentísimo Sr. Amadeu Paulo Da Conceiçao, Embajador extraordinario y plenipotenciario de la República de Mozambique en Cuba por la preocupación que ha demostrado por mí formación como profesional.

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

A todos mis paisanos por la preocupación que han tenido con mis asuntos, y en especial para los estudiantes Adérito Amone Gove, Iadine Francisco Sales, Armindo Nhambirre, Geraldo Conde Eliseu, Leovigildo Novela, Bruno Chirrime y Amandio Flor Manhique por haber sido siempre mis fieles compañeros de Batalla.

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

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

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

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

A todos mis amigos y en especial al Samuel Francisco Ngovene, Alírio Jeremías Matavela, Broderick Francis, Chencho Wangdi y Laweni Kezire por sus inestimables contribuciones.

A todos, muchas gracias, y siempre estaremos juntos.

Rogério José Muxlhanga

Pensamiento

Yo tanto creo en la suerte. Y he constatado que, cuanto más duro trabaje, más suerte tengo.

Thomas Jefferson

Y ustedes, compañeros, hoy no tienen más que un deber: el deber de estudiar. Con ese deber están pagando todas las deudas que pueden contraer con la sociedad, con esta sociedad presente, y con todos los héroes que se inmolaron para hacer posible esta sociedad presente.

Ernesto Che Guevara

(21 de octubre de 1967)

No voy a dejar de hablarle sólo porque no me esté escuchando. Me gusta escucharme a mí mismo. Es uno de mis mayores placeres. A menudo mantengo largas conversaciones conmigo mismo, y soy tan inteligente que a veces no entiendo ni una palabra de lo que digo.

Oscar Wilde

INDICE

Introducción…… 1

Capitulo I. Marco Conceptual

1.1 Estado de arte…… 7

1.2 Puzolanas……. 9

1.2.1 Definición……. 9

1.2.2 Principales tipos de puzolanas……. 9

1.2.3 Acerca de la actividad puzolánica……. 10

1.3 Áridos. Principales tipos de áridos……... 12

1.3.1 Los áridos en el hormigón y morteros…….. 13

1.4 Utilización conocida actualmente de las Tobas vítreas…… 16

Conclusiones Parciales…… 16

Capitulo II. Fundamentación científica del problema

2.1 Propiedades de las Tobas Vítreas……... 17

2.2. Caracterización general de las tobas vítreas de El Picado (Picau) en Sagua de Tánamo…….. 18

2.3 Principales métodos y equipos utilizados en la investigación…… 18

2.3.1 Toma de la muestra…….. 19

2.3.2 Métodos de ensayos…….. 19

2.3.2.1Determinación de la granulometría de las partículas…….. 19

2.3.2.2 Determinación del material más fino que 0. 074 mm……. 21

2.3.2.3 Determinación de las impurezas orgánicas……. 22

2.3.2.5 Ensayos para la determinación de las propiedades físico- mecánicas de los áridos……. 22

2.4. Esquema y funcionamiento del Triturador de Mandíbula…… 24

2.5. Caracterización del proceso de Cribado…… 25

2.6 Caracterización del proceso de molienda……... 26

2.6.1 Cinética de la molienda …… 26

2.6.2 Determinación de la carga de bola y características constructivas del molino... 27

Conclusiones Parciales……. 29

Capitulo III. Análisis y discusión de los resultados

I. Resultados de los ensayos de áridos…… 30

3.1 Resultados de la caracterización de la granulométrica…….. 30

3.1.1 Caracterización de la grava 3/4" (25-13)…… 31

3.1.2 Caracterización de la arena……... 33

3.2 Resultados de la dosificación…… 34

3.3 Análisis de resultados de la determinación material que pasa por el tamiz de 0,074 mm (No. 200)……. 37

3.4 Resultados determinación de las impurezas orgánicas…… 39

3.5 Resultados de la determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión…….. 39

II. Resultados de los ensayos de puzolanas naturales…… 41

3.6 Resultado de la caracterización granulométrica…… 41

3.7 Resultados de la determinación de la resistencia a la compresión y la flexión…… 42

Conclusiones Parciales…… 43

CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

Conclusiones…….... 44

Recomendaciones…… 45

Bibliografía…… 46

Anexos

INTRODUCCION

Desde los tiempos pasados, el ser humano ha modificado su entorno para adaptarlo a sus necesidades. Para ello ha hecho uso de todo tipo de materiales naturales que con el paso del tiempo y el desarrollo de la tecnología, se han ido transformando en distintos productos, mediante procesos de manufactura de creciente sofisticación. Los materiales naturales sin procesar (arcilla, arena, mármol) se suelen denominar materias primas, mientras que los productos elaborados a partir de ellas (ladrillo, vidrio, baldosa) se denominan *materiales de construcción.*

Los materiales de construcción en el Egipto antiguo eran la madera, el adobe y las rocas en sus diversas clases. La madera fue el material más usual en la Prehistoria y la época predinástica, pero fue sustituida rápidamente por otros materiales una vez entrado la era faraónica. Por eso se puede decir que los materiales constructivos por excelencia en la arquitectura egipcia son el adobe y las rocas. El adobe era el material más barato y fácil de trabajar, y ello justifica su utilización en la vida diaria en las casas, los palacios y los muros defensivos, por el contrario la roca era más cara y difícil de obtener, pero acabó siendo la materia prima ideal para la arquitectura funeraria y religiosa.

Hoy en el mundo se ha notado escasez de material de construcción debido al aumento considerable de su utilización, elevado costo y otros factores que se presentan localmente. En Cuba debido a la acción de los fenómenos naturales como los ciclones se han perdido anualmente numerosas viviendas lo que obliga a la investigación de otros áridos, motivando así al estudio de rocas como tobas vítreas, zeolitas, serpentinitas y otras.

El árido es como 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 emplea en la industria de la construcción desde la elaboración, junto con un material ligante de hormigones, morteros y aglomerados asfálticos, hasta la construcción de bases y sub-

bases para carreteras, balastos y sub-balastos para las vías de ferrocarril, o escolleras para la defensa y construcción de puertos marítimos.

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

Así resulta imposible imaginar la industria de la edificación y de obras públicas sin la utilización masiva de los áridos, que son la primera materia prima consumida por el hombre después del agua. (Herrera, R. y Gayoso, R. 2007).

Las puzolanas naturales son un importante componente para la producción de cementos Portland mezclados y puzolánicos, contribuyendo a la conservación del medio ambiente natural y humano, al reducir la emisión de gases nocivos como CO_2, SO_2, porque para su obtención no se somete la materia prima a la tostación en los hornos.

En la actualidad la utilización de puzolanas naturales por parte de la industria cementera cubana esta deprimida, con graves perjuicios económicos y ambientales, por lo que se impone desarrollar nuevos proyectos de investigación y desarrollo que contemplen la determinación del tamaño y el contenido necesario de las tobas vítreas para el potencial de puzolanas naturales presentes en Cuba, caracterizándolas tecnológicamente con estudios químicos, mineralógicos, físicos y pruebas de usos. El uso de tobas vítreas es ventajoso porque se muelen y no existe la necesidad de secarlas.

Las tobas vítreas están distribuidas por toda la región oriental, se caracterizan por ser ligeras y buenas aislantes acústicos y térmicos. Se empleó como árido a partir del siglo VII a.C, posiblemente tras el encuentro entre los romanos y una civilización etrusca más evolucionada. Este material posee excelentes cualidades para la construcción, ya que es blando durante su extracción, aunque se endurece al contacto con el aire, transformándose en un buen aislante acústico.

Las ventajas de las tobas se encuentran en sus numerosas cualidades técnicas, ya sean sus variantes cromáticas como las cualidades físicas, entre las que se encuentran su ligereza, resistencia y maleabilidad, que permite adaptarlo a cualquier tipo de construcción. Las tobas son especialmente apreciadas en la fabricación de muros de carga, ya que su esponjosidad permite construir estructuras ligeras pero con unas características de resistencia y compresión bastante elevadas.

En términos de extracción se tiene en cuenta que todas las canteras de las tobas vítreas son de minería a cielo abierto y de fácil acceso para la transportación.

En Cuba la gran mayoría de los áridos son de caliza, los cuales se caracterizan por ser aluviales y de menor resistencia. Se ha verificado en varios puntos del territorio nacional el uso de las tobas vítreas en forma de polvo o simplemente, pómez como limpiador, mientras en otras partes del mundo se ha utilizado como absorbente de agua en campos agrícolas de regiones secas debido a que posee altos índices higroscópicos.

Actualmente los áridos para la construcción en el municipio de Moa se transportan desde la planta de Miguel y la del Jobo (ubicadas aproximadamente a 45 Km), Pilón de Mayarí (ubicada aproximadamente a 108 Km) y en ocasiones de Buena Ventura y Gibara a más de 220 Km. El Proyecto de expansión de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba” importa esta materia prima desde la República Dominicana y Pinar del Rio por el escaso volumen de estos materiales en la región. La necesidad de incrementar la producción de áridos, impone la búsqueda de nuevos materiales para su utilización como áridos en las construcciones. Por lo tanto, se ha llevado a cabo un amplio programa con el objetivo de que el país logre que cada municipio se pueda autoabastecer de áridos. (Jiménez, L. 2008)

Las Rocas y Minerales Industriales (RMI), hasta hace algún tiempo, eran consideradas erróneamente como material de bajo precio, alto volumen y cuyos centros de producción debían de estar cercanos a las fuentes de consumo. Sin embargo en la actualidad, este concepto ha cambiado totalmente, convirtiendo de

esta forma a las RMI en un área de oportunidad. La provincia de Holguín presenta en estos momentos un déficit de áridos muy específicamente de arena. Los centros productores se encuentran bastante distantes de las fuentes de consumo, lo que hace más compleja la satisfacción de la demanda por la carencia también de transporte. Holguín es uno de los territorios más poblados del país. Del total de viviendas un alto porcentaje se encuentra en mal estado (cerca de un 40 %). El nivel de construcciones de vivienda de todo tipo es uno de los más altos del país. Los estimados de demanda inmediata de áridos según las solicitudes hechas a la Empresa de Materiales de Holguín (el productor más importante del territorio) establecen que se necesitan mensualmente unos 2 500 m^3 de arena beneficiada en toda la provincia sólo para la vivienda. (Leyva, C. 2008).

No obstante, en los procesos constructivos, muchas materias primas se siguen utilizando con poco o ningún tratamiento previo. En estos casos, estas materias primas se consideran también materiales de construcción propiamente dichos. Por este motivo, es posible encontrar un mismo material englobado en distintas categorías: por ejemplo, la arena puede encontrarse como material de construcción (lechos o *camas* de arena bajo algunos tipos de pavimento), parte integrante de otros materiales de construcción (como los morteros), materia prima para la elaboración de un material de construcción distinto (el vidrio, o la fibra de vidrio). A partir de lo anterior se puede plantear que las tobas vítreas se comportan como materia prima que necesita un tratamiento previo, que garantice la distribución granulométrica necesaria para su utilización como árido.

Problema:

La insuficiente caracterización físico-mecánica de las tobas vítreas volcánicas del yacimiento “El Picado” en Sagua de Tánamo, limita su posible utilización como árido en las construcciones, así como las condiciones granulométricas necesarias para su uso como puzolana natural.

Hipótesis

Si las características de las tobas vítreas son compatibles con las normas cubanas de áridos para las construcciones hidráulicas y las características granulométricas son adecuadas a las exigencias del cemento mezclado, podrá contribuir a la disminución del déficit de áridos en la provincia e incidir sobre el desarrollo local sostenible.

Objetivo:

- Evaluar las tobas vítreas del yacimiento “El Picado” en Sagua de Tánamo para su posible utilización como árido y puzolana natural en las construcciones.

Objetivos específicos:

- Caracterizar las tobas vítreas desde el punto de vista físico, químico y mecánico;
- Realizar la preparación mecánica y ensayos de las tobas vítreas para su posible utilización como material de construcción.
- Determinar las características granulométricas de las tobas vítreas para su utilización como puzolana natural.

Tarea:

1. Exploración de la problemática mundial, nacional y local de los materiales de construcción;
2. Recopilación y análisis de los trabajos relacionados con los materiales de construcción y puzolánicos;
3. Caracterización de la materia prima desde el punto de vista físico (granulométrico) y químico;
4. Trituración, molienda y cribado de las muestras de las tobas vítreas;
5. Fabricación de morteros;
6. Determinación de las propiedades de las tobas vítreas como material de construcción y puzolánico natural;

7. Dosificación del contenido de las tobas vítreas en el cemento mezclado.
8. Determinación de las características granulométricas de las tobas vítreas para su utilización como puzolana natural.

CAPITULO I. MARCO CONCEPTUAL

INTRODUCCION

En este capítulo se realiza un análisis sobre los diferentes aspectos que se encuentran relacionados con los temas que son discutidos en la bibliografía consultada con el objetivo de disponer de los elementos básicos para la realización del presente trabajo. Se expone el estado del arte, posteriormente las propiedades de las tobas vítreas, su importancia económica e industrial.

1.1 Estado del Arte

De acuerdo a la investigación realizada, se constató lo siguiente:

Le Chatelier en 1897 había ya notado que cuando el cemento Portland se hidrata se libera cierta cantidad de hidróxido de calcio (cal hidratada) que daña la resistencia y puede ser removida por el agua. Los materiales silíceos, como la puzolana, al ser finamente pulverizados reaccionan con el hidróxido de calcio formando silicato de calcio hidratado, como se muestra en la reacción (1).

$$Ca(OH)_2(s) + SiO_2(s) + H_2O(l) = CaO.SiO_2.2H_2O(s) \quad (1)$$

Se sabe que la fase $CaO.SiO_2.2H_2O(s)$(C-S-H) brinda propiedades hidráulicas importantes en las construcciones. Como expresa Bogue, la físico-química de las puzolanas, requiere de permanentes estudios para resolver sus problemas fundamentales.

De Armas, J; 2008, en su trabajo “Reevaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo (El Picado) como puzolanas naturales” demostró que la dosificación de 15 a 30 % de tobas vítreas avalan su puzolanidad y su uso como aditivo al cemento y los hormigones, sin embargo no describe la granulometría adecuada para el mezclado, ni el uso de tobas como árido para la fabricación de hormigones y morteros.

Se definen como hormigones estructurales ligeros en general aquellos cuya resistencia a compresión no debe ser menor nunca de 15 N/mm^2 en 28 días, con una densidad que no debe exceder de 1.800 kg/m^3. El hormigón de áridos ligeros es el único apto para hormigones estructurales debido a sus propiedades, está considerado dentro de los llamados hormigones de altas prestaciones, es recomendable que el contenido mínimo de cemento no sea inferior a 300 kg/m^3, mientras que el límite superior, no debe superar los 500 kg/m^3 para evitar un exceso de calor y conducir por tanto, a una posible microfisuración del hormigón. Sin embargo, el desarrollo de la microfisuración es normalmente mucho menor en estos hormigones, debido al menor coeficiente de expansión térmica de los áridos ligeros y a la mejor compatibilidad de módulos de elasticidad de los áridos y la matriz. (Martínez, D. 2007)

Ponce, M. 2007, caracterizó la versatilidad del uso de las tobas volcánicas como material de construcción basándose en los ensayos con glicoletileno con la finalidad de evidenciar la posibilidad de que se produjera un efecto expansivo en condiciones de humedad. Los resultados de este ensayo detectaron sólo una pérdida de material del 1, 7 %, manifestado como material pulverulento y el redondeamiento de los cubos de ensayo, sin producir fisuración. Como resultado final concluyó que no es posible efectuar el reemplazo total de la arena por el polvo de toba, debido a que el agua de amasado que fija la norma, es insuficiente para la obtención de una mezcla trabajable. Los ensayos indican su posible empleo como agregado fino en reemplazo de arena hasta un 20 % sin que la resistencia se vea afectada al compararlo con un mortero testigo. También se lo indica como adición aglomerante y de acción puzolánico.

Investigadores y profesores de la ISPJAE y la Universidad Central de Las Villas, a partir de los años 90 del siglo XX, han iniciado y profundizado en el estudio de las puzolanas artificiales como los residuos de la actividad agroindustrial (Cenizas de cáscara de arroz y bagazo de caña).

Banderas, D. *et al*. 1997 ejecutó trabajos de prospección geológica en el yacimiento de vidrio volcánico "Sagua de Tánamo" (El Picado), para su utilización como elemento filtrante.

En su trabajo de diploma para ingeniero geólogo, López, L .M. en el 2006, dio resultados preliminares sobre las potencialidades como áridos ligeros y puzolanas del yacimiento El Picado, estos resultados fueron preliminares, al no contar el laboratorio donde se efectuaron los ensayos con las debidas certificaciones de calidad, lo cual no permite homologar sus resultados, dando lugar a la necesidad de efectuar nuevas investigaciones.

1.2 Puzolanas

1.2.1- Definición

El código ASTM (1992), en la definición 618-78, define: "las puzolanas son materiales silíceos o alumino-silíceos que por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se han molido finamente y están en presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes.

1.2.2- Principales tipos de puzolanas

Puzolanas naturales: provienen principalmente de materiales rocosos como las cenizas volcánicas, tufas o tobas volcánicas, piedra pómez, escorias y obsidiana, tierras de diatomeas (diatomitas), etc., donde predomina la sílice amorfa, es decir, vidrio volcánico producido por enfriamiento brusco de la lava. Por ejemplo las cenizas volcánicas, rocas o suelos en las que el constituyente silíceo contiene ópalo, ya sea por la precipitación de la sílice de una solución o de los residuos de organismos de lo cual son ejemplos las tierras de diatomeas, o las arcillas calcinadas por vía natural a partir de calor o de un flujo de lava.

Puzolanas artificiales: Sus fuentes principales son los subproductos industriales y materiales tratados térmicamente, ejemplo: cenizas provenientes de la combustión de carbones, bitúmenes e hidrocarburos, en centrales térmicas, eléctricas, etc.; cenizas producidas por la quema de materia orgánica ejemplo: cáscara de arroz, bagazo de caña de azúcar; y arcillas activadas térmicamente, las denominadas Microsílice (o el anglicismo “silica fume”); etc. Las cualidades puzolánicas de estos materiales se

encuentran en la porción amorfa o vítrea y también en los minerales alterados o fase de descomposición.

De todas las puzolanas artificiales las más utilizadas y estudiadas a nivel mundial son las cenizas volantes. Se obtienen como un subproducto de centrales termoeléctricas que utilizan carbón pulverizado como combustible. Estas cenizas se caracterizan por ser un polvo muy fino constituido esencialmente de partículas esféricas. La Norma ASTM C 618 define dos clases de cenizas volantes: Clase F, que se obtienen por la calcinación de carbón antracítico o bituminoso y son cenizas que poseen propiedades puzolánicas; y la Clase C, que se obtienen de la calcinación de carbón sub-bituminoso o lignito, esta clase de cenizas, además de tener propiedades puzolánicas, también tienen propiedades cementicias.

1.2.3- Acerca de la actividad puzolánica

En las puzolanas hay dos aspectos de gran interés prácticos: la extensión y la velocidad de fijación de cal. La extensión varía con el tipo de material puzolánico, su composición, constitución y contenido de minerales. La velocidad es, quizás, la indicación más útil, pues las diferentes puzolanas, a largo plazo, tienen pocas diferencias en las resistencias, pero en períodos cortos hay diferencias sustanciales.

Las puzolanas al final de las transformaciones en el cemento, aparecen formando silicato de calcio hidratado del tipo tobermorítico en forma de gel al igual que los silicatos del clinker y forma además aluminato tetracálcico hidratado. Las reducciones en el calor desprendido en su hidratación dieron otra razón para su uso en grandes masas de hormigón.

Las propiedades de las puzolanas dependen de la composición química y la estructura interna. Se prefiere puzolanas con composición química tal que la presencia de los tres principales óxidos (SiO_2, Al_2O_3 y Fe_2O_3) sea mayor del 70 %. Se trata de que la puzolana tenga una estructura amorfa. Es esencial que la puzolana esté finamente dividida, para que la sílice pueda combinarse con los óxidos e hidróxidos de calcio, liberados durante las reacciones de hidratación del cemento Portland en presencia de

agua, para formar silicatos de calcio estables con propiedades cementantes. Las adiciones al cemento Portland varían de un 3 % hasta más de un 35 %.

La adición de puzolanas confiere al cemento Portland, propiedades de gran importancia práctica, como son: aumento de su estabilidad química y por tanto aporta una mayor durabilidad al hormigón, así como otras no menos importantes, tales como:

- Disminuye la liberación del calor de hidratación confiriendo menor permeabilidad en los hormigones, que los hace idóneos para la construcción de presas y obras que necesiten grandes masas de este material.
- Mejora la laborabilidad de la mezcla de hormigón, con menor tendencia a la segregación de sus componentes;
- Mayor homogeneidad del hormigón y mortero.

El uso de las puzolanas mejora la durabilidad de los hormigones por lo que las construcciones tienen una vida útil mayor. (Gener Rizo, M. et al. 2006).

Para evaluar las puzolanas se tienen en cuenta diferentes parámetros como la composición química, siempre puntualizando la importancia de altos contenidos de SiO_2; Al_2O_3 y Fe_2O_3 y mínimos para los componentes alcalinos y alcalinotérreos. A continuación la Tabla 1.1 muestra los valores en porciento según diferentes normas.

TABLA 1.1 Composición química de las puzolanas, como adición al cemento, según las normas norteamericana y española.

Norma	**SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 Mín.**	**SiO_2 Mín.**	**Al_2O_3**	**MgO Máx.**	**SO_3 Máx.**	**PPI Máx.**	**Hum. Máx.**	**CaO Máx.**	**H_2O Comb. Mín.**
ASTM C402-68T	70	-	-	5	3	10	3	-	**-**
PCCH-64 España	**-**	**45**	**14-22**	**10**	**1**	**-**	**-**	**12**	**5**

Según Hammond (1983), las puzolanas pueden clasificarse de acuerdo a su actividad como: de actividad intermedia (4, 1 - 5, 5 MPa), activas (5, 5 - 6, 9 MPa) o muy activas (mayor que 6, 9 MPa). Según el criterio de la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales, las puzolanas se clasifican como intermedias (2, 6 – 5, 6 MPa) y activas (mayor de 7, 0 MPa). Los valores de resistencia a la compresión, que citan los trabajos anteriores, se refieren a morteros en los que parte del cemento se sustituye por la puzolana que se analice.

1.3 –Áridos. Principales Tipos de Áridos

Existen diversas clasificaciones de los áridos, siendo las más empleadas las que los agrupan según su origen y tamaño. Los áridos según su origen se clasifican en artificiales y naturales; y según su tamaño en finos y gruesos.

Por la importancia que tiene para el presente trabajo se detalla más en relación a los posibles orígenes de los áridos.

- **Áridos naturales:** se obtienen producto de la descomposición o trituración de las rocas. La descomposición o meteorización de las rocas se produce por la acción de los agentes naturales como: agua, viento, temperatura, clima, fauna y flora, que con el tiempo van descomponiendo la roca en granos de pequeños tamaños. Muchas veces los tamaños de estos granos son los que usualmente se emplean en la confección de morteros y hormigones, por ejemplo: arena de mar, arena de río, gravas, etcétera.
Otro proceso para la obtención de árido naturales es la trituración. Es un método artificial, por medio de trituradores se reducen las rocas sólidas, hasta alcanzar los tamaños adecuados, clasificándolos según sea su destino final.

- **Áridos artificiales**: Se preparan con productos diversos en estado pulverulento o pastoso, para comunicarles fácilmente la forma y se endurece por proceso físico-químicos como ejemplo: escoria, ladrillo triturado, pizarra dilatada.

1.3.1- Los áridos en el hormigón y mortero

Las propiedades deseables de un árido para utilizarlo en hormigón son: que sea químicamente inerte, duradero, duro, resistente a los esfuerzos mecánicos, de forma aproximadamente cúbica después de triturado y capaz de dar una buena adherencia con la pasta de cemento.

Químicamente los áridos deben ser inertes, pero lamentablemente muchos áridos naturales contienen sustancias nocivas al hormigón o mortero. Se puede clasificar las sustancias nocivas químicamente en cuatro grupo:

- Sustancias solubles en agua que pueden causar la lixiviación del árido debilitándolo o provocando eflorescencia en el hormigón. Ejemplo: sal común (NaCl)
- Sustancia solubles que pueden interferir el fraguado del aglomerante y la hidratación posterior. Ejemplo: yeso
- Sustancias que pueden reaccionar con los constituyentes alcalinos. (Na_2O, K_2O, etc.) de los cementos. Ejemplo: ópalo
- Sustancias que puedan causar la corrosión del acero de refuerzo. Ejemplo: la sal común, sulfuros (Pirita).

Debe notarse también que los áridos pueden ser inertes por si mismos, pero pueden contener incrustaciones, o estar cubiertos con una película de materiales dañinos, estas películas naturales pueden estar compuestas de los siguientes materiales: limos, arcilla, yesos, carbonatos impuros de calcio y magnesio, sílice opalina, óxido de magnesio, óxido de hierro y mezcla de estos materiales.

Las propiedades físicas y mecánicas de los áridos naturales deben ser consideradas en función de su resistencia a la compresión, es conveniente que las rocas utilizadas para la fabricación de áridos presente un mínimo de resistencia a la compresión debido a que la misma sirve de índice de otras propiedades físicas y mecánicas. No obstante a emplearse la resistencia a la compresión de los áridos como un índice de su calidad, no debe plantearse como una limitante en la aceptación del árido; debido a que su valor en relación con la eficiencia del árido en el hormigón es muy pequeño.

El módulo de elasticidad del hormigón depende en un considerable grado del árido empleado en su fabricación, la resistencia a flexión depende también de estas propiedades, por lo general a medida que es mas alto el modulo de elasticidad del árido, mayor es la resistencia a la flexión manteniendo los otros factores iguales.

El tamaño, abundancia y continuidad de los poros del árido es su más importante propiedad física. El tamaño y la naturaleza de los poros afectan la resistencia a los esfuerzos mecánicos de los áridos, la absorción y la permeabilidad. Esta última a su vez da idea de la resistencia a los ataques químicos y la resistencia a las heladas, que tenga un árido.

La forma de las partículas del árido es también de gran importancia. En el hormigón fresco la forma de las partículas del árido tiene un profundo efecto sobre la laborabilidad de la mezcla. En el hormigón endurecido una buena forma de las partículas contribuyen a obtener una alta resistencia a compresión y a la tracción, considerándose como buena forma en el caso de áridos producto de la trituración, la cúbica, y en caso de árido productos de la descomposición de las rocas, la redondeada.

La mayor parte de las propiedades de los áridos son atribuidas directamente a los componentes de las rocas, esta propiedad depende en gran medida del proceso tecnológico utilizado para la fabricación del árido. Algunas otras propiedades que pueden tener importancia son: Peso específico, propiedades térmicas, resistencia a la abrasión, granulometría, entre otras.

Peso específico puede influir en la elección de un árido donde el peso sea un factor a considerar, por ejemplo, los paneles de aislamiento sonoro, donde interesan pesos específicos bajos o una prensa de gravedad donde interesan pesos específicos altos, por motivos de seguridad y económicos. El peso específico de los áridos comunes varia desde 2, 2 en el caso de las cuarcitas, a 2, 9 en el caso de los gabros.

Las propiedades térmicas, como el calor específico de los áridos, pueden tener importancia en ciertos trabajos tales como grandes prensas y estructuras masivas similares.

La conductividad térmica tiene importancia desde el punto de vista de su resistencia al fuego y en la construcción de algunas estructuras tales como chimeneas de hormigón reforzado.

La resistencia a la abrasión puede ser importante en la elección del árido para pisos industriales, pavimentos, algunos tipos de silos y canales para el traslado de líquidos y otros materiales abrasivos. También podemos destacar la composición granulométrica, el termino granulometría se refiere a la distribución de los tamaños de las partículas del árido, este factor tiene una influencia grande sobre el comportamiento del hormigón en cuanto a la facilidad de mezclado, transporte, colocación y compactación sin que se produzca separación de las partículas de diferentes tamaños que integran el árido.

En los áridos utilizados en los hormigones se pueden distinguir dos tipos de granulometría. Granulometría continua, es aquella en que aparecen partículas de áridos de diferentes tamaños, y granulometría discontinua, es aquella en que se omiten ciertos tamaños de las partículas de los áridos. En el hormigón se emplean partículas de áridos a partir de un tamaño de 0, 1 mm o menos, hasta un tamaño que sea compatible con la dimensión del elemento, y la cantidad y espaciamiento de refuerzo.

En el hormigón se utilizan por lo general áridos con un tamaño que no rebase los 76 mm. Para poder garantizar una granulometría adecuada en el hormigón, se producen en las canteras diferentes grupos de áridos donde cada grupo contiene varias fracciones de tamaño. Convencionalmente se han clasificados en áridos finos (arena) formados fundamentalmente por partículas menores que 4, 76 o 5 mm y áridos gruesos (granitos, gravillas, piedras, macadán) formados por partículas fundamentalmente mayores que estos tamaños. (De Armas, J. 2008)

1.4 Utilización conocida actualmente de las Tobas vítreas

Tienen múltiples usos: como filtrante en la industria, como aireador de suelos en la agricultura, y en la elaboración de polvos abrasivos para cosmetología, odontología y distintos procesos químicos. Limpieza de superficies delicadas en la construcción civil y monumental tales como estucos, esgrafiados, bajorrelieves, y de forma general, todas aquellas superficies en las que sea deseable una aplicación suave. Aplicable también a superficies metálicas para matizado muy leve. La pumicita para horticultura se emplea en cultivos diversos, invernaderos, campos de golf, jardinería de paisaje, etc. La pumicita es un gran complemento para el suelo. Provee porosidad para la aireación y al mismo tiempo retiene el agua en el área, permitiendo a las plantas permanecer verdes y saludables por más tiempo.

Conclusiones Parciales

Con el análisis profundo del estado de arte se observó que:

- El análisis de la literatura consultada evidenció que la resistencia a la compresión de los hormigones ligeros estructurales no debe ser menor de 15 N/mm^2.
- Las tobas vítreas se comportan como material puzolánico sustituyendo del 15 al 30% de cemento por estas en la mezcla de cemento, arena y agua, verificándose la disminución de las propiedades físicas con aumento del contenido de tobas, sin embargo no se ha estudiado las fracciones granulométricas adecuadas para su utilización;
- Las tobas vítreas del yacimiento “El Picado” en Sagua de Támano poseen una caracterización físico - mecánica insuficiente que permita sus posibilidades de utilización en la industria de los materiales de construcción.

CAPITULO II. FUNDAMENTACION CIENTIFICA DEL TEMA

Introducción

La fundamentación científica justifica la necesidad del conocimiento de causa para que se tome una buena solución con la aplicación de métodos y equipos adecuados. En este capítulo se describe los ensayos, muestreo, selección de equipos y la de su sistema de funcionamiento.

2.1 Propiedades de las Tobas Vítreas Volcánicas

Los áridos constituyen la mayor parte de la masa en el hormigón y mortero, pudiendo llegar hasta 80-85 % en peso, de ahí que las propiedades física-químicas y mineralógicas del árido tienen una profunda influencia en la resistencia, elasticidad y demás propiedades del hormigón y mortero. La dureza es de 5 a 6 en la escala de Mohs. La densidad es 0, 7 (0, 4 a 0, 9) g/cm^3.

El origen volcánico le dio ciertas características a la piedra pómez: una multitud de poros y células cerradas dan por resultado una porosidad con una solidez de grano al mismo tiempo. Su porosidad le permite adsorber y retener el agua, además de hacerla ligera y otorgarle condiciones particulares, especialmente para el filtrado de productos de elaboración industrial. La piedra pómez es tan suave que puede ser tallada, torneada y grabada con gran facilidad. Su color blanco le da una gran vistosidad, siendo también útil para la decoración. Debido a su ligereza puede flotar sobre las aguas a causa del aire contenido en sus cavidades. Además la piedra pómez es resistente al frío, al fuego y a la intemperie y libre de sales solubles en agua. Las partículas de esta roca volcánica, poseen variadas formas predominando las alargadas y las angulosas. Sus poros cerrados le confieren una baja densidad, por lo que el comportamiento al impacto es muy ligero. Aunque es de dureza media, debido a su alta friabilidad el poder abrasivo es muy bajo, produciendo un efecto muy suave sobre la superficie trabajada. (Enciclopedia Encarta 2008. Microsoft Corporation)

2.2. Caracterización general de las tobas vítreas de El Picado (Picao) en Sagua de Tánamo

Las tobas vitroclásticas y vitrocristaloclásticas son de color blanco grisáceo, de granulometría fina a media, generalmente abrasivas al tacto, porosa, ácidas con alto contenido de SiO_2 (60, 84 % según la tabla 2.1), conteniendo vidrio volcánico superior a 50 %. (Informe Prospección Preliminar y Detallada vidrio volcánico Sagua de Tánamo. Prov. Holguin, 1997).

Tabla 2.1 Composición química promedia del Yacimiento El Picado

Composición química	Contenido (%)
TiO_2	0,47
FeO	0,48
K_2O	1,40
MgO	2,56
Na_2O	2,68
Fe_2O_3	3,82
CaO	4,48
$CaCO_3$	5,02
Al_2O_3	14,22
SiO_2	60,84

2.3 Principales métodos y equipos utilizados en la investigación

Todos los métodos se basan en los ensayos recomendados por las normas cubanas de construcciones hidráulicas 251 del año 2005 para áridos y los equipos fueron seleccionados basándose en las prácticas industriales y exigencias del procedimiento. En la trituración primaria se utilizó un triturador de mandíbulas y cribas de 38,1 mm; 25, 4 mm; 19,1 mm; 12, 5 mm; 9,52 mm; 4,76 mm; 2,38 mm; 1,18 mm; 0,59 mm; 0,30 mm y 0,15 mm.

2.3.1 Toma de la muestra

Se realizó un estudio de las condiciones geológicas de la zona explorada, así como su evaluación geológica, descripción de los afloramientos con las observaciones técnicas. El método empleado consistió en la toma de trozos típicos de la materia prima, donde la muestra recopilada se compone de un solo trozo cuya masa tiene un valor de 0, 5 kg aproximadamente, determinándose visualmente lo típico que es este, a partir de su composición mineralógica y sus particularidades textura-estructurales. El método en cuestión es sencillo y de alta productividad, por esta razón los resultados son confiables en esta investigación. Para las evaluaciones técnicas se conformaron dos muestras semi-tecnológicas correspondientes al sector I del yacimiento.

En el campo de ensayo en la ECRIN se realizó un muestreo de toda la materia prima por el cuarteo mecánico, que consistió en homogeneización y después se tomó una parte para los ensayos.

2.3.2 Métodos de ensayos

2.3.2.1 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 1 hasta lograr cernir todo el material posible en cada criba, lo cual se verificó en 15 minutos para cada muestra.

Las muestras se obtuvieron por el sistema de cuarteo, empleando la cuarteadora mecánica, con el objetivo de lograr una mayor homogenización de las muestras y que esta a su vez sea más representativa.

Fotografía 1. Tamizadora Eléctrica.

La muestra de material se separó utilizando las siguientes clases de tamaño, de acuerdo con las especificaciones para el uso del material que se ensaya.

Para el caso del material grueso triturado;

Clase de tamaño (mm)
- 38,1 + 25, 4
- 25, 4 + 19, 1
- 19, 1 + 12, 5
- 12, 5 + 9, 52
- 9, 52

y para el material fino, las clases de tamaño que se muestran a continuación:

Clase de tamaño (mm)
- 9, 52 + 4, 76
- 4, 76 + 2, 38
- 2, 38 + 1, 18
- 1, 18 + 0, 59
- 0, 59 + 0, 3
- 0, 3 + 0, 15
- 0, 15

2.3.2.2 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 uno de 0, 074 mm y otro con abertura mayor, aproximadamente 0, 09 mm. La muestra después de tamizada se coloca en el recipiente y se le añade agua hasta cubrirla completamente para poder mezclar y agitar convenientemente sin que se produzcan pérdidas, ni de áridos ni 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. Todo el material retenido en los tamices se une a la muestra lavada. El árido lavado se seca hasta peso constante o durante 24 horas a una temperatura que no exceda 105 - 110 ºC. El porciento de material fino que contiene el árido se determina por la expresión:

Porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0, 074 mm $= \frac{a-b}{a} * 100$ …….. (1)

Donde:

a: peso de la muestra original seca (g)

b: peso de la muestra seca después de lavada (g)

2.3.2.3 Determinación de las impurezas orgánicas, según la NC 185: 2002. Arena.
Este procedimiento se basa en la comparación colorimétrica de la solución obtenida en el ensayo, conteniendo las materias orgánicas presentes en la arena con una solución patrón. Mediante el cuarteo se prepara una muestra representativa de 500 g del material que se desea ensayar. En una probeta graduada de 200 cm^3 se vierten 100 cm^3 de arena.

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

2.3.2.4 Ensayos para la determinación de las propiedades físico- mecánicas de las tobas vítreas.

- 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/mm^2) o mediante otras unidades arbitrarias por ejemplo en MPa y kg/cm^2. Estos pueden dividirse en:

- Los que se realizan en ensayos con muestras de rocas conformadas que conducen a la expresión de los resultados en unidades fundamentales, tales como la resistencias a la rotura 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.

- Determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión de las tobas vítreas para su utilización como árido.

La resistencia a la flexión y a la compresión de los áridos se determinó mediante la realización de pruebas de morteros. La mezcla se preparó mediante la mezcladora mostrada en la fotografía 2. En el proceso de fabricación de morteros se ha utilizado la granulometría que se encuentra en la clase - 4, 76 + 0, 149 mm del tamizado de arena de tobas vítreas, cemento Portland (P350) y agua. Con esta mezcla se preparó un conjunto de 6 morteros los cuales, para determinar la resistencia a la flexión y la compresión fue necesario ensayar los morteros a los siete días y a los 28 días. Se prepararon además, tres morteros de roca de tobas vítreas (testigos) para determinar la resistencia a la roca.

Fotografía 2. Mezcladora utilizada para la elaboración de los morteros

- Determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión de las tobas vítreas para su utilización como puzolana.

De forma similar al ensayo de la determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión de las tobas vítreas para su utilización como árido, se realizó mediante pruebas de morteros. La mezcla se preparó mediante la mezcladora mostrada en la fotografía 2, se hicieron 15 mezclas con arena de la planta del Jobo en Sagua de Tánamo, tobas vítreas, cemento Portland (P350) y agua. Se mezclaron los ingredientes; primero en seco, y una vez que la mezcla ofrecía un aspecto uniforme se

le añadió agua y se volvió a mezclar. Se moldearon las probetas en un aparato de compactación. Se prepararon probetas de 4 cm de ancho por 16 cm de longitud. Se realizó un conjunto de 15 morteros, tres para cada clase de forma independiente (-0,09 + 0,074 mm; - 0,074 + 0,045 mm y - 0,045 mm), y con porcentaje de adición de 15 y 30 % de material vítreo. O sea, para un 15 % de sustitución de tobas vítreas por cemento se realizaron 9 morteros y para un 30 % se fabricaron 6. La resistencia a la flexión y a la compresión se ensayó a los siete días.

2.4 Esquema y funcionamiento del Triturador de Mandíbula

El rasgo distintivo de estas trituradoras consiste en el parecido de sus órganos de trabajo a las mandíbulas de los animales. La quijada 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. La estructura constructiva se representa abajo.

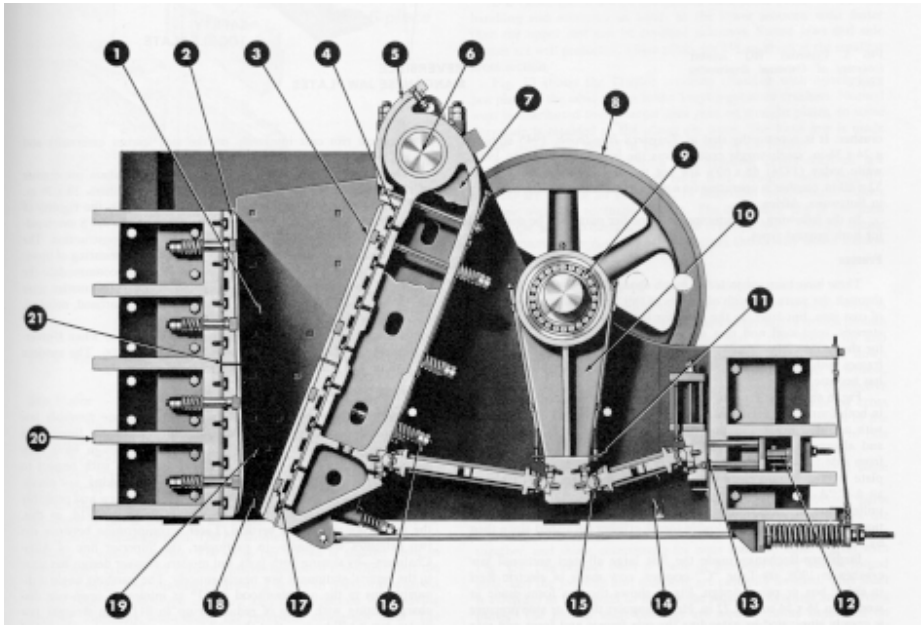


Fig. 1 Trituradora de mandíbula.

1.camara 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.

2.5. Caracterización del 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 en clases de tamaño mediante su cernido, los granos mayores que los orificios de la criba se retienen en la superficie de trabajo (rejilla); el mineral menor que la abertura de la malla pasa a través de ella. En terminología del procesamiento de minerales a estos productos se les denomina retenido y cernido respectivamente.

Como resultado del cribado sucesivo de los minerales en *n* mallas, se obtienen *n + 1* productos. Condicionalmente a los productos retenido y cernido se simbolizan con *+ d (+ l)* y *- d (- l)* respectivamente.

En los procesos tecnológicos de beneficio de materiales se distinguen tres tipos de cribado: individual, preparatorio y auxiliar. El cribado individual se utiliza para la obtención de productos finales con granulometría tecnológicamente establecida, por ejemplo en la industria del carbón, de materiales abrasivos, de materiales de la construcción, etc.

Las operaciones de cribado tienen como objetivo lo siguiente:

- Evitar la alimentación de fracciones de tamaño menores al diámetro del producto triturado; y con ello se incrementa la capacidad pasante de las trituradoras.
- Evitar que las fracciones fuera de especificaciones pasen a los procesos contiguos.
- Permite dar producto con una granulometría requerida tecnológicamente o de mercado.

Este proceso puede ser afectado por los siguientes factores: humedad, ángulo de inclinación de cribas, amplitud y frecuencia de vibraciones, forma de los orificios de la superficie de cribado, naturaleza de los granos de minerales, contenido de lamas o arcillas en el alimentado, etc.

2.6 Caracterización del proceso de molienda

El objetivo principal del proceso está dirigido al estudio del grado disminución del tamaño de las partículas en el tiempo.

2.6.1 Cinética de la molienda

Para los ensayos de cinética de la molienda se empleó un molino de bolas (18,5x19,8) cm, trabajando a 90 rpm, con carga de acero de diferentes diámetro como se indica en la metodología, (RAZUMOV, K.A.; Andreiev, S. E. 1980), garantizando al máximo de rendimiento y con llenado a 45% con rango permisible hasta el 50%, ya que a mayores valores hay un aumento del gasto energético que no se destina a la ruptura del

material, (Andriev, 1980), se usó bolas de aceros de tamaño variado predominando las pequeñas para de material blando reportan mejores resultados de molibilidad (Coello, A. 1993), como es el caso de las tobas vítreas. Se empleó tiempos de molienda de 25, 45 y 60 minutos, tomado como referencia investigaciones realizadas por Rosell, M. y Gayoso, R. 2004. El molino utilizado esta instalado en el laboratorio de beneficio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. **(Coello, A. 1993;** Andreiev, S. E.**, 1980)**

2.6.2 Determinación de la carga de bola y características constructivas del molino

Se determina la masa de carga de bolas, considerando la carga de bolas como el 45 % del volumen del trabajo de molino.

$$D = 28\sqrt[3]{d} \quad \text{..... (2)}$$

D - diámetro de la bola máximo; mm

d - diámetro máximo alimentado al molino; mm

$d = 4.76$ mm

$$D = 28 * \sqrt[3]{4{,}76} = 44.43 \approx 44\ mm$$

La masa de la carga de bolas fue determinada por la expresión:

$$M_b = \sigma_b\ \varphi\ V \quad \text{..... (3)}$$

Donde:

ρ: Densidad de las bolas (tomamos 4.35 g/cm^3, para bolas forjadas de acero)

φ=0, 45: Grado de llenado de bolas del molino

V_{mol}: volumen interior del molino (cm^3)

$$V_{mol.} = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot h}{4} \quad \text{..... (4)}$$

Donde d: diámetro del molino, (19, 8 cm.); h: altura del molino, (18, 5 cm.)

$V_{mol.} = 5693{,}4\ cm^3$ Entonces $M_b = 11144{,}83 \approx 11\ kg$

El volumen que ocupa el mineral debe estar entre el 60 y 110 % del volumen de los espacios entre bolas.

$$V_{mat.} = (0.6 - 1.1) \cdot V_{eeb} \quad \text{..... (5)}$$

Siendo V_{eeb} _ volumen de los espacios entre bolas; (cm3)

$$V_{eeb} = V_{c.b.} - V_{t.b.} \quad \text{..... (6)}$$

Siendo $V_{t.b.}$ _ volumen total de las bolas; (cm^3)

$$V_{t.b.} = \Sigma\, V_{b.} \quad \text{..... (7)}$$

Sustituyendo en (6), el volumen de los espacios entre bolas es:

$$V_{eeb} = V_{mol} - V_{tb}$$

Sustituyendo el valor del volumen de los espacios entre bolas en (5), y considerando que el material ocupa el 70 % de dichos espacios, se obtiene:

$$V_{mat.} = V_{tb} \cdot 0.7;\ cm^3 \quad \text{.....(8)}$$

Se determina la masa de mineral a añadir al molino

$$M_{ali.} = \rho_{mat.} \cdot V_{mat.} \quad \text{..... (9)}$$

Donde $\rho_{mat.}$ _ es la masa del volumen del material; (g/cm3). $M_{ali.}$ _ es la masa que se añade al molino para los ensayos de cinética; (Kg.).

Donde $\rho_{mat.}$, es la masa del volumen del material; (g/cm3). $M_{ali.}$, es la masa que se añade al molino para los ensayos de cinética; (kg.), la masa alimentada es de 0,8 kg para los ensayos de cinética de la molienda con granulometría inferior a 4, 76 mm y diferentes tiempos como se explicó con anterioridad.

Conclusiones Parciales

En la fundamentación científica del tema se observó que:

- Las tobas vítreas volcánicas son rocas libres de sales solubles en agua;
- La molienda de partículas de tamaño máximo 4, 76 mm con una masa de material vítreo de 0, 8 kg se usan bolas con el tamaño máximo 44 mm, masa de las mismas de 11 kg, el molino presenta un volumen de trabajo de 5693, 4 cm^3;
- Debido al alto grado de trituración solo se utilizó un triturador de mandíbula en una sola etapa;

CAPITULO III. ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Introducción

En el presente capitulo se describen los resultados y discusiones de los ensayos realizados y se comparan con los demás trabajos sobre los áridos y puzolanas naturales, así como el análisis de su compatibilidad con la norma cubana de materiales de construcción. Los ensayos fueron realizados en la Empresa de Construcciones y Reparaciones de la Industria del Níquel "Comandante Pinares" (ECRIN).

I. Resultados de áridos

3.1 Resultados de la caracterización granulométrica

Los ensayos de la granulometría se realizaron en la ECRIN y fueron clasificados para grava y arena. La fotografía 3 demuestra la preparación mecánica de tobas vítreas volcánicas para garantizar la granulometría necesaria.

Fotografía 3. Proceso de trituración en triturador de mandíbula.

3.1.1 **Caracterización granulométrica de la grava 3/4" (25-13)**

Esta caracterización se realizó en el tamizado para grava 3/4" (25-13), y se verificó el predomino de partículas finas como se muestra en el gráfico 3.1. En este proceso de cribado predomina el retenido en el diámetro 12, 5 con 35, 4 %, sin embargo después de esta clase se nota un apreciable aumento de las tobas vítreas volcánicas retenidas. Ver anexo 2.

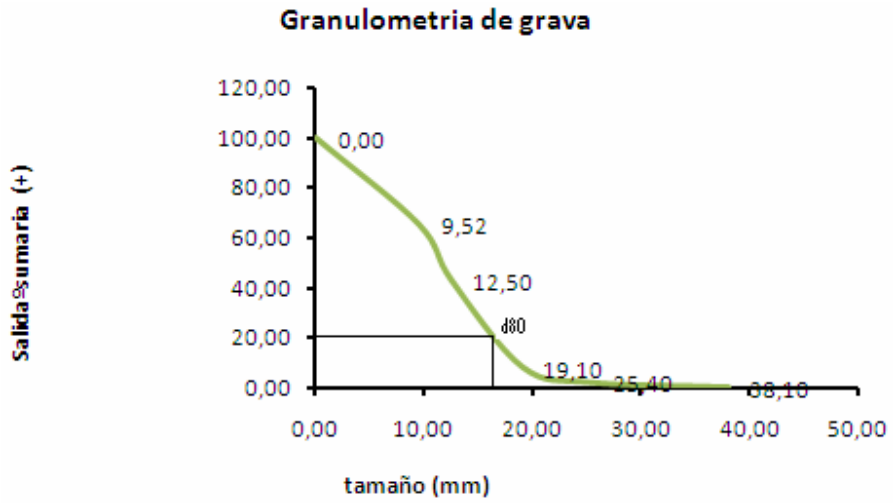


Gráfico 3.1 Caracteristica del grosor de la grava

El cernido de 80 % se observa en el diametro 14, 71mm y se puede notar que existe una distribuación homogénea de las partículas.

Tabla 3.1 Comparación de granulometría de los áridos gruesos

Limites de fracción (mm)		Tamiz (mm)	% pasado por NC	%pasado en ensayos ECRIN	Cumplimiento de NC
Nominal	Equivalente				
25-10	25-13	38.10	100.00	100.00	Conforme
		25.40	90-100	98.09	conforme
		19.10	20-55	91.95	no conforme
		12.50	0-10	56.90	no conforme
		9.52	0-5	34.71	no conforme

Teniendo en cuenta que sólo las clases – 38, 1 + 25, 4 mm y - 25, 4 + 19, 1 mm están conforme con la norma 251: 2005, se puede declarar que estos resultados no favorecen la utilización de la grava de tobas vítreas volcánicas como material de construcción, debido a que la distribución de granos finos en las clases - 19, 1 + 12, 5 mm; - 12, 5 + 9, 52 mm; - 9, 52 mm superan el límite admitido por la norma como se muestra en la tabla 3.1.

3.1.2 **Caracterización granulométrica de la arena**

Según el anexo 3, se confeccionó el gráfico 3.2.

El retenido en la criba 2, 38 mm predomina con 30, 58 %, aunque generalizando se verifica indudablemente un apreciable predominio de ambos granos (gruesos y finos). La homogeneidad granulométrica que se muestra en el grafico 3.2, caracteriza las arenas de las tobas vítreas, ello influye de manera positiva en la industria de materiales de construcción. El d_{80} se verifica en la criba 3, 85 mm.

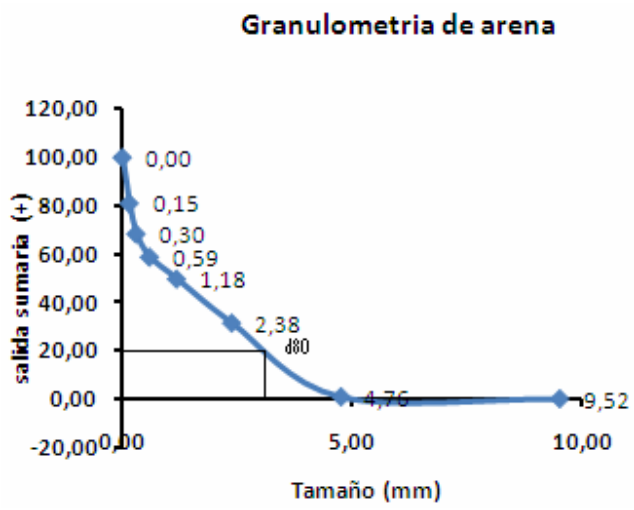


Grafico 3.2 Caracteristica del grosor de la arena

En los datos que se muestran en la tabla 3.2, se verifican las clases - 2, 38 + 1, 18 mm; - 0, 3 + 0, 15 mm; - 0, 15 mm; no conforme con la norma cubana 251:2005 de las construcciones hidráulicas, pero en menor rango que las gravas de material vítreo.

Tabla 3.2 Comparación de la granulometría de granos finos

Limites de fracción (mm)		Tamiz (mm)	% pasado por NC	%pasado en ensayos ECRIN	Cumplimiento de NC
Nominal	Equivalente				
5-0,15		9,52	100.00	100.00	Conforme
		4,76	90-100	99.20	conforme
		2,38	70-100	68.62	no conforme
		1,19	45-80	50.39	conforme
		0,59	25-60	41.27	conforme
		0,297	10_30	31.69	no conforme
		0,149	2_10	19.00	no conforme

En el diagrama 3.1 se comparan las arenas tomadas de República Dominicana y en la Planta de Miguel utilizadas en la Empresa Moa Nickel, S.A. “Comandante Pedro Sotto Alba” con las tobas vítreas volcánicas de “El Picado” en Sagua de Tanámo. Además, todos los ensayos de las diferentes arenas fueron realizados en la Empresa de Construcciones y Reparaciones de la Industria del Níquel “Comandante Pinares” (ECRIN) en el año 2008 durante el período de Expansión de la Empresa Moa Nickel, S.A. “Comandante Pedro Sotto Alba”. Ver anexo 4.

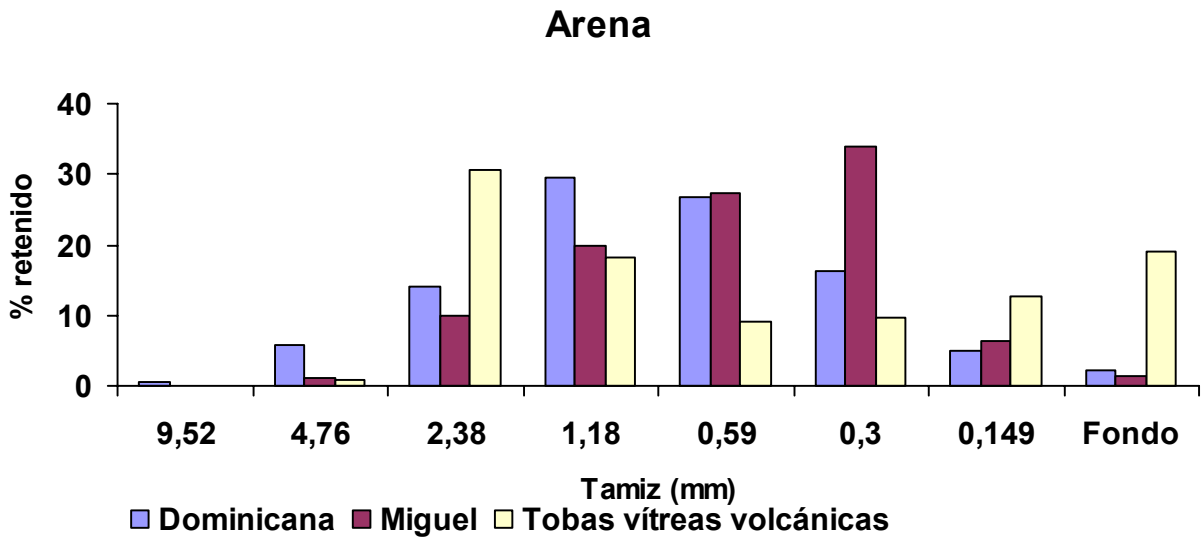


Diagrama 3.1 Comparación del porciento retenido en diferentes ensayos arenas en ECRIN

A pesar de que los resultados difieren unos de otros, las tobas vítreas volcánicas se comportan de una manera oscilatoria en relación a las demás, el porcentaje de material que sobrepasa los límites de la norma es pequeño y de acuerdo a las consultas realizadas a especialistas se podría utilizar esta arena como árido en las construcciones pero realizando algunas combinaciones de material para evitar una desfavorable distribución granulométrica. Estas características se podrían comparar en próximas investigaciones con las normas para las mezclas asfálticas las cuales tienen un límite mayor de granos finos.

3.2 **Resultados de la dosificación**

3.2.1 **Dosificación para los morteros**

La dosificación fue calculada tomando como referencia el cemento portland aplicado y sobre esta base se obtuvo la relación dada en la tabla 3.3. Se debe destacar que el agregado (tobas vítreas) se tiene que saturar antes de ser mezclado con el cemento para evitar que absorba el agua de la mezcla, dada su gran avidez de agua. Si las tobas vítreas no se satura el agua arrastra el cemento introduciéndolo en los poros del agregado grueso aumentando su peso y disminuyendo la resistencia del mortero; por otra parte se forman partículas estrelladas alrededor de los gruesos del árido sin ninguna cohesión entre ellos al ser tomada el agua por las tobas vítreas, y no queda la necesaria para el fraguado del cemento. Esto justifica que para el material objeto de estudio se necesite mayor cantidad de agua en la mezcla.

Tabla 3.3 Dosificación de la preparación de morteros para las tobas vítreas volcánicas

Material	Cantidad	Relación
Arena	1350 g	3
Cemento	450 g	1
Agua	810 ml	0,56

La comparación de estos resultados con los obtenidos por Massó, R. 2008 en su trabajo de diploma realizado en la ENIA sobre áridos de serpentina se representa en el diagrama 3.2. Ver anexo 5.

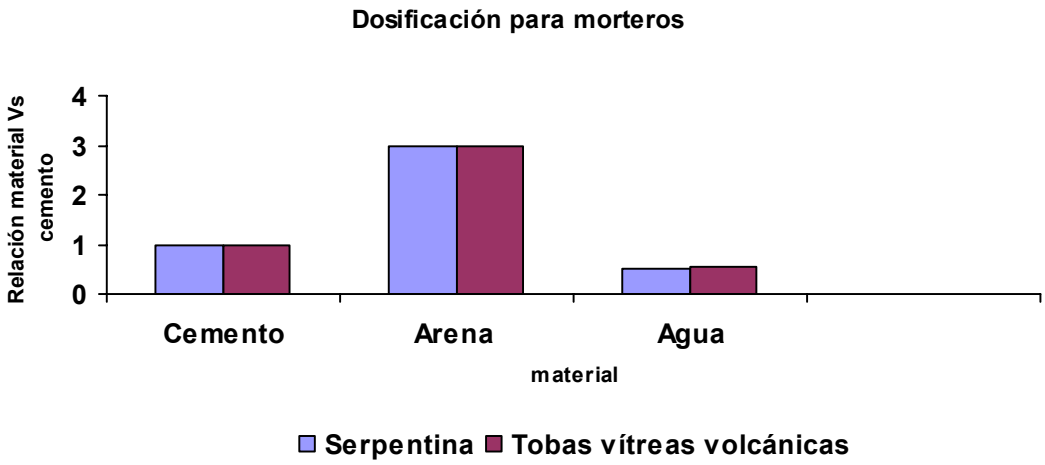
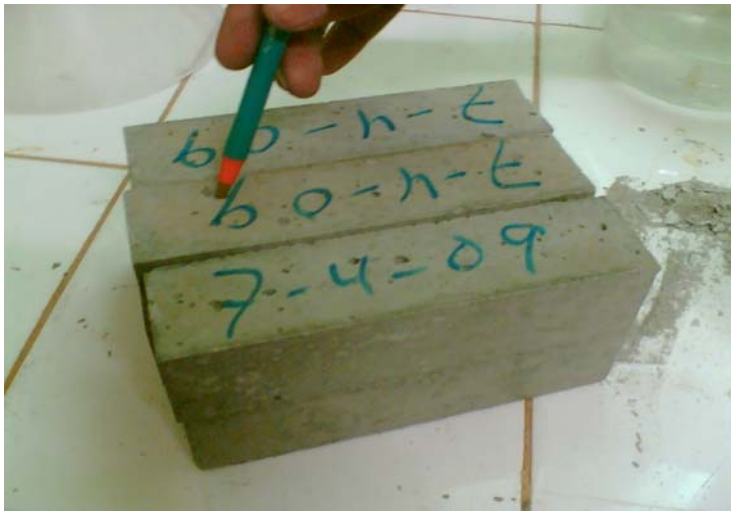


Diagrama 3.2 Comparación de resultados de dosificaciones de morteros

Según los resultados reflejados en el diagrama 3.2 se nota una cierta aproximación de las dosificaciones aunque se nota un aumento del consumo de agua por las tobas vítreas volcánicas por las consecuencias antes explicadas. Después del mezclado dosificado se obtuvieron los morteros que se indican en la fotografía 4.



Fotografía 4. Morteros confeccionados con arenas de tobas vítreas volcánicas

3.3 Análisis de los resultados de la determinación material que pasa por el tamiz de 0,074 mm (No. 200)

Según la norma NC 182:2002 se calcula el porciento de material fino que contiene el árido con recurso a la fórmula (1). La expresión determina el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0, 074 mm (No. 200).

Arena	**Grava (25-13)**
a=3083, 5 g	a=3045, 5 g
b=3076, 5 g	b=3040, 5 g

a: peso de la muestra original seca (g)

b: peso de la muestra seca después de lavada (g)

De los cálculos resultan los porcientos de la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Porcentaje de cernido en el tamiz 0, 074 mm

Material	% cernido en el tamiz 0.074mm (No.200)
Arena	0, 23
Grava	0, 16

La distribución de partículas finas de los respectivos materiales no se corresponden, esto se debe al hecho de que las tobas contiene mayor contenido de partículas finas.

Este ensayo conduce a resultados no conformes a las normas recomendados para los áridos en la construcción.

3.4 **Resultados de la determinación de las impurezas orgánicas, según la NC 185: 2002**

No se verificó el cambio de color verija del líquido concentrado por encima de la arena, sin embargo libera un olor fuerte que sugiere representa el poco poder cementante que les caracterizan.

Esto justifica que las tobas vítreas volcánicas del yacimiento el Picado en Sagua de Tánamo están libres de impurezas orgánicas y basándose en este punto se pueden utilizar como material de construcción. La adición de una solución de hidróxido de sodio al 3 % se puede ver en la fotografía 5.

Fotografía 5. Determinación de impureza orgánica

3.5 **Resultados de la determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión**

Los ensayos morteros se han realizados a los 7 y 28 días después de su confección. No fue posible realizar ensayos en el tercer día porque las muestras no habían secado por completo. Los resultados se encuentran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Resultados de los ensayos de resistencia a la flexión y compresión a los 7 días

	Testigos			Morteros		
Material	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
longitud (cm)	19,80	17,20	18,40	16,00	16,00	16,00
Anchura (cm)	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Flexión (Kgf/cm2)	1,26	1,74	1,63	0,02	0,02	0,02
Compresión (Kgf/cm2)	58,08	63,95	54,35	25,00	25,63	27,50
			Valor promedio			
Flexión (Kgf/cm2)		1,55			0,02	
Compresión (Kgf/cm2)		58,79			26,04	

Se comparan con los resultados obtenidos durante los ensayos con los morteros usados en la ESUNI en el diagrama 3.4. Ver anexo 6.

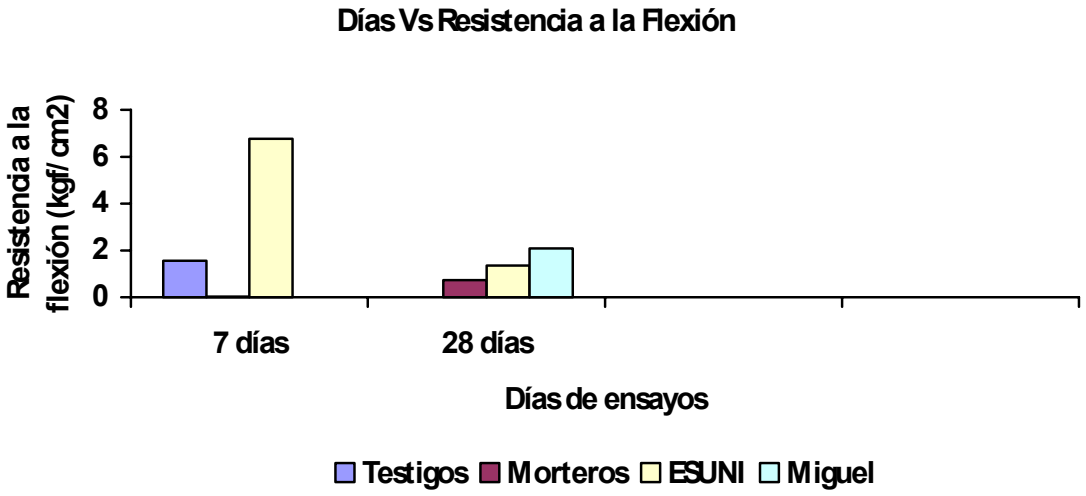


Diagrama 3.4. Comparación de resistencias a la flexión en el 7mo y 28vo días

Analizando el diagrama 3.4 se puede notar que los morteros hechos de tobas vítreas volcánicas no ofrecen prácticamente ninguna resistencia a la flexión a los 7 días, a los 28 días empiezan a reaparecer con 0, 73 Kgf/cm^2, sin embargo no llegan a alcanzar las

resistencias de los morteros usados en la ESUNI ni del propio testigo. Siendo esto no conforme con la norma.

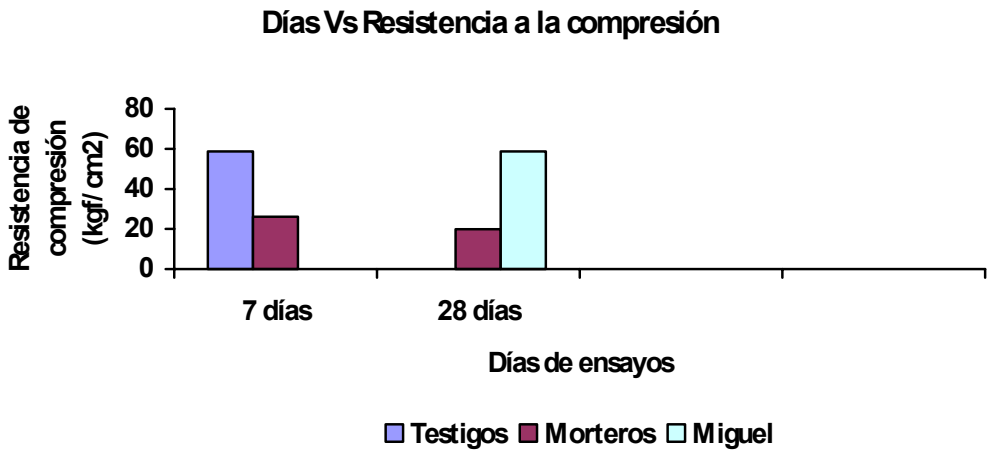


Diagrama 3.5 Comparación de las resistencias a la compresión

Como se muestra el diagrama 3.5 (Ver anexo 7), los morteros de las tobas vítreas volcánicas presentan menor resistencia a la compresión que los realizados con arenas de la planta de Miguel en Sagua de Tánamo, ensayados a los 28 días y menor resistencia que los testigos. A los 28 días se considera que hubo una reducción de resistencia a la compresión y eso se torna inferior cada vez más con relación al mortero del testigo. Esto puede estar dado por la distribución granulométrica, ya que las tobas vítreas sobrepasan los límites establecidos en la norma por la presencia de material fino según se explica en el acápite 3.1.2, y la cantidad de partículas más finas que el tamiz 0, 074 mm ya que el material fino origina en el hormigón problemas tales como la, disminución de su resistencia y aumento de su contracción por secado.

Según estos análisis de resistencia mecánica no es recomendable su utilización como áridos en los materiales de construcción. Aunque es necesario apuntar, que las consultas realizadas a los especialistas Gayoso, R. y Rosell, M. del Centro Técnico para el Desarrollo de Materiales de Construcción, realizar una dosificación especial de tobas vítreas o sustituir parte de este material por arena utilizada convencionalmente

en la construcción podría aumentar su resistencia y a su vez la posibilidad de utilización de las tobas vítreas en la construcción.

II. Resultados de puzolanas naturales

3.6 **Resultado de la caracterización granulométrica**

El proceso de molienda se realizó en el molino de bolas con tiempos de molienda 25, 45 y 60 minutos, y los resultados del proceso del tamizado realizado en la ECRIN se indican en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Resultados del cribado después de la molienda

Clase del tamaño (mm)	Salida (%)		
	25min	45min	60min
+0, 090	76, 522	74, 626	79, 347
-0,090+0,074	9, 535	13, 115	13, 251
-0,074+0,045	12, 039	11, 119	6, 981
-0,045	1, 903	1, 140	0, 421

En el gráfico 3.7 se comparan la granulometría obtenida en los 3 tiempos de molienda. Por lo visto, en todos los tiempos hay predomino de material grueso, por lo tanto la mejor opción es la selección de 25 minutos como tiempo necesario para la molienda. Aunque sería necesario realizar el análisis cinético para tiempos menores que 25 minutos debido a que el acercamiento de las curvas muestra una distribución granulométrica muy similar, ello permitiría evaluar su comportamiento y resultaría positivo para el ahorro de energía y tiempo de operación.

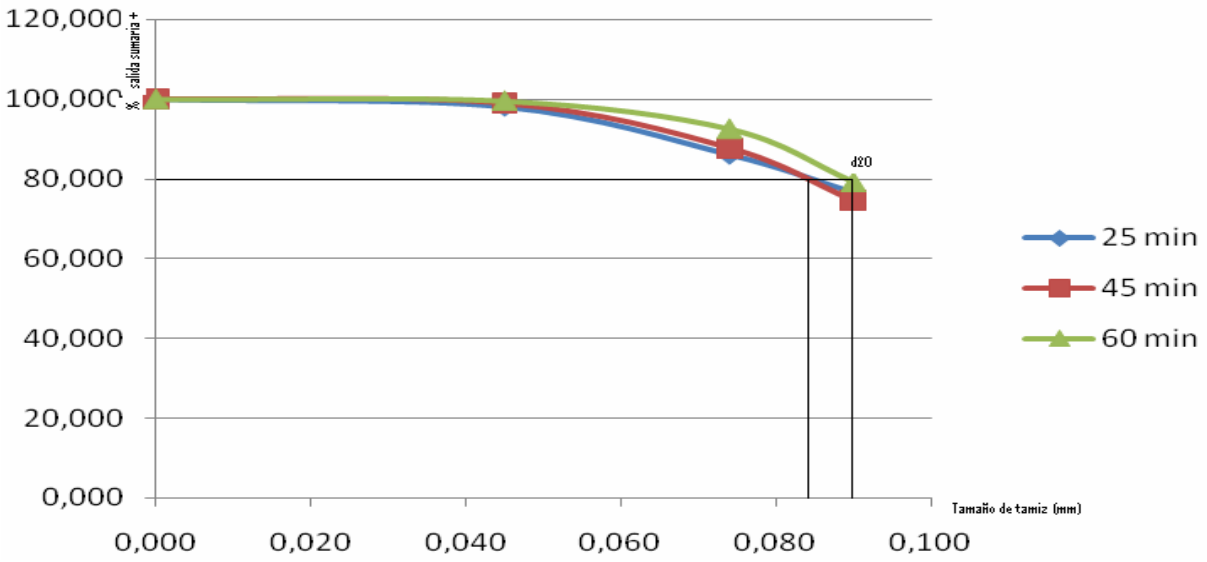


Grafico 3.7 Comparación de la característica de grosor en 3 tiempos de molienda

3.7 **Resultados de la determinación de la resistencia a la compresión y la flexión**

Los morteros utilizados para los ensayos fueron hechos con arena producida en la planta del Jobo de Sagua de Tánamo mezclado con cemento conteniendo 15 y 30 % de tobas vítreas volcánicas de las clases mezcladas como se explicó en el acápite 2.3.2.4 del capítulo II. Los ensayos de resistencia a la flexión y compresión se realizaron en el periodo de 7 días y los resultados se analizan en el diagrama 3.6. Ver anexo 8.

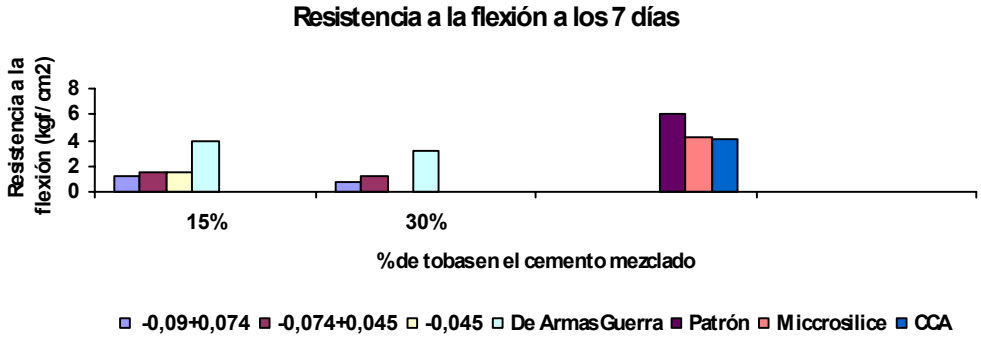


Diagrama 3.7 Comparación de resistencias a la flexión Vs cemento mezclado

Como se nota todas las resistencias son inferiores que los demás resultados, sin embargo demuestran una gran tendencia a la puzolanidad natural. La diferencia de los resultados de las tobas vítreas volcánicas y los de De Armas, J; 2008, patrón, microsílice y ceniza de cascara de arroz (CCA) es que ellos fueron determinados por la resistencia a la flexotracción, mientras las tobas solo se determinó la resistencia a la flexión, sin embargo estos resultados son menores en aproximadamente un 20 % de las resistencias a la flexión de morteros del mismo tipo de arena con una mezcla de cemento Portland de 100 %.

La clase - 0, 074 mm es más eficaz para ambos procesos, ya que le aporta mayor resistencia al mortero, mientras que la clase - 0, 090 + 0, 074 mm sólo se comporta conforme a las exigencias en los 15 % de sustitución de tobas vítreas por cemento. Ver anexo 9.

Según el diagrama 3.8, todos los resultados de ensayos de resistencia a la compresión de los morteros de tobas vítreas volcánicas con porcentajes de sustitución de cemento de 15 y 30 % son conformes con las exigencias de las normas de resistencias a la compresión. Esto demuestra que las tobas vítreas se pueden utilizar como puzolanas naturales particularizando los porcentajes de adición según se explicó en el párrafo anterior.

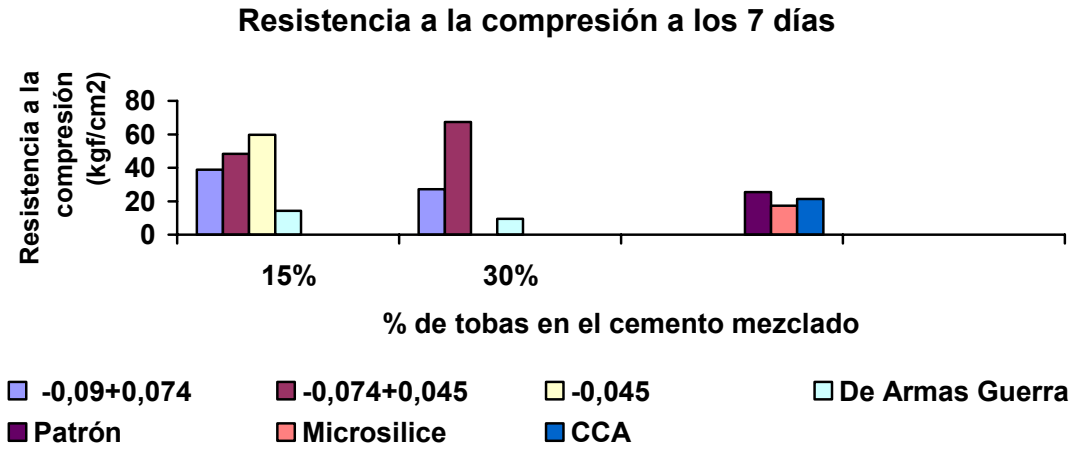


Diagrama 3.8 Comparación de resistencias a la compresión Vs el cemento mezclado

Conclusiones Parciales

Se ha verificado que:

- La granulometría predominante en la grava es la clase + 12, 5 mm con 35, 4 % y en la arena la clase + 2, 38 mm con 30, 58 %, con una distribución homogénea de las partículas, pero que sobrepasa los límites de partículas finas establecidos por la norma.

- La relación de dosificación cemento: arena: agua es de 1 : 3 : 0, 56 lo que justifica una mayor absorción de agua por las tobas vítreas volcánicas;

- Las tobas vítreas volcánicas del yacimiento “El Picado” no presentan impurezas orgánicas;

- Los morteros de tobas vítreas realizados, para evaluar su utilización como materiales de construcción presentan bajos valores de resistencia a la flexión 0, 02 kgf/cm^2 y a la compresión 26 kgf/cm^2 y menores a los testigos con 1, 55 kgf/cm^2 y 58, 79 kgf/cm^2 respectivamente.

- La sustitución de 15 y 30 % de tobas vítreas volcánicas por cemento Portland (P350) para evaluar su utilización como puzolana natural ofrece resultados favorables a los 7 días; comprobándose que la clase -0, 090 + 0, 074 mm con la sustitución del 30 % de cemento es la que presenta valores de resistencia más bajos.

CONCLUSIONES

La investigación realizada permite concluir que:

- ✓ Los resultados de ensayos de resistencia a la flexión y a la compresión de los morteros de arenas de tobas vítreas volcánicas presentan valores menores comparativamente con las demás arenas usadas en las construcciones, e inferiores que la resistencia de los testigos; presentan elevado contenido de partículas menores que el tamiz 0,074 mm y son libres de impurezas orgánicas.

- ✓ Las tobas vítreas presentan una distribuación homogénea de las partículas, pero la presencia de granos finos en las clases - 19, 1 + 12, 5 mm; - 12, 5 + 9, 52 mm y - 9, 52 mm para el caso del árido grueso y las clases - 2, 38 + 1, 18 mm; - 0, 3 + 0, 15 mm y - 0, 15 mm para el árido fino superan los límites admitido por la norma cubana 251:2005.

- ✓ La sustitución de 15 y 30 % de tobas vítreas volcánicas por cemento Portland (P350) para su utilización como puzolana natural ofrece resultados favorables a los 7 días; comprobándose que la clase -0, 090 + 0, 074 mm con la sustitución del 30 % de cemento es la que presenta valores de resistencia no conformes con la normas.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y las deficiencias demostradas en la investigación se recomienda:

- ✓ Una investigación para estudiar la sustitución de una parte de arenas por las tobas vítreas volcánicas para el uso como árido en la industria de construcciones, o emplearla en su estado natural en la albañilería para los senderos y bloques elaborados por un simple corte;
- ✓ La sustitución de 15 y 30 % de tobas vítreas volcánicas por cemento para su utilización como puzolana de la clase - 0, 074 mm y en la sustitución de 15 % de la clase - 0, 090 + 0, 074 mm.
- ✓ Un estudio de viabilidad para su uso en el asfalto ya que posee elevado contenido de granos finos;
- ✓ Un estudio de la cinética de la molienda para verificar los resultados a tiempos de molienda menores que 25 minutos debido al acercamiento de las curvas de distribución granulométrica, ello permitiría evaluar su comportamiento y resultaría positivo para el ahorro de energía y tiempo de operación.
- ✓ Un estudio de la cinética química para determinar el tiempo de reacción de los componentes de las tobas vítreas con los componentes del cemento.

Referencia Bibliográfica

ALAVEDRA, P. 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].

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

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

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

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

BEATRIZ, M. 2007*. Versatilidad en el uso de la piedra toba. [16.02.2009]* http://www.minas.upm.es/relext/Red-Cyted-XIII/web-rimin/rimin1/III-Jornadas-San-Juan /BeatrizPonceMaria.pdf.

BOUSO A, J. L. 2002. *Soluciones Medioambientales para las plantas de tratamiento de áridos vía húmeda. II Jornadas Iberoamérica de materiales de construcción.* Habana. [16.02.2009] http://www.minas.upm.es/catedra-anefa/Bouso-M3/Sol_Medamb_Aridos_Via _Humeda.pdf.

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

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

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

Colectivo de autores *.2008. Estado del arte "en las producciones de áridos en Cuba y propuesta del método para implementar sistemas de calidades en estos procesos.*[16.02.2009].http://www.minas.upm.es/relext/Red-CytedXIII/webrimin/rimin 1 /jorna das/01 ibermac_pdf /08_Calidad/Sosa.pdf (En línea).

Colectivo de autores. 2006. Ophiolite-Related Ultramafic Rocks (Serpentinites) in the Caribbean Region: A Review of their Occurrence, Composition, Origin, Emplacement and Ni-laterite Soil Formation. GeologicaActa, Vol.4 Nº1-2, 2006, 237-263p.

Colectivo de autores. 1997. Recommended nomenclature for Zeolite minerals: Report of the subcommittee on Zeolites of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. Canadian Mineralogist. Vol. 35. 1571-1606p.

Enciclopedia Encarta 2008. Microsoft Corporation.

JIMENEZ, L. 2008. *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. (*Colectivo de tutores). Tesis de pregrado. Instituto Superior Minero Metalúrgico, 2008. 75pp.

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

MITROFÁNOV, S. I. 1982. Investigación de la capacidad de enriquecimiento de los minerales. Moscú, Editorial Mir. 435 p.

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

NC 178: 2002 Áridos. *Análisis granulométrico*.

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

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

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

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

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

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

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

LÓPEZ P., L. M. 2006. *Caracterización Geológica de las materias primas mineras de los municipios Moa – Sagua de Tánamo para su empleo como material de construcción.* Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Trabajo de Diploma. 87 p.

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

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

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

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

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

ANEXOS

Anexo 1. **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.

Anexo 2. Granulometría del tamizado para la grava 3/4" (25-13)

Clase de tamaño (mm)	muesta 1 (g)	muesta 2 (g)	muesta 3 (g)	muesta 4 (g)	muesta 5 (g)	muesta 6 (g)	Total (g)	Salida (%)	Salida sumaria por más (%)
+38.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-38.1+25.40	22.00	8.00	34.50	9.00	6.00	18.50	98.00	1.91	1.91
-25.4+19.10	57.00	28.50	61.00	69.00	44.00	56.00	315.50	6.14	8.05
-19.1+12.50	334.50	282.00	322.00	369.00	224.50	269.00	1801.00	35.05	43.10
-12.50+9.52	238.00	260.00	203.00	213.50	130.00	95.50	1140.00	22.19	65.29
-9.52	468.50	398.50	301.50	269.50	228.50	117.00	1783.50	34.71	100.00
							5138.00	100.00	0.00

Anexo 3. Característica granulométrica de la arena

Clase de tamaño (mm)	muestra 1 (g)	muestra 2 (g)	muestra 3 (g)	Total (g)	Salida (%)	Salida sumaria por más (%)
+9.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
-9.52+4.76	8.00	3.00	15.00	26.00	0.80	0.80
-4.76+2.38	281.00	242.00	465.00	988.00	30.58	31.38
-2.38+1.18	173.00	159.00	257.00	589.00	18.23	49.61
-1.18+0.59	90.00	80.50	124.00	294.50	9.11	58.73
-0.59+0.30	100.00	80.50	129.00	309.50	9.58	68.31
-0.30+0.15	128.50	111.00	170.50	410.00	12.69	81.00
-0.15	195.00	183.00	236.00	614.00	19.00	100.00
				3231.00	100.00	

Anexo 4. Comparación del porciento retenido en los diferentes ensayos de arenas en la ECRIN

Tamiz (mm)	Retenido (%)		
	Arenas		
	Dominicana	Miguel	Tobas vítreas
9,52	0,6	0,12	0
4,76	5,74	1,04	0,8
2,38	14,04	9,96	30,58
1,18	29,41	19,89	18,23
0,59	26,68	27,26	9,11
0,3	16,33	34,05	9,58
0,149	5,06	6,31	12,69

Fondo	2,19	1,39	19,0

Anexo 5. Comparación de resultados de dosificaciones de morteros

	Cemento	**Arena**	**Agua**
Serpentina	1	3	0, 5
Tobas vítreas volcánicas	1	3	0, 56

Anexo 6. Resultados de los ensayos de resistencia a la flexión (Kgf/cm^2) en el 7mo y 28vo días

Material	**Resistencia a la flexión (Kgf/cm^2)**	
	7 días	28 días
Testigos	1, 55	
Morteros	0, 02	0, 73
ESUNI	6, 77	1,35
Miguel		2,08

Anexo .7 Resultados de ensayos de resistencia a la compresión (Kgf/cm^2) en el 7mo y 28vo días

Material	**Resistencia a la compresión (Kgf/cm^2)**	
	7 días	28 días
Testigos	58, 79	
Morteros	26, 04	19, 9
Miguel		78,75

Anexo 8. Resultados de la resistencia a la flexión (Kgf/cm^2) de morteros de puzolanas a los 7 días

Material	**Resistencia a la flexión (Kgf/cm^2)**		
	15 %	30 %	

-0, 09 + 0, 074	1, 25	0, 83	
-0, 074 + 0, 045	1, 46	1, 25	
- 0, 045	1, 46	-	
De Armas Guerra	3, 992	3, 212	
Patrón			6, 091
Microsilice			4, 231
CCA			4, 064

Anexo 9. Resultados de la resistencia a la compresión (Kgf/cm^2) de morteros de puzolanas a los 7 días

Material	**Resistencia a la compresión (Kgf/cm^2)**		
	15 %	30 %	
-0,09+0,074	38, 96	27, 08	
-0,074+0,045	48, 33	67, 29	
-0,045	59, 79	-	
De Armas Guerra	14, 313	9, 49	
Patrón			25, 467
Microsilice			17, 266
CCA			21, 392