

**EVÁLUACIÓN DE LAS TOBAS
VÍTREAS COMO ÁRIDO LIGERO
PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
BLOQUES DE HORMIGÓN**

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero Metalúrgico.

Autor: Yeisel Rodríguez Zayas

Moa-2017.



Ministerio de la Educación Superior
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
“DR. Antonio Núñez Jiménez”
Facultad Metalurgia-Electromecánica
Departamento de Metalurgia- Química

EVALUACIÓN DE LAS TOBAS VÍTREAS COMO ÁRIDO LIGERO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE BLOQUES DE HORMIGÓN

Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniero
Metalúrgico.

Autor: Yeisel Rodriguez Zayas

Firma: _____

Tutor: Dr. C. Carlos Alberto Leyva Rodríguez

Firma: _____

Ms.C. Roger Samuel Almenares Reyes

Firma: _____

Moa, 2017.

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo Yeisel Rodríguez Zayas autor del Trabajo de Diploma "Evaluación de las tobas vítreas como árido ligero para la construcción de bloques de hormigón." declaro la propiedad intelectual al servicio del ISMM para que disponga de su uso cuando considere conveniente.

Autor:

Yeisel Rodríguez Zayas.

Firma: _____

Tutores:

Dr.C. Carlos Alberto Leyva Rodríguez.

Firma: _____

Ms.C. Roger Samuel Almenares Reyes.

Firma: _____

PENSAMIENTO

“Todos poseemos más poderes de los que hemos soñado tener. Podemos hacer cosas que nunca imaginamos llegar a realizar. No existen limitaciones excepto las que tenemos en nuestras mentes que nos impiden hacerla. No piense que usted no puede. Piense que sí puede”

Darwin Kingsley

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado muy especialmente a las dos personas más importantes en mi vida, y las principales responsables de que haya sido posible mi paso por la universidad. Ellos son Martha Zayas Hernández y Santiago Rodríguez González, mi mamá y mi papá.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente:

A mi tutor Dr. Carlos Alberto Leyva Rodríguez por haber sido la fuente de donde surgió este trabajo y por la confianza que ha depositado en mí para la realización del mismo.

A mis padres, a mi hermana y hermano, a mis tíos, a mis sobrinas, a mis primos por el apoyo que me han brindado.

A Manuel, David, Alain, Amable, Yunaimi y Ernesto, compañeros del aula que me ayudaron en el traslado de la materia prima y realización de las muestras.

A mis compañeros de grupo y de cuarto que me han brindado su apoyo en todos estos años.

A los compañeros del laboratorio Camilo y Jaime que se mostraron muy interesado en la realización de los experimentos.

A mi cotutor Ms.C. Roger Samuel Almenares Reyes por la ayuda en la preparación de la materia prima y los materiales digitales brindado.

A todas las personas que se han preocupado por la realización de este trabajo.

Muchas gracias.

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta la caracterización química y mineralógica de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo. Se evaluaron las propiedades físico-mecánica de los productos de estas rocas al ser empleadas como árido, sustituto del árido grueso (granito 3/8) en la fabricación de bloques huecos de hormigón. A estos bloques se le realizaron ensayos donde se comprobó que cumplían con lo establecido por la norma (NC 247: 2010 — Bloques huecos de hormigón — Especificaciones). Se demostró mediante el ensayo de resistencia a la compresión realizado en el laboratorio de la Empresa Constructora Integral No 3, que la resistencia de los bloques cumplen con lo establecido en la norma, a pesar de ser un material no tradicional para estos usos. Se realizaron además ensayos de absorción, que comparados con los patrones triplicaban el porcentaje de estos, aunque es normal tratándose de materiales porosos. De manera particular se destaca la reducción de la masa promedio del bloque a temperatura ambiente de 18,941 % (2,429 kg) y estando seco es de 24,489 % (3,009 kg).

Palabras claves:

Árido, bloque hueco de hormigón, árido ligero, tobas vítreas.

SUMMARY

The present work presents the chemical and mineralogical characterization of the glassy tuffs of the Sagua de Tánamo field. The physical-mechanical properties of the products of these rocks were evaluated when being used as arid, substitute of the coarse aggregate (granite 3/8) in the manufacture of hollow blocks of concrete. These blocks were tested where they were found to comply with the standard (NC 247: 2010 - Concrete hollow blocks - Specifications). It was demonstrated by the resistance to the compression test carried out in the laboratory of Empress Constructors Integral No 3 that the resistance of the blocks meets the established standard, despite being a non-traditional material for these uses. Absorption tests were carried out, which compared to the standards tripled the percentage of these, although it is normal for porous materials. Particularly noteworthy is the reduction of the average mass of the block at room temperature of 18.941% (2.429 kg) and being dry it is 24.489 % (3.009 kg).

Key words:

Arid, hollow block of concrete, light arid, tuffs vitreous.

TABLA DE CONTENIDO	“PÁG.”
INTRODUCCIÓN.	1
I: MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. Estado del arte.....	4
1.2. Generalidades de las tobas vítreas o vidrio volcánico.	7
1.3. Usos de las tobas vítreas o vidrio volcánico en la industria nacional.....	8
1.4. Características generales de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo.	11
1.5. Composición mineralógica de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo.	12
1.6. Áridos o agregados.....	13
1.6.1. Principales tipos de áridos.....	13
1.6.2. Los áridos en el hormigón.	13
1.7. Hormigón Liviano.	15
1.7.1. Uso y Aplicaciones.	15
1.8. Bloques huecos de hormigón. Generalidades.	17
Conclusiones Parciales.....	19
II. MATERIALES Y MÉTODOS.	20
2.1 Diseño experimental.	20
2.2 Toma y preparación de la muestra.	20
2.2.1. Toma de muestra de la materia prima.....	20
2.2.2. Preparación de la materia prima.	21
2.3. Caracterización de las materias primas para la producción de los bloques huecos de hormigón.....	22
2.3. Fabricación de bloques huecos de hormigón	24
2.4. Descripción de los ensayos realizados a los bloques huecos de hormigón.....	25

2.4.1. Determinación de las dimensiones.....	25
2.4.2. Resistencia a la compresión.....	26
2.4.3. Absorción.	28
2.4.4. Determinación de la disminución de masa.	29
Conclusiones parciales	30
III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	31
3.1. Análisis de los resultados obtenidos en bloques huecos de hormigón.....	31
3.1.1. Resultados de las mediciones realizadas a los bloques huecos de hormigón.....	31
3.1.2. Resultados del ensayo de resistencia a compresión.....	32
3.1.3. Análisis de los resultados del ensayo de absorción.	35
3.1.4. Resultados de la determinación de disminución de masa.....	37
3.2. Valoración socioeconómica y ambiental.....	39
Conclusiones parciales	40
CONCLUSIONES.....	41
RECOMENDACIONES	42
BIBLIOGRAFÍA.	43
ANEXOS.	I

INTRODUCCIÓN.

En los países subdesarrollados la situación de la vivienda junto a la necesidad de desarrollar otras obras sociales es un problema que crece gradualmente a medida que pasan los años, por el deterioro constante de las existentes y el azote de fenómenos naturales que sin duda, han puesto en desventaja las posibilidades de una respuesta rápida a tal problema, debido a la notable escasez de materiales de construcción por el poco desarrollo que ahí en el país en este ámbito.

Con el objetivo de darle solución a la problemática antes expuesta, se están realizando diferentes investigaciones e inversiones por parte del estado cubano, donde la utilización de las tobas vítreas de la región de Sagua de Tánamo, como árido ligero, contribuirá desde una perspectiva local a la solución de problemas nacionales, ya que los áridos son un material insustituible para la sociedad actual porque estos se emplean en cantidades muy importantes en todos los ámbitos de la construcción, ya sea en vías de comunicación, obras de infraestructura, equipamientos, vivienda, industria química, etc.

El árido ligero es un material física y químicamente neutro, que no desprende gases ni malos olores, no se pudre y no es atacable por parásitos, hongos o roedores. No le afectan las sustancias químicas y es altamente resistente a las heladas y a los cambios bruscos de temperaturas.

Debido a que su principal propiedad es ser ligero, sus aplicaciones más directas se hallan en la construcción para la fabricación de materiales aislantes: paneles, bloques, bovedillas, etc. Una buena aplicación consiste en la rehabilitación de antiguas cubiertas de fibrocemento, para lo cual se prepara un hormigón con árido ligero en lugar del denso convencional, logrando dos objetivos: Conseguir un buen aislamiento térmico y eliminar el problema medioambiental que supone al fibrocemento en climas calurosos y secos.

Desde el punto de vista de la seguridad, los hormigones fabricados con áridos ligeros conservan un 80 % de la resistencia mecánica a temperaturas superiores a 600 °C. A este factor hay que sumarle un mayor poder aislante, lo cual mejora todavía más sus cualidades frente al fuego.

La densidad del árido ligero oscila entre la mitad y un tercio de la densidad del árido natural, lo cual supone que el nuevo hormigón sea mucho más liviano y la estructura de la edificación más ligera y barata. Paralelamente, su gran porosidad interna supone un gran poder de aislamiento térmico y acústico.

Situación Problemática:

La necesidad de conocer las propiedades de las tobas vítreas del yacimiento de la región de Sagua de Tánamo al ser empleada como árido ligero, lo cual limita su utilización para estos fines.

Problema de investigación:

El insuficiente conocimiento de las propiedades de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo para ser empleada como árido ligero.

Objeto de estudio:

Tobas vítreas de la región de Sagua de Tánamo.

Objetivo general:

Evaluar las propiedades de las tobas vítreas del yacimiento de la región de Sagua de Tánamo para emplearla como árido ligero.

Hipótesis:

Si se evalúan las propiedades de las tobas vítreas de Sagua de Tánamo como árido ligero, es posible su utilización en la industria de materiales locales, como sustituto alternativo del árido convencional.

Objetivos específicos:

- Analizar los trabajos antecedentes relacionados con la bibliografía del objeto de la investigación.
- Caracterizar las tobas vítreas del yacimiento de la región de Sagua de Tánamo.
- Evaluar el comportamiento de las tobas vítreas al ser empleada como árido ligero para la construcción de bloques huecos de hormigón.

Tareas de la investigación:

- Análisis bibliográfico de trabajos antecedentes relacionados con el objeto de la investigación.
- Preparación mecánica de las materias primas.
- Fabricación de los bloques huecos de hormigón.
- Realización de los ensayos de los bloques para determinar sus propiedades.

I: MARCO TEÓRICO.

En este capítulo se realiza un análisis sobre los diferentes aspectos que se encuentran relacionados con los temas abordados en la bibliografía consultada con el objetivo de disponer de los elementos básicos para realizar el presente trabajo. En el cual se expone el estado del arte, posteriormente las generalidades y propiedades de las tobas vítreas, entre otros temas que brindan conocimientos básicos relacionados con el trabajo.

1.1. Estado del arte.

Según las investigaciones realizadas, se constató lo siguiente:

López, L, M, en el 2006, mostró 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.

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.

Muxlhanga. J.R (2009), en su trabajo investigó la evaluación de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo para su utilización como árido y puzolana natural en la construcción, donde se aborda que las tobas vítreas tienen gran utilización a nivel mundial al tener diferentes aplicaciones, se realizaron diferentes ensayos de resistencia y de granulometría, se utiliza un triturador de mandíbula para disminuir el tamaño del material y también un molino de bolas con el objetivo

de disminuir aún más el tamaño de las partículas para obtener resultados favorables como puzolana, pero no la llegó a utilizarlo como árido.

Cabrera. M. R (2010), realiza una evaluación de las tobas vítreas de los yacimientos de la provincia de Holguín, para ver si se pueden utilizar como 7 puzolana natural en los materiales de la construcción, donde el material que se analiza, se le realizan ensayos para determinar la resistencia a la flexotracción y a la compresión de morteros y se comprueba que estos morteros superan la resistencia de los morteros de albañilería y las tobas influyen positivamente en la resistencia mecánica de los morteros. Donde se debería haber evaluado también los materiales a un mayor tiempo de fraguado y no se separan las fases de la montmorillonita de la arcilla en las tobas vitroclásticas.

Almenares R.S (2011), determinó las propiedades puzolánicas de los materiales tobáceos de la región de Holguín, con perspectivas a ser utilizadas como puzolanas naturales donde se incluyó el yacimiento Sagua de Tánamo. Determinó que al añadir un 15 y un 30 % en peso, de estos materiales por cemento, y realizar una serie de análisis para determinar la composición química y mineralógica de estos materiales, obteniendo como resultado que al realizar la sustitución de los materiales tobáceos por cemento, los morteros obtenidos cuentan con la resistencia suficiente para ser utilizados en la albañilería, pero no utiliza ningún método para separar los granos de montmorillonita de otro tipo de arcilla que se encuentra contenida en las tobas vítreas, como un factor planteado por el autor que limita la actividad de los referidos materiales.

Pérez, Y. M. (2011), en su trabajo determina los valores de las funciones de fragmentación para el proceso de molienda de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo, la investigación se realiza a escala de laboratorio, donde se encuentra la composición granulométrica del material por medio de análisis de tamiz por vía seca y húmeda. Se realiza el cálculo de las bolas que garanticen el rendimiento máximo del molino, donde la característica granulométrica del material se ajusta al modelo Rozin – Rammler, con relación de 0,94 y la cinética sigue las regularidades de los materiales rocosos y la función de selección se incrementa

con el aumento de las clases hasta un tamaño de partículas de 0,6 mm, momento en el cual comienza a decrecer, pero se debió investigar sobre el efecto de las bolas en las funciones de fracturas a escala de banco y de laboratorio, no se realizó la separación de la montmorillonita de la arcilla, en las tobas zeolitizadas del yacimiento Sagua de Tánamo.

Pérez R. Y (2011), realiza un estudio de la cinética de la molienda de las tobas vítreas del yacimiento El Picao (Sagua de Tánamo), después de realizado el proceso de molienda en algunos intervalos de tiempo y con una serie de tamices se demuestra que a partir de los cinco minutos en adelante, se obtiene un producto que puede ser utilizado como aditivo puzolánico en el cemento, donde no se realiza un análisis a las fracciones granulométricas de mayor reactividad puzolánica que estén contenida en la fase vítrea, pero no se realiza la separación de la montmorillonita de otro tipo de arcilla contenida en las tobas vítreas al no utilizar ningún proceso de separación de estos.

Aleaga F. (2012), realiza un estudio sobre la separación de la montmorillonita de las tobas vítreas donde demuestra que la separación a través del método de elutriación no es eficiente, dado que los contenidos de Al, y Mg que representan a los granos de la montmorillonita y las rocas acompañantes de las tobas vítreas en los productos separados se concentran en muy poca proporción.

Peña R. (2013), demostró que el 15 % de adición de las tobas vítreas como aditivo en la producción de cerámica roja para la industria de materiales es con el que se tiene mejores resultado. Lo cual permitió elevar sus propiedades en cuanto a contracción lineal (0,160 %), resistencia a la compresión (13,059 MPa) y pérdida de peso (49,884 %)

Martínez R. A (2014), en su trabajo ``Tobas vítreas de Sagua de Tánamo como aditivo en la producción de objetos de cerámica roja`` llegó a la conclusión que el secado de los objetos de cerámica roja confeccionados en el centro de producción Industrias Locales Moa a partir de la implementación de las tobas vítreas de Sagua de Tánamo tuvo una disminución en el tiempo de acuerdo a los porcentajes de aditivo añadido, lo cual para un 10 % bajó de 7 a 5 días, y para un 20 %

disminuyó de 7 a 3 días respectivamente. La adición de las tobas vítreas a la mezcla evitó el agrietamiento de las piezas dándole a estas un mayor brillo.

Matos D. (2016), en su trabajo ``Evaluación de la reactividad puzolánica de las tobas vítreas calcinadas del yacimiento el Picado`` llegó a la conclusión que las tobas vítreas del yacimiento El Picado poseen un contenido total de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 superior al 70 %, la cual corresponde con la exigida para su utilización como puzolana. Las fases con mayor potencial de activación son las arcillosas del grupo de las esmectitas y algunos feldespatos con elevado grado de defectos en su estructura cristalina.

Tamayo N. (2016), realizó una investigación sobre la influencia de la preparación de las tobas vítreas de la región el Picado sobre la reactividad puzolánica donde concluyó que el comportamiento físico mecánico de las tobas calcinadas muestra que a edades tempranas la mejor resistencia lo tiene el material calcinado a 700 °C, influenciado por las características morfológicas del material tobáceo activado mientras a edades superiores la temperatura de máxima resistencia es 850 °C, lo cual se relaciona con la activación de las fases potencialmente activables.

1.2. Generalidades de las tobas vítreas o vidrio volcánico.

Se conoce en Cuba como “vidrio volcánico” a la toba vítrea cuya fase amorfa constituye más del 50 % del material rocoso que la forma. Esta roca generalmente es toba vitroclástica o vitrocrystaloclastica, conteniendo menos del 50 % de montmorillonita, con cantidades pequeñas de carbonatos, feldespato y cuarzo. Se caracteriza por ser muy ligera, porosa y de baja resistencia mecánica. Es abrasiva al tacto y se forma como resultado de la deposición en mares someros, de salinidad normal, de detritos expulsados durante las erupciones volcánicas. Son de composición media hasta ácida, con un 60 % de sílice como promedio (IGP, 2011).

La toba vítrea se relaciona con otras rocas volcánicas silíceas, que son las que comúnmente en el mundo reciben el nombre de vidrio volcánico, las que su comunidad de origen y la semejanza en sus características físico – químicas y

campos de uso en la industria. Entre ellas tenemos la pumita (piedra pómez), la perlita y la obsidiana, que son de composición ácida y con un 70 % de sílice como promedio (IGP, 2011).

Todo el vidrio volcánico, incluyendo el de la toba vítrea, se forma a partir de magmas ricos en sílice, que se vuelven por ello cada vez más viscosos, lo cual dificulta la cristalización de los minerales presentes, por lo que tienden a solidificarse en forma amorfa (de vidrio). Otro factor es el enfriamiento brusco que experimenta el material durante el proceso eruptivo, que para los de composición media y principalmente ácida, tienen carácter explosivo, durante el cual, el mismo es expulsado en forma de fragmentos y partículas de muy variados tamaños (desde bombas volcánicas hasta cenizas muy finas), los que se enfrían rápidamente en el aire. Todo esto explica por qué el vidrio ácido y medio abunda mucho más que el de composición básica, al que se le denomina taquilita (IGP, 2011).

1.3. Usos de las tobas vítreas o vidrio volcánico en la industria nacional.

En la actualidad se emplea la toba vítrea de los yacimientos Guaramanao y Ají de la Caldera en la producción de limpiador doméstico (GEOLIMP) y de lijas, ambos productos comercializados a nivel nacional (IGP, 2011).

Existe el interés por parte de la firma Suchel Proquimia en obtener un tipo de pasta limpiadora, como sustituto del producto Limpiol, importado de Guatemala.

Han sido probadas para su utilización como:

1. Filtrante de cerveza, jugo de henequén, ron y vino.
2. Medio filtrante en la industria azucarera.
3. Floculante en la potabilización de aguas superficiales.
4. Limpiador doméstico.
5. Como material puzolánico para cemento.
6. Aislante térmico en la industria cerámica y en otras industrias como el níquel.
7. Material filtrante en la purificación de acetileno.
8. Lozas antiácidas.

9. Medio filtrante en la planta de cloro sosa.
10. Relleno de plástico.
11. Decapado de metales.
12. Sustitución del feldespatos en la industria del vidrio.

Atendiendo a sus parámetros físicos – químicos pueden ser utilizadas en:

1. Abrasivo en los ralladores de las cajas de fósforos.
2. Fabricación de losas de falso techo.
3. Fabricación de hormigón celular (Siphorex).
4. Para ladrillos aligerados sin quemar.

Medio filtrante en la industria azucarera.

En la tabla 1.1 se muestra el comportamiento del vidrio volcánico y el Decalite probado como agente filtrante en el proceso de refinación de azúcar (IGP, 2011).

Tabla 1.1. Resultado de los análisis de laboratorio realizados a los filtros con ambos filtrantes.

Parámetro	Filtro 4	Filtro 5
	Decalite	vidrio volcánico
Brig.	56,04 %	55,06 %
pH	6,9	6,9
Red.	0,13	0,14
Color	14,67	14,93
Cenizas	0,60	0,60
Pol.	54,25	54,25
Pza.	96,80	96,77

En la tabla anterior se observa que el vidrio volcánico utilizado como agente filtrante en el proceso de refinación de azúcar se comporta de forma similar al Decalite.

La delegación provincial del Ministerio de la industria azucarera (MINAZ) de Santiago de Cuba realizó determinaciones de color en azúcares refinados, crudos, y

blanco directo, con muestras de 38 centrales, las que fueron tratadas con toba vitroclástica y tierras de infusorios (BOH_3), determinándose que la toba podían usarse como filtrantes en refinerías y fábricas de azúcar blanco directo, no descartándose la posibilidad de usarlo también en azúcar crudo (IGP, 2011).

Medio filtrante en la industria alimenticia.

Pruebas realizadas en la filtración de aceite comestible demostraron que la zeolita natural y la zeolita expandida con vidrio volcánico sustituyen las tierras decolorantes y filtrantes que actualmente se importan. Se obtuvo un producto con calidad y disminuyó el tiempo de filtrado (IGP, 2011).

Como floculante.

Existe una investigación realizada en 1990 sobre el empleo del vidrio volcánico y otros materiales naturales existentes en el país como floculante en el tratamiento de agua para el consumo humano, la cual permite el ahorro de sulfato de aluminio y cuyos resultados están recogidos en un artículo publicado en la revista Ingeniería Hidráulica (volumen XV, N° 2 de 1994, pp. 11 – 15). Para este estudio se utilizaron aguas de las presas La Zarza y Bacuranao, que abastecen a la planta potabilizadora Norte Habana. Dichas aguas son hidrógeno carbonatadas cálcicas de alcalinidad media, turbiedad y color altos, con bajo contenido de materia orgánica. Estos estudios se realizaron manteniendo la relación coagulante/floculante en 1:1, obteniéndose una alta remoción de la turbiedad, del Fe y del Mn, y buena para el color y la materia orgánica. El agua utilizada poseía una turbidez de 100 NTU; pH = 8; color = 25,30; contenido de materia orgánica = 16,3 %; contenido de Fe = 1,84 %; contenido de Mn = 0,98 %, obteniendo los resultados siguientes para el vidrio volcánico como se muestra en la tabla 1.2 (IGP, 2011).

Tabla 1.2. Resultados obtenidos para el vidrio volcánico.

Dosis	16 mg/l
Índice de Willcomb	8
Turbiedad del agua	3,9 NTU
Remoción de la turbiedad	95,0 %
pH del agua	7,8
Color	5 – 10
Remoción del color	75,0 %
Materia orgánica en el agua	7,9 %
Remoción de la materia orgánica	52,0 %
Contenido de Fe	0,15
Remoción del Fe	92,0 %
Contenido de Mn	0,05
Remoción del Mn	95,0 %

Como se observa en la tabla anterior el vidrio volcánico redujo la turbidez del agua en un 95 % al igual que el contenido de Mn y logró una reducir el contenido de Fe en un 92 %.

El porcentaje de ahorro de sulfato de aluminio logrado es del 33 %.

1.4. Características generales de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo.

El material tobaceo del yacimiento Sagua de Tánamo se caracteriza por ser vitroclástico y vitrocristalocástico, son de color blanco grisáceo, de granulometría fina a media, generalmente abrasivas al tacto, porosa, ácidas con alto contenido de (60,84 % de SiO₂ según la Tabla 1.3), conteniendo vidrio volcánico superior a 50 %. (Aleaga, 2012).

Tabla 1.3. Composición química promedio del yacimiento de tobas vítreas en Sagua de Tánamo (%).

Compuestos químicos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	CaCO ₃	TiO	FeO
Contenido (%)	60,84	14,22	3,82	2,56	4,48	2,68	1,4	5,02	0,47	0,48

En la tabla anterior se muestra la composición química promedio obtenida de las tobas vítreas del yacimiento ``toba vítrea Sagua de Tánamo``.

1.5. Composición mineralógica de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo.

En la tabla 1.4 se muestran los porcentajes de la matriz vítrea, así como el contenido de arcilla y las principales fases mineralógicas cristalinas encontradas en las tobas vítreas. Se observa que las tobas vítreas de Sagua de Tánamo poseen un alto contenido de arcilla, el cual varía de 16 a 39 %.(Aleaga, 2012)

Tabla 1.4. Características mineralógicas del material tobaceo del yacimiento de Sagua de Tánamo.

Material puzolánico	Matriz vítrea y/o contenido de zeolita, %.	Contenido de arcilla, %.	Principales fases cristalinas
Tovas vítreas de Sagua de Tánamo	54-80	16-39	Albita, anortita, apatito, diópsido, hematina, hiperstena, Ilmenita, ortoclasa, cuarzo, esfena, X-magnesio

En la tabla anterior se muestra la características mineralógicas obtenida de las tobas vítreas del yacimiento ``toba vítrea Sagua de Tánamo`` donde se observa que la matriz vítrea esta de un 54 % hasta un 80 %.

1.6. Áridos o agregados.

Definición

Son aquellas materias de forma granular o fibrosa que, con preparación especial o sin ella han de ser unidos entre sí por un aglomerante, para conformar los hormigones y morteros.

1.6.1. Principales tipos de áridos.

Existen diversas clasificaciones de los áridos, siendo más empleadas las que los agrupan según su origen y según su tamaño. Los áridos según su origen se clasifican en artificiales y naturales; y según su tamaño en finos y gruesos (Guerra, 2008).

✓ **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 (Guerra, 2008).

El otro proceso para la obtención de árido naturales es la trituración. Es un método artificial, por medio de trituradoras se trituran las rocas sólidas en los yacimientos, hasta alcanzar los tamaños adecuados, clasificándolos según sea su destino final (Guerra, 2008).

✓ **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. Ej. Perlita (Guerra, 2008).

1.6.2. Los áridos en el hormigón.

Los áridos constituyen la mayor parte de la masa en el hormigón, 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 (Guerra, 2008).

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 (Guerra, 2008).

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 (Guerra, 2008).

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 especial tales como: Peso específico, propiedades térmicas, resistencia a la abrasión, granulometría, entre otras (Guerra, 2008).

Peso específico: esto 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 presa de gravedad donde interesan pesos específicos altos, por motivos de seguridad y económicos. El peso específico de los áridos comunes varía desde 2,2 en el caso de las cuarcitas, a 2,9 en el caso de los gabros (Guerra, 2008).

Las propiedades térmicas, como el calor específico de los áridos, pueden tener importancia en ciertos trabajos tales como grandes presas 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 (Guerra, 2008).

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 4,6 o 5 mm y áridos gruesos (granitos, gravillas, piedras, macadán) formados por partículas fundamentalmente mayores que estos tamaños (Guerra, 2008).

1.7. Hormigón Liviano.

Definición y clasificación

Se designa convencionalmente como hormigones livianos a aquellos que producen una densidad que fluctúa entre 300 kg/m^3 y 1900 kg/m^3 , ya que los normales presentan una densidad normal de 2400 kg/m^3 (Guzmán and Alcívar, 2010).

Por su tipo de aplicación el hormigón liviano se clasifica en:

- Hormigón de Relleno
- Hormigón Aislante
- Hormigón Estructural o de alto desempeño

1.7.1. Uso y Aplicaciones.

Las aplicaciones que se le pueden dar al hormigón liviano se basan exclusivamente en el diseño que se le dé además de los agregados escogidos para la elaboración del mismo (Guzmán and Alcívar 2010).

El hormigón liviano es ideal para la construcción de elementos secundarios en edificios o viviendas, que requieren de ser ligeros a fin de reducir las cargas muertas; para colar elementos de relleno que no soporten cargas estructurales; para la construcción de vivienda con características de aislamiento térmico (Guzmán and Alcívar, 2010).

Hormigón Estructural.

El uso fundamental del hormigón liviano busca reducir la carga muerta de una estructura de hormigón, lo que permite a su vez que el diseñador estructural

reduzca el tamaño de columnas, zapatas y otros elementos de cargas en la cimentación particularmente (Guzmán and Alcívar, 2010).

Este sería un beneficio financiero directo capaz de cuantificarse con bastante aproximación al reducirse el consumo de acero y el peso de la estructura en sí, debido a un ahorro en el diseño de la cimentación y de la estructura de soporte, ofreciendo al arquitecto o ingeniero una mayor libertad de planeación debido a un mayor espaciamiento entre columnas y mayores luces (Guzmán and Alcívar, 2010).

Se encuentran además otros beneficios como, por ejemplo, la reducción en peso produce un ahorro en el transporte de los materiales con respecto al volumen, además se facilitan las operaciones en el sitio de la construcción debido a que hay menos fatiga humana y al mismo tiempo esto ayuda a que se aumente el rendimiento de cada trabajador, dando lugar a una edificación más rápida y así a una reducción en el costo (Guzmán and Alcívar, 2010).

El hormigón estructural liviano posee una densidad en el orden de $1\ 440\ \text{kg/m}^3$ a $1\ 840\ \text{kg/m}^3$, en comparación con el concreto de peso normal que presenta una densidad en el rango de $2\ 240\ \text{kg/m}^3$ a $2\ 400\ \text{kg/m}^3$ (Guzmán and Alcívar, 2010).

En edificios, el hormigón estructural liviano proporciona una estructura de concreto con mayor calificación de resistencia al fuego, además la porosidad del agregado liviano proporciona una fuente de agua para el curado interno del hormigón que permite el aumento continuo de la resistencia y durabilidad del hormigón (Guzmán and Alcívar, 2010).

Aislante Térmico.

Un aislante térmico es un material usado en la construcción y caracterizado por su alta resistencia térmica. Establece una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura (Guzmán and Alcívar, 2010).

Una de las características del hormigón liviano es el valor alto de aislamiento térmico, el cual aumenta o disminuye en relación inversa con la densidad del material (Guzmán and Alcívar, 2010).

La conductividad es la característica por la cual el calor pasa de un material sólido a otro cuando están en contacto entre sí, sabemos que el aire es un mal conductor de calor, por lo tanto los hormigones livianos, que son porosos por excelencia lo cual indica que encierran cantidades considerables de aire, los convierte en buenos aislantes térmicos (Guzmán and Alcívar, 2010).

Prefabricados

Los prefabricados de hormigón son elementos compuestos de hormigón, realizados en una fábrica o complejo industrial sobre el terreno y, posteriormente, instalados, en su posición final. Los productos prefabricados de hormigón son ampliamente conocidos y utilizados, vienen en todo tipo de diseños para utilizar (Guzmán and Alcívar, 2010).

El uso más común de prefabricados de hormigón con agregados de peso ligero y del hormigón aireado es en forma de bloques de mampostería utilizados para la construcción de muros de carga y sin carga o muros divisorios (Guzmán and Alcívar, 2010).

1.8. Bloques huecos de hormigón. Generalidades.

Los bloques huecos de hormigón es el material moderno más popular para construir todo tipo de edificios, como casas, edificios de oficinas, fábricas y hasta edificios de varias plantas sin necesidad de soporte estructural adicional. El buen bloque de hormigón es sinónimo de economía y versatilidad, aplicándose a todas las formas constructivas. Es adaptable, creativo y relativamente fácil de usar (Silot, 2015).

Los bloques de hormigón soportan altas cargas, resisten el fuego, tienen caras y lados bien formados y son uniformemente de la más alta calidad. Están

disponibles en cientos de formas, tamaños, colores resistentes a la intemperie y alta estabilidad ante la exposición a la luz de sol y agentes climáticos (Silot, 2015).

La experiencia internacional en construcción de bloques de hormigón han demostrado el excelente comportamiento de este sistema constructivo al que se asigna cada vez mayor preferencia sobre otros materiales usados en la construcción como consecuencia de las conocidas ventajas que resultan de su empleo y que en esencia se pueden resumir en resistencia, durabilidad, economía y velocidad constructiva. Esto unido a la simplicidad de fabricación hace de este sistema constructivo uno de los procedimientos más completos para resolver el problema de las construcciones, en las cuales todas las ventajas de aplicación de los bloques son más evidentes al permitir una economía total en materiales y mano de obra en la fabricación de piezas hasta su colocación que difícilmente puede alcanzarse con otros sistemas (Silot, 2015).

Según la NC 247- 2010 —Bloques huecos de hormigón. Especificaciones II, los bloques huecos de hormigón son piezas prefabricadas a base de cemento, agua, áridos finos y/o gruesos, naturales y/o artificiales, con o sin aditivos, sin armadura alguna con densidades normalmente comprendidas entre 1 700 kg/m³ y 2 200 kg/m³ (Silot, 2015).

Los bloques se fabrican vertiendo una mezcla de cemento, arena y agregados pétreos (normalmente calizos) en moldes metálicos, donde sufren un proceso de vibrado para compactar el material (Silot, 2015).

Conclusiones Parciales.

- La utilización de las tobas vítreas como sustituto de áridos tradicionales favorece el empleo de hormigones al hacerlo más ligero y con propiedades de mayor aislamiento térmico y acústico.
- Los bloques huecos de hormigón son uno de los materiales modernos más populares para la construcción, por lo que es una importante motivación el estudio de los bloques producidos a partir de la utilización de un árido ligero como sustitución del árido grueso (granito), especialmente en soluciones locales que impulsen el desarrollo sostenible.
- Mediante la verificación de los requisitos establecido en la NC 247: 2010 — Bloques huecos de hormigón — Especificaciones, se podrá verificar el posible uso de los bloques huecos de hormigón producidos con árido ligero de tobas vítreas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS.

Este capítulo contiene las características de los materiales que se utilizaron y los experimentos realizados destinados a la evaluación de las características físico-mecánicas de los bloques huecos de hormigón producidos con árido ligeros de las tobas vítreas del yacimiento ``toba vítrea Sagua de Tánamo``.

2.1 Diseño experimental.

En el diseño experimental para evaluar la influencia del árido ligero en las propiedades físico-mecánicas de los bloques huecos de hormigón se siguió el siguiente plan experimental.

1. Toma y selección de la materia prima para la producción de bloques huecos de hormigón.
2. Caracterización de la materia prima.
3. Fabricación de los bloques huecos de hormigón y realización de ensayos de:
 - Determinación de las dimensiones y su desviación típica.
 - Resistencia a la compresión a los 7 y 28 días.
 - Absorción.

2.2 Toma y preparación de la muestra.

2.2.1. Toma de muestra de la materia prima.

Para la realización de la investigación la materia prima (ver figura 1 en los anexos) fue tomada en el yacimiento ``toba vítrea Sagua de Tánamo`` ubicado en la parte sur de la carretera Sagua - Moa a 10 km al este de la ciudad de Sagua de Tánamo, en el noreste de Holguín, el cual está comprendida entre las cuencas de los ríos Sagua de Tánamo por el Oeste y Jiguaní por el Este, de Norte a Sur abarca desde la línea de costa hasta las inmediaciones del sistema montañoso Sagua– Baracoa.

La materia prima se tomó de parte del llamado Bloque 1 del yacimiento de tobas Sagua de Tánamo. Se aprovechó la existencia de un pozo criollo recién realizado, el cual tenía una profundidad aproximadamente de dos metros, por lo cual se considera con muy buena representatividad.

2.2.2. Preparación de la materia prima.

Como se muestra en la figura 2.1, la materia prima fue sometida a un proceso de trituración de dos etapas, la primera etapa fue de forma manual con un mazo de 5 kg reduciendo la muestra hasta obtener fragmentos menores de 100 mm aproximadamente, seguidamente se procedió a la segunda etapa de trituración empleando una trituradora de mandíbula TQ 150 x 75 mm (ver figura 2 de los anexos), la cual se le regulo la salida hasta 8 mm.

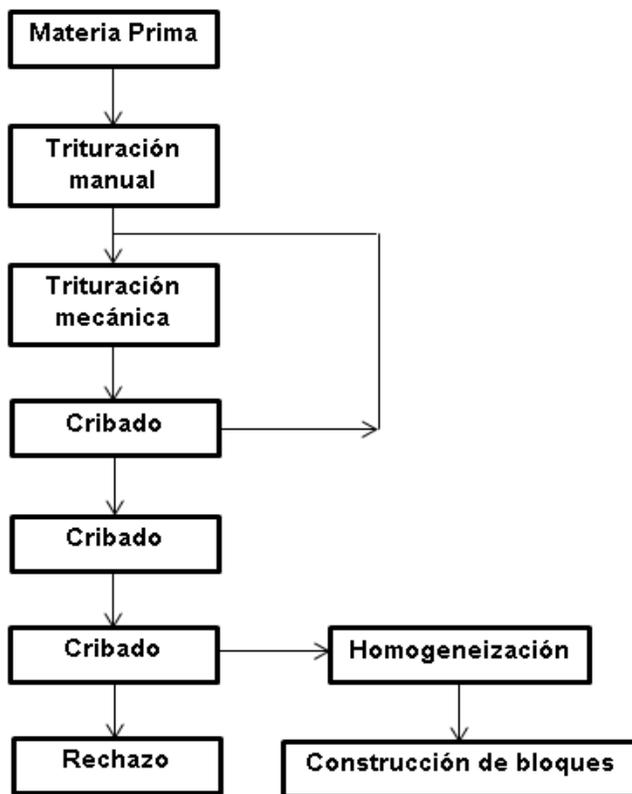


Figura 2.1: Esquema de preparación de la materia prima.

Al producto de la segunda etapa del proceso de trituración se le realizaron manualmente dos operaciones de cribado de control, la primera con un tamiz de

10 mm de malla y la segunda con uno de 5 mm. El material retenido en la primera etapa de cribado se recirculo en la segunda etapa de trituración y al cernido se le realizó la segunda etapa de cribado.

El retenido la segunda etapa de cribado se homogeneizo por el método del anillo mediante el empleo de una pala y de ahí se fabricaron los bloques huecos de hormigón.

2.3. Caracterización de las materias primas para la producción de los bloques huecos de hormigón.

Para la fabricación de los bloques huecos de hormigón patrones se utilizó árido grueso - grava (granito 3/8 procedente de Cayo Guam), árido fino – (polvo de piedra procedente de la cantera Pílon en Mayarí) y cemento PP-35 de cualquier industria productora del país. Sus características se muestran en las tablas 2.1 – 2.4. Todos los materiales se consideran conforme según Norma Cubana 251:2005.

Tabla 2.1. Ensayos realizados por el laboratorio del ECI-3 correspondientes a la grava (granito 3/8) procedente de Cayo Guam.

Ensayo	Unidad	Resultado	Especificaciones
Material más fino que el tamiz 0,074 mm	%	0,69	≤ 1,0
Partículas de arcilla	%	0,03	≤ 0,25
Partículas plano alargadas	%	1,3	≤ 10
Peso Específico Corriente	g/cm ³	2,54	≤ 2,5
Absorción	%	1,6	≤ 3,0

Como se observa en la tabla anterior la grava 3/8 procedente de Cayo Guam cumple con lo establecido en la norma NC-251: 2013 Áridos para hormigones hidráulicos-requisitos.

Tabla 2.2. Composición granulométrica del árido grueso.

Diámetro del tamiz, mm	% pasado	Especificaciones
12,7	100	100
9,52	96	85 – 100
4,76	32	15 - 35
2,38	6	0 - 10
1,19	0	0 - 5

Como se observa en la tabla anterior la grava 3/8 procedente de Cayo Guam cumple con la granulometría requerida en la norma NC-251: 2013 Áridos para hormigones hidráulicos-requisitos.

Tabla 2.3. Características físico – mecánicas del polvo de piedra. Árido fino – (polvo de piedra procedente de la cantera Pilón en Mayarí).

Ensayo	Unidad	Resultado	Especificaciones
Material más fino que el tamiz 200	%	6,58	$\leq 7,0$
Partículas de arcilla	%	1,5	$\leq 1,0$
Peso Específico Corriente	g/cm ³	2,77	$\geq 2,5$
Absorción	%	1,8	$\leq 3,0$

En la tabla anterior se observa que el polvo de piedra procedente de la cantera de Pilón en Mayarí cumple con lo establecido en la norma NC-251: 2013 Áridos para hormigones hidráulicos-requisitos.

Tabla 2.4. Composición granulométrica del polvo de piedra.

Diámetro del tamiz, mm	% pasado	Especificaciones
9,52	100	100
4,76	99	90 – 100
2,38	70	70 – 100
1,19	46	45 – 80
0,59	28	25 – 60
0,297	18	10 – 30
0,149	10	2 – 10
0,074	7	5-7

Como se observa en la tabla anterior el polvo de piedra procedente de la cantera de Pilón en Mayarí cumple con la granulometría requerida en la norma NC-251: 2013 Áridos para hormigones hidráulicos-requisitos.

2.3. Fabricación de bloques huecos de hormigón

Se realizó la producción de los bloques huecos de hormigón en la bloquera de la Veguita (ECOPP), perteneciente a la empresa de materiales de la construcción de Moa. Se utilizó las materias primas caracterizadas anteriormente. En este taller se utiliza una máquina estacionaria (ver figura 3 de los anexos) de hacer bloques de tecnología Mexicana compuesta por una hormigonera, una banda transportadora y una tolva de vertido de hormigón, todos estos elementos unidos entre sí con estructura metálica de vigas y angulares, así como los elementos, moldes y mecanismos que permiten el vertido, el zarandeo y la compactación de la mezcla. También es parte de esta un motor eléctrico trifásico para lograr el funcionamiento del mecanismo de vibración en la mesa vibratoria, lo cual logra la compactación de los bloques dentro de los moldes y su posterior remoción con el mecanismo botador hacia las parrillas para el traslado al secado de los mismos (Silot, 2015).

Las mezclas para la producción de estos bloques se fabricaron en una hormigonera basculante con la dosificación que se muestra en la tabla 2.5, luego se vertió en la banda transportadora que deposita la mezcla en la tolva de vertido situada encima de la cajuela de la máquina para la producción de los diferentes tipos de bloques. Los bloques una vez terminado el proceso de producción se retiran encima de paletas de madera, los cuales se trasladan con dos hombres para su posterior secado y curado. El curado es llevado a cabo rociándole agua a cada uno de los bloques durante una semana, ya sea con cubos o con una manguera.

Tabla 2.5. Dosificación utilizada para la fabricación de bloques huecos de hormigón.

Cemento p-35	Polvo Piedra	Grava 3/8 (granito)
1	6	4,5

En el caso del granito de toba vítrea se le roció agua antes de hacer la mezcla para evitar que este material absorbiera el agua de esta, ya que este material es muy poroso y no le daría tiempo al cemento a reaccionar. Aclarar que según la

norma NC 247: 2010 — Bloques huecos de hormigón — Especificaciones los bloques producidos se clasifican de tipo III que son los que tienen 10 cm de espesor.

2.4. Descripción de los ensayos realizados a los bloques huecos de hormigón.

2.4.1. Determinación de las dimensiones.

Este método se establece para determinar las dimensiones de fabricación de los bloques. Se efectúa la medición de cada uno de los bloques que constituyen la muestra y se determina el promedio de cada una de sus dimensiones. Esta medición se puede realizar con una cinta métrica metálica con valor de división de 1mm o regla graduada con valor de división de 1 mm siguiendo el plan establecido como se muestra en la tabla 2.6.

Tabla 2.6. Plan establecido para determinar las dimensiones de fabricación de los bloques.

Dimensiones	Procedimiento de medición
Longitud	3 mediciones en las cabezas
Anchura	7 mediciones en 3 puntos por la cara superior y 3 puntos por la cara inferior
Altura	6 mediciones en 3 puntos de cada cara lateral

La dimensión promedio (\bar{X}) se calcula por medio de la siguiente expresión (NC-247, 2010):

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad 1$$

Donde

\bar{X} : Dimensión promedio de la muestra, mm;

X_i : Dimensión de cada bloque, mm;

n : Tamaño de la muestra (número de bloques que constituyen la muestra);

S_x : Desviación típica de las dimensiones de la muestra, mm.

2.4.2. Resistencia a la compresión.

Este método se establece para determinar el valor de la resistencia media a la compresión de los bloques.

Cada bloque que constituye la muestra de ensayo es sometido a una carga de compresión en el sentido longitudinal de los huecos hasta la rotura determinándose la resistencia a la compresión.

Preparación de las muestras de ensayo.

Se eliminan las irregularidades o exceso de materiales en las caras de los bloques; para ello se utilizó el hacha de albañil y la lima de grano grueso. Después se cortó el bloque en dos partes por la mitad con una sierra de disco (ver figura 4 de los anexos) (NC-247, 2010).

Se coloca una capa de pasta (capping) sobre la superficie de carga y apoyo de los bloques (ver figura 5 de los anexos) con el fin de nivelar estas, para ello se utiliza la meseta nivelada, se evita la adherencia entre las capas de nivelación y la meseta aplicando una capa de aceite desmoldante. La capa de nivelación de la superficie de carga y apoyo puede estar constituida por un mortero de cemento gris P 350 y yeso con una proporción de 4:1 (4 partes de cemento con una parte de yeso), se adiciona agua hasta que adquiera una consistencia pastosa capaz de asentar el bloque y no disgregarse bajo su peso. La resistencia a compresión de estos morteros será superior a la especificada para los bloques (NC-247, 2010).

Para la aplicación de la capa de nivelación, se vertió el mortero preparado sobre la superficie engrasada y se esparció con la cuchara de albañil formando una capa uniforme, rápidamente se colocó el bloque sobre esta capa comprobándose su perpendicularidad con la base por medio de un nivel de burbuja en posición vertical acomodándolo con golpes ligeros con el mango de la cuchara de albañil hasta que quede bien asentado el bloque, retirándose el material sobrante por los

lados una vez rematados estos con un movimiento de la espátula entrante hacia arriba. Al notarse el endurecimiento de la mezcla antes de las dos horas de colocado el recape, se producirá un leve movimiento sobre el plano horizontal al bloque para evitar su adherencia a la meseta, después se levanta retirándose de la misma y se coloca de forma vertical evitando dañar la capa de nivelación en las esquinas (NC-247, 2010).

Se limpió la meseta y se repitió el mismo proceso para aplicar la segunda capa de nivelación sobre la otra cara del bloque, se comprobó el paralelismo y la verticalidad de las caras por medio del nivel de burbujas (NC-247, 2010).

Se observará que las capas de nivelación de los bloques no se dañen en la manipulación esperándose entre 24 horas y 72 horas para efectuar el ensayo (NC-247, 2010).

Para efectuar el ensayo cada bloque a ensayar se colocará suavemente sobre el plato inferior de la máquina de ensayos a compresión sin deslizarlo por este y sobre un área previamente determinada con un centro geométrico conocido que coincide con el eje de carga de la máquina (NC-247, 2010).

Al poner en contacto la cara superior del bloque con el plato superior de la máquina se hará suavemente sin que se produzcan impactos al bloque y que se garantice un buen contacto entre ambas superficies (NC-247, 2010).

En el momento en que la superficie de la cara superior de la prensa hidráulica (ver figura 6 de los anexos) y el bloque tengan contacto se aplica una carga a velocidad constante de 5 kN/s hasta determinar el esfuerzo máximo hasta la rotura.

Expresión para determinar los resultados.

La resistencia a la compresión de cada bloque (R'_i) se calcula por medio de la siguiente expresión (NC-247, 2010):

$$R'_i = \frac{F_j}{A_j \cdot 1000}$$

2

R'_i : Resistencia a la compresión de cada bloque, MPa;

F_j : Carga de rotura, kN;

A_j : Área de la sección bruta del bloque, m².

La resistencia a la compresión media (R'_m) se calcula por medio de la siguiente expresión (NC-247, 2010):

$$R'_m = \frac{\sum_{i=1}^n R'_i}{n} \quad 3$$

R'_m : Resistencia a la compresión media, MPa;

n : Tamaño de la muestra de ensayo.

2.4.3. Absorción.

El ensayo de absorción tiene como objetivo de determinar la capacidad de los bloques para absorber una determinada cantidad de agua, donde deberán cumplir con los valores máximos según la categoría de estos, fijados en la norma (NC-247, 2010).

Se colocan los bloques enteros en la estufa (ver figura 7 de los anexos) por 24 horas a una temperatura de 100 °C aproximadamente, separadas entre sí y se secan hasta tener una masa constante. Se extraen y se dejan enfriar el tiempo necesario para que puedan manipularse sin uso de protección, realizándose dos o tres pesadas con una pesa digital (ver figura 8 de los anexos) por intervalos de una hora; si éstas pesadas sucesivas no difieren del 1 %, los bloques o las porciones estarán a masa constante; tomándose el valor de la última pesada como la masa constante (NC-247, 2010).

Una vez concluido este proceso se colocarán los bloques dentro del estanque lleno de agua (ver figura 9 de los anexos) de forma que éste los cubra totalmente. Se dejan en reposo sumergidas 24 horas posteriormente se extraen y se dejan escurrir sobre las parrillas metálicas. El agua superficial se eliminará con un paño húmedo secándolas hasta que pierdan el brillo cuidando de no exponerlas al sol

durante este proceso; se cubren con paños húmedos conduciéndolas así hasta la balanza, se pesan, determinándose así la masa húmeda y la diferencia de ambos pesos muestra el porcentaje de absorción que es capaz de absorber cada bloque que se calcula por medio de la ecuación siguiente (NC-247, 2010):

$$A_i = \frac{M_{hi} - M_{si}}{M_{hi}} \cdot 100 \% \quad 4$$

A_i : Absorción de la muestra, %;

M_{hi} : Masa húmeda de cada unidad de la muestra, kg;

M_{si} : Masa seca de cada unidad de la muestra, kg.

La absorción promedio (A_m) se calcula por la fórmula siguiente (NC-247, 2010):

$$A_m = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n} \quad 5$$

2.4.4. Determinación de la disminución de masa.

Este ensayo se realiza con el objetivo de determinar la cantidad de masa que pierde el bloque hueco de hormigón de árido ligero con respecto al patrón.

Se pesan los bloques a temperatura ambiente con una balanza y se toman los valores, después se colocan en la estufa por 24 horas a una temperatura de 100°C aproximadamente, separadas entre sí y se secan hasta tener una masa constante. Se extraen y nuevamente se pesan.

Mediante las expresiones siguientes se determina la disminución de la masa de los bloques a temperatura ambiente y en estado seco.

$$DM_{amb} = \frac{MP_{amb} - MTV_{amb}}{MP_{amb}} \cdot 100 \quad 6$$

$$DM_{seco} = \frac{MP_{seco} - MTV_{seco}}{MP_{seco}} \cdot 100 \quad 7$$

Donde:

DM_{amb} y DM_{seco} : es la disminución de la masa en el medio ambiente y en estado seco respectivamente, %;

MP_{amb} y MP_{seco} : es la masa del bloque patrón en el medio ambiente y en estado seco respectivamente, kg;

MTV_{amb} y MTV_{seco} : es la masa del bloque con toba vítrea como granito en el medio ambiente y en estado seco respectivamente, kg.

La disminución de masa promedio se calcula por la siguiente ecuación:

$$DM_i = \frac{\sum_{i=1}^n (MP_i - MTV_i)}{n} \quad 8$$

Donde:

DM_i : es la disminución de la masa en el medio, %;

MP_i : es la masa del bloque patrón en el medio, kg;

MTV_i : es la masa del bloque con toba vítrea como granito en el medio, kg;

Conclusiones parciales

- Las muestras de tobas vítreas seleccionadas para la producción de los bloques se consideran representativas.
- Las técnicas analíticas y experimentales que fueron aplicados en los materiales y mezclas preparadas para el desarrollo de la investigación reúnen los requisitos según las normas cubanas.

III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

En este capítulo se realiza un análisis de los resultados obtenidos de las mediciones realizadas con una cinta métrica metálica, los ensayos de resistencia a la compresión, la determinación de la absorción y la disminución de la masa de los bloques huecos de hormigón empleando toba vítrea comparados con los patrones.

3.1. Análisis de los resultados obtenidos en bloques huecos de hormigón.

3.1.1. Resultados de las mediciones realizadas a los bloques huecos de hormigón.

Las mediciones se le realizaron a tres bloques patrones, con una cinta métrica metálica con un valor de división de 1mm, con el procedimiento que se muestra en la tabla 2.6 del capítulo II. En la tabla 3.1 se muestran los resultados de las mediciones realizadas.

Tabla 3.1. Resultados de las mediciones realizadas a los bloques patrones.

Elemento	Largo; m.	Ancho; m.	Alto; m.
Bloque 1	0,397	0,099	0,198
Bloque 2	0,398	0,100	0,197
Bloque 3	0,397	0,099	0,198
Promedio	0,397	0,099	0,198

Como se puede observar todas las mediciones realizadas a los bloques se encuentran en el rango de aceptación admisible de la norma (NC 247: 2010 — Bloques huecos de hormigón — Especificaciones) (ver tabla 3.2).

Tabla 3.2. Dimensiones principales y tolerancias admisibles.

Tipo de bloque	L ($\pm 0,003$ m)	b ($\pm 0,003$ m)	h ($\pm 0,003$ m)
I	0,495	0,200	0,195
	0,395		
II	0,495	0,150	
	0,395		
III	0,495	0,100	
	0,395		
IV	0,495	0,065	
	0,395		

Con el mismo procedimiento que se le realizaron las mediciones y el cálculo del promedio de los bloques patrones se le realizó a tres de tobas vítreas. En la tabla 3.3 se muestran los resultados de este ensayo.

Tabla 3.3. Resultados de las mediciones realizadas a los bloques de toba vítrea.

Elemento	Largo; m.	Ancho; m.	Alto; m.
Bloque 1	0,397	0,099	0,197
Bloque 2	0,397	0,100	0,198
Bloque 3	0,397	0,100	0,197
Promedio	0,397	0,100	0,197

Como se puede observar todas las mediciones realizadas a los bloques se encuentran en el rango de aceptación admisible de la norma NC 247: 2010 — Bloques huecos de hormigón — Especificaciones (ver tabla 3.2).

3.1.2. Resultados del ensayo de resistencia a compresión.

El ensayo de compresión se le realizó a tres bloques patrones a la edad de 7 días (ver figura 10 de los anexos). En las tablas 3.4 se muestran los resultados obtenidos por la prensa hidráulica que se llevó a la unidad de (MPa) por medio de la ecuación 2.

Tabla 3.4. Comportamiento de la resistencia a compresión de los bloques patrones a la edad de 7 días.

Patrón	Compresión; MPa
Bloque #1	3,520
Bloque #2	2,335
Bloque #3	2,347
Promedio	2,734

Se puede observar en la tabla anterior que todos los valores se encuentran por encima de 2 MPa que es el valor mínimo requerido por la norma NC 247: 2010 — Bloques huecos de hormigón — Especificaciones para este tipo de bloque.

Con el mismo procedimiento que se le realizó este ensayo a los bloques patrones se le realizaron a los tres de tobas vítreas (ver figura 11 de los anexos) como se muestra en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Comportamiento de la resistencia a compresión de los bloques de toba vítrea a la edad de 7 días.

Toba vítrea	Compresión; MPa
Bloque #1	2,948
Bloque #2	2,323
Bloque #3	2,335
Promedio	2,536

Como se puede observar todos los bloques de toba vítrea cumplen con el valor mínimo que exige la norma NC 247: 2010 pero comparado con los patrones hay una disminución de la resistencia en 0,198 MPa.

A los 28 días se volvió a realizar este ensayo a los bloques patrones (ver figura 10 de los anexos), con el mismo procedimiento que se le realizó a los siete días como se muestra en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Comportamiento de la resistencia a compresión de los bloques patrones a la edad de 28 días.

Patrón	Compresión; MPa
Bloque #1	3,520
Bloque #2	3,503
Bloque #3	2,933
Promedio	3,319

Se puede observar en la tabla anterior que todos los valores se encuentran por encima de 2,5 MPa que es el valor mínimo requerido por la norma NC 247: 2010 — Bloques huecos de hormigón — Especificaciones.

Tabla 3.7. Comportamiento de la resistencia a compresión de los bloques de toba vítrea a la edad de 28 días.

Toba vítrea	Compresión; MPa
Bloque #1	3,538
Bloque #2	2,904
Bloque #3	2,919
Promedio	3,120

En la tabla anterior se observa que todos los resultado obtenido de los bloques de toba vítrea a los 28 día se encuentran en lo normalizado según la norma NC 247: 2010 — Bloques huecos de hormigón — Especificaciones, pero igual que el resultado de los 7 días bajan la resistencia comparado con los patrones en 0,198 MPa (lo que representa un 5, 9 % menor).

La determinación del promedio de la resistencia a la compresión de los bloques patrones y de toba vítrea se realizó mediante la ecuación 3 del capítulo anterior. Los resultados de este cálculo se muestran en el gráfico 3.1.

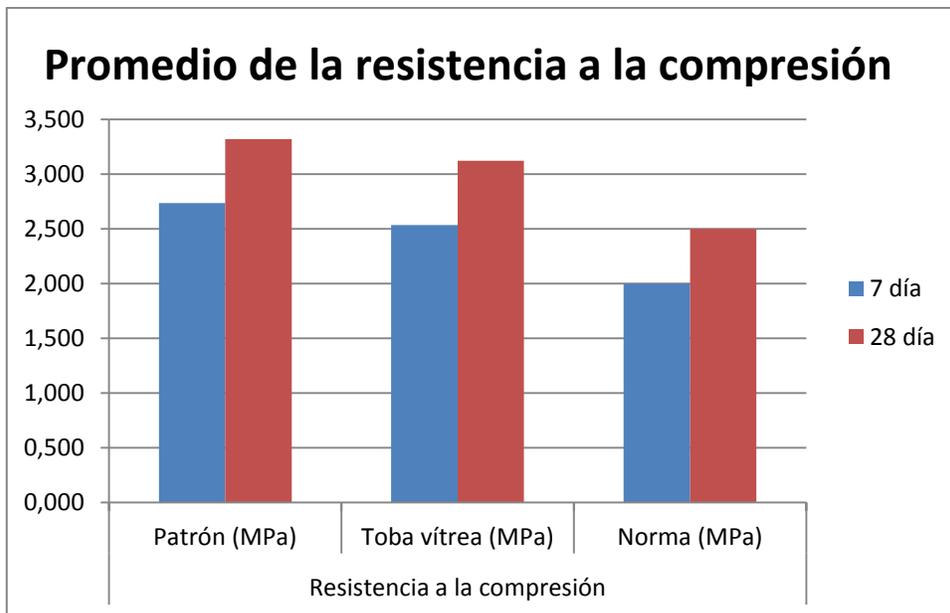


Figura 3.1. Promedio obtenido del ensayo de la resistencia a la compresión realizado a los bloques.

Con estos resultados mostrados en la figura anterior se puede observar que el promedio de todos los bloques ensayados cumplen satisfactoriamente con la resistencia mínima establecida en la norma (NC 247: 2010 — Bloques huecos de hormigón — Especificaciones) para este tipo de bloques, la cual especifica que los bloques tipo III el valor mínimo de resistencia a la compresión a la edad de 7 y 28 días es de 2 y 2,5 MPa respectivamente, pero al comparar los de toba vítrea con los patrones se puede observar que hay una pequeña disminución de la resistencia en 0,198 MPa.

3.1.3. Análisis de los resultados del ensayo de absorción.

El ensayo de absorción de los bloques huecos de hormigón se les realizó a 3 bloques patrones producidos con la dosificación antes mencionada en el capítulo II para obtener la cantidad de agua que pueden absorber. La siguiente tabla 3.8 muestra los resultados del ensayo de absorción a los bloques patrones.

Tabla 3.8. Absorción de los bloques huecos de hormigón patrón.

Elemento	Pesos, kg		Absorción, %
	Peso seco	Peso húmedo	
Bloque #1	12,280	13,090	6,596
Bloque #2	12,300	13,120	6,667
Bloque #3	12,270	13,100	6,721
Promedio	12,285	13,101	6,661

En la tabla anteriormente expuesta se obtiene que el porcentaje de absorción de los bloques patrones realizado en la ECCOP obteniendo un promedio de 6,661.

La siguiente tabla 3.9 muestra los resultados del ensayo de absorción a los bloques de toba vítrea.

Tabla 3.9. Absorción de los bloques huecos de hormigón con la toba vítrea como grava (granito 3/8).

Elemento	Pesos, kg		Absorción, %
	Peso seco	Peso húmedo	
Bloque #1	9,393	11,109	18,269
Bloque #2	9,040	11,038	22,102
Bloque #3	9,396	11,504	22,435
Promedio	9,276	11,271	20,935

Como se muestra en la tabla anterior el porcentaje de absorción de los bloques empleando toba vítrea es elevado comparándolos con los patrones, que varía de un 18,269 % hasta un 22,435 %.

El promedio de la absorción de los bloques patrones y de toba vítrea se determinó mediante la ecuación 5 del capítulo anterior el resultado se muestra en la figura 3.2.

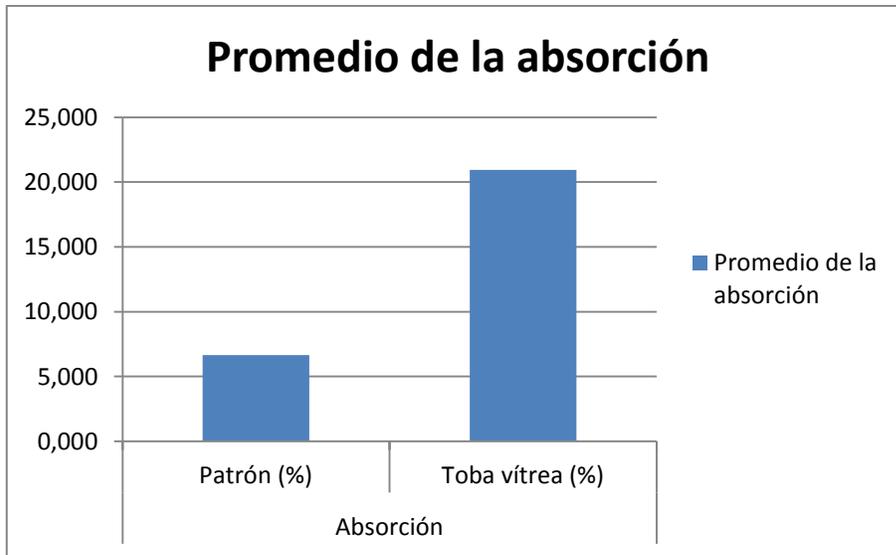


Figura 3.2. Promedio obtenido del ensayo de absorción realizado a los bloques.

La norma NC 247: 2010 — Bloques huecos de hormigón — Especificaciones no tiene límite de absorción para los bloques de 10 mm de espesor porque estos son empleados solamente para paredes divisoras, pero comparándolo con los patrones como se muestra en la figura anterior se puede apreciar que triplican el porcentaje de absorción de estos bloques.

3.1.4. Resultados de la determinación de disminución de masa.

Este ensayo se le realizó a tres bloques de cada tipo, patrones y de tobas vítreas a la temperatura ambiente. Los resultados se obtuvieron mediante la ecuación 6 los cuales se muestra en la tabla 3.10, a la temperatura ambiente.

Tabla 3.10. Determinación de disminución de masa de los bloques en el medio ambiente.

Elemento	Patrón, kg.	Toba vítrea, kg.	Masa perdida, %.
Bloque #1	13,003	10,423	19,842
Bloque #2	12,508	10,137	18,956
Bloque #3	12,959	10,623	18,026
Promedio	12,823	10,394	18,941

Como se puede observar en la tabla anterior cada bloque que se empleó toba vítrea comparándolo con el patrón, hay una disminución de masa considerable mayor que el 18 % en el medio ambiente.

Mediante la ecuación 7 se determinó la pérdida de masa para el estado seco como se muestra en la tabla 3.11.

Tabla 3.11. Determinación de disminución de masa de los bloques en estado seco.

Elemento	Patrón, kg.	Toba vítrea, kg.	Masa perdida, %.
Bloque #1	12,280	9,393	23,510
Bloque #2	12,300	9,040	26,504
Bloque #3	12,275	9,396	23,454
Promedio	12,285	9,276	24,489

En la tabla ante expuesta muestra que en estado seco la toba vítrea reduce la masa del bloque en un valor no menor del 23 %.

Mediante los resultados obtenidos anteriormente y la ecuación 8 del capítulo anterior se determinó el promedio de disminución de la masa de los bloques con la sustitución de la grava (granito 3/8) por toba vítrea como se muestra en la figura 3.3.

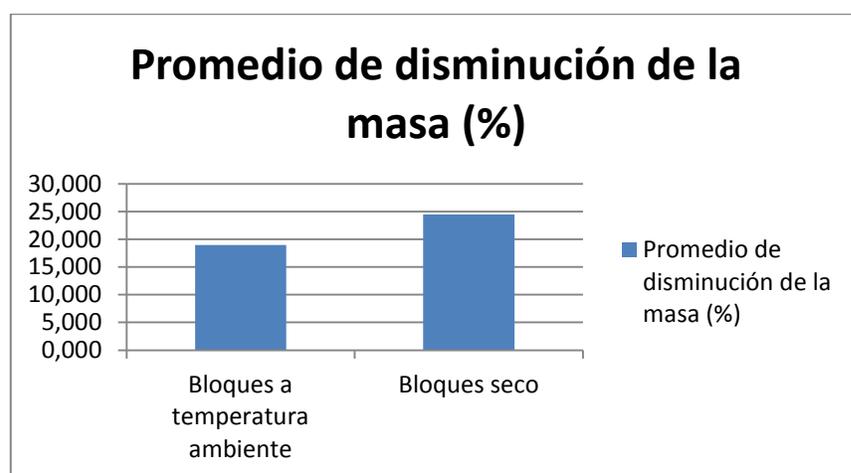


Figura 3.3. Promedio del por ciento disminución de la masa de los bloques de toba vítrea con respecto a los patrones.

Como se muestra en la figura anterior los bloques producido con toba vítrea reducen la masa en un promedio de 18,941% comparados con los bloques patrones en el estado ambiente y en estado seco el promedio de disminución de la masa es de 24,489 %.

3.2. Valoración socioeconómica y ambiental.

El actual trabajo establece un paso muy significativo para el perfeccionamiento de nuevos materiales con excelentes posibilidades de ser utilizado como materiales de construcción. Se ha podido constatar de manera particular que dentro de la provincia Holguín existen municipios con posibilidades de explotar recursos minerales para la construcción, uno de ellos es el municipio de Sagua de Tánamo y Moa.

El empleo de las tobas vítreas estudiadas en la presente investigación contribuye al desarrollo de nuevos materiales de construcción y con ello, ahorrar un volumen importante de recursos minerales.

Además fundamenta la creación de nuevas fuentes de empleo, con oportunidades para la ocupación de fuerza de trabajo de poca calificación. El incremento sustancial de la construcción de nuevas viviendas y otras obras sociales, con indicadores económicos de racionalidad. Y basado en las propiedades de estas materias primas de ser aislantes térmicos y acústicos, contribuiría al mejoramiento de la calidad de vida de las personas.

Este material tendría menos impacto ambiental, por el método de explotación que por tener baja resistencia mecánica sería sin el uso de explosivos. Esto es de suma importancia pues casi la totalidad de las canteras de áridos para la extracción minera se emplean mediante los trabajos de barrenación y de sustancias explosivas. Un ejemplo de esto es el yacimiento de tobas vítreas Guaramano en Holguín y Jiguany en Granma, que se explotan sin el uso de explosivos.

Decir además que la preparación mecánica de esta materia prima contribuiría al ahorro energético, que al ser triturada o molida se fragmenta más fácil al ejercer menos resistencia que el árido tradicional por ser un material poroso.

Conclusiones parciales

- Las dimensiones de los bloques huecos de hormigón son adecuadas de acuerdo a los requisitos normalizados por la norma NC 247: 2010.
- Se realizó el ensayo de compresión a las edades de 7 y 28 días dando los resultados de acuerdo con la exigencia de la norma (NC 247: 2010).
- Se obtuvo la disminución del peso de los bloques de toba vítrea al sustituir la grava 3/8, con un valor que representa el 24,489 % menor que los bloques patrones para el estado seco y en el ambiente fue de un 18,941 % menor. Estos bloques además resultan de mayor grado de aislamiento térmico y acústico, lo cual mejora la calidad de vida de las personas.

CONCLUSIONES

- Se determinaron las dimensiones de los bloques donde se comprobó que se encontraban en el rango de aceptación admisible de la norma cubana NC 247: 2010 — Bloques huecos de hormigón — Especificaciones.
- El ensayo de resistencia a la compresión que se le realizaron a los bloques a los 7 y 28 días de edad obtuvieron un valor promedio de 2,536 y 3,120 MPa respectivamente para los de toba vítrea quedando por debajo del 2,734 y 3,319 MPa respectivamente de los patrones (representando un 7,258 % menor a los 7 días y 5,979 % menor a los 28 días). Estando conforme con la exigencia de la norma cubana (NC 247: 2010) que considera un mínimo de 2 y 2,5 MPa.
- La absorción determinada de 20,935 % para los de toba vítrea triplica el obtenido de referencia de los patrones, pero no existen normativas para este parámetro para el caso del trabajo con áridos ligeros en nuestro país y además los bloques Tipo III no tienen limitaciones en su porcentaje de absorción.
- Se obtuvo la disminución del peso de los bloques de toba vítrea al sustituir la grava 3/8, con un valor que representa el 24,489 % menor que los bloques patrones para el estado seco y en el ambiente fue de un 18,941 % menor. Estos bloques además resultan de mayor grado de aislamiento térmico y acústico, lo cual mejora la calidad de vida de las personas.

RECOMENDACIONES

- Utilizar un método de encapsulamiento con cemento y la toba vítrea molida, para reducir la absorción de agua de los bloques de toba vítrea.
- Evaluar las propiedades de los productos de las tobas vítreas al ser empleadas como árido fino (arena y polvo de piedra) para la fabricación de morteros de albañilería.
- Valorar además las tobas vítreas como árido ligero en la construcción de baldosas, losetas, mosaicos y otros productos de pequeño formato.
- Tomar en cuenta el uso integral de esta materia prima en las diferentes aplicaciones investigadas, así como sus mejores indicadores energéticos durante la preparación mecánica, lo cual resulta en mayor eficiencia económica, entre estos otros usos están: material cementicio suplementario, bloques naturales, productos antiácidos, etc.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Aleaga, F. M. (2012). Separación de la montmorillonita de las tobas vítreas. Moa, ISMM.
2. Álvarez D. R. Y Leyva R. C. 2009: Modelo de Gestión de la Innovación Tecnológica para la Exploración de los Recursos Minerales Territoriales y su Contribución al Desarrollo Local Sostenible. III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2009. La Habana, Cuba.
3. Banderas, D.; Naranjo, V.; Rodríguez, J. y 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.
4. Cabrera, M. R. 2010: Valoración de las tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín para su utilización como puzolana natural en la construcción. Moa. ISMM.
5. Costafreda, J. L.; Calvo, B. y Parra, J. L. 2011: Criterios para el aprovechamiento de tobas dácíticas en la sustitución de cemento Pórtland en morteros y hormigones. INTEREMPRESAS - OBRAS PÚBLICAS: 162- 780/2011.
6. Guerra, J. d. A. (2008). Reevaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo como puzolanas naturales. Moa, ISMM.
7. Guzmán, L. F. V. and G. E. S. Alcívar (2010). Hormigones livianos. Guayaquil, Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).
8. IGP, I. d. G. y. P. (2011) Rocas y minerales industriales de la República de Cuba.
9. López, P. L. M. 2006: Caracterización geológica de las materias primas mineras de los municipios Moa – Sagua de Tánamo para su empleo como 64 material de construcción. Moa. ISMM.

10. Martínez, R. A. A. 2014: Tobas vítreas de Sagua de Tánamo como aditivo en la producción de objetos de cerámica roja. Moa. ISMM.
11. Matos, D. C. 2016: Evaluación de la reactividad puzolánica de las tobas vítreas calcinadas del yacimiento el Picao. Moa. ISMM.
12. Muxlanga, R. J. 2009: Evaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo para su utilización como árido y puzolana natural en la construcción. Moa. ISMM.
13. NC 247: 2010 — Bloques huecos de hormigón — Especificaciones.
14. NC 251: 2010 — Áridos para hormigones hidráulicos-requisitos.
15. De Armas, J. 2006: Reevaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo como puzolanas naturales Moa. ISMM.
16. Peña, R. R. 2013: Evaluación de las tobas vítreas como aditivo en la producción de cerámica roja para la industria de materiales. Moa. ISMM.
17. Pérez, Y. M. 2011: Comportamiento de las funciones de clasificación y fragmentación para la molienda de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo. Moa. ISMM.
18. Reyes, A. R. S. 2011: perspectivas de utilización de tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín como aditivos puzolánicos. Moa. ISMM.
19. Rodríguez, N. T. 2016: Influencia de la preparación de las tobas vítreas de la región el Picao sobre la reactividad puzolánica. Moa. ISMM.
20. Silot, D. R. (2015). Evaluación de prefabricados de pequeño formato con cemento de bajo carbono criollo. Moa, ISMM.

ANEXOS.



Figura 1: Muestra de las tobas vítrea procedente del yacimiento “toba vítrea Sagua de Tánamo”.



Figura 2: Trituradora de mandíbula TQ 150 x 75 mm.

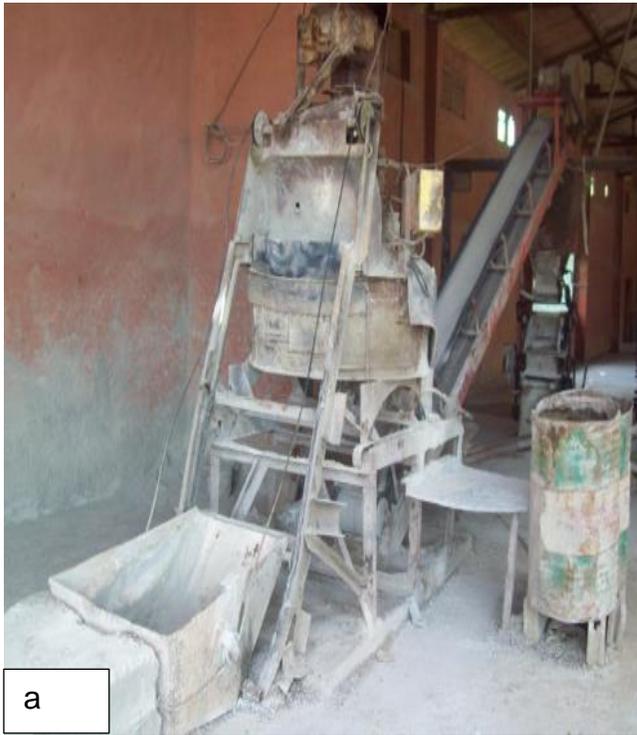


Figura 3: Maquina estacionaria de fabricación de bloques, a; parte delantera, b; parte trasera.



Figura 4: Sierra de disco.



Figura 5: Bloques con el Capping.



Figura 6: Prensa hidráulica.



Figura 7: Estufa.



Figura 8: Pesa digital de 15 kg.

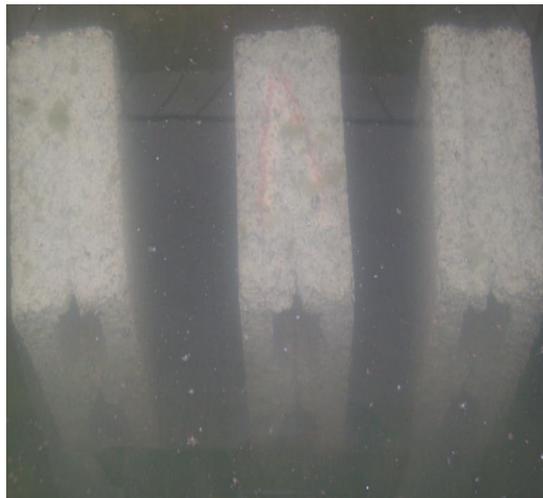


Figura 9: Bloques en el estanco.



Figura 10: Bloques patrones para el ensayo de resistencia a la compresión a la edad de 7 y 28 días.



Figura 11: Bloques de toba vítrea para el ensayo de resistencia a la compresión a la edad de 7 y 28 días.