



ISMMM

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA

“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Avenida Calixto García Iñiguez No. 15 entre Avenida 7 de diciembre y Calle Reynaldo Laffita Rueda, Reparto Caribe

CARACTERIZACIÓN DE UN NUEVO SECTOR DEL DEPÓSITO DE TOBAS VÍTREAS SAGUA DE TÁNAMO COMO MATERIAL PUZOLÁNICO

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO

Daniel Leyva Hidalgo

Moa, junio de 2019





ISMMM

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA

“Dr. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ”

FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA

DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Avenida Calixto García Lñíguez No. 15 entre Avenida 7 de diciembre y Calle Reynaldo Laffita Rueda, Reparto Caribe

CARACTERIZACIÓN DE UN NUEVO SECTOR DEL DEPÓSITO DE TOBAS VÍTREAS SAGUA DE TÁNAMO COMO MATERIAL PUZOLÁNICO

TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO

Autor: Daniel Leyva Hidalgo

Firma.....

Tutor: Dr. C. Carlos Leyva Rodríguez

Firma.....

Consultante: Tec. En Minas. Jorge Luis Peña Zaldivar

Moa, junio de 2019



Declaración de Autoría:

Yo: Daniel Leyva Hidalgo, autor de este Trabajo de Diploma que tiene como tema: Caracterización de un nuevo sector del depósito de tobas vítreas Sagua de Tánamo como material puzolánico. El tutor: Dr.C. Carlos Alberto Leyva Rodríguez, declaramos la propiedad intelectual de este al servicio de la Universidad Minero Metalúrgico de Moa para que el mismo disponga de su uso cuando estime conveniente.

Para que así conste el presente a los ____ días del mes de _____ 2019

Diplomante: Daniel Leyva Hidalgo

Agradecimientos

Agradezco desde lo más profundo de mi corazón, a mi Señor Jesucristo. Él y solamente Él es mi vida. Sin Él no habría propósito de vivir. Todo sería en vano. Él es mi Amor Principal. Todo lo demás que tengo lo debo a Él. Gloria a Dios.

Sin Jesús jamás podría haber hecho esta tesis, por lo tanto le estoy muy agradecido.

Agradezco a mi esposa y mi hijo por ayudarme a ser muy feliz.

Agradezco a mis padres y hermanos por su ayuda en todos estos tiempos.

Agradezco a mis pastores y hermanos de la Iglesia de Cristo, por su amor y dedicación.

Agradezco a mi tutor por su apoyo en todo este trabajo.

Agradezco a muchas otras personas, que sin mencionar, están en mi corazón.

Gracias.

Resumen

En la presente investigación se determinaron las propiedades puzolánicas de las tobas vítreas perteneciente a un nuevo sector de estudio del depósito Sagua de Tánamo, que posee un menor componente arcilloso, para su posible uso como aditivo puzolánico con cemento Portland. Para la realización de la presente se decidió hacer ensayos en bloques huecos de hormigón en la empresa de materiales para la construcción perteneciente al mismo municipio, con una sustitución de este material, de un 20%. Se realizó una caracterización, basada en la determinación de la composición química, por el método de fluorescencia de rayos X, la caracterización granulométrica mediante un analizador de tamaño de partículas, la caracterización mineralógica por difracción de rayos X y la determinación del índice de actividad puzolánica a través de los ensayos de resistencia a la compresión a partir del método indicado en las normas para tales especificaciones. Esto permitió determinar que estos materiales, reúnen las condiciones para ser considerados materiales puzolánicos, al ser utilizados en sustitución hasta un 20 % de cemento, mostrando resultados alentadores para su implementación en la construcción de viviendas.

Abstract

In the present investigation it determined the pozzolanic properties of the glassy tufas of to the deposit's new sector of study Sagua of Tánamo, that you possess a minor clayey component, for his possible use like pozzolanic additive with cement Portland. For the realization of present it it was decided to make essays at hollow blocks of concrete at the company of materials for the construction of the same municipality, with a substitution of this material of a 20 %. It was made a characterization, base to on the determination of the chemical composition, by the x-rays fluorescence method, the grain sized characterization by means of an particles size analyzer, the mineralogical characterization by x-rays diffraction and the determination of the pozzolanic activity index through the tests of compressive strength from the indicated method in the norms for such specifications. It allowed this determining than these materials, the conditions to be considered materials join together pozzolanic, to the being utilized in substitution to 20 % of cement, showing encouraging results for their implementation in residential construction.

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	4
1.1 Antecedentes de la investigación	4
1.2 Enfoque conceptual de la actividad puzolánica	6
1.2.1 Puzolanas. Generalidades	6
1.2.2 Clasificación.	7
1.2.3 Utilización de las puzolanas.	9
1.2.4 Acerca de la actividad puzolánica.	9
1.2.5 Las puzolanas y el medio ambiente	11
1.3 Otros conceptos generales	12
1.3.1 Cemento portland.	12
1.3.2 Cemento portland puzolánico.	12
1.3.3 Materiales de construcción	13
1.3.4 El hormigón o concreto	14
1.3.5 Tobas vítreas como material cementicio suplementario.	15
1.4 Caracterización del área de estudio	15
1.4.1 Características geológicas regionales	16
1.4.2 Principales características físico-geográficas del entorno	19
1.4.3 Características del depósito de tobas vítreas Sagua de Tánamo	20
Conclusiones del capítulo 1	24
CAPÍTULO II. MATERIALES Y METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS REALIZADOS	26
2.1 Recopilación de la información	26
2.2 Realización de itinerarios	27
2.3 Toma y tratamiento de las muestras	27
2.4 Métodos y técnicas analíticas empleadas en la investigación	28
2.4.1 Método utilizado en la investigación	28
2.4.2 Determinación de la composición granulométrica	29
2.4.3 Determinación del índice de actividad puzolánica con cemento portland	29
2.4.4 Ensayos de absorción de bloques huecos de hormigón	33
Conclusiones del capítulo 2	34
CAPÍTULO III: RESULTADOS ALCANZADOS	36
3.1 Resultados experimentales y su análisis	36
3.1.1 Caracterización granulométrica	36
3.1.2 Densidad	38
3.1.3 Caracterización química	38
3.1.4 Caracterización mineralógica	40
3.2 Análisis e interpretación de resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de los bloques huecos de hormigón	42
3.2.1 Resistencia a la compresión mecánica	42
3.2.2 Análisis del Índice de actividad resistente	44
3.3 Análisis de la absorción de agua de los bloques huecos de hormigón	44
Conclusiones del capítulo 3	45
CONCLUSIONES	46
RECOMENDACIONES	47
BIBLIOGRAFÍA	48
ANEXOS	52

INTRODUCCIÓN

Desde el inicio de las civilizaciones, el hombre ha logrado ir descubriendo materias primas aportadas por la naturaleza y a su vez ha realizado un uso continuo de las mismas. Por lo que desde la antigüedad las necesidades del hombre y las inventivas de este para darle solución a los problemas constructivos, siempre han estado presentes en el devenir de los tiempos; siendo una de las más importantes la actividad constructiva. En donde las diversas variedades de rocas desempeñan un papel importante como las tobas vítreas y de material puzolano en donde poseen propiedades puzolanas los materiales con un elevado contenido de componentes ácidos como la sílice, la alúmina y el óxido férrico, con una estructura desordenada o amorfa capaces de reaccionar con el hidróxido de calcio producto de la hidratación del cemento. Las tobas vítreas también conocidas como **“vidrio volcánico”** son rocas volcánicas que poseen altos contenidos de estos compuestos. Esta propiedad, junto a ser finamente divididas, les hace candidatas para su utilización como puzolana. Las diversas investigaciones se han encaminado a los estudios de las rocas y minerales que por diversas génesis pudieran presentar una determinada actividad puzolana bajo condiciones específicas dígase una molienda más efectiva y una activación térmica.

En nuestro país la situación de la vivienda constituye un problema a nivel nacional, debido al déficit de materiales para la construcción. Por lo que se emprende nuevas acciones para aumentar los niveles de producción de materiales para dar solución a esta problemática. Las rocas puzolánicas presentan las propiedades necesarias para cubrir estas exigencias, nuestro territorio posee grandes volúmenes de estos materiales los cuales no se encuentran en explotación, pero pueden ayudar a resolver necesidades de carácter local, ejemplo las tobas vítreas del depósito Sagua de Tánamo.

La construcción de viviendas es una prioridad para el Gobierno cubano (Castro, 2018); este fue el tema tratado por el periódico Granma el 17 de diciembre del año 2018. En el mismo, el diputado Santiago Lajes Choy, presidente de la comisión de Industria, Construcciones y Energía, informó que, con el propósito de verificar el cumplimiento del Programa de la Vivienda, los diputados visitaron 65 municipios en 13 provincias del país. En los cuales se presentaron algunos problemas tales como: La producción local de materiales no satisface

las necesidades crecientes de la población; existen irregularidades en la calidad; la poca disponibilidad de ventanas y puertas, vigas de techo, áridos, acero y cubiertas pesadas afecta la terminación de las obras de subsidio.

Ante estas insuficiencias, el Comandante de la Revolución Ramiro Valdés Menéndez, miembro del Buró Político y vicepresidente de los Consejos de Estado y de Ministros, insistió en la responsabilidad de los gobiernos, a nivel provincial y municipal, con la solución de los problemas, independientemente de la labor que le corresponde al Ministerio de la Construcción (Micons).

La utilización de los materiales puzolánicos pueden reducir la necesidad de estas materias primas sin tener un gran impacto negativo en la calidad del mismo y una de sus ventajas es la reducción de daños ambientales gracias a sus aplicaciones en estas ramas de producción.

Resulta indispensable una guía que se enfoque en la solución de deficiencias en la producción local de materiales para la construcción tales como: insuficiente conocimiento de necesidades de materiales de construcción en los territorios e insuficientes estudios de factibilidad técnico-económico que apoyen las inversiones.

Estas deficiencias limitan el desarrollo de la minería artesanal de rocas y minerales industriales (RMI) en los municipios, lo que trae aparejado que los grupos de producción local de materiales para la construcción centren su trabajo en la evaluación de las producciones existentes y no contribuyan a la búsqueda de nuevas fuentes de RMI que pueden ser explotadas con técnicas de minería artesanal.

Con las nuevas estrategias trazadas por el gobierno para alcanzar mayores resultados y lograr la sustitución de importaciones se debe tener en cuenta la caracterización de las propiedades puzolánicas de las materias primas existentes en el territorio nacional para su uso en la industria constructiva a pequeña escala, específicamente las tobas vítreas del depósito Sagua de Tánamo en la provincia de Holguín. Precisamente en este contexto queda definida la **situación problemática** de la presente investigación.

De lo anteriormente planteado se deriva el **problema científico** de la presente investigación: Insuficiente caracterización de las propiedades puzolánicas de las tobas vítreas del depósito Sagua de Tánamo, en un nuevo sector de estudio que posea un menor componente

arcilloso, para su utilización como aditivo del cemento Portland en función del desarrollo local sostenible.

De esta forma, se define como **objeto de estudio**: Las tobas vítreas del depósito Sagua de Tánamo.

Para dar solución al problema científico se plantea como **objetivo general**: Caracterizar un nuevo sector de tobas vítreas del depósito Sagua de Tánamo, con menos contenido arcilloso, como aditivo puzolánico para fabricar materiales de pequeño formato para la construcción.

Así definimos que el **campo de acción** estaría enmarcado en las propiedades puzolánicas de estas tobas vítreas en su forma natural.

Ante esta situación se planteó como **hipótesis**:

Si se caracterizan los aditivos puzolánicos del nuevo sector de tobas vítreas del depósito Sagua de Tánamo, se podrá demostrar la sustitución parcial del cemento Portland por este aditivo en la fabricación de bloques huecos de hormigón.

Objetivos específicos:

1. Realizar la fundamentación teórica, conceptual y metodológica de la actividad puzolánica.
2. Integrar las principales características físico-químicas y mineralógicas influyentes en la actividad puzolánica de las tobas vítreas del depósito Sagua de Tánamo, a partir de investigaciones anteriores.
3. Realizar ensayos para el uso de las tobas vítreas del depósito Sagua de Tánamo como aditivo puzolánico en productos de pequeño formato para la construcción.

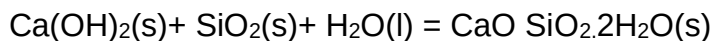
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Fundamentos teóricos, conceptuales y metodológicos de la actividad puzolánica

Hace varias décadas es práctica universal, el aprovechamiento de los materiales puzolánicos, ya sea para la producción de cementos mezclados o para la obtención de hormigón mediante la sustitución in situ de cemento por puzolanas. Esto se ha ido acrecentando, en respuesta al déficit de materiales para la construcción; razones por las que se hace necesario conocer la evolución de las principales concepciones, acciones y herramientas empleadas alrededor de esta temática.

1.1 Antecedentes de la investigación

Le Chatelier (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:



Se sabe que la fase $\text{CaO SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}(\text{s})$ (C-S-H) brinda propiedades hidráulicas importantes en las construcciones. Como expresa Bogue, (1955), la físico-química de las puzolanas, requiere de permanentes estudios para resolver sus problemas fundamentales.

Desde los años 1980 investigadores como Marta Gener, Antonio Rabilero, Regino Galloso, Mercedes Rosell del Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción CTDMC, del MICONS, han estudiado y caracterizado las puzolanas naturales presentes en distintos yacimientos en Cuba.

Un estudio realizado por el DrC. Antonio C. Rabilero Bouza "Cinética del endurecimiento en los hormigones. " En los análisis realizados a diversas muestras de hormigones con sustitución de puzolanas de hasta un 40 % en un tiempo de vida de 365 días, demuestra como las puzolanas pueden alcanzar resistencias ascendentes en los ensayos de resistencia a la compresión mecánica, aunque en sus inicios estos resultados sean bajos producto al tiempo que toma el Cemento Portland y las puzolanas en reaccionar.

Rabilero, et al (1987), plantea que en los cementos puzolánicos, la reacción puzolánica predomina a partir de los tiempos de fraguado cercanos, a los 28 días, lo cual confirma teóricamente lo que la experiencia a lo largo de los años ha demostrado, el que los cementos puzolánicos alcanzan mayores resistencias que los cementos sin aditivos a partir de los 28 días, ya que el cemento, a los 28 días de fraguado se ha hidratado en gran medida y a partir de este tiempo el incremento de las resistencia es pequeño, mientras que los cementos con adiciones de puzolanas prosiguen la reacción entre estas y el hidróxido de calcio producto de la hidratación, dando lugar a la formación de productos que contribuyen a la elevación de la resistencia mecánica de los morteros y hormigones preparados con cementos puzolánico.

De Armas (2008), en su trabajo “Reevaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo 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.

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).

Pérez (2006), establece la caracterización geológica y tecnológica del vidrio volcánico del yacimiento de Guaramanao, orientadas hacia su aplicación como material de construcción alternativos. Este sistema propuesto se aplica en el municipio de Holguín logrando demostrar que el uso del vidrio volcánico de esta región puede ser utilizado como material para la construcción. Al material en estudio se le realizó ensayos mineralógicos y de propiedades físico mecánicas. Como principales resultados de las investigaciones realizadas se proponen que las materias primas investigada puede ser empleada para diferentes fines como materiales de construcción alternativos, como áridos y hormigones ligeros. Sin embargo, no realiza pruebas encaminadas a su utilización como puzolana natural.

Muxlanga (2009), en su trabajo de diploma “Evaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo para su utilización como árido y puzolana natural en la construcción” realizó ensayos de granulometría, impureza orgánica, resistencia a la flexión y compresión según la norma cubana para 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. Pero sólo tuvo resultados de resistencia a los 7 días empleando el material vítreo con fracciones de tamaño - 0,09 + 0,074; + 0,074 - 0,045 y - 0,045 mm a diferentes porcentajes de adición y no con la mezcla de material por debajo de 0,09 mm como se emplea en el Cemento Portland.

Almenares (2011) en su trabajo de maestría "Perspectivas de utilización de tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín como aditivo puzolánico " realiza un estudio de los materiales puzolánico de la región de estudio donde sustituye un 15 y un 30 % de estas materias primas en el Cemento Portland para tiempos de 7, 28, 60, 90 y 120 días para alcanzar resultados satisfactorios en ambos materiales demostrando su utilidad como sustituyente puzolánico en los cementos.

1.2 Enfoque conceptual de la actividad puzolánica

1.2.1 Puzolanas. Generalidades.

La palabra puzolana se acuñó en Italia y se utilizó para describir las cenizas volcánicas de Pozzouli, una villa cerca de Nápoles. Las cenizas provenían de las erupciones del Monte Vesubio.

Según la ASTM (American Society for Testing and Materials), las puzolanas naturales son materiales sílicos-aluminosos que por sí solos poseen poco o nulo valor cementante, pero finamente divididos, y en presencia de humedad, reaccionan químicamente con la portlandita (hidróxido de calcio Ca(OH)_2) a temperatura ordinaria para formar compuestos con propiedades cementantes. La utilización de las puzolanas en el concreto beneficia la durabilidad en: aumento de la impermeabilidad; aumenta la resistencia al ataque de sulfatos; (Revista "Construcción y Tecnología") aumenta la trabajabilidad; aumenta la resistencia mecánica a edades avanzadas; reduce la reacción álcali-agregado y, por lo tanto, todo esto redundará en un beneficio económico al disminuir el consumo de cemento portland para la misma resistencia mecánica, por lo mismo, ahorrando energía y produciendo menores emisiones de CO_2 a la atmósfera. Por las razones anteriores mencionadas, es de suma importancia en nuestro tiempo estudiar estos materiales para contribuir a disminuir los consumos de energía de la industria cementera y producir materiales sustentables.

Las puzolanas de origen natural son derivados de erupciones volcánicas, excepto las tierras diatomáceas, las cuales son formadas por silicatos amorfos hidratados, derivados de los esqueletos de microorganismos acuáticos. El material de las erupciones volcánicas, compuesto principalmente de aluminosilicatos, es enfriado bruscamente, lo cual resulta en la formación de materiales con estructura desordenada o vítrea con minerales pobremente cristalinos. A la combinación de estructura pobremente cristalina o vítrea que puede poseer alta área superficial se le atribuye la reactividad de estos materiales, (Malhotra y Kumar, 1996).

En la hidratación del cemento portland las principales faces mineralógicas producen C-S-H (silicatos de calcio hidratados) y además portlandita a la solución, lo cual se estima entre un 20 y 30% en masa (James, 2001) pp. 15. La portlandita no aporta un beneficio a la acción mecánica de la matriz cementante, sin embargo, mantiene un ambiente alcalino (alto pH) necesario para evitar la corrosión del acero de refuerzo promovida por la carbonatación del concreto. Si adicionamos puzolanas al cemento portland, en primera instancia, en la hidratación, el cemento portland producirá portlandita, la cual reacciona con la puzolana para producir compuestos de C-S-H, similares a los producidos en la reacción del cemento portland. Los C-S-H son los responsables de la resistencia mecánica de las pastas, con las cuales se fabrican morteros o concretos.

1.2.2 Clasificación.

Las puzolanas, según su origen, se clasifican en dos grandes grupos; el de las naturales y el de las artificiales, aunque puede existir un grupo intermedio constituido por puzolanas naturales que se someten a tratamientos térmicos de activación, análogos a los que se aplican para obtener puzolanas artificiales, con objeto de incrementar su propiedad hidráulica. Estas puzolanas tratadas, aunque son naturales por origen, se pueden considerar como artificiales por causa del tratamiento que reciben. Podrían denominarse puzolanas mixtas o intermedias, por participar de los caracteres tanto de las naturales como de las artificiales.

Puzolanas naturales

Son productos minerales con características composicionales (sílico-aluminosos), estructurales (estructura imperfecta o amorfa) y texturales (grano fino) que los hacen aptos para su uso como aditivos activos en la industria del cemento, entre éstas están: las

acumulaciones de cenizas generadas durante las erupciones volcánicas explosivas, que por su alto contenido de materiales vítreos son propensas a sufrir reacciones como las requeridas para las puzolanas. Más tarde por procesos geológicos de enterramiento estas cenizas se convierten en tobas, las cuales son rocas volcánicas bastante porosas, característica que les confiere una gran superficie interna, lo que favorece su reactividad, entonces, como puzolana sirve tanto el sedimento como la roca.

Cuando se habla de rocas y materiales volcánicos, hay que considerar dos factores controladores de la actividad puzolánica; por una parte, la composición química del magma originario que determina la de los productos, y por otra, la constitución y textura de los minerales de dichas rocas, las cuales dependen de la velocidad de enfriamiento y de los procesos de meteorización que los hayan afectado. En las rocas volcánicas son especialmente interesantes las rocas ácidas (ricas en cuarzo y feldespato).

Puzolanas artificiales.

Son materiales que deben su condición puzolánica a un tratamiento térmico adecuado. Dentro de esta denominación se incluyen los subproductos de determinadas operaciones industriales; tales como, residuos de bauxita, polvos de chimeneas de altos hornos, cenizas volantes, etc. Las de mayor uso en la actualidad, en el mundo, son las cenizas volantes en función de las ventajas económicas y técnicas que ofrecen, ya que es un material residual y los cementos aumentan su manualidad y disminuyen el calor de hidratación por sus excelentes propiedades puzolánicas.

Mineralógicamente las cenizas volantes se componen de:

- Sílico-aluminatos vítreos
- Compuestos cristalinos de hierro, sodio, potasio y magnesio entre otros
- Carbón no quemado

La reactividad de las cenizas volantes como puzolanas depende del tipo y origen del carbón, composición química y mineralógica de este, del contenido de la fase vítrea después de quemado y de la granulometría principalmente.

1.2.3 Utilización de las puzolanas.

El primer criterio que apoyó la producción de cementos puzolánicos fue el corregir el cemento portland tipos I y II, al fijar la cal libre, generada durante la formación de los silicatos bicálcicos y tricálcicos, la cual es inestable a pH menores de 12, para formar compuestos estables que no son vulnerables a la acción lixiviante de las aguas ácidas. Pero adicionalmente estos materiales tienen otros efectos sobre el cemento y el concreto.

- Reemplazan una buena porción del cemento portland del 15 al 40 %, disminuyendo los costos de producción porque esta adición es mucho más barata que el clinker y más económica de moler.
- Reduce el calor generado durante la hidratación, la cual es una reacción exotérmica.
- Evita el agrietamiento del concreto por la acción expansiva de la cal al hidratarse y compresiva al secarse.
- Rebajan en cierto porcentaje los aluminatos que son inestables en medios sulfatados y absorben álcalis, los cuales normalmente entran a reaccionar de manera perjudicial con los agregados del concreto.
- Aligera las mezclas, debido a la disminución de su densidad.

A partir del análisis de los efectos que las puzolanas provocan sobre el cemento se puede utilizar en:

- Morteros de albañilería (colocación de ladrillos, bloques, entre otros).
- Estabilización de suelo en bloques prensados.
- Producción de prefabricados ligeros de hormigón (bloques, adoquines, entre otros).
- Fundición de hormigón masivo de baja resistencia.

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

1.2.4 Acerca de la actividad puzolánica.

En las puzolanas hay dos aspectos de gran interés prácticos: la extensión y la velocidad de fijación de la 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 edades cortas 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 , Fe_2O_3) sea mayor del 70 %. Se trata de que la puzolana tenga una estructura amorfa. Es esencial que la puzolana este finamente dividida, a fin de 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 el manejo de la mezcla de hormigón, con menor tendencia a la segregación de sus componentes.
- Mayor homogeneidad del hormigón.

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 % 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 ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ Mín.	SiO ₂ Mín.	Al ₂ O ₃	MgO Máx.	SO ₃ Máx.	PPI Máx.	Hum. Máx.	CaO Máx.	H ₂ O Comb. Mín.
ASTM C402-68T	70	-	-	5	3	10	3	-	-
PCCH-64 España	-	45	14-22	10	1	-	-	12	5

1.2.5 Las puzolanas y el medio ambiente.

La utilización de las puzolanas naturales en la fabricación de cementos, traen consigo grandes beneficios ambientales, ya que reduce las emisiones de gases como el CO₂, producto de la descomposición del CaCO₃, y la quema de combustibles fósiles. El CO₂ es uno de los gases responsable del efecto invernadero. La quema de combustibles fósiles con azufre provoca la emisión a la atmósfera de SO₂ responsable de las lluvias ácidas.

Se tiene como norma que durante la fabricación de una tonelada de clinker se emite a la atmósfera 1 tonelada de CO₂.

Los grandes fabricantes de cemento de Europa se han visto precisados a buscar alternativas para el ahorro de combustible. Las legislaciones vigentes “venden” los derechos de emisión de CO₂ a unos 20 euros, lo cual hace casi irrentable fabricar clinker en Europa. Por lo que las cementeras invierten 400 millones de euros en cuatro años para afrontar las exigencias ecológicas.

Otra de las ventajas de utilizar las puzolanas en la construcción, es a partir de que los hormigones se vuelven más competentes y duraderos en el tiempo al ser más resistentes a las agresiones químicas y ambientales, lo que trae consigo un aprovechamiento más racional de los recursos minerales, energéticos y humanos. La producción de cemento mundial contribuye hoy con más del 50% de la contaminación de CO₂ que genera el sector industrial considerándose, por tanto, como el principal emisor industrial.

1.3 Otros conceptos generales

1.3.1 Cemento portland.

Los cementos que se producen alrededor del mundo son elaborados a base de clinker Portland, por cuyo motivo se justifica centrar el interés en este y en los cementos a que da lugar, entre ellos se pueden mencionar los cementos portland simples, mezclados y expansivos.

Teniendo en cuenta las diferencias de la composición química, características mecánicas, comportamiento durante la hidratación, el fraguado y el endurecimiento; ellos se clasifican en, cemento portland ordinario, **cemento puzolánico**, cemento aluminoso y cemento siderúrgico.

El nombre de cemento portland está dado por su semejanza, una vez fraguado, con la famosa piedra caliza blanco-plateada que se extraía de unas canteras existentes en la pequeña península de Portland, en la costa sur del Condado de Dorset, en Inglaterra. El cual se describe como un cemento hidráulico producido al pulverizar el clinker, constituido esencialmente por silicatos de calcio hidratados, y contiene, generalmente, una o más de las formas de sulfato de calcio.

1.3.2 Cemento portland puzolánico.

El cemento portland puzolánico se define como un cemento hidráulico compuesto de una mezcla íntima y uniforme de cemento portland y un material puzolánico fino, producido cada uno por una molienda íntima de clinker y el material puzolánico o por la mezcla de cemento portland y un material puzolánico finamente dividido, o una combinación de las dos, donde la puzolana constituye entre un 15 y 40 %, de acuerdo a lo establecido en la ASTM C 595.

Este aglomerante le concede baja resistencia mecánica y su fraguado es algo más lento que el del cemento portland ordinario. Por esta razón, puede ser considerado como un cemento para aplicaciones de albañilería. Aunque en los últimos años ha adquirido aplicación en la fabricación de hormigones y en especial los ligeros.

La adición de materiales puzolánicos les confiere propiedades ventajosas a los cementos, tales como mayor resistencia a mayor edad, menor calor de hidratación, durabilidad, entre otras.

1.3.3 Materiales de construcción

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

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

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

1.3.4 El hormigón o concreto

Es un material compuesto empleado en construcción formado esencialmente por un aglomerante al que se añade: partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos.

El hormigón hidráulico de cemento portland es una piedra artificial resultante del endurecimiento de una mezcla de cemento portland, áridos y agua, materiales que deben ser seleccionados adecuadamente y dosificados en las proporciones convenientes. Además de ellos, el hormigón moderno no se concibe sin el empleo de los aditivos, productos especiales cuya función consisten en actuar sobre determinadas propiedades del hormigón a fin de modificarlas. En dependencia de la edad transcurrida desde el inicio de la hidratación del cemento, el hormigón presenta dos estados: fresco y endurecido. El hormigón fresco constituye una masa viscosa que permite ser moldeada ocupando todo el espacio interior del encofrado y el espacio entre barras de acero. El tiempo en que el hormigón permanece en estado fresco depende del tiempo de inicio del fraguado del cemento, así como del empleo de aditivos que puedan retardar o acelerar el proceso de fraguado. Mientras el hormigón permanece en estado fresco, es posible actuar sobre él a través de los equipos de transporte, vertido y compactación. Propiedades que es necesario conocer o determinar en el hormigón fresco son el tiempo de fraguado, la temperatura, la uniformidad del mezclado, la pérdida de agua por exudación, la consistencia, la densidad, el contenido de aire, etc., así como procedimientos, como son la toma de muestras y la elaboración de probetas. El estado endurecido del hormigón se inicia cuando el tiempo transcurrido desde la hidratación del cemento ha superado el tiempo de inicio del fraguado. A partir de ahí el hormigón comienza a adquirir dureza y propiedades mecánicas que le dan su valor de uso, las que se van incrementando durante meses e incluso, durante años. Una vez que el hormigón ha adquirido las propiedades mecánicas de proyecto, ya no es necesaria la presencia de los encofrados. Del hormigón en estado endurecido es necesario conocer o determinar propiedades como las resistencias a la flexión y a la compresión, la densidad, la velocidad de absorción de agua, el módulo de elasticidad, la penetración de agua bajo presión, los cloruros totales, la penetración de iones cloruros, la profundidad de carbonatación y otras. Además, en ocasiones es necesario efectuar ensayos complementarios del hormigón endurecido en las propias estructuras, tales como los ensayos de esclerometría y velocidad

del pulso ultrasónico. También es necesario reglamentar determinados procedimientos, tales como el curado de las probetas endurecidas o la extracción de testigos en las estructuras.

1.3.5 Tobas vítreas como material cementicio suplementario.

Poseen propiedades puzolánicas los materiales con un elevado contenido de componentes ácidos como la sílice, la alúmina y el óxido férrico, con una estructura desordenada o amorfa, capaces de reaccionar con el hidróxido de calcio que se produce por la hidratación del cemento (Malhotra y Mehta, 1996; Gener y Alonso 2002; Rabilero, 2005). **Las tobas vítreas** son rocas volcánicas que poseen altos contenidos de estos compuestos. Esta propiedad, junto a ser finamente divididas, les hace candidatas para su utilización como puzolana.

En Cuba se conoce como ``vidrio volcánico`` a la toba vítrea cuya fase amorfa constituye más del 50 % del material rocoso que la forma.

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.

La toba vítrea (vidrio volcánico) se caracteriza por presentarse en considerables volúmenes ubicados superficialmente, con fácil acceso, lo cual facilita la extracción, beneficio y comercialización de este tipo de materia prima.

1.4 Caracterización del área de estudio

En el presente capítulo se muestra información referente a las condiciones geológicas y de formación del depósito de tobas vítreas de Sagua de Tánamo, así como sus características geográficas más destacadas. Los datos representados se han obtenido de investigaciones precedentes en las áreas de estudio.

1.4.1 Características geológicas regionales

Desde el punto de vista geológico el área se encuentra dentro de los límites del denominado Bloque Oriental Cubano, el cual es el más oriental de los tres grandes bloques que constituyen la estructura geológica cubana, con límites muy bien definidos por los siguientes sistemas de fallas regionales (figura 1.1):

- Sistema de fallas Cauto-Nipe al oeste-noroeste.
- Falla transformante de Bartlet al sur.
- Falla de Sobrecorrimiento Sabana al norte.

Estas fallas se cortan formando un triángulo. Además el Bloque Oriental Cubano está muy cerca del límite entre las Placas Norte Americana y Caribe, posición que lo hace vulnerable a movimientos sísmicos.

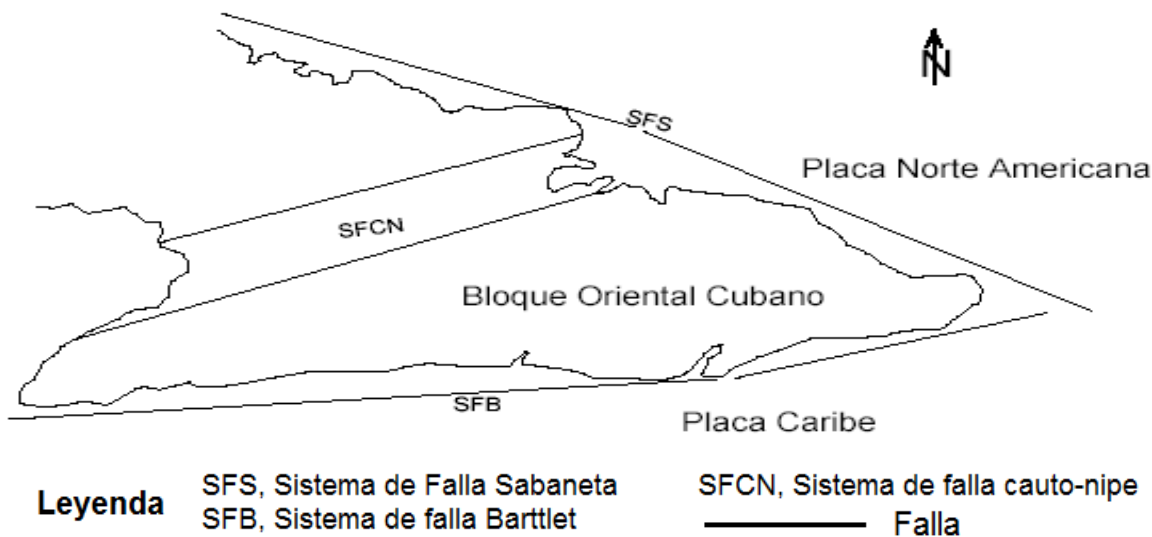


Figura 1.1 Mapa de ubicación geológica, nombre de los sistemas de fallas

Geología Regional

En 1996, Iturralde Vinent, reconoce en la constitución geológica del archipiélago cubano dos elementos estructurales que la integran: el cinturón plegado y el neoautóctono, (ver figura 1.2).

El cinturón plegado, está constituido por terrenos oceánicos y continentales deformados y metamorizados de edad pre-Eoceno Medio, que ocupan en la actualidad una posición muy diferente a la original, representando grandes entidades paleogeográficas que marcaron la

evolución del Caribe Noroccidental. El autor divide al cinturón plegado en unidades continentales y unidades oceánicas.

En Cuba Oriental las unidades continentales están representadas por el Terrero Asunción, compuesto por dos unidades litoestratigráficas bien diferenciadas, la Fm. Sierra Verde y la Fm. La Asunción, constituidas por materiales metaterrígenos y metacarbonatados respectivamente, del Jurásico Superior – Cretácico Inferior.

Las unidades oceánicas están constituidas por las ofiolitas septentrionales, las rocas del arco de islas volcánicas del Cretácico (Paleoarco), las secuencias de las cuencas de piggy back del Campaniense Tardío- Daniense, el arco de islas volcánico del Paleógeno y las rocas de las cuencas de piggy back del Eoceno Medio- Oligoceno. El Neoautóctono está constituido por materiales terrígenos carbonatado poco deformados del Eoceno Superior Tardío al Cuaternario que cubren discordantemente las rocas del cinturón plegado.

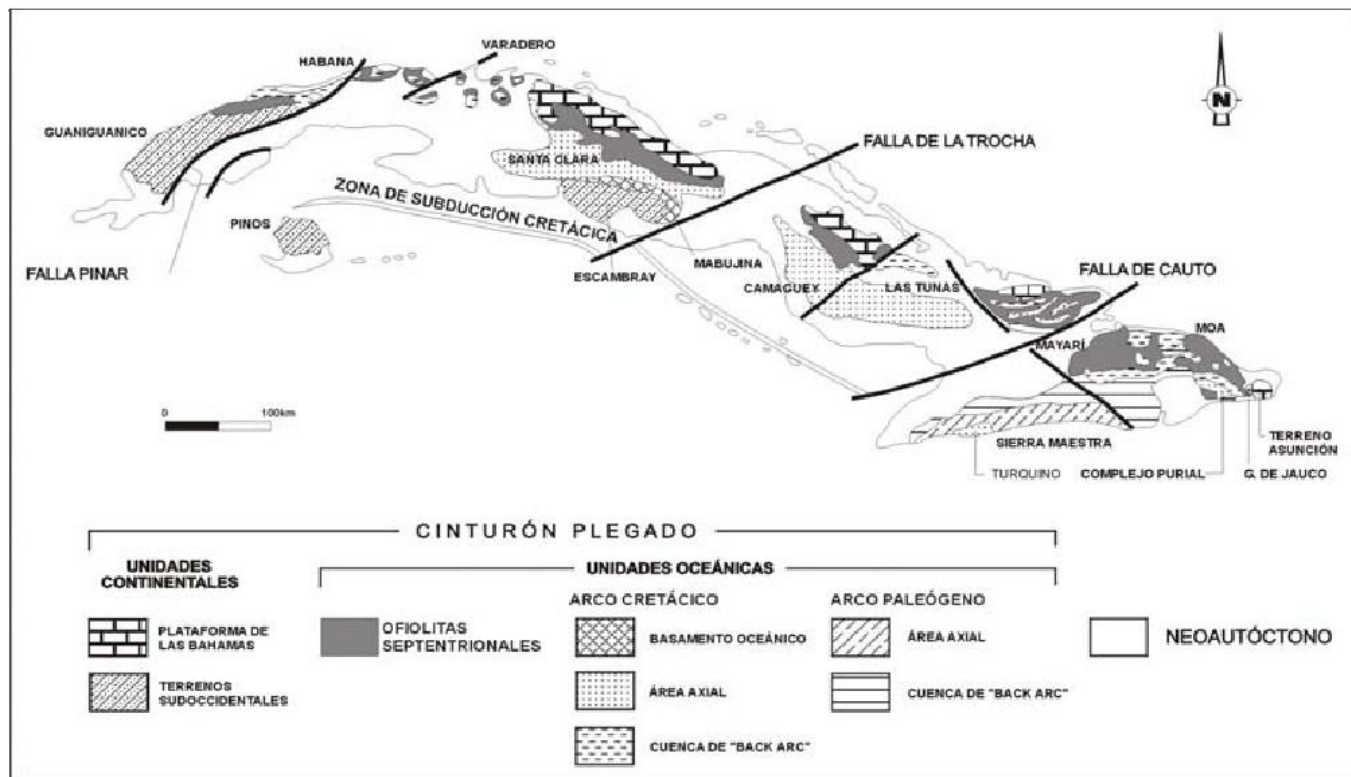


Figura 1.2 Mapa geológico esquemático de Cuba mostrando los afloramientos del cinturón plegado y del neoautóctono (adaptado de Iturralde-Vinent, 1996a).

Esta última concepción es la más generalizadora de todas las empleadas hasta el momento, incluyendo en ellas las anteriores realizadas. Hay que destacar que dentro de las unidades oceánicas del cinturón plegado se enmarca nuestra investigación.

Tectónica Regional

El Bloque Oriental Cubano (ver figura 1.1), comprendido desde la falla Cauto- Nipe hasta el extremo oriental de la isla, presenta una tectónica caracterizada por su alta complejidad, dado por la ocurrencia de eventos de diferentes índoles que se han superpuesto en el tiempo y que han generado estructuras que se manifiestan con variada intensidad e indicios en la superficie (Rodríguez, 1998).

Este bloque se caracteriza por el amplio desarrollo de la tectónica de cabalgamiento que afecta las secuencias más antiguas (Campos, 1983).

Localmente esta complejidad en la región de estudio se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste, que se cortan y desplazan entre sí, formando un enrejado de bloques y microbloques con movimientos verticales diferenciales, que se desplazan también en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por la acción de las fuerzas tangenciales que los afectan como resultado de la compresión (Campos, 1983, 1990), (Rodríguez, 1998). También se observan dislocaciones de plegamientos complejos, sobre todo en la cercanía de los contactos tectónicos (Campos, 1983, 1990).

En las secuencias más antiguas (rocas metamórficas y volcánicas), de edad mesozoica, existen tres direcciones fundamentales de plegamientos: noreste- suroeste; noroeste- sureste y norte- sur, esta última, característica para las vulcanitas de la parte central del área. Las deformaciones más complejas se observan en las rocas metamórficas, en la cual en algunas zonas aparecen fases superpuestas de plegamientos (Campos, 1983, 1990).

A fines del Campaniano Superior – Mastrichtiano ocurre la extinción del arco volcánico Cretácico Cubano, iniciándose la compresión de sur a norte que origina, a través de un proceso de acreción, el emplazamiento del complejo ofiolítico según un sistema de escamas de sobrecorrimiento con mantos tectónicos altamente dislocados de espesor y composición variada. Los movimientos de compresión hacia el norte culminaron con la probable colisión y obducción de las paleounidades tectónicas del Bloque Oriental Cubano sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas.

En las rocas paleogénicas y eocénicas la dirección de plegamiento es este-oeste, mientras que las secuencias del Neógeno poseen yacencia monoclinal u horizontal (Campos, 1983, 1990).

Los movimientos verticales son los responsables de la formación del sistema de Horts y Grabens que caracterizan los movimientos tectónicos recientes, pero hay que tener en cuenta la influencia que tienen sobre Cuba Oriental los desplazamientos horizontales que ocurren a través de la falla Oriente (Bartlett- Caimán) desde el Eoceno Medio-Superior (Draper y Barros, 1994), que limita la Placa Norteamericana con la Placa del Caribe, generándose un campo de empuje con componentes fundamentales en las direcciones norte y noreste (Rodríguez, 1999), que a su vez provocan desplazamientos horizontales de reajuste en todo el Bloque Oriental Cubano.

1.4.2 Principales características físico-geográficas del entorno

Relieve

Son notables las montañas de cimas aplanadas, esencialmente en el área de propagación de las ultrabasitas, separadas por llanuras y son el resultado de ascensos geotectónicos moderados e intensos con amplitudes que denotan claramente escalones morfoestructurales que en la zona es de montañas pequeñas (300-500m).

Particularidades climáticas

Desde el punto de vista climático, la localidad de Sagua de Tánamo; municipio al que pertenece el área de estudio, se sitúa en una zona subtropical. Las precipitaciones promedio anuales oscilan entre 100 y 2000 mm (Figura 1.3).

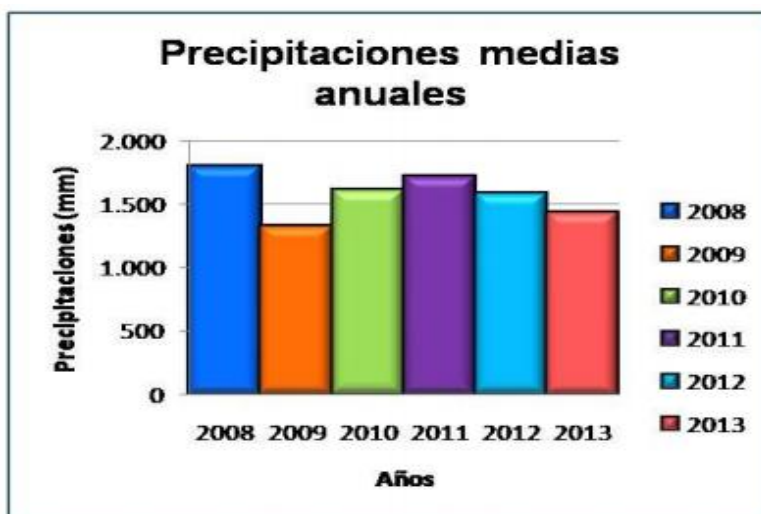


Figura 1.3: Histograma de precipitaciones medias anuales en el municipio Sagua de Tánamo (I.N.R.H 2013).

Con respecto a las lluvias medias anuales se evidencia la existencia de dos etapas , la primera es de un período lluvioso de mayo a noviembre (verano), siendo los meses de lluvias más intensas octubre y noviembre, los cuales presentan valores promedio mensual de 400 a 500 mm. La segunda etapa relativamente seca corresponde a los meses de noviembre a mayo (invierno), los meses más secos son enero y diciembre con lluvias menores a los 200 mm.

La temperatura media anual varían entre 25.4 y más de 27°C siendo el promedio de 26°C, las temperaturas bajas son producidas por el gradiente vertical en las áreas montañosas y por el paso de los frentes fríos. Los vientos predominantes son los alisios del nordeste durante casi todo el año y la velocidad de los mismos oscila alrededor de los 13Km/h.

La humedad del aire es elevada durante todo el año, para evaluarla se utiliza el concepto conocido como humedad relativa que es la relación que existe entre la humedad absoluta y la que tendría el aire si estuviera saturado de humedad, donde esta humedad relativa del aire es de 83,6% , siendo ésta superior a la media normal (80%), lo cual demuestra que estamos en presencia de una zona con características climáticas húmedas, determinadas por la abundancia de lluvias caídas, así como las bajas temperaturas que reinan durante casi todo el año. El clima con abundantes precipitaciones, está estrechamente relacionadas con el relieve montañoso. En los períodos de lluvia, se forman corrientes hídricas de grandes proporciones y fuerza.

Vegetación

En la mayor parte del territorio es bastante densa, en general está representada por bosques subtropicales compuestos por distintos tipos de árboles, matorrales y pinares.

1.4.3 Características del depósito de tobas vítreas Sagua de Tánamo

La información expuesta sobre la geología del depósito Sagua de Tánamo fue tomada del Informe Prospección Preliminar y Detallada vidrio volcánico Sagua de Tánamo. Prov. Holguín. Cálculo de Reservas realizado en noviembre. 1997.

Ubicación geográfica

El área de estudio se encuentra a unos 10-15 km de La ciudad de Sagua de Tánamo, en la plancheta topográfica 5177-I, a escala 1: 50 000, dentro los límites determinados por las coordenadas Lambert del sistema Cuba Sur, como se presenta en la figura No.1.4.

Vértice	X(Este)	Y(Norte)
1	676 000	215 000
2	679 000	217 000

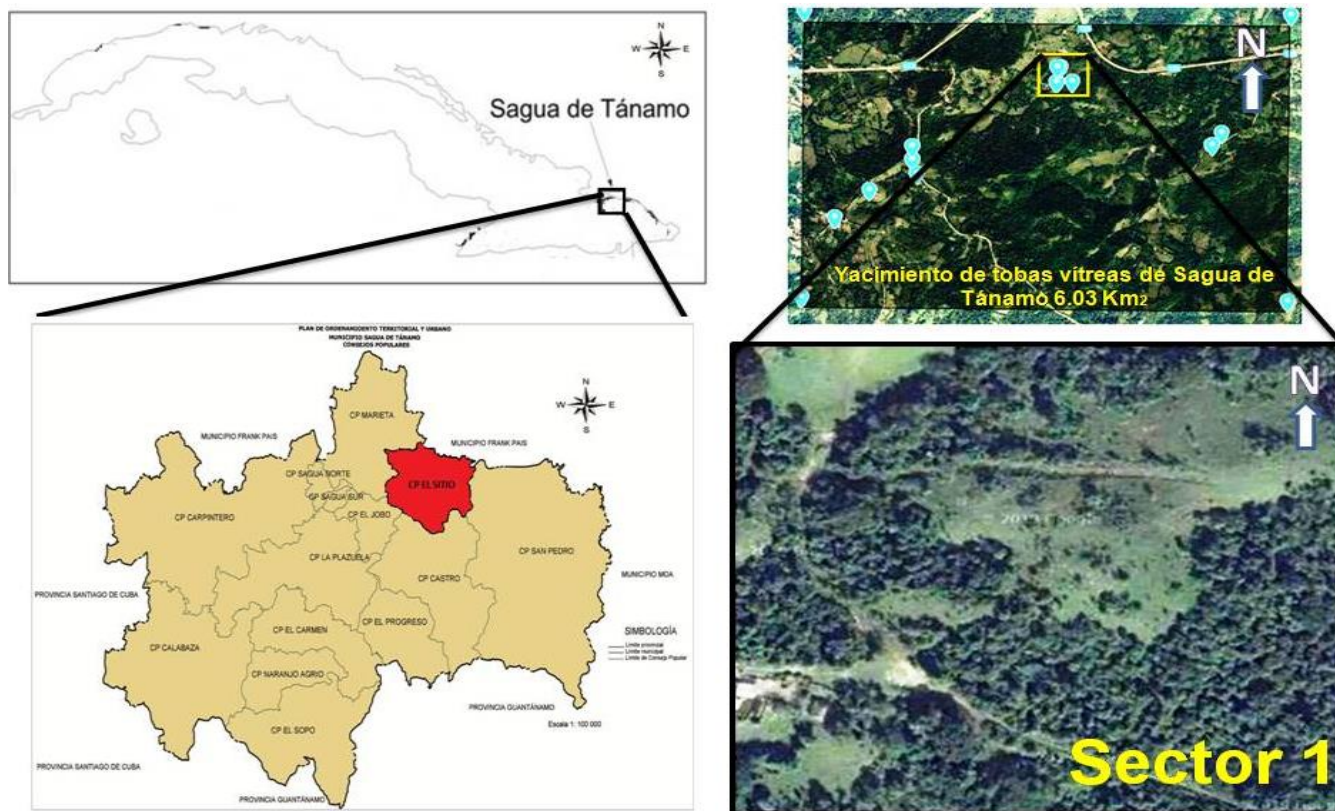


Figura No.1.4 Mapa de Ubicación Geográfica, (Coordenadas del centro X: 676 400 Y: 216 200)

Geología del depósito

El corte geológico del depósito en sentido general se puede describir de arriba hacia abajo de la forma siguiente.

- Cubierta vegetal arena-arcilla, que no sobrepasa los 0.40 m, la cual presenta poca distribución, generalmente el depósito se encuentra descubierto.
- Tobas vitroclástica y vitrocrystaloclastica, de color blanco grisáceo, de granulometría de fina a media en los sectores I Y II, generalmente abrasivas al tacto, textura masiva, a veces porosas, las cuales por su composición química son rocas ácidas con alto contenido SiO_2 (60,84 %) y $\text{pH} > 7$, contenido de vidrio volcánico superior al 50%. Por debajo de la formación Sabaneta fueron cortados calizas brechozas de la formación Gran Tierra, como las que contactan tectónicamente en el sector I.

Estas tobas presentan en mayor o menor grado alteración a minerales arcillosos, como lo

demuestran los contenidos de montmorillonita (22,95 %) dados por los análisis de (ATD), petrográfico y RX, donde destacan los bajos por cientos de feldespatos, calcita, dentro de la composición mineralógica. En general son tobas vítreas con altos contenidos de vidrio volcánico promediando (71,80%,).

El esquema geológico del área de estudio se presenta a continuación; figura 1.5, teniendo mayor interés la formación Sabaneta, que es donde afloran las tobas vítreas de la presente investigación.

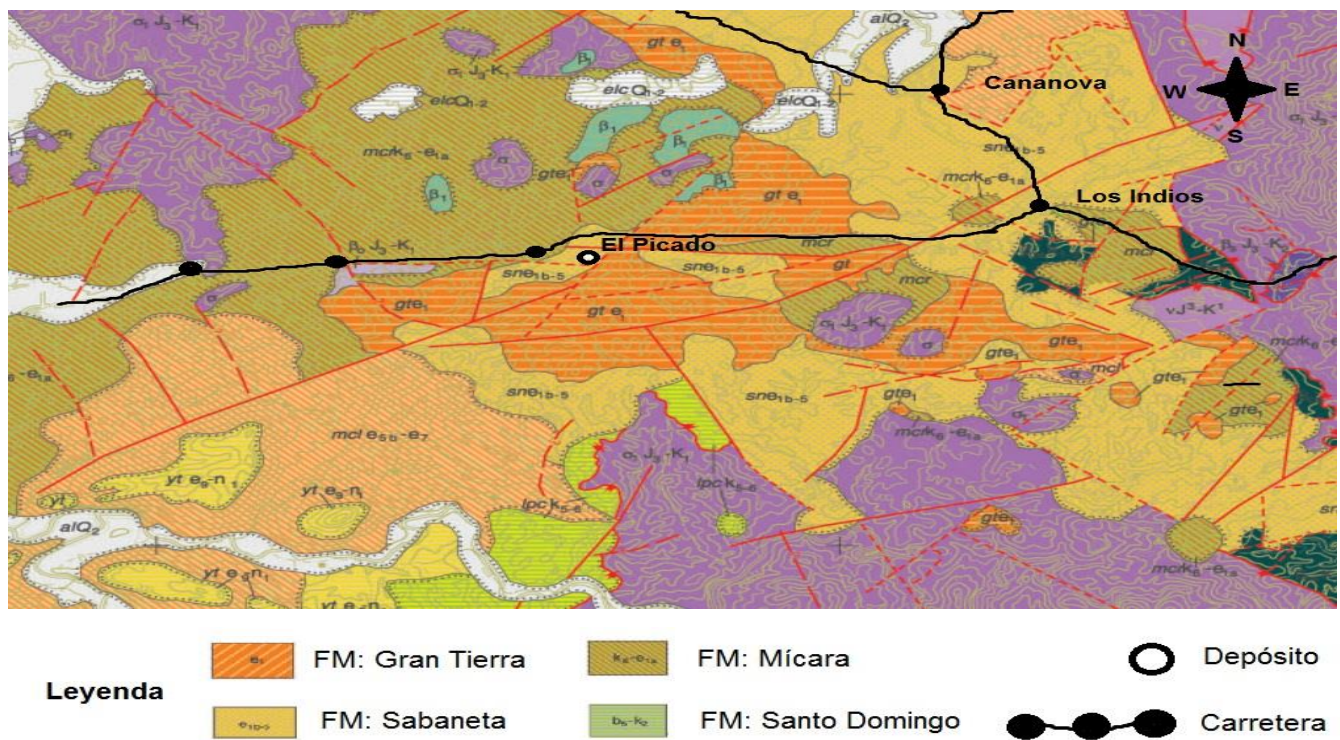


Figura 1.5 Esquema geológico del área de estudio. Instituto de Geología y Paleontología (2011), mapa original a escala: 1:100 000.

Estratigrafía

Las principales formaciones que aparecen en la zona de estudio son:

Formación Mícará. Areniscas polimíctica y aleurolitas (k2 m - P1 (1)).

Formación Gran Tierra. Calizas brechosas, conglomerados, vulcanomícticos (P1 (1)).

Formación Sabaneta. Tobas vitroclásticas, areniscas tobáceas (P1 (1) - P2 (2)).

Asociación Ofiolítica del Cretácico: serpentinitas y gabro.

Tectónica

El tectonismo se distingue por suaves pliegues en ocasiones, afectados por fallas. En la formación Sabaneta los pliegues tienen buzamiento muy suave, aunque continuos, formando estructuras alargadas de anticlinales con sus ejes en dirección Noreste-Sureste.

Características de la composición sustancial de la materia prima

Están representadas por tobas vitroclásticas y vitrocrystaloclasticas de color gris, textura masiva, estructura vitroclástica psamítica, constituida por vitroclastos, cristaloclastos, litoclastos. Morfológicamente el depósito adquiere una estructura de pliegues anticlinales, las cuales forman elevaciones que en sus partes superiores se acumulan las tobas con contenido de vidrio volcánico considerable. Además, se observan estructuras monoclinales con buzamientos de las capas hacia el norte-noreste con ángulos aproximadamente de 15 grados y hacia el sur con ángulos de 8 grados.

A continuación se presenta la composición química promedio; (ver tabla 1.2), y la composición mineralógica promedia; (ver tabla 1.3), perteneciente al depósito de tobas vítreas de Sagua de Tánamo.

Tabla 1.2 Composición química promedio. Depósito el Picado. Banderas et al.1997

Composición química	Valor, en %
Al ₂ O ₃	14,22
SiO ₂	60,84
TiO ₂	0,47
FeO	0,48
K ₂ O	1,4
MgO	2,56
Na ₂ O	2,68
Fe ₂ O ₃	3,82
CaO	4,48
CaCO ₃	5,02

Tabla 1.3 Composición mineralógica, valores promedios en %. Depósito El Picado. (Banderas, Naranjo, Rodríguez, & Rojas, Nov. 1997)

Sectores	Vidrio Volcánico	Montmorillonita	CaCO ₃
Sector I	74,80	19,55	5,67
Sector II	64,45	27,59	5,63
Sector III	76,17	21,70	2,19
Sector IV	70,34	23,60	5,02
Depósito	71,80	22,95	4,50

Conclusiones del capítulo 1

- Las puzolanas representan un área de oportunidad de gran importancia para nuestro país, las tobas vítreas son materiales de grandes perspectivas las cuales no son ampliamente aprovechadas en la actualidad.
- Para evaluar las puzolanas se deben tener en cuenta diferentes parámetros como la granulometría, resistencias mecánicas adecuadas y la composición química. En este sentido se consideran de particular importancia los altos contenidos de SiO₂; Al₂O₃ y Fe₂O₃ y mínimos para los componentes alcalinos y alcalinotérreos.
- La adición de puzolana al cemento Portland le confiere propiedades de gran importancia práctica, como son: aumento de su estabilidad química y durabilidad, disminuye el calor de hidratación y la densidad, aumenta su porosidad y disminuye la permeabilidad, además de la disminución del contenido de la portlandita con el aumento de la formación del gel cementicio C-S-H.
- La formación genética del depósito Sagua de Tánamo es el resultado de la acumulación de cenizas volcánicas depositadas al parecer en cuencas de mares someros y tranquilos (se detectaron restos de microorganismos).
- Tomando en consideración la posición bien definida desde el punto de vista estratigráfico del depósito y de los rasgos estructurales, además de la poca variabilidad en cuanto a los parámetros de la materia prima podemos concluir que el depósito es poco complejo.

CAPÍTULO II. MATERIALES Y METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

En este capítulo se describe la metodología empleada para el análisis de las tobas vítreas del depósito Sagua de Tánamo, específicamente del sector I. A continuación se presenta el esquema general del procedimiento; ver figura 3.1.

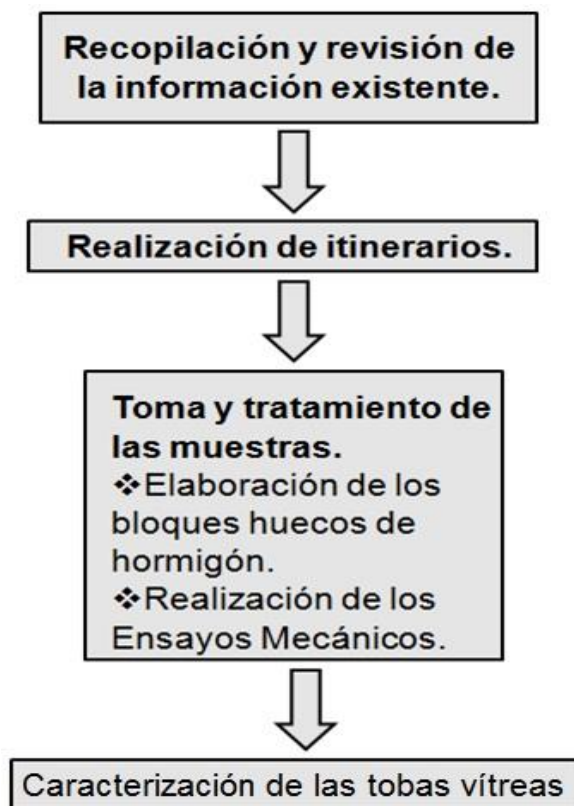


Figura 3.1. Esquema general del procedimiento

2.1 Recopilación de la información

Esta etapa se desarrolló en varios centros tales como el ISMMM (Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa), en la Dirección Municipal de Planificación Física de Sagua de Tánamo, en la industria de materiales de la construcción UEB Sagua de Tánamo, etc. En esta etapa se recopiló información referente al tema mediante la consulta de bases de datos e informes.

De esta información obtenida se realizó una intensa revisión bibliográfica de artículos científicos, trabajos de diplomas y otros documentos relacionados con la temática abordada en la investigación, disponibles en los centros de información mencionados.

Algunos ejemplos de los trabajos realizados con anterioridad en esta área de estudio son: Caracterización de las tobas zeolitizadas de Caimanes y vítreas de Sagua de Tánamo para fabricar materiales de pequeño formato. (Jiménez 2017); perspectivas de utilización de tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín como aditivo puzolánico (Almenares, 2011); Reevaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo como puzolanas naturales (de Armas 2008).

Esta revisión bibliográfica fue apoyada por la correspondiente búsqueda en sitios Web de la INTERNET especializados en la temática, lo que contribuyó significativamente al enriquecimiento de la información con datos actualizados.

2.2 Realización de itinerarios

En los itinerarios se tuvieron en cuenta dos objetivos fundamentales; ubicar los puntos que según la bibliografía recopilada ya habían sido estudiados anteriormente, y reconocer el área de estudio.

El mismo se realizó a pie. Se empezó por el sector I, luego el sector IV, y por último los sectores II y III.

Para el estudio de la caracterización de las tobas vítreas de este depósito como aditivo porcentual del cemento Portland, se escogió el sector I; no solo por sus características físico-químicas y mineralógicas favorables, sino por su cercanía a la carretera Sagua-Moa, y su fácil acceso. Teniendo en cuenta que la presencia de arcilla en estas tobas vítreas disminuye la actividad puzolánica, se buscó un sector que tuviera menos contenido arcilloso.

2.3 Toma y tratamiento de las muestras

Las muestras fueron tomadas del sector I del depósito de Sagua de Tánamo (El Picado), se tomaron 2 sacos aproximadamente de este material.

Se utilizó el método de puntos, que consistió en la obtención de trozos de la materia prima, aprovechándose el desprendimiento de rocas realizado por la cuchilla de un tractor al pasar anteriormente. El método en cuestión es sencillo y confiable, la figura (2.2) visualiza una muestra obtenida.



Figura 2.2 Sector I del depósito Sagua de Tánamo

Las muestras tomadas fueron sometidas a un proceso de reducción de tamaño que consta de dos etapas de trituración, cada una por separado. En la primera etapa se utilizó la trituración por un molino de quijada. Posterior a esta se realizó una nueva trituración que se realizó con un molino de martillo. En la descarga de la segunda etapa de trituración se realizó un cribado de control con un tamiz de 0.21 mm. El material retenido en el tamiz fue desechado, y el cribado obtenido fue nuevamente tamizado con un tamiz de 0.07 mm, el material retenido en este fue desechado y el cribado obtenido en esta última fracción (menor de 0.07 mm) se utilizó para la elaboración de los bloques a los cuales se les realizaron los ensayos para la determinación de la resistencia a la compresión mecánica y absorción.

2.4 Métodos y técnicas analíticas empleadas en la investigación

La investigación se desarrolló siguiendo el método tradicional de experimentación, el cual estuvo apoyado para su valoración en técnicas de análisis de caracterización granulométrica, determinación de la composición química, la descripción de su densidad, la caracterización mineralógica, el índice de actividad resistente y absorción.

Referente a la resistencia a la compresión y la absorción se tuvo en cuenta la norma cubana NC-247-2010 (Especificaciones de calidad, método de ensayo).

2.4.1 Método utilizado en la investigación

Fue utilizado el método tradicional de experimentación. El porcentaje escogido para la sustitución de cemento Portland por vidrio volcánico se fundamenta, en que la adición de puzolana para la producción de Cemento Portland Pozolánico, constituye entre un 15 y 40 %, de acuerdo a lo establecido en la ASTM C 595.

Para determinar la existencia de propiedades puzolánicas en estos materiales, se tomó un porcentaje de 20 %. Para ello se partió del análisis previo, realizado en las investigaciones de: (Jiménez, 2017; Almenares, 2011; de Armas, 2008). etc.

2.4.2 Determinación de la composición granulométrica

El análisis granulométrico realizado se empleó para la determinación de la composición granulométrica del árido grueso y fino y del material tobáceo utilizado en la construcción de bloques huecos de hormigón.

Para el caso del árido grueso y fino El proceso se basa en la determinación de las fracciones granulométricas 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 mostrada en la figura 2.3, hasta lograr tamizar todo el material posible en cada tamiz para las diferentes muestras analizadas.

El análisis granulométrico del material tobáceo se realizó en un analizador de tamaño de partículas; HORIBA LA – 910, de la Empresa “Comandante Pedro Sotelo Alba”, Moa Nickel S.A, el mismo fue realizado por (Almenares, 2011)



Figura 2.3 Tamizadora

2.4.3 Determinación del índice de actividad puzolánica con cemento portland

Para la determinación de este índice se tomaron los resultados de las pruebas de compresión simple a las diferentes edades y se obtuvo a través de la ecuación (1):

Ecuación 1. Índice de actividad puzolánica.

$$IAR = \frac{A}{B} \cdot 100$$

Donde:

IAR: índice de actividad resistente.

A: promedio de la resistencia a la compresión de los bloques huecos de hormigón de ensayo (puzolana y cemento), MPa.

B: Promedio de la resistencia a la compresión de los bloques huecos de hormigón patrón (cemento), MPa.

El método se recoge en la ASTM C 311 y la norma cubana NC TS 527.

Dado que para determinar el índice de puzolanidad se necesita conocer la resistencia a la compresión de los bloques huecos de hormigón con adición, como de los bloques huecos de hormigón de referencia, se realizaron pruebas de resistencias mecánicas que tributan a su determinación.

2.4.3.1 Determinación de la resistencia mecánica

La determinación de la resistencia a la compresión de las tobas vítreas se realizó a través de pruebas de bloques huecos de hormigón de (40x10x20) cm.

Ensayo de resistencia a la compresión

En el ensayo de resistencia a la compresión cada bloque se sometió a un esfuerzo sobre las dos caras horizontales del mismo. Para ello se recubrió cada cara del bloque con cemento P-350 (Fig.2.4) nivelado correctamente con el nivel. El conjunto se colocó entre los platos de 25x25 cm de la prensa que aparece en la (Fig.2.4), cuya rótula está centrada sobre el eje de las secciones sometidas a compresión. Los platos se guiarán sin fricción apreciable durante el ensayo para poder mantener siempre la misma proyección horizontal. La placa superior con rótula recibe la carga transmitida por el plato superior de la prensa a través del conjunto de deslizamiento el cual debe ser capaz de oscilar verticalmente, sin apreciable fricción en el aditamento que guía. Después de haber llegado al punto máximo de rotura las agujas del reloj se detienen; esto indica la resistencia del bloque, y después de quitar la presión de la carga retorna automáticamente a la posición inicial.

La resistencia a la compresión R_i se calculó mediante la ecuación (2):

Ecuación 2. Resistencia a la compresión.

$$R_i = \frac{F_i}{a_i}$$

Donde:

R_i : Resistencia a la compresión de cada bloque (MPa)

F_i : Carga de rotura.

a_i : área de la sección bruta del bloque

La resistencia a la compresión media (R_m) se calcula por medio de la ecuación (3):

Ecuación 3. Resistencia a la compresión media.

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}$$

Donde:

R_m : Resistencia a la compresión media (Mpa)

R_i : Resistencia a la compresión de cada bloque (MPa)

n Tamaño de la muestra de ensayo



Figura 2.4 Recubrimiento de las caras del bloque y la prensa

Los ensayos de resistencia a la compresión se realizaron a las edades de rotura de 9, 22 y 24 días; a los 9 días se realizó la rotura de 3 bloques con sustitución puzolanánica y de 3

bloques patrones; a los 22 días se rompió 3 bloques patrones; y a los 24 días se rompieron 3 bloques con sustitución puzolánica. Para el material ensayado a las diferentes edades, se consideró que la resistencia de los bloques huecos de hormigón a la compresión, viene expresada por el valor medio de los resultados obtenidos. Para la realización de los ensayos de compresión es necesaria la confección de bloques huecos de hormigón.

2.4.3.2 Preparación de los materiales para la conformación de los bloques huecos de hormigón

Se elaboraron 7 bloques de (40x10x20) cm; con un 20 % de sustitución puzolánica, y se confeccionaron 7 bloques de (40x10x20) cm sin añadir puzolanas para muestras patrones ver (Fig.2.5). Para la realización de los bloques huecos de hormigón se empleó granito 3/8 como árido grueso proveniente de la arenera de Sagua de Tánamo, el árido fino que se utilizó fue arena extraída del río del mismo municipio y triturado en la misma arenera, el cemento que empleamos fue P-350 en bolsos de las empresas productoras de cemento del país.

La dosificación empleada en la confección de los bloques huecos de hormigón es la utilizada por la entidad constructora, perteneciente a la empresa de materiales de la construcción UEB de Sagua de Tánamo (Tabla 2.1). En este taller se utiliza una máquina estacionaria de hacer bloques fabricada en nuestro país compuesta por una estructura metálica de vigas y angulares básicamente, así como los elementos, moldes y mecanismos que permiten el vertido del hormigón hacia la concretera. 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.

Nota: El hormigón que se utilizó para los bloques de ensayos con sustitución puzolánica se elaboró manualmente, porque el material utilizado fue muy poco en comparación con la capacidad de la concretera.

Los bloques una vez terminado el proceso de producción se retiran manualmente, los cuales se trasladan con dos hombres para su posterior secado y curado. El curado es llevado a cabo suministrándole agua a cada uno de los bloques durante más de 48 horas, con un sistema de mangueras o manualmente. Para la realización del trabajo con los bloques huecos de hormigón de la investigación se les hace el mismo curado mencionado para

posteriormente realizar los ensayos a 9, 22 y 24 días para garantizar una mejor reacción del cemento con el material puzolánico.

Tabla 2.1 Dosificación utilizada para la conformación de los bloques huecos de hormigón (40x10x20) con sustitución de puzolanas para una tanda de 7 unidades.

Material	% de sustitución,	Dosificación				
		Cemento (Kg)	Tobas (Kg)	Arena (m3)	Granito 3/8 (m3)	Agua (L)
Patrón Sagua	-	6.72	-	0.0294	0.0266	apreciación
Tobas vítreas Sagua de Tánamo	20	5.376	1.344	0.0294	0.0266	apreciación



Figura 2.5 Bloques huecos de hormigón (40x10x20).

Luego de realizada la confección de los bloques huecos de hormigón se realizó su documentación y posteriormente se almacenaron para recibir el curado adecuado hasta su día de rompimiento.

2.4.4 Ensayos de absorción de bloques huecos de hormigón

El ensayo de absorción realizado a los bloques huecos de hormigón se determinó mediante la NC- 247- 2010 en la que establece que los bloques huecos de hormigón deben secarse en una estufa de 105-110°C (Figura 2.6), luego se le realizará un pesado para determinar su peso seco (Figura 2.7), luego sumergirán en agua por 24 horas (Figura 2.8) y se retiraran después de este tiempo para realizarle un secado con una tela por sus caras y realizarle el pesado húmedo. Con estos datos se realiza el cálculo de absorción mediante la ecuación (4):



Fig. 2.6 Estufa



Fig. 2.7 Pesa digital



Fig. 2.8 Bloque en agua

Ecuación 4. Absorción de Agua.

$$A_i = \frac{M_{hi} - M_{si}}{M_{si}} \times 100$$

Donde:

A_i : es la absorción de la muestra (%)

M_{hi} : es la masa húmeda de cada unidad de la muestra (kg)

M_{si} : es la masa seca de cada unidad de la muestra (kg)

Conclusiones del capítulo 2

- Las muestras de vidrio volcánico tomadas para ser caracterizadas son del depósito de tobas vítreas de Sagua de Tánamo y son representativas.
- Las técnicas analíticas y experimentales que fueron aplicadas en el material y la mezcla preparada para el desarrollo de la investigación reúnen los requisitos según las normas cubanas.

CAPÍTULO III: RESULTADOS ALCANZADOS

Se caracteriza el material tobáceo tomando en cuenta los requerimientos que teóricamente aseguran la reactividad de las puzolanas, dentro de los que se encuentran los altos contenidos de SiO_2 ; Al_2O_3 y Fe_2O_3 y mínimos para los componentes alcalinos y alcalinotérreos, poseer una estructura amorfa o débilmente cristalizada, y granulometría fina (Malhotra y Mehta, 1996; Gener y Alonso, 2002; Erdogan, 2002; Erdogan, 2002; Quintana, 2005; Rabilero, 2005). Se consideran además, los requerimientos establecidos por la ASTM C 618 -08, los cuales para muchos autores son las más empleadas en la evaluación de materiales puzolánicos (Pourkhorshidi et al. 2010), (Gava y Prudêncio, 2007a, 2007b).

También se presentan los resultados experimentales que confirman la hipótesis científica sobre las potencialidades de los materiales tobáceos del depósito Sagua de Tánamo, a través de sus características granulométricas, químicas, mineralógicas y de densidad, de ser empleados como puzolanas naturales, y el análisis de las perspectivas de utilización a partir de los resultados de los ensayos mecánicos que permitieron la determinación de su actividad puzolánica.

3.1 Resultados experimentales y su análisis

3.1.1 Caracterización granulométrica

El procedimiento utilizado para determinar la composición granulométrica de la materia prima empleado en la elaboración de los bloques huecos de hormigón se realizó según las metodologías descritas en el acápite 2.4.2. Se logra obtener datos de las materias primas utilizadas los cuales se interpretaron con el objetivo de determinar su calidad para el uso industrial.

Características granulométricas del árido grueso y fino

Los datos obtenidos a partir de los análisis descritos en el acápite 2.4.2 se muestran en las siguientes tablas (3.1- 3.2). Los áridos utilizados en la confección de los bloques huecos de hormigón se determinaron como aptos según las especificaciones de la NC-251-2013 (Árido para Hormigones Hidráulicos).

Tabla 3.1 Composición granulométrica del árido grueso (granito 3/8 de la arenera de Sagua de Tánamo).

Diámetro de tamiz (mm)	19	12.5	9.50	4.75	2.38
% pasado	100	93	57	12	2
Rango permisible	100	90-100	40-70	0-15	0-5

Tabla 3.2 Composición granulométrica del árido fino (arena obtenida del río de Sagua y triturada en la misma arenera).

Diámetro de tamiz (mm)	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15
% pasado	100	96	75	54	38	17	3
Rango permisible	100	90-100	70-100	45-80	25-60	10-30	2-10

Características granulométricas de las tobas vítreas del depósito Sagua de Tánamo.

El análisis granulométrico fue realizado por (Almenares Reyes, 2011), donde utilizó un analizador de partículas HORIBA LA – 910. Las tobas vítreas de Sagua de Tánamo son de granulometría fina (Figura 3.1), el 80 % del material pasa el tamiz 74 μm , su diámetro medio esté en el orden de los 33 μm . Además se constató que presenta una superficie específica de 7782 cm^2/cm^3 . Las propiedades analizadas permiten argumentar con mayor precisión, las adecuadas características granulométricas del material investigado al conocer que se trata de un material fino y con elevada superficie específica, lo que permite un mayor contacto entre las partículas y favorece el proceso de aglomeración en la mezcla con el cemento. Es conocido que la finura influye en la intensidad de la reactividad puzolánica (Day; Shi, 1994; Erdogdu, 1996; Rosell, 2007; Costafreda, 2011). Esta característica muestra posibilidades para su utilización como puzolana natural.

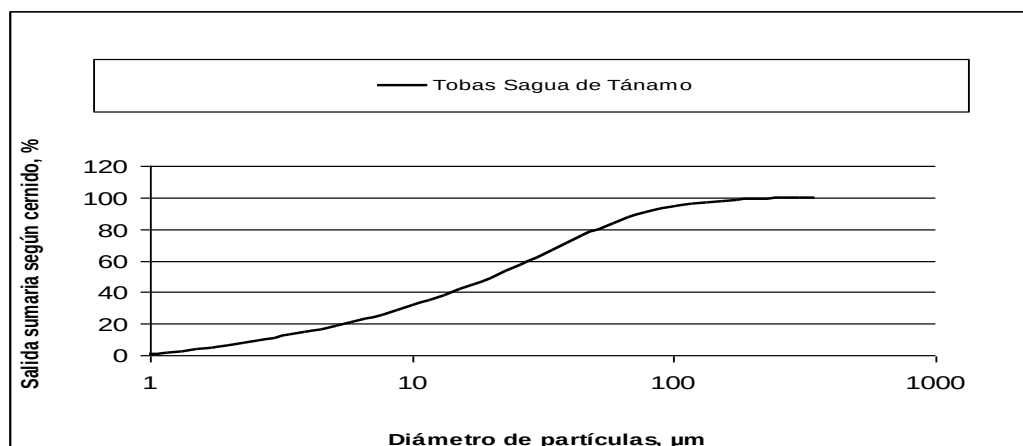


Figura 3.1. Característica de tamaño de las muestras de tobas vítreas de Sagua de Tánamo.

Para el empleo de las tobas vítreas obtenidas del sector I del depósito Sagua de Tánamo como aditivo puzolánico se trituró y se tamizó manualmente a una medida que es menor a 0.07 mm.

3.1.2 Densidad

La densidad del material tobáceo se realizó por (Almenares, 2011), se empleó el método picnométrico según las condiciones y procedimientos exigidos en la NC 523: 2007. La densidad del material para todas las muestras analizadas y los experimentos descritos muestran buena uniformidad, la cual comparada con la establecida por la ASTM C – 618, presenta una variación menor a 5%, aducido por la determinación de cinco pruebas, resultados que se muestran en la tabla 3.3. Esta característica también la hace acreedora de una buena cualidad para ser empleada como aditivo puzolánico.

Tabla 3.3. Resultados de la determinación de la densidad

No. Experimento	Densidad, g/cm ³	Variación, %
1	0,76	1,76
2	0,77	0,84
3	0,76	2,06
4	0,79	2,05
5	0,79	2,43
Promedio	0,77	1,83

3.1.3 Caracterización química

El análisis químico cuantitativo fue realizado por (Almenares, 2011), se realizó por fluorescencia de rayos X (FRX), en un equipo Axios previamente calibrado y bajo una atmósfera de vacío. En la tabla 3.4 se aprecia que los compuestos que aparecen como constituyentes son: en mayores cantidades óxido de silicio y óxido de aluminio, con composición media el óxido de hierro III, óxido de calcio y en menores cantidades óxidos de sodio, magnesio, potasio y manganeso. Los resultados de la composición química, coinciden con los reportados por (Banderas et al., 1997) y (Solís, 2010), con muestras de diferentes sectores del yacimiento Sagua de Tánamo para otros estudios. La tabla 3.5 muestra otros elementos químicos en cantidades trazas, los cuales justifican la presencia de algunas fases mineralógicas minoritarias.

Dada su composición química, estos materiales, cumplen con las exigencias establecidas, en lo que respecta a sus contenidos de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 , cuyos valores superan el 70 % en todos los casos, que es el valor mínimo exigido en la norma ASTM C - 618. Los contenidos de SO_3 y las pérdidas por ignición, también están en correspondencia con lo normalizado pues sus valores están por debajo del valor máximo establecido.

Sobre la base de la composición química de las tobas analizadas, se pueden clasificar geológicamente como rocas vulcano-sedimentarias, de composición dacítica, como se puede observar en la figura 3.2. Según las investigaciones de Ramachandran (1995), se conoce que las tobas de composición dacítica tienen buena puzolanidad.

Estas características hacen a las tobas vítreas de Sagua de Tánamo, ser un potencial puzolánico natural.

Tabla 3.4. Composición química de las tobas vítreas de Sagua de Tánamo reportadas por diferentes autores.

Composición química	Banderas et al.1997	Solís 2010	Almenares Reyes 2011
Contenido, %			
SiO_2	60,8	60,51	68,86
Al_2O_3	14,22	14,03	13,63
MnO	...	0,03	0,06
MgO	2,56	2,38	2,64
Na_2O	2,68	2,85	1,87
CaO	4,5	4,11	5,34
TiO_2	0,47	---	0,49
P_2O_5	---	---	0,1
K_2O	1,4	1,24	2,27
Fe_2O_3	3,82	6,38	4,58
PPI	---	8,40	8,83

Tabla 3.5. Contenido de elementos trazas en las tobas

Elemento	Ba	Co	Cr	Cu	Nb	Ni	Ga	Pb	Sr	Th	V	Y	Zr	Zn
Contenido, ppm	666	5	54	49	6	40	17	24	232	14	55	27	262	92

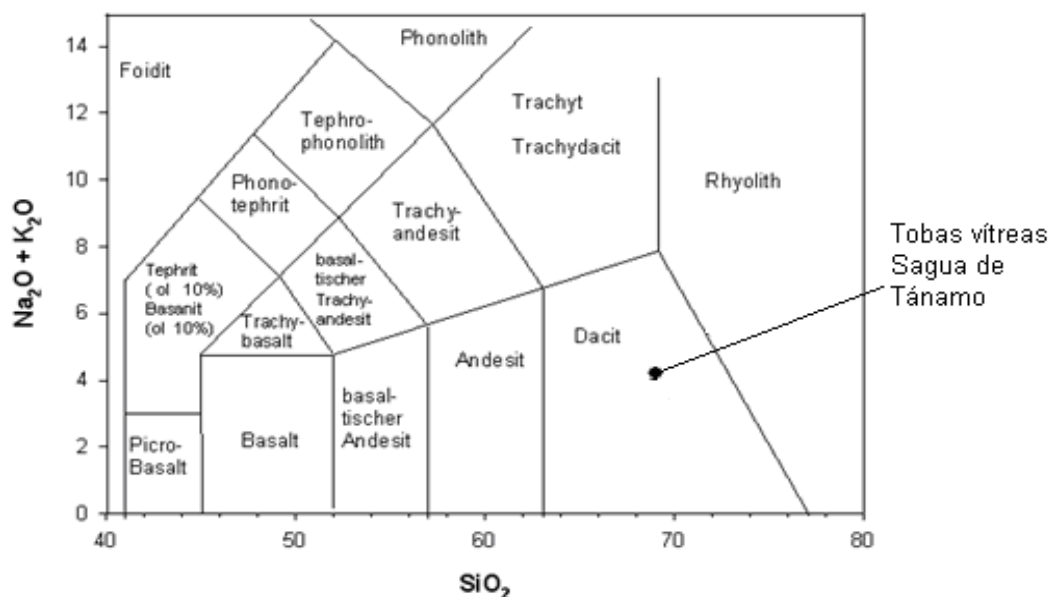


Figura 3.2. Clasificación de las tobas vítreas del depósito Sagua de Tánamo según su origen. Diagrama TAS (Total Alkali - Silica).

3.1.4 Caracterización mineralógica.

El análisis mineralógico se realizó por (Almenares, 2011), donde utilizó el método de Difracción de Rayos X (DRX) cuyas mediciones se realizaron en un difractómetro de rayos X Phillips X'Pert, desde 5 hasta 80 grados 2θ , paso de $0,04^\circ$ en un tiempo de 3 segundos y radiación de Cu.

Para inferir que un material posee o tiene potencialidades de poseer actividad puzolánica, no es suficiente la cuantificación de la presencia de dióxido de silicio, alúmina y óxido de hierro, y en general de su composición química, sino que es conveniente conocer otras características.

Varios autores entre los cuales se encuentran Gener (2002) y Valdez (2004), han demostrado la influencia de la composición mineralógica sobre la actividad puzolánica. De esta manera, se hace referencia en el trabajo a la composición mineralógica de los materiales analizados.

Las tobas del depósito, mineralógicamente están constituidas por vidrio volcánico y montmorillonita, subordinadamente aunque en bajos porcentos, calcita, cuarzo y feldespato. El vidrio volcánico presenta un contenido mínimo de 54,2 %, y máximo 80 % y la montmorillonita, un contenido máximo igual a 39,8 %, y uno mínimo igual a 16,1. (Banderas, Naranjo, Rodríguez, & Rojas, Nov. 1997)

Las tobas de Sagua de Tánamo, son esencialmente vitroclásticas y vitrocrystaloclástica, son ligeras, porosas, de color gris a gris blancuzco, abrasivas al tacto y son atravesadas por intercalaciones de tufitas y calizas margosas y organodetríticas, presentan cierto grado de alteración por la presencia de contenidos de montmorillonita.

Según (Massazza, Costa, Sept. 1977, Gener, Julio. 1985 y Rabilero, 1987) las fases principales que intervienen en la acción puzolánica, son la fase vítrea y la estructura zeolítica, aunque esta última se manifiesta más lentamente; estas fases son consideradas activas. Las estructuras arcillosas como la montmorillonita son clasificadas como fases no activas e indeseables ya que incrementan los requerimientos de agua de las mezclas, disminuyen las fuerzas mecánicas e intercambian la cal de forma semejante a las zeolitas, pero sin formar productos de hidratación. Los minerales bien cristalizados como el cuarzo, la calcita y otros se consideran fases inertes.

Aunque se ha reportado que las fases cristalinas no poseen actividad puzolánica (Odler, 2000), sin embargo, aquellas que se encuentran desordenadas presentan algo de actividad (Valdez, 2004), como es el caso de la albita y la anortita las cuales pueden presentarse con cierta alteración.

No obstante, según Malhotra y Mehta (1996), la cantidad de material amorfo es lo que generalmente determina la reactividad de una puzolana natural ya que a la combinación de la estructura pobremente cristalina o vítrea se le atribuye la reactividad de los materiales puzolánicos.

Del análisis realizado se puede deducir que el material analizado tiene cualidades para ser empleado como material puzolánico, pues presenta un porcentaje de matriz vítrea, que asegura, al menos teóricamente su actividad puzolánica.

La figura 3.3 muestra una Microfotografías tomada a muestras del depósito de tobas vítreas Sagua de Tánamo.

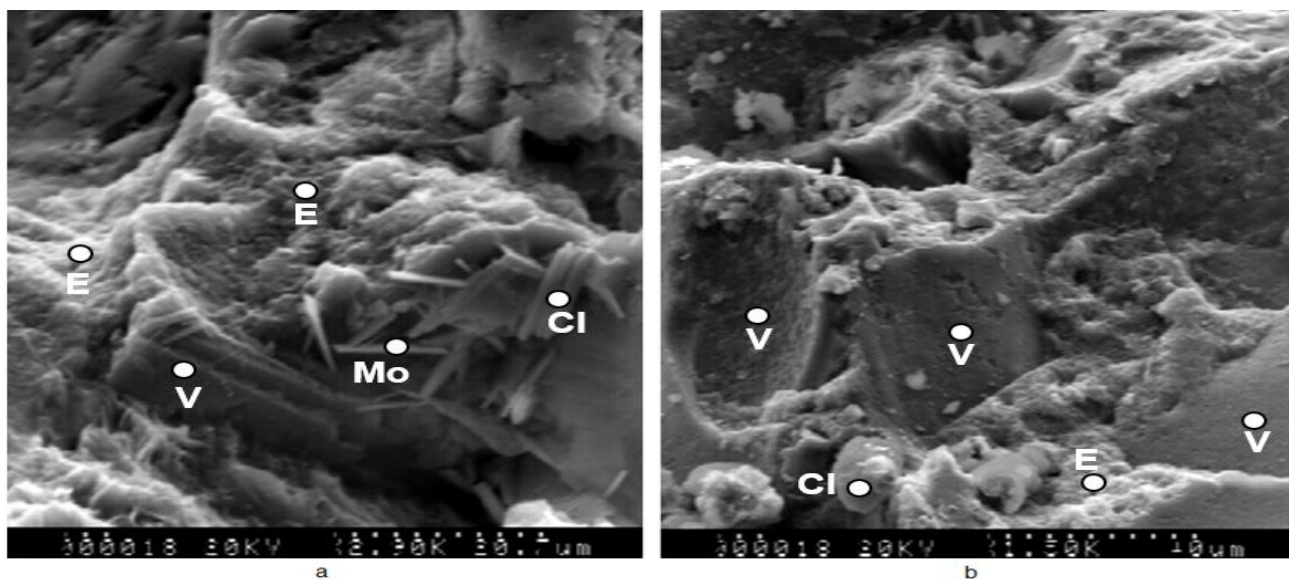


Figura 3.3 (a y b). Microfotografías representando las características morfológicas de dos muestras de tobas vítreas procedentes del depósito El Picado (Sagua de Tánamo, Provincia Holguín, Cuba). Tomado del Informe preliminar de los trabajos de campo realizados en la región de Moa y Holguín, Cuba (2015).

En (a) se observa un intrincado entrecrecimiento de esmectitas (E) formando masas irregulares y polimorfas de gran desarrollo. Se han originado, al parecer, a partir de la alteración del vidrio volcánico (V). Los cristales de clinoptilolita (Cl) y mordenita (Mo) son singenéticos con la formación de esmectitas, lo que corrobora también su génesis a partir del vidrio volcánico.

En (b) se observa con mayor aumento la profusión de vidrio alterado con formación incipiente de clinoptilolita.

3.2 Análisis e interpretación de resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de los bloque huecos de hormigón

3.2.1 Resistencia a la compresión mecánica

Los resultados de las pruebas de las resistencias a la compresión mecánica son de gran importancia para las posibles aplicaciones y control de la calidad de los bloques huecos de hormigón. En el trabajo se emplea precisamente, para verificar cómo se comportan las resistencias en el tiempo, y para determinar el índice de puzolanidad de los materiales con adición de tobas vítreas.

En la figura 3.4 se ofrecen los datos de los ensayos mecánicos a la compresión por muestras preparadas con tobas vítreas y muestras patrones; primero se realizó una prueba a los 9 días

con sustitución y sin sustitución puzolánica, posteriormente se realizó otra prueba a los 22 días sin sustitución puzolánica, y por último se realizó una prueba a los 24 días con sustitución puzolánica.

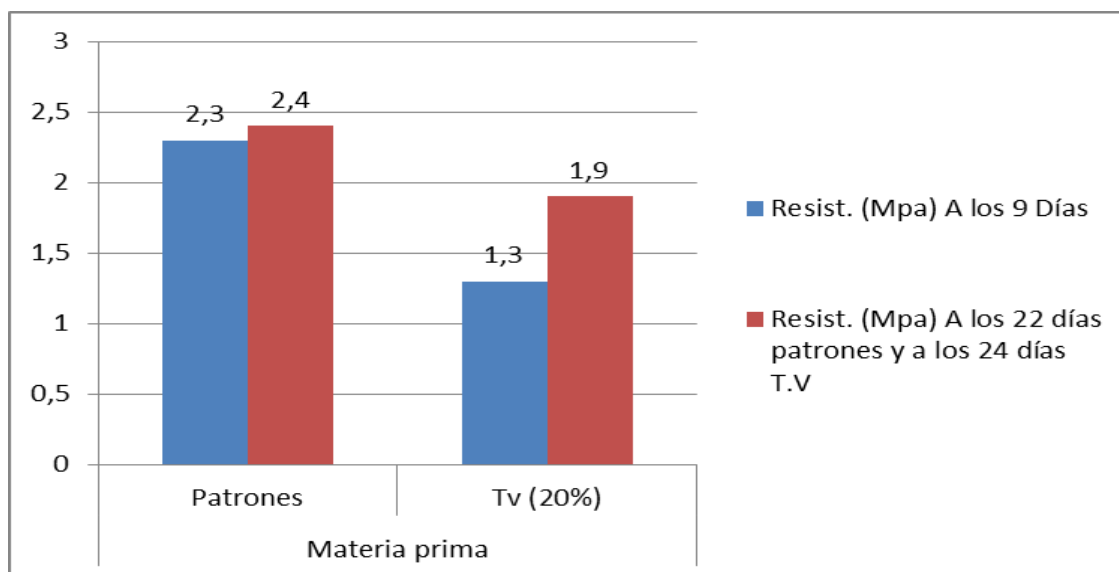


Figura 3.4. Datos de resistencia a la compresión (MPa).

Según los resultados obtenidos, se puede apreciar que existe un incremento en la resistencia mecánica en cuanto al tiempo; aumentando con mayor rapidez en los bloques con sustitución porcentual del cemento portland por tobas vítreas. Esto se debe a que los cementos puzolánicos alcanzan mayores resistencias que los cementos sin aditivos a los 28 días o mayores edades. El cemento, a los 28 días de fraguado se ha hidratado en gran medida y a partir de este tiempo el incremento de la resistencia es pequeño, mientras que los cementos con adiciones de puzolanas prosiguen la reacción entre estas y el hidróxido de calcio producto de la hidratación, dando lugar a la formación de productos que contribuyen a la elevación de la resistencia mecánica de los hormigones preparados con cementos puzolánicos.

Se debe tener en cuenta que la mezcla que se utilizó para la elaboración de bloques con sustitución puzolánica, se realizó manualmente debido a que fue muy poca cantidad con relación a la capacidad de la concreteira. Esto influye en la calidad de la misma, afectando su resistencia a la compresión mecánica.

En los bloques patrones, en solo 22 días la resistencia a la compresión mecánica aumentó un décima; mientras que en los bloques con sustitución puzolánica aumentó en 24 días, seis

décimas. Si tomamos en cuenta todo esto, en los bloques con sustitución puzolánica, a los 28 días pudiera aumentar hasta 2.0 M_{pa}, si no se hubiera dañado su resistencia a causa de la homogeneidad de la mezcla; siendo así un resultado representativo.

3.2.2 Análisis del Índice de actividad resistente

Los resultados obtenidos de los ensayos de la resistencia a la compresión de los bloques huecos de hormigón nos permitieron determinar el índice de actividad resistente (I.A.R) mediante la ecuación 1, estos datos se muestran en la tabla 3.7, donde presentan un mayor índice a edades más avanzadas.

Se debe destacar que la reacción puzolánica prevalece en el tiempo, es decir, mientras se produzca hidróxido de calcio la acción de la puzolana persiste, por lo que se puede considerar un proceso de larga duración. Según Campolat et al. (2003), en el aspecto práctico, este proceso es beneficioso, ya que con la neutralización del Ca(OH)₂ se obtendrán hormigones cada vez más resistentes, lo cual representa un aporte de estabilidad para las estructuras que se proyecten con el empleo de estas adiciones.

De acuerdo a los resultados mostrados para ambas dosificaciones, se deduce que el aumento de los valores del índice de actividad resistente es directamente proporcional a la magnitud tiempo. Característica esencial de los materiales puzolánicos.

Tabla 3.7 Datos de índice de actividad resistente obtenidos

Días	I.A.R (20% Tv)
9	56.52
22-24	79.17

3.3 Análisis de la absorción de agua de los bloques huecos de hormigón

El ensayo de absorción de los bloques huecos de hormigón se les realizó a bloques producidos con la dosificación antes mencionada en la tabla 2.1 (uno con un 20% de sustitución puzolánica, y el otro con un patrón), Solo se realizó para la comparación entre la absorción de los bloques con sustitución puzolánica y los de los bloques sin sustitución, que son los que se elaboran en la misma entidad donde se realizó la investigación; esto es debido a que la norma NC -247- 2010 no tiene en cuenta la absorción de este tipo de bloque (40x10x20) cm. Este ensayo se realizó a la edad de 25 días utilizando la ecuación 3. La tabla 3.8 muestra los resultados obtenidos, donde se refleja que los bloques con sustitución

puzolánica presentan mayor porcentaje de absorción, demostrando así una mayor permeabilidad.

Tabla 3.8. Datos de los ensayos de absorción realizados a los bloques huecos de hormigón a los 25 días

	Patrón	Tv (20%)
% de absorción	7.10	8.61

Conclusiones del capítulo 3

- Las tobas vítreas del sector I, del depósito Sagua de Tánamo, reúnen las condiciones para ser considerados materiales puzolánicos, lo que se fundamenta desde el punto de vista teórico, al considerar la adecuada composición química, granulométrica y mineralógica que estos poseen.
- Los bloques huecos de hormigón (40x10x20) fabricados con sustitución de un 20 % de tobas vítreas del sector de estudio presentan un buen comportamiento en cuanto a la resistencia a compresión y a la absorción; destacando que aunque no cumplió con los parámetros normalizados para su tipo en los primeros días, se confirmó en la práctica lo que se afirma en la teoría: que su resistencia a la compresión sigue aumentando en una proporción mayor que los bloques patrones.
- Mediante los ensayos físico-mecánicos realizados a los bloques huecos de hormigón (40x10x20) se denota mayor índice de actividad resistente al ser directamente proporcional a la magnitud tiempo.

CONCLUSIONES

- Las puzolanas representan un área de oportunidad de gran importancia para el municipio de Sagua de Tánamo, la cual no es debidamente explotada en la actualidad conferirle al cemento Portland propiedades de gran importancia práctica, como son: aumento de su estabilidad química y durabilidad, menor permeabilidad y mejora la laborabilidad de la mezcla.
- Desde el punto de vista práctico, al considerar la composición química, granulométrica y mineralógica determinadas en la investigación, se puede estimar que las tobas vítreas del sector de estudio reúnen las condiciones para ser considerados materiales puzolánicos.
- El material tobáceo del sector I del depósito Sagua de Tánamo tiene aplicabilidad como aditivo puzolánico con sustituciones de hasta un 20 % de cemento portland para fabricar bloques huecos de hormigón (40x10x20), mostrando resultados alentadores para su implementación en la construcción de viviendas.

RECOMENDACIONES

- Continuar las investigaciones para caracterizar la actividad puzolánica de las tobas, según las normas e investigaciones precedentes, en mayores periodos de tiempo.
- Determinar las características y parámetros de la molienda para proponer una tecnología de explotación de estos materiales.
- Investigar acerca de la posibilidad de utilizar los tobas vítreos como áridos, para la fabricación de bloques huecos de hormigón.
- Completar el estudio sobre la posibilidad de sustituir otros porcentos de tobas para la obtención de bloques huecos de hormigón.
- Divulgar los resultados obtenidos en esta investigación con el objetivo de lograr la introducción de esta materia prima mineral, dentro de la actividad constructiva a nivel local y regional.

BIBLIOGRAFÍA

1. Actualización de los lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución para el período 2016-2021. Aprobado en el 7mo congreso del partido en abril de 2016. Pág. 39 & 41.
2. Almenares Reyes, R. S. (s.f.). Caracterización de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo para su utilización como material puzolánico natural .
3. ASTM 595.-13, 2009: Standard Specification for Blended Hydraulic Cements, blended hydraulic cement, fly ash cement, hydraulic cement, Portland blast-furnace slag.
4. ASTM C 618-89. Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete. Section 4, Volume 4.01, 1989, pp. 296-298.
5. ASTM C 618-08: Standard Specification for coal fly ash and raw or calcined Natural Pozzolan for use as mineral admixture in Concrete.
6. ASTM C-311. 2008: Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for use as a Mineral Admixture in Portland-Cement Concrete.
7. Bouza, R. C.: Cinética del endurecimiento en los hormigones.
8. 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.
9. Benezet, J., Benhassaine, A. 1999: Influence de la taille des particules sur la réactivité pouzzolanique de poudres de quartz". Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées 219:17-28.
10. Costafreda, J. L. 2011. Granulometría y reacción puzolánica. IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS' 2011. Memorias [CD - ROM], La Habana, Cuba, 4 – 8 de abril.

11. De Armas Guerra, J. (2008). Reevaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo como puzolanas naturales. Moa.
12. Day, Robert L. y Shi, Caijun. 1994: Influence of the fineness of pozzolan on the strength of lime natural-pozzolan cement pastes. Cement and Concrete Research 24(8):1485 – 1491.
13. Erdogan, T.Y. 2002: Materials of construction. Middle East Technical University. Press. Ankara.
14. Erdogdu, K. 1996: Effects of pozzolanic cements of different fineness values and some mechanical properties of pozzolanic cements of different fineness values. Thesis. Middle East Technical University, Ankara.
15. Gava, G. P. y Prudencio, L. R. 2007: Pozzolanic activity tests as a measure of pozzolans' performance. Part 1. Magazine of Concrete Research 59(10): 729 – 734.
16. Gava, G. P. y Prudencio, L. R. 2007: Pozzolanic activity tests as a measure of pozzolans' performance. Part 2. Magazine of Concrete Research 59(10): 735 - 741.
17. Gener, R. M y ALONSO, L. J. M. 2002: Influencia de la composición mineralógica de puzolanas naturales en las propiedades de los cementos con adiciones. Revista Materiales de construcción 52 (267): 73-78.
18. Gener, M. Calidad de las tobas para cemento puzolánico. Informe PPE-046.12, CTDMC. La Habana, Cuba, Julio 1985.
19. Gener Rizo, M., & Alonso Lavernia, J. M. (Sep. 2002). *Influencia de la composición mineralógica de puzolanas naturales en las propiedades de los cementos con adición*. La Habana, Cuba: Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de Construcción y de la Empresa Constructora del Poder Popular.
20. Guillen Delgado, R. (2013). Características Geológicas y Evaluación de las tobas vítreas del Yacimiento Sagua de Tánamo para su utilización como aditivo puzolánico. . Moa.

21. Howland, J.; Blanco-Varela, M. T.; Gener, M. y Martín, A. R. 2006: Investigación sobre la durabilidad de los hormigones elaborados con cemento Portland y adición de puzolanas naturales, en ambiente marino. Pág. 2-10.
22. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (I.N.R.H.), (2013).
23. Jiménez García, A. (2017). Caracterización de las tobas zeolitizadas de Caimanes y vítreas de Sagua de Tánamo para fabricar materiales de pequeño formato. Moa.
24. López, L. M. 2006. Caracterización geológica de las materias primas minerales de los Municipios Moa – Sagua de Tánamo para su empleo como materiales de construcción. Inédito. Trabajo de Diploma. ISMM.
25. Leyva Rodríguez, C., Martín Sánchez, D. A., Crespo, E., Almenares Reyes, R., Barea Pérez, I., Guerra Gonzales, Y., y otros. (2015). Informe preliminar de los trabajos de campo realizados en la región de Moa y Holguín, Cuba. Holguín.
26. Massazza, F; Costa, U. Aspecto de la actividad puzolánica y propiedades de los cementos puzolánicos. Seminario sobre la química de los cementos, Wexham Springs, Reino Unido. Sept. 1977.
27. Malhotra, V. M. y Mehta, P. K. 1996: Pozzolan and cementitious materials. Published by Gordon and Breach. UK. 1996.
28. Muxlanga, R. 2009: Evaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo para su utilización como árido y puzolana natural en la construcción”.
29. NC 247.-2010: Bloques huecos de hormigón – Especificaciones.
30. NC TS 527-2007: Cemento hidráulico. Método de ensayo. Evaluación de las puzolanas.
31. NC-251-2013: Árido para Hormigones Hidráulicos.
32. Odler, I. 2000: Special Inorganic Cement, E and Fn Spon. 150 p.
33. Quintana, C. E. 2005: Relación entre las propiedades geotécnicas y los componentes puzolánicos de los sedimentos pampeanos. Emilio R. Redolfi (Tutor). Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba. 308 p.

34. Rabilero, A.: Libro "Las puzolanas. Cinética de reacciones"
35. Rabilero, A. Las puzolanas. Editorial Oriente. La Habana, Cuba, 1987
36. Rabilero, A. C. 2005: Mineralogía de las puzolanas. VI Congreso de Geología. Primera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GOCIENCIAS'2005. Memorias [CD-ROM], La Habana, Cuba, 5 - 8 de abril.
37. Ramachandran, V. S. 1995: Concrete Admixtures Handbook. Second Edition, Noyes. 670 p.
38. Reyes, A. S. R. 2011 : en su trabajo de maestría "Perspectivas de utilización de tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín como aditivo puzolánico".
39. Revista "Construcción y tecnología", Vol. XII, Núm. 135, agosto 1999, pp. 6.
40. Rosell, M. 2007: Influencia del tamaño de partícula de zeolita en su actividad puzolánica. II Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2007. Memorias [CD - ROM], La Habana, Cuba, 20 – 23 de marzo.
41. Valdez, P. L.; Das Roy, T K y Rivera, R. 2004: Evaluación de la velocidad de hidratación en sistemas puzolanas naturales – portlandita. Ciencia UANL, VII (002): 190 - 195.
42. V. S. Ramachandran, James J. Beaudain, "Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology", principles, Techniques and Applications. Williams Anderw publishing, 2001, pp. 15.
43. V. M. Malhotra and Kumar, "Pozzolan and Cementitious Materials", Gordon and Breach Publishers. 1996, preface.
44. CAMPOLAT, F.; YILMAZ, K., KÖSE, M., SÜMER, M y YUURDUSEV, A. 2003: Use of zeolite, coal bottom ash and fly ash as replacement materials in cement production. Cements and Concrete Research. 1 - 6.
45. Castro Morales, Y. (17 de diciembre de 2018). *yudy@granma.cu*. Recuperado el 18 de junio de 2019, de <http://www.granma.cu/cuba/2018-12-17/la-construcción-de-viviendas-es-una-prioridad-para-el-gobierno-cubano-17-12-2018-22-12-58>

ANEXOS

Anexo 1. Control de los ensayos de los bloques huecos de hormigón

Ministerio de la Construcción UEB SAGUA. Sistema de Control de Calidad SCCBQ NC: 247-- 2010						Control de los Ensayos Bloques de Hormigón						Empresa Materiales de Construcción Centro Bloques Sagua Tipo Bloques 400 x 200 x 200 mm () Tipo Bloques 400 x 150 x 200 mm () Tipo Bloques 400 x 100 x 200 mm (X)					
No Tes tigo	Dimensiones (cm.)					Resistencia a la Compresión Kg/cm2				Absorción %	Masa Kg	Fecha Producc	Turno Prod.	Lote No	Tamaño Lotes	Fecha de Ensayos	
	L	A	H	E	Area	Lect.	9 Días	Lect.	22-24 Días	25 Días		27/05/19				05/06/ 19	22- 24/06/1 9
1	397	96	192	24	381	88	2.3	90	2.4								
2	398	95	193	25	378	89	2.4	89	2.4								
3	397	95	192	26	377	85	2.3	87	2.3	7.10							
4	397	95	192	25	377	51	1.3	76	2.0								
5	397	96	192	24	381	52	1.4	87	2.3								
6	398	95	193	26	378	50	1.3	50	1.3	8.61							
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
B	2384	572	1154	150													
XF	397	95	192	25													
S																	
V																	

Observación

SI

No

Conformes: () (X)

Calidad :

Elaborado

Por : Jorge L Peña Zaldivar

A los 7 días

SI

NO

Se acepta El lote () ()

A los 14 Días

SI

NO

Se acepta El lote () ()

RK ____ Kg/f /cm2

V :----- S.R:-----

Firma :