

*Trabajo de Diploma en opción
al título de Ingeniero en
Minas*

Potencialidades de las tobas vítreas para su uso como aditivo
puzolánico en la localidad de Flores. Municipio de Banes.

Autor: Leonardo Reyner Romero Rojas

Curso: 2018-2019
“Año 61 de la Revolución”

Especialidad - Minas

Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero en Minas

**Potencialidades de las tobas vítreas para su uso como aditivo
puzolánico en la localidad de Flores. Municipio de Banes.**

Autor: Leonardo Reyner Romero Rojas

Tutores: Dr.C Carlos Alberto Leyva Rodríguez

MsC. Ismael Terrero Aguirre

Curso: 2018-2019

“Año 61 de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo: Leonardo Reyner Romero Rojas

Autor de este Trabajo de Diploma y los tutores Dr.C Carlos Alberto Leyva Rodríguez y MsC. Ismael Terrero Aguirre certificamos la propiedad intelectual a favor de la Universidad de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, hacer uso del mismo en la finalidad que estime conveniente.

Leonardo Reyner Romero Rojas

Diplomante _____

Dr.C Carlos Alberto Leyva Rodríguez

Tutor _____

Ms.C Ismael Terrero Aguirre

Tutor _____

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado muy especialmente a las personas más importantes en mi vida y las principales responsables de que haya sido posible mi paso por la universidad. Ellos son María Eugenia Rojas Rojas, Noel Romero Rodríguez, mi hermano, Meyvis Bicet Lara (mi esposa) y a la razón de mi existir, mi HIJO.

También lo dedico a una persona que durante estos 5 años se sacrificó a pesar de las dificultades y supo salir siempre adelante, sin importar la magnitud de los problemas, esa persona soy YO.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiera sido posible sin la ayuda incondicional de una serie de personas a las que siempre les voy a estar muy agradecido, por eso no puedo dejar de agradecerles a:

Toda mi familia, mis padres, a todos en general.

Mis tutores, el Dr Carlos Leyva Rodríguez y el MsC Ismael Terrero Aguirre.

Todos los profesores del departamento de minería y aquellos que no lo son que de una forma u otra contribuyeron a mi formación como profesional y a ser mejor persona.

Mis compañeros de grupo, a todos los que de una forma u otra tuvieron algo que ver en que yo pudiera llegar al fin de esta etapa de mi vida.

A TODOS MUCHAS GRACIAS

PENSAMIENTO

En la tierra hacen falta personas que trabajen más y critiquen menos, que construyan más y destruyan menos, que prometan menos y resuelvan más y aspiren a recibir menos y a dar más. Que digan ahora que mañana.

Che.



RESUMEN

En el presente trabajo se determinaron las propiedades puzolánicas de las tobas vítreas de la cooperativa de Flores, para evaluar las perspectivas de su utilización como adición mineral activa al cemento Portland, según los parámetros de calidad normalizados, al sustituir el cemento Portland con 20 % del material tobáceo natural. Se realizó una caracterización, basada en la determinación de la granulometría, mediante un analizador de tamaño de partículas 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. Además se realizó una comparación entre los resultados obtenidos al emplear material tobáceo natural, lo que permitió determinar que estos materiales, poseen perspectivas para su utilización como aditivo puzolánico activo.

Palabras Claves: Tobas vítreas, Granulometría, Aditivo puzolánico

ABSTRACT

In the present work, the pozzolanic properties of the vitreous tuffs of the Flores cooperative were determined, to evaluate the prospects of its use as an active mineral addition to Portland cement, according to the standardized quality parameters, when replacing Portland cement with 20% of the Natural tubaceous material. A characterization, based on the determination of the granulometry, was carried out by means of a particle size analyzer and the determination of the pozzolanic activity index through the compression resistance tests from the method indicated in the standards for such specifications. In addition, a comparison was made between the results obtained when using natural tubaceous material, which allowed to determine that these materials have perspectives for their use as an active pozzolanic additive.

Key Words: Vitreous tobs, Granulometry, Pozzolanic additive

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. Caracterización del área de estudio y el estado del arte	5
1 Estado del Arte	5
1.1 Características físico-geográficas y geológicas de la región	9
1.1.1 Introducción.....	9
1.2 Ubicación geográfica	9
1.3 Hidrografía	10
1.4 Clima.....	10
1.5 Vegetación.....	11
1.6 Relieve	11
1.7 Características económicas.....	12
1.8 Particularidades geológicas regionales y locales del área de estudio	12
1.8.1 Introducción.....	12
1.8.2 Trabajos Precedentes	12
1.9 Conceptualización de la investigación	13
CAPITULO II. Materiales y Métodos de los trabajos realizados	24
2.1 Caracterización de las muestras.....	24
2.1.1 Caracterización química.....	24

2.1.2 Caracterización mineralógica.....	25
2.2 Recopilación y revisión de la información existente.....	27
2.3 Toma y preparación de la muestra	27
2.4 Preparación de los materiales para la conformación de los bloques	28
2.6 Determinación de la resistencia a la compresión.....	30
2.7 Ensayo de resistencia a la compresión	30
2.8 Determinación del índice de actividad puzolánica con cemento Portland	31
Conclusiones parciales	32
CAPÍTULO III. Resultados Obtenidos	33
3.1 Resultados experimentales y su análisis.....	33
3.1.1 Caracterización granulométrica	33
3.2 Análisis e interpretación de los resultados obtenidos de las resistencias mecánicas	34
3.2.1 Resistencias mecánicas.....	34
3.2 Resistencia a la compresión.....	35
3.3 Resultados del índice de actividad puzolánico	36
CONCLUSIONES.....	40
RECOMENDACIONES	41
BIBLIOGRAFÍA	42
ANEXOS	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de la muestra de tobas empleadas	25
Tabla 2. Características mineralógicas del material tobáceo estudiado	26
Tabla 3. Especificaciones de la arena natural para bloques según norma ASTM C 897 - 00	28
Tabla 4. Dosificación para la conformación de los bloques.....	29
Tabla 5. Resultado obtenidos de resistencia a la compresión.....	35
Tabla 6. Índice de actividad puzolánico.....	37
Tabla 7. Balance de consumo de energía eléctrica de las empresas cubanas de cemento. Fuente: Inspección estatal energética, 2000	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio.....	10
Figura 2 Esquema de la metodología empleada	26
Figura 3 Característica de tamaño de las tobas vítreas de la cooperativa de Flores para 20 minutos de molienda	34

INTRODUCCIÓN

En Cuba, la situación de la vivienda, junto a la necesidad de desarrollar otras obras sociales es una problemática que crece gradualmente; visto principalmente por el deterioro constante de las existentes y el azote de fenómenos naturales que sin duda, han puesto en desventaja las posibilidades de una respuesta rápida a tal problema, debido a la notable escasez de materiales de construcción a partir de las fuentes ya identificadas.

El cemento Portland, resultado innegable del desarrollo histórico de la humanidad, es hoy día uno de los materiales más empleados en la vida moderna. Su uso universal en prácticamente todos los trabajos de la construcción, su costo relativamente bajo, la posibilidad de su producción industrial masiva y los buenos resultados obtenidos en sus aplicaciones han sido la causa de que hoy en día este aglomerante haya desplazado a todos los que le antecedieron, que han quedado relegados a aplicaciones menores en trabajos de albañilería (Martirena, 2003).

Ha sido uno de los elementos que más ha contribuido al desarrollo de la humanidad, y hoy incluso se asocia con el nivel de desarrollo de un país (Aitcin, 2000 y Vanderley, 2002), también ha resultado ser, de forma paradójica, uno de los principales responsables de la degradación ambiental del planeta, debido a que su proceso productivo en lo fundamental está montado sobre la base de la explotación intensiva de recursos no renovables (materias primas y combustibles), y se emiten en él significativos volúmenes de gases de efecto invernadero (Martirena, 2003).

El alto consumo energético y los grandes volúmenes de emisiones de gases de invernadero se convierten en amenazas a la sostenibilidad de la producción de este aglomerante en los próximos años. El sostenido incremento del precio de los combustibles fósiles a corto plazo, el previsible reforzamiento a escala global de las políticas impositivas a productos o producciones que contribuyan al calentamiento global (impuestos ecológicos), harán que el incremento de costos

de la producción llegue a niveles prohibitivos para la industria. Se precisa entonces delinear estrategias para poder contribuir a resolver este problema a mediano plazo. (Von, 1998 y Martirena, 2003).

Las medidas principales tomadas para disminuir, o al menos detener el incremento de las emisiones de CO₂ por la producción de cemento pueden ser clasificadas en dos grandes grupos: a) Las orientadas a aumentar la eficiencia del proceso, disminuyendo el consumo de combustibles, y b) Las orientadas a extender el clinker usando adiciones activas o inertes, que son añadidas en fábrica o a la hora de utilizar el cemento. (Price, 1999; Vanderley, 2002).

El desarrollo reciente de las adiciones activas al cemento, se han venido incrementando cada vez más. Su empleo en hormigones presenta elevados beneficios para la economía, reducción del consumo de energía e incremento de la protección ambiental y conservación de recursos naturales. En términos técnicos, los beneficios más importantes se presentan en forma de aumento de resistencia a edades tempranas, disminuyendo la permeabilidad y por tanto aumento de la durabilidad.

En Cuba, con el desarrollo vertiginoso de las obras constructivas, la producción de cemento con mejor comportamiento ante las diferentes condiciones, la resistencia, la gran compacidad y durabilidad de estos, es de suma importancia.

Estas razones, han estimulado la búsqueda de materias primas nacionales, con posibilidades de utilización como adición mineral activa, para obtener hormigones de altas resistencias. Además se puede lograr una reducción del consumo de cemento, lo cual representa un resultado económico y ambiental considerable.

Dentro de la gama de minerales industriales presentes en el país, teniendo en cuenta lo anteriormente planteado, uno de los de mayores perspectivas son los materiales puzolánicos naturales, que para estas aplicaciones se consideran de interés las tobas vítreas.

Por su gran disponibilidad y distribución a lo largo de todo el país, las tobas vítreas encuentran aquí un excelente campo de aplicación, tanto a nivel nacional como regional y local. Por tal razón en el presente trabajo se requiere una valoración de las potencialidades que poseen las tobas vítreas del yacimiento de Flores para su empleo como aditivo puzolánico activo en la industria de la construcción, lo cual constituye la **situación problemática** de la presente investigación.

Problema:

El insuficiente conocimiento acerca de las propiedades puzolánicas de las tobas vítreas de la cooperativa de Flores limita su utilización como adición mineral activa en la industria de la construcción.

Objeto de estudio:

Las propiedades puzolánicas de las tobas vítreas de la cooperativa de Flores.

Campo de acción:

Las tobas vítreas de la cooperativa de Flores.

Objetivo General:

Valorar las potencialidades de las tobas vítreas de la cooperativa de Flores en su estado natural para establecer su posible utilización como adición mineral activa en la sustitución parcial del cemento.

Hipótesis:

Si se caracterizan las tobas vítreas del depósito de la cooperativa de Flores desde el punto de vista químico, mineralógico, físico – mecánico y granulométrico y se determinan las propiedades puzolánicas del mismo entonces se podrá contribuir al desarrollo local de materiales de construcción en el municipio de Banes, mediante el incremento de la minería artesanal.

Objetivos específicos:

Caracterizar las tobas vítreas de la cooperativa de Flores desde el punto de vista químico, mineralógico, físico – mecánico y granulométrico.

Determinar las propiedades puzolánicas de las tobas vítreas en su forma natural.

Valorar los resultados de los bloques con 20% de sustitución de cemento P-35 por el material puzolánico evaluado.

Métodos empíricos:

La compilación es un método empírico esencial: La compilación permite reunir y sistematizar información mediante la revisión de fuentes bibliográficas, orales, digitales o de otro tipo.

Métodos teóricos

Entre los métodos teóricos se encuentran los métodos siguientes:

Hipotético - deductivo: para la formulación de una hipótesis y luego, a partir de inferencias lógicas-deductivas, se arriba a conclusiones particulares que posteriormente se pueden comprobar.

Tareas:

Recopilación y análisis de los trabajos relacionados con los materiales de construcción y puzolánicos, así como la exploración de la problemática mundial, nacional, regional y local de los materiales de construcción.

Establecimiento de las características geológicas regionales y locales.

Toma y preparación de las muestras.

Caracterización de la materia prima desde el punto de vista de su composición química, mineralógica, físico – mecánica y granulométrica.

Fabricación de bloques con porcentajes de sustitución de 20 % de material tobáceo en lugar del cemento P-35.

CAPÍTULO I. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y EL ESTADO DEL ARTE

1.1 Estado del Arte

Las puzolanas se conocen desde hace más de 2500 años, algunos autores plantean que la Grecia clásica conocía y utilizaba los aglomerantes del tipo cal – puzolanas, pero estos alcanzan su máximo esplendor en la Roma clásica, dando fe de ello las numerosas construcciones ejecutadas durante este periodo que en la actualidad sobreviven.

Con el surgimiento del cemento Portland (patentado en 1824 por Apsdin) fueron desplazados de la práctica habitual de construir. En la actualidad a partir de los elevados precios de los combustibles y fuertes medidas medio ambientales, el uso de las puzolanas naturales y artificiales comienza a retomarse, pues estos aglomerantes son objeto de una gran atención hoy día, no solo en los países en vías de desarrollo sino también en aquellos industrializados.

Le Chatelier en 1897 había ya notado que cuando el cemento Portland se hidrata se libera cierta cantidad de óxido 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 dicho hidróxido de calcio forman silicato de calcio hidratado. Este elemento brinda las propiedades hidráulicas señaladas. Como expresa Bogue, la físico-química de las puzolanas, requiere de permanentes estudios para resolver sus problemas fundamentales.

Saricimen et al. (1992), a través de la realización de estudios de campo y de laboratorio en zonas de los países árabes del golfo donde las condiciones ambientales son agresivas y seriamente corrosivas, demostraron que el concreto en esta región se debe diseñar no solamente para alcanzar alta resistencia sino también para que posea mayor durabilidad. Para esto probaron el uso de las

puzolanas naturales, y con ello se logró extender la vida de servicio de las estructuras.

Day y Shi (1994), también analizaron el efecto del agua inicial de curado en la hidratación de los cementos que contienen puzolana natural. Como resultado obtuvieron, que las pastas de cemento Portland son más sensibles en el período inicial de curado que las de cemento Portland Puzolánico (contenido de puzolana 30 %) porque ocurre la hidratación del cemento portland más rápidamente que la reacción puzolánica en pastas de cemento portland Puzolánico. La hidratación del cemento portland y la reacción puzolánica continúan después que las probetas se extraen a un ambiente seco (humedad relativa de 20 %, aproximadamente). La presencia de puzolanas naturales retarda la hidratación normal del cemento Portland en las primeras horas, pero la acelera después de un día.

Shannag y Yeginobali (1995), recomiendan la adición de puzolana natural al cemento Portland y al hormigón por separado, ya que reduce el calor de hidratación, prolonga el tiempo de fraguado y mejora la consistencia del cemento.

En las últimas décadas existen muchos autores de habla hispana que se han destacado en esta temática.

Calvo et al. (2005), determinan las propiedades puzolánicas de materiales de origen volcánico ubicados en la zona sureste de España, a través de estudios de las características composicionales, ensayos mecánicos y químicos de puzolanidad.

Costafreda et al. (2007), publicaron un trabajo, donde se da a conocer la importancia de la zeolita como aditivo activo en cementos puzolánicos y en morteros mixtos. Ellos, mediante estudios de difracción, fluorescencia, microscopía electrónica de barrido y ensayos químicos de puzolanidad, demostraron que las propiedades de cementos y morteros con adición de zeolita mejoran notablemente; se alcanzan resistencias mecánicas de hasta 70 Mpa a 90 días. Los ensayos químicos de puzolanidad a 7 y 15 días demostraron la

capacidad reactiva de esta zeolita, la cual se comporta como un material puzolánico activo.

Los materiales puzolánicos son muy conocidos actualmente, así como sus ventajas en la mejora de gran número de cementos. Costafreda et al. (2011), mostraron resultados prácticos, obtenidos de recientes investigaciones de tobas de composición dacítica, capaces de sustituir al cemento Portland de alta resistencia inicial en morteros y hormigones. Los contenidos apreciables en sílice y en alúmina, los bajos contenidos en sulfato y materias orgánicas, y una molienda adecuada, entre otros, son las causas, al parecer, de la eficacia de este material a la hora de aportar valores apreciables de resistencias mecánicas a edades cercanas y superiores a los 28 días.

De Armas, J. (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.

En el trabajo de tesis “Evaluación de las tobas zeolitizadas del Yacimiento de Caimanes como fuente de materia prima para la producción de cemento de bajo carbono Urrutia, P. (2015). Calcina las muestras a temperaturas de 350, 500 y 750 °C, logrando aumentar su índice puzolánico con la reactivación térmica del material, obteniendo resultados superiores en los análisis realizados (Resistencia a la compresión mecánica y flexotracción).

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 Pórtland 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.

En nuestro país a lo largo de los años se han venido efectuando diferentes investigaciones sobre la materia. Desde la década de los 70 del siglo XX, con la elevación del conocimiento geológico del territorio nacional y las investigaciones a nivel de laboratorio, semi-industriales e industriales en Cuba, se han validado las puzolanas naturales como las tobas, especialmente las zeolitizadas para producir aglomerantes tales como el cemento romano y adiciones o mezclas al cemento Pórtland (Batista González, R. et al 2000, 2002; Coutin Correa, D. et al, 1975; Gener Rizo, M. et al. 2002, 2005, 2006, González Acosta, V. et al. 2004, Harben, Peter W. 1996, 1999; Rabilero Bouza, A. et al.1992, 1998,1999, 2005, Ruiz Carre, B. et al. 1999, Rosell, 2001, 2006, 2007, 2011, Martirena, 2003, López, 2006, de Armas, 2008, Muxlanga, 2009, Cabrera, 2010, Solís, 2011, Almenares, 2011 y Justo, 2012).

Varios autores como López 2006; De Armas 2008; Muxlanga 2009; Cabrera, 2010; Solís, 2011 y Almenares, 2011 han estudiado estos materiales, como es el yacimiento de tobas vítreas Sagua de Tánamo para su utilización como puzolana natural. En estas investigaciones se evaluó la sustitución de 15 y 30 % de tobas por cemento, con la obtención de resultados favorables; sin embargo, estos se consideran preliminares, lo cual no ha permitido su empleo, permitiendo continuar con nuevas investigaciones.

La evaluación entonces de materiales puzolánicos consiste obviamente en encontrar materiales que por sus características químicas, mineralógicas y petrológicas, incluso morfológicas hagan suponer la posibilidad de actividad puzolánica. Las tobas de origen volcánico, tanto vitroclásticas como zeolitizadas, tan abundante a todo lo largo y ancho de nuestro país, constituyen una fuente prácticamente inagotable de puzolanas.

Por lo que se puede considerar que el empleo actual de materiales puzolánicos es una aplicación innovadora de una tecnología antigua para depósitos de materiales con características adecuadas que permitan su utilización para estos fines (Almenares, 2011). Es por ello que se reafirma la necesidad de conocer las propiedades puzolánicas de las tobas vítreas de la cooperativa 26 de Julio de Flores.

1.1 Características físico-geográficas y geológicas de la región

1.1.1 Introducción

En este capítulo se exponen los principales rasgos físico-geográficos, económicos y geológicos de la región de estudio. El objetivo de este capítulo es obtener una base informacional referencial y actualizada acerca de estos rasgos en la región norte de la provincia de Holguín y del sector de estudio en particular, exponiendo las particularidades químicas y mineralógicas de las rocas que forman las bases de los materiales estudiados en este trabajo

1.2 Ubicación geográfica

El Consejo Popular de Flores está situado a 14 Km de la cabecera municipal teniendo una extensión territorial de 81 Km^2 . Limita al norte con el Consejo Popular de Retrete, al este con el Consejo Popular de Betancourt al sur con el Consejo Popular de Los Pinos y al oeste con el Consejo Popular de Cortadera. El municipio de Banes se encuentra en las coordenadas geográficas siguientes, $20^{\circ}57'40.2''\text{N}$ $75^{\circ}43'19.2''\text{O}$. Como se muestra en la figura 1.



Figura 1. Mapa de ubicación geográfica de la zona de estudio

1.3 Hidrografía

El área se puede diferenciar fácilmente atendiendo a la calidad de los recursos de su hidrografía. La zona de flores, manifiesta una menor cantidad y calidad de corrientes pues tiene pocas fuentes de agua potable. Su pobre dotación de ríos y arroyos se debe en otras causas, a la carencia de un sistema montañoso importante, en el cual puedan formarse y descender sobresalientes cursos de agua favorecidas por el litoral de ésta. En la Bahía de Banes desembocan los ríos Tasajeras, Santa Justa, Cortaderas, Cacao y Banes.

1.4 Clima

El clima de la región es cálido y seco. Se reporta una elevada temperatura media con el valor anual de 26,5 °C. De forma general las temperaturas se estabilizan en valores altos todo el año pues incluso las mínimas medias, con marcas en julio y agosto de 25,9 °C y 25,6 °C respectivamente. En invierno, a pesar de la influencia de altas presiones continentales, pueden alcanzar índices de hasta 21,8 °C. Los

niveles de humedad relativa son altos todo el año. Esto genera, al considerarse el predominio de altas temperaturas, un clima difícil para la actividad de hombre. Tal situación solo se ve atenuada en algunos lugares por la acción de los vientos. Estos son muy estables y soplan casi siempre desde el este, alcanzando frecuentemente rachas de 30-35 Km/h. Las precipitaciones son escasas, reportándose en los últimos años valores muy por debajo de los acumulados anteriores de hasta 1207 mm de promedio anual, siendo los meses de febrero, mayo, septiembre y octubre los de mayor acumulado, hasta 60 mm. Aunque en general las precipitaciones son algo superiores a los municipios interiores de la provincia. Los fenómenos meteorológicos peligrosos tienen aquí una baja influencia y su magnitud es reducida. Como en toda la provincia, la afectación por frentes fríos es baja, pues a Holguín solo llegan la mitad de los que actúan sobre la Isla, presentándose débiles e incluso ya disipados. La afectación de los ciclones tropicales también es mínima, reportándose como mayor afectación el Flora (1963) y el Ay en el (2008).

1.5 Vegetación

La vegetación en sentido general es abundante, en algunas partes se aprecian bosques con árboles de baja talla y sotobosques con malezas espinosas, relativamente abundantes, donde se manifiesta hacia el norte y este con arbustos espinosos y matorrales de poca altura, hacia el sur, este y oeste se observan áreas de potreros, plantaciones cañeras y otros cultivos menores. Las principales zonas boscosas se encuentran hacia la parte centro-Norte, donde abundan las Guásimas, el Cuyas, los Cedros, las Caobas y el Guarano.

1.6 Relieve

En la región Banes predominan las llanuras y pequeñas elevaciones. Hacia la parte Norte y Oeste son abundante las ondulaciones que pertenecen al grupo orográfico de Maniabón. En el suelo de estas elevaciones existen muy pocas rocas desnudas. En realidad este lomerío se halla compuesto por dos series de lomas, una sobre la costa y otra interior, constituyendo ambos grupos elevaciones

de poca altura. En el centro y norte la topografía es ondulada con pequeñas elevaciones en algunos segmentos. Al oeste se encuentran las pequeñas cordilleras de Trocha, Santa Justa y la Cuchilla y parte de la Sierra de San Juan. Al sur la topografía es llana con pequeñas ondulaciones dispersas. Al norte se encuentran las lomas de Yaguajay.

1.7 Características económicas

La base económica de Banes está estrechamente ligada a la industria, al turismo y la agricultura. El turismo alcanza una gran importancia con el polo turístico de la provincia, siendo el tercero a nivel nacional. Entre las principales playas se encuentra Guardalavaca y Esmeralda. Además como ruta turística se encuentra la ruta al Faro de Lucrecia. Esto proporciona una gran cantidad de empleos a los vecinos de la zona.

En el área de Flores se encuentra la CPA 26 de Julio, encargada de la producción de caña de azúcar. Produce además ladrillos, arena, grava y polvo de piedra para un incremento de los materiales de la construcción en el municipio. En el periodo de zafra la caña se traslada hacia el central de Báguanos.

1.8 Particularidades geológicas regionales y locales del área de estudio

1.8.1 Introducción

Desde el punto de vista geológico el área se encuentra en los límites del Bloque Oriental, algo al Oeste de la Falla Cauto-Nipe. En sentido general el área no presenta grandes complejidades geológicas, aunque afloran rocas representativas de los diferentes eventos por los que atravesó el archipiélago cubano, durante el Mesozoico y el Cenozoico.

1.8.2 Trabajos Precedentes

Las características geológicas del área, poco complejas en sentido general, así como la ausencia de recursos minerales de gran importancia económica, hacen que en el área no se hayan desarrollado importantes trabajos geológicos. Aunque

las principales investigaciones han estado encaminadas al estudio de materiales para la construcción. Reportándose también, en algunos trabajos, rocas con posibles usos ornamentales y rocas fosfatadas, que pudieran ser utilizadas para la agricultura, así como algunos trabajos de prospección de petróleo y gas. Desde el punto de vista geológico los primeros trabajos fueron desarrollados por geólogos norteamericanos en la búsqueda de oro (Dickerson, R. et al, 1931), motivado esto por la presencia de importantes yacimientos algo al este en Holguín. Geología de Banes: Como se ha reflejado anteriormente la geología de la región no presenta grandes complejidades, sobre todo en su parte Este y Sur, en las que afloran rocas del estadio platafórmico. Hacia la parte Oeste y Norte se encuentran rocas pertenecientes al Cinturón Ofiolítico, las que se encuentran contactando tectónicamente con rocas del Arco Volcánico del Cretácico y rocas de las cuencas superpuestas.

1.9 Conceptualización de la investigación

Cemento: La norma cubana define el cemento como un material pulverizado, que con la adición de una cantidad apropiada de agua forma una pasta más o menos fluida, capaz de endurecerse, tanto bajo el aire como el agua y de aglomerar materiales adecuados.

Clasificación de los cementos

Los cementos que se producen alrededor del mundo son elaborados a base de clínker Portland, por cuyo motivo se justifica centrar el interés en éste 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 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 (Toraya, 1999). El cual se describe como un cemento hidráulico producido al pulverizar el clinker, constituido esencialmente por silicatos del calcio hidratados, y contiene, generalmente, una o más de las formas de sulfato de calcio.

El cemento Portland se obtiene al calcinar a unos 1500 °C mezclas preparadas artificialmente de calizas y arcillas. El producto resultante, llamado clinker, se muele conjuntamente con una cantidad adecuada de regulador de fraguado, que suele ser piedra de yeso natural.

La composición química media de un cemento Portland, según Calleja (1974), está formada por un 62,5 % de CaO (cal combinada), un 21 % de SiO₂(sílice), un 6,5 % de Al₂O₃ (alúmina), un 2,5 % de Fe₂O₃(hierro) y otros minoritarios. Estos son los cuatro componentes principales del cemento, de carácter básico la cal y de carácter ácido los otros tres. Estos componentes no se encuentran libres en el cemento, sino en forma de silicatos, aluminatos y ferritos cálcicos, que son los componentes hidráulicos del mismo o componentes potenciales. Un clinker de cemento Portland de tipo medio contiene:

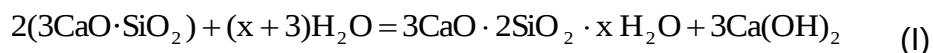
Silicato tricálcico (3CaO·SiO₂)40% a 50%

Silicato bicálcico (2CaO·SiO₂)20% a 30%

Aluminato tricálcico (3CaO·Al₂O₃)10% a 15%

Aluminatoferrito tetracálcico (4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃) 5% a 10%

Las dos principales reacciones de hidratación, que originan el proceso de fraguado y endurecimiento son (Jiménez, 1982):





El silicato tricálcico (C_3S) es el compuesto activo por excelencia del cemento pues desarrolla una resistencia inicial elevada y un calor de hidratación también elevado. Fragua lentamente y tiene un endurecimiento bastante rápido. En los cementos de endurecimiento rápido y en los de alta resistencia aparece en una proporción superior a la habitual.

El silicato bicálcico (C_2S) es el que desarrolla en el cemento la resistencia a largo plazo, es lento en su fraguado y en su endurecimiento. Su estabilidad química es mayor que la del silicato tricálcico, por ello los cementos resistentes a los sulfatos llevan un alto contenido de silicato bicálcico.

El aluminato tricálcico (C_3A) es el compuesto que gobierna el fraguado y las resistencias a corto plazo. Su estabilidad química es buena frente al agua de mar pero muy débil a los sulfatos. Para retardar la rápida reacción del aluminato tricálcico con el agua y regular el tiempo de fraguado del cemento se añade al clinker piedra de yeso.

El aluminatoferrito tetracálcico (C_3AF) no participa en la resistencia mecánica, su presencia es necesaria por el aporte de fundentes de hierro en la fabricación del clinker.

El cemento se caracteriza por su finura, tiempo de fraguado, consistencia, resistencia, gravedad específica, calor de hidratación y pérdidas por ignición, entre otros. Propiedades que se relacionan en lo adelante.

Finura

La finura es una medida del tamaño de partículas del cemento. La finura de los cementos producidos es generalmente evaluada a través del área superficial de Blaine (ASTM), la cantidad retenida en el tamiz $45\ \mu\text{m}$ o a través de la determinación de la distribución de tamaño de partículas con difracción láser. El método de Blaine puede arrojar valores alterados, especialmente para los

materiales porosos (Ravina, 1980). Además, en este método, solamente las trayectorias continuas a través de la cama de cemento contribuyen a la medición del área superficial.

Por otra parte, la determinación de la cantidad retenida en el tamiz 45 μm puede ser insuficiente para evaluar la finura dado que el método proporciona un solo valor y no suministra información sobre el tamaño de los granos más pequeños que el tamiz 45 μm . Un método más informativo es la determinación de la distribución del tamaño de partículas por difracción láser.

La finura del cemento Portland afecta la velocidad de hidratación y de esta manera, la resistencia aumenta. La relación área superficial - volumen, y como consecuencia, el área disponible para la interacción agua – cemento por unidad de volumen, se incrementa con el aumento en la finura del cemento. Los efectos de la finura sobre la resistencia se consideran, generalmente, durante los primeros siete días ((<http://aboutcement2.cement.ca>)., 2019).

Tiempo de fraguado

El endurecimiento de la pasta de cemento (cemento + agua) se le llama fraguado. El tiempo en que comienza a mezclarse el cemento y el agua hasta que la pasta de cemento se fija se llama tiempo de fraguado (Erdogan, 1997).

El tiempo de fraguado de la pasta cementicia es afectada por varios factores, tales como, finura, relación agua/cemento, y la composición química. Existen dos importantes tiempos de fraguado definidos: fraguado inicial (tiempo que dura hasta que a la pasta de cemento comienza a endurecerse considerablemente) y el tiempo de fraguado final (el tiempo en el que el cemento ha endurecido al punto que puede sostener una cierta carga). La pasta de cemento es solamente deformable durante el tiempo de fraguado. De esta forma, el tiempo de fraguado inicial debe ser suficientemente largo, y el tiempo de fraguado final debe ser bastante corto.

Consistencia

Al referirse al cemento Portland, la "consistencia" representa la capacidad de una pasta endurecida de cemento de conservar su volumen después de fraguado sin experimentar la expansión destructiva. Esta expansión es causada por la hidratación lenta (u otra reacción) de algunos compuestos presentes en el cemento endurecido tal como cantidades excesivas de la cal libre (CaO) u óxido de magnesio (MgO).

Según la prueba típica de expansión, una barra pequeña de pasta de cemento se coloca en una autoclave. La autoclave se regula a una presión aproximada de 2 MPa, y después se mantiene a esa presión por tres horas. Posteriormente se regulará hasta poner la autoclave lentamente a temperatura ambiente y presión atmosférica. Luego se mide el cambio de longitud del espécimen.

Resistencia

Las pruebas de resistencia del cemento se llevan a cabo con una muestra de morteros. De acuerdo con la ASTM, para preparar el mortero se mezcla 1 parte de cemento, 2,75 partes de arena con suficiente agua para obtener un flujo adecuado de la mezcla. (Otras normas requieren diferente combinación de estos materiales).

La resistencia del cemento es normalmente definida en tres formas: compresión, tensión y flexión. Existen varios factores que afectan estas resistencias, en los que se incluyen: relación agua/cemento, relación agregado fino/cemento, tipo y clasificación del agregado fino, método de mezclado y de moldeado de los morteros, condiciones de curado, tamaño y forma del mortero, contenido de humedad durante el tiempo de prueba, condiciones de carga y la edad (Erdogan, 2003).

Puesto que el cemento gana resistencia en cierto plazo, el tiempo en el cual se realiza una prueba de resistencia debe ser especificada. Usualmente los tiempos de ensayo son 1, 3, 7, 28 y 90 días. Debe considerarse que los ensayos de resistencia en morteros de cemento no están relacionados directamente con la

resistencia del concreto, sin embargo, generalmente se emplean como medida de control de calidad.

Gravedad específica

La gravedad específica del cemento Portland es aproximadamente de 3,15. Las gravedades específicas de los cementos Portland de escoria de alto horno y los cementos Portland puzolánicos pueden ser más bajos, con valores de 2,90.

Calor de hidratación

La reacción de hidratación del cemento Portland es exotérmica. El calor generado durante la reacción de hidratación es llamado calor de hidratación. El calor de hidratación es afectado por varios factores. Dentro de los más importantes, se pueden mencionar, la composición química y la finura del cemento, la relación agua/cemento, la temperatura de curado, y el tiempo.

Pérdida por ignición

La pérdida por ignición se determina a través de la pérdida de peso de una muestra de cemento después de calentada hasta una temperatura constante. Una alta pérdida por ignición indica generalmente, prehidratación y carbonatación, que pueden ser causa del incorrecto almacenaje y transporte de la muestra.

Por la importancia que se le confiere en la investigación y su estrecha relación con la misma, en el próximo acápite se caracteriza el cemento Portland Puzolánico.

1.10 Cemento Portland Puzolánico. Conceptos básicos

El cemento Portland Puzolánico se definen 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.

Puzolanas

Definición

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

Principales tipos de puzolanas

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

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

Actividad y reacción puzolánica

La actividad puzolánica se refiere a la capacidad y a la velocidad de reacción entre los aluminosilicatos de la puzolana y el hidróxido de calcio producto de la hidratación del cemento para formar productos cementantes. La reacción principal que tiene lugar en estos sistemas es la que se describe en la reacción (III), donde se obtiene como producto el hidróxido de calcio hidratado, también comúnmente formulado en esta rama con las siglas C-S-H:



La reacción puzolánica consiste en la solubilización de los compuestos de sílice y alúmina amorfos, o débilmente cristalizados en un medio altamente alcalino como el creado por una solución de hidróxido de calcio, con la formación de aluminosilicatos dicálcicos y tricálcicos similares a los obtenidos en el fraguado del cemento Portland (Quintana, 2005).

La actividad puzolánica no se ha podido comprender con claridad debido a la estructura heterogénea de las puzolanas y a la compleja naturaleza de la hidratación (Erdogdu, 1996). Los principales factores que intervienen en su actividad se pueden ilustrar a continuación (Erdogan, 2002):

La actividad puzolánica es mayor cuando el contenido de óxido de silicio (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3) o el contenido de material activo es alto.

Una puzolana para ser químicamente activa, debe tener una estructura amorfa. Las partículas puzolánicas deben ser suficientemente finas para reaccionar con el hidróxido de calcio. Por lo tanto, para evaluar una puzolana, se debe tener en cuenta su área superficial, composición química y mineralógica.

Las bases para el empleo de los materiales puzolánicos como sustitutos parciales del clínker en el cemento Portland (CPO) o como materiales mezclados con el propio CPO, se fundamentan en las reacciones ácido-base en su concepción más general. El ataque químico de los iones OH^- que provienen de la disolución del

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ y de los iones alcalinos liberados en la hidratación del CPO (componentes básicos) a las redes aluminosilíceas (componentes ácidos) que se encuentran en un estado de alto desorden estructural dentro de las puzolanas, provoca la ruptura de los enlaces Si-O y Al-O y la liberación de oxianiones a la solución. Ya que la solución de poros del cemento es esencialmente alcalina, el producto inmediato de la reacción es un gel amorfo donde el K^+ y el Na^+ son los cationes dominantes. Sin embargo, la abundante presencia de Ca^{2+} y la baja solubilidad de los CaO , SiO_2 , H_2O (CSH) y de las fases AFt y AFm aseguran que este gel sea solo un producto intermedio. Los nuevos productos de hidratación, formados a partir de la reacción de las puzolanas con la portlandita (CH) generada durante la hidratación del CPO, son los responsables de la mejora en las propiedades mecánicas y de durabilidad del hormigón (Taylor, H.F.W. ed. 1990).

Efecto de la adición de puzolanas al cemento Portland

El resultado del remplazo parcial del CPO por un material puzolánico puede ser descrito como la combinación lineal de varios efectos físicos y químicos. Dentro de los efectos físicos, el efecto de dilución implica, para una misma relación $\text{VH}_2\text{O} / \text{VAglomerante}$, un mayor espacio para la formación y crecimiento de las fases hidratadas y un aumento de la relación $\text{VH}_2\text{O} / \text{VCPO}$, lo cual favorece además la reacción de hidratación. También se incluyen el aumento de la compacidad por efecto filler y la nucleación heterogénea por el aporte de las puzolanas de una superficie adicional que favorece la nucleación y crecimiento a edades tempranas de los productos de hidratación del CPO. Estos efectos no dependen de la reactividad química de la adición mineral, sino de la cantidad de superficie disponible y del por ciento de sustitución. Son efectos muy importantes a edades tempranas y pueden ser cuantificados a partir de las diferencias entre los valores de resistencia de morteros con adiciones puzolánicas y morteros con el mismo por ciento de sustitución por un material inerte de similar granulometría (Cyr, M. P. Lawrence, and E. Ringot).

El efecto químico fundamental está dado por la reactividad puzolánica de la adición mineral. La CH aportada durante la hidratación del CPO puede representar en una pasta completamente hidratada hasta un 28% en masa respecto a la masa inicial de CPO. La CH no contribuye a la resistencia mecánica y puede ser extraída de la masa del hormigón en sucesivos ciclos de humedecimiento y secado, aumentando la porosidad e incrementando la permeabilidad y la susceptibilidad al ataque de agentes químicos externos como las aguas de ambientes marinos saturadas de cloruros, o las aguas subterráneas ricas en sulfatos (Taylor, H.F.W. ed.1990). La alta concentración de grandes cristales de CH alineados a lo largo de la zona de transición interfacial localizada entre el agregado y la pasta, conducen a la aparición de zonas con alta porosidad y baja resistencia mecánica que son el camino usual de fractura en el hormigón (Justice, J.M. et al).

Las puzolanas pueden reaccionar con parte de la CH presente en la pasta hidratada, densificando la microestructura de la pasta y refinando la estructura de poros, con el consiguiente incremento de la impermeabilidad y la resistencia mecánica (Zhang, Y.M. W. Sun, and H.D. Yan. 2000). Al mismo tiempo, como la CH presente en la pasta es susceptible a formar fases con potencial expansivo al reaccionar con agentes externos como los sulfatos, su reducción favorece la resistencia al ataque químico. También se ha reportado la disminución en la aparición de grietas por retracción (Souza, P.S.L. and D.C.C. Dal Molin. 2005). Puede afirmarse que con la sustitución del CPO por materiales puzolánicos, se mantienen o mejoran las propiedades físicas y de durabilidad.

Las principales desventajas reportadas para el empleo de puzolanas son las bajas resistencias mecánicas alcanzadas a edades tempranas y la necesidad del empleo de superplastificantes o de relaciones agua / aglomerante mayores que para la pasta que contiene solo CPO, si se quiere mantener una laborabilidad constante de la mezcla. Para el caso de sistemas con altos volúmenes de sustitución por puzolanas muy reactivas también pueden manifestarse fenómenos

asociados al agotamiento de la CH, con la consiguiente desestabilización de las fases hidratadas ricas en Ca y, para el caso de hormigones reforzados, la desestabilización de la capa pasiva que protege al acero como consecuencia de la disminución del pH (Martirena, J.F. 2009).

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.

CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS DE LOS TRABAJOS REALIZADOS

Para valorar el carácter puzolánico de las tobas vítreas como puzolanas naturales se realizaron los ensayos correspondientes a las propiedades físico mecánicas que aparecen descritos en la norma cubana NC TS 527, que establece las especificaciones técnicas para la evaluación de las puzolanas.

Los estudios de caracterización del yacimiento muestreado y los métodos utilizados para la evaluación de las materias primas se describen en los siguientes acápite.

2.1 Caracterización de las muestras

2.1.1 Caracterización química

La composición química de las tobas empleadas, determinada a partir del método Fluorescencia de rayos X (FRX) se presenta en la tabla1.

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.

Como se puede observar la suma de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 supera el 70 % que se establece como mínimo en la norma ASTM C - 618 para las puzolanas naturales.

Tabla 1. Composición química de la muestra de tobas empleadas

Compuesto	Contenido
	Tobas vítreas de la cooperativa de Flores
SiO ₂	68,86
Al ₂ O ₃	13,63
MnO	0,06
MgO	2,64
Na ₂ O	1,87
CaO	5,34
TiO ₂	0,49
P ₂ O ₅	0,10
K ₂ O	2,27
Fe ₂ O ₃	4,58
SO ₃	0,11

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

2.1.2 Caracterización mineralógica

En la tabla 2 se muestran los porcentajes de la matriz vítrea, así como el contenido de arcilla y las principales fases mineralógicas cristalinas presentes en estas tobas.

Tabla 2. Características mineralógicas del material tobáceo estudiado

Mineral	Matriz vítrea, %	Contenido de arcilla, %	Principales fases cristalinas
Tobas vítreas de Flores	80-100	10 - 15	Albita, anortita, apatito, dióxido, hematina, hyperstena, Ilmenita, ortoclase, cuarzo, esfena, X-magnesio

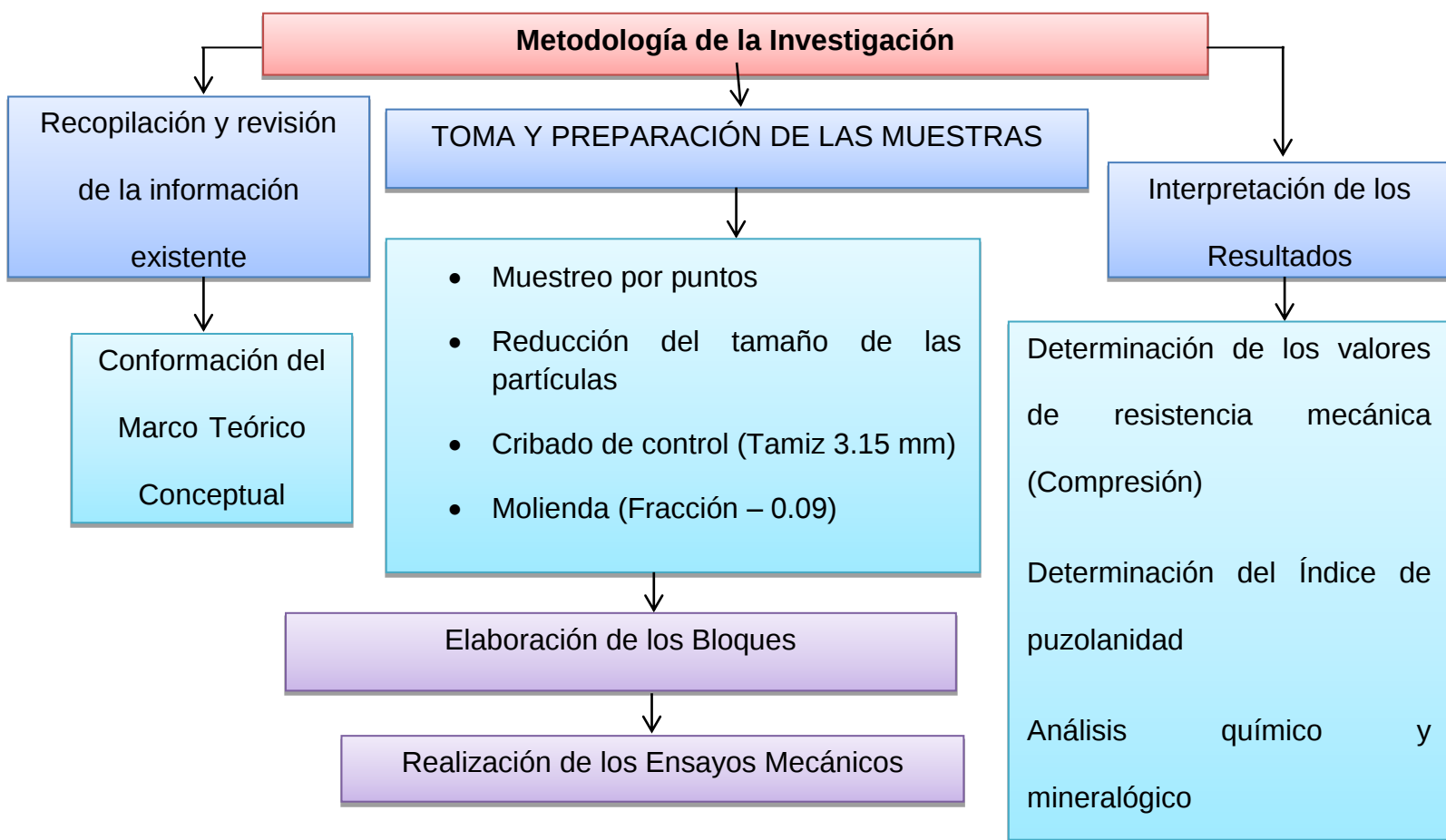


Figura 2 Esquema de la metodología empleada

2.2 Recopilación y revisión de la información existente

En esta etapa se realizó el análisis de la bibliografía existente de la región y área de estudio, de la cual se revisó y recopiló la información útil para la investigación. Se realizaron búsquedas en el centro de información del ISMM, donde se tuvo acceso a libros, revistas, trabajos de diploma, tesis de maestría y doctorales, además de búsquedas en Internet. Como resultados se obtuvo información referente a la descripción regional de la región así como información de los materiales analizados en este trabajo. En esta etapa se confeccionó el marco teórico conceptual de la investigación.

2.3 Toma y preparación de la muestra

Las muestras de tobas vítreas de la cooperativa de Flores se tomaron mediante el método por puntos, que consistió en la toma de trozos típicos de la materia prima, con la ayuda de un picachón. Para determinar la cantidad de material utilizado se tuvo en cuenta la norma cubana correspondiente (NC 178 2002).

Las muestras fueron sometidas a un proceso de reducción de tamaño mediante dos etapas de trituración, cada una por separado. Donde en la primera etapa se utilizó la trituración por impacto hasta lograr obtener fragmentos de 3-5 mm aproximadamente. Después de la trituración en que se obtienen tamaños máximos de 3-5 mm, se lleva a cabo una etapa de trituración en trituradora de mandíbulas, las cuales tienen un diámetro de alimentación de 100 y 2 mm y de descarga de 5 y 0.09 mm, respectivamente.

En la descarga del proceso de trituración se usó la operación de cribado de control con un tamiz de -0.09 mm para la obtención de las clases -0,09 mm. Con el material natural se llevó a cabo la elaboración de los morteros a los cuales se les realizó ensayos para la determinación de la resistencia mecánica.

2.4 Preparación de los materiales para la conformación de los bloques

Se elaboraron 4 bloques con material tobáceo natural del yacimiento analizado. Para la realización de los bloques se empleó arena, grava de 5-9 mm procedente de la ECOPP de Banes. El muestreo de la arena se realizó por puntos, para garantizar un muestreo sin desviaciones, la muestra se compuso de tres partes, una tomada en la parte superior, otra en la parte media y la tercera en la parte inferior de la pila principal. Para facilitar el muestreo se empleó una tabla empujada horizontalmente dentro de la pila, justamente bajo el punto de muestreo para evitar la posterior segregación. Se separó la capa exterior de la pila y se tomó la muestra de material existente bajo ella con la ayuda de una pala. Todo el material fue trasladado y depositado en un trompo de albañilería para ser homogeneizada y normalizada. En la tabla 3 se muestran las especificaciones de la arena natural.

Tabla 3. Especificaciones de la arena natural para bloques según norma ASTM C 897 - 00

Diámetro del tamiz, mm	Límite inferior según retenido, %	Límite superior según retenido, %
2,36	0	10
1,18	10	40
0,6	30	65
0,3	70	90
0,15	95	100
0,075	97	100

En la elaboración de los bloques se realizó el mezclado de los materiales. Para ello inicialmente se vertió el agua previamente medida con una probeta graduada en correspondencia con la cantidad a utilizar en cada una de las mezclas diseñadas que aparecen en la tabla 2.4. Luego se realizó la adición del cemento en las cantidades previamente calculadas, según las sustituciones (20 % de toba vítrea natural) y con el 100 % para la elaboración de los bloques de referencia y

finalmente se vertió la arena. El mezclado de los materiales se realizó durante 90 segundos hasta lograr una buena homogenización.

El material mezclado se vertió en el molde de bloques para su obtención final, toda la operación de confección de los moldes se realizó a través de la NC-173:2002. Estos se colocaron en el equipo que se muestra en el anexo 2, para ser compactados. Luego fueron situados en un local donde se garantizaba buena conservación de los mismos, los bloques se colocaron en el área de curado, hasta las edades correspondientes a los ensayos de resistencia aplicados a los 7 y 28 días.

Como se observa en la tabla 4, se utilizó una relación arena/cemento/grava 3:1:2. La relación agua/cemento-toba quedó determinada, por la necesidad de alcanzar la fluidez requerida según los ensayos de consistencia normal para el material.

Tabla 4. Dosificación para la conformación de los bloques

Material	Porcentaje de sustitución , %	Dosificación				Relación Agua/Cemento -Tobas
		Cemento (g)	Arena (g)	Tobas (g)	Agua (g)	
Patrón		450	1350	-	450	1
Tobas vítreas cooperativa de Flores	20	315	1350	135	450	1

2.5 Determinación de la composición granulométrica

El análisis granulométrico realizado se empleó para la determinación de la composición granulométrica del material tobaceo utilizado en la elaboración de los bloques.

El análisis granulométrico del material tobaceo se realizó en un analizador de tamaño de partículas; HORIBA LA – 910, de la Empresa “Comandante Pedro Sotto Alba”, Moa Nickel S.A, cuyo procedimiento se expone a continuación:

- Preparación de la muestra de pulpa que se desea analizar: se pesaron 35 g de tobas, se transfirió a un beaker de 1000 mL y se agitó durante 5 minutos con el objetivo de homogeneizar la muestra.
- Con una pipeta se tomaron 2 mL y se vertió en el posillo del equipo, donde permaneció durante 5 min.
- Todos los datos quedaron registrados en el sistema instalado en la computadora acoplada al analizador de tamaño de partículas, del cual se obtuvieron las curvas características de tamaño de los materiales tobaceos.

Este análisis permite obtener la distribución sumaria por clases en las muestras analizadas, el tamaño de partículas predominantes en la muestra, entre otros.

2.6 Determinación de la resistencia a la compresión

La determinación de la resistencia a la compresión de todas los bloques realizados se llevó a cabo a través de pruebas de bloques con una prensa hidráulica de 100 t (ver anexo 5) la cual arroja los valores en la unidad de medida mega pascal (MPa), el equipo cuenta con los aditamentos necesario para dicho ensayo a la compresión.

2.7 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 laterales de la misma. Para ello se cortó en dos bandos y se recubrió sus bordes con una capa de cemento P-350 de manera que se logaran dos caras planas para asegurar la compresión en la mayor área posible en el bloque (anexo 5). El conjunto se colocó entre los platos de 25x25 cm de la prensa que aparece en el (anexo 5), cuya rótula está centrada sobre el eje de las secciones sometidas a compresión. Los platos se guiaron sin fricción apreciable

durante el ensayo para poder mantener siempre la misma proyección horizontal. Uno de los platos se mantuvo ligeramente inclinado con el objetivo de obtener un perfecto contacto con los bloques huecos de hormigón. 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 triturado el bloque hueco de hormigón el conjunto retorna automáticamente a la posición inicial.

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

$$R = \frac{P}{S} = \frac{P}{l \cdot b} \quad (2)$$

Dónde:

P: Carga aplicada al bloque

S: Superficie de la sección transversal del bloque, cm²

R: Se expresará en kgf/cm² cuando P esté en kgf o en kN/cm², cuando P esté en kN.

El ensayo de resistencia a la compresión se realizó a la edad de rotura de 28 días.

Para cada material ensayado se consideró que la resistencia del bloque a la compresión, viene expresada por el valor medio de los resultados obtenidos.

2.8 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 y se obtuvo a través de la ecuación (3):

$$IAR = \frac{A}{B} \cdot 100 \quad (3)$$

Dónde:

IAR: Índice de actividad resistente

A: Promedio de la resistencia a la compresión de las probetas del bloque de ensayo (puzolana y cemento), MPa.

B: Promedio de la resistencia a la compresión de las probetas del bloque 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 las probetas tanto de los bloques con adición como de los bloques de referencia, y que para confirmar parámetros de calidad de los mismos, se realizaron pruebas de resistencias mecánicas que tributan a su determinación.

Conclusiones parciales

- Las muestras de tobas vítreas seleccionadas para ser caracterizadas se consideran representativas.
- Las técnicas analíticas y experimentales que fueron aplicadas en los materiales y mezclas preparadas para el desarrollo de la investigación reúnen los requisitos según las normas establecidas.
- Las tobas vítreas analizadas tiene características adecuadas para ser utilizados como material puzolánico.

CAPÍTULO III. RESULTADOS OBTENIDOS

Se presentan los resultados experimentales que confirman la hipótesis científica sobre las potencialidades del material tobáceo del yacimiento de la cooperativa de Flores, a través de sus características granulométricas, químicas y mineralógicas, 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 la determinación de la composición granulométrica de las tobas vítreas empleadas en la elaboración de los bloques se realizó según las metodologías descritas en el capítulo anterior.

Se puede apreciar en la figura 3 que las tobas vítreas de la cooperativa de Flores una vez molidas durante 20 minutos, poseen una distribución granulométrica fina, el 80 % del material cernido se encuentra en el tamiz de diámetro 59 μm , con un diámetro medio de partículas de 40 μm , se observa que el tamaño de partículas en el 50 % del material cernido está en el tamiz 12 μm .

En comparación con el valor máximo de 34 % retenido en el tamiz 45 μm , establecido por la norma ASTM C 618, para su utilización como puzolana natural se puede plantear, que el material analizado presenta características granulométricas adecuadas, que le confieren perspectivas para ser empleados como aditivos puzolánicos al cemento, dado que el cernido en este tamiz sobre pasa el 75 %.

Además de estas características se pudieron conocer los resultados de la superficie específica que brinda el análisis granulométrico en el analizador de partículas HORIBA LA – 910, cuyo resultado arrojó 11087 cm^2/cm^3 . Esta propiedad superficial analizada permite argumentar con mayor precisión los resultados de la caracterización granulométrica del material investigado y su

potencialidad como material puzolánico. Al conocer que se trata de un material fino y con elevada superficie específica, permite un mayor contacto entre las partículas, lo que favorece el proceso de aglomeración que se desarrolla en la mezcla con el cemento, comportamiento que está en correspondencia con las investigaciones desarrolladas por Erdogan (1996), para la utilización como puzolana natural de materiales similares.

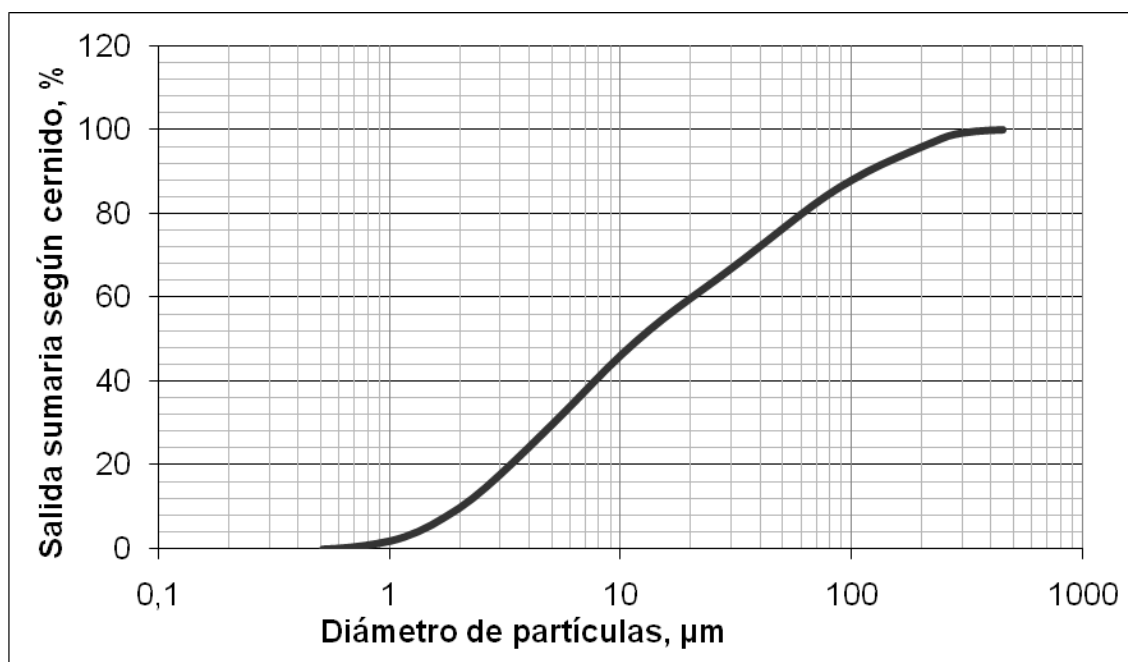


Figura 3. Característica de tamaño de las tobas vítreas de la cooperativa de Flores para 20 minutos de molienda

3.2 Análisis e interpretación de los resultados obtenidos de las resistencias mecánicas

3.2.1 Resistencias mecánicas

En la Tabla 5, se ofrecen los resultados de los ensayos mecánicos a la compresión por muestras preparadas con tobas naturales y muestras patrones de cemento, a las edades de 7 a 28 días.

Los resultados de las pruebas de las resistencias mecánicas son de gran importancia para las posibles aplicaciones y control de la calidad de los cementos, morteros y hormigones, principalmente la resistencia a la compresión, la cual

puede ser utilizada como criterio principal para seleccionar el tipo de bloque, ya que es relativamente fácil de medir y comúnmente se relaciona con otras propiedades, como la adherencia y absorción del bloque. 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. Como se muestra en la tabla 5 y el gráfico de resistencia a la compresión de los bloques con adición de puzolana y de los bloques patrones.

Tabla 5. Resultado obtenidos de resistencia a la compresión

Ensayos realizados							
Bloques	Resistencia a la compresión(MPa) a edades de 7 y 28 días (20 %) de tobas		Absorción	Resistencia a la compresión(MPa) a edades de 7 y 28 días (Patrón		Masa (Húmeda) (Kg)	Masa (Seca) (Kg)
1	4	4.38	4.6	4	4.4	13.460	12.870
2	3.1	3.75	5	3.1	3.8	13.550	12.910
3	5.1	6.38	4.7	5.3	6.5	13.500	12.900
4	5	6.25	-	5.7	6.3	-	-
Promedio	4.3	5.19	4.7	4.5	5.25	13.5	12.89

3.2 Resistencia a la compresión

En el gráfico uno se muestran los resultados de la resistencia a la compresión de los bloques con adición de tobas naturales y patrones de referencia. Se puede observar que la resistencia a la compresión de los bloques con adición de tobas naturales, muestran un incremento de la resistencia a los 28 días. Como se muestra gráfico uno.

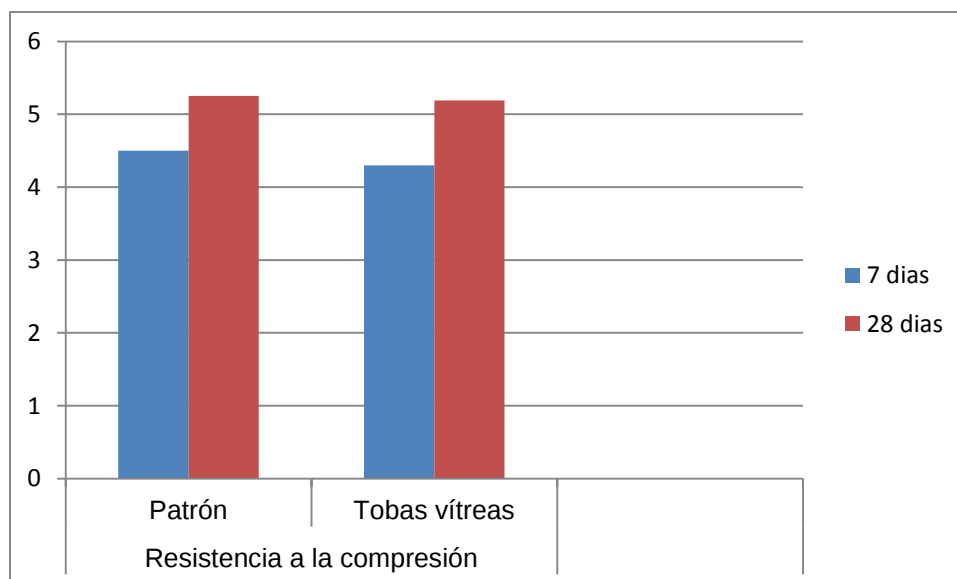


Gráfico 1: Resistencia de la compresión

3.3 Resultados del índice de actividad puzolánico

En la tabla 6 se representan los valores de los diferentes índices de actividad resistente por muestras de bloques, con relación al valor de resistencia mecánica a la compresión del bloque patrón para la edad de ensayo.

Se debe destacar que la reacción puzolánica prevalece en el tiempo, esto puede estar relacionado con la reacción que ocurre con los productos de la hidratación de cemento, particularmente el hidróxido de calcio, con las fases activas de la puzolana, por lo que se puede considerar un proceso de larga duración, que puede continuar a partir de esta edad. Según Campolat et al. (2003), en el aspecto práctico, este proceso es beneficioso, ya que con la neutralización del $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se obtendrán bloques y hormigones cada vez más resistentes, lo cual representa un aporte de estabilidad para las estructuras que se proyecten con el empleo de estas adiciones.

Como se puede apreciar, los valores del índice de actividad resistente calculados para cada muestra, con porcentajes de adición de 20 %, supera en solo el 98.85

% que es el mínimo exigido por la norma ASTM C 618 -08, los bloques con adicción de tobas naturales, para la edad de 28 días.

Tabla 6. Índice de actividad puzolánico

Índice de Puzolanidad		
Sustitución (20%)	7 días	28 días
Tobas vitreas de la cooperativa de Flores	95.6%	98.85%

3.4 Valoración socioeconómica y ambiental

Se ha podido constatar de manera particular que dentro de la provincia Holguín existen municipios con posibilidades de explotar recursos minerales para la construcción, uno de ellos es el municipio de Banes. Lo cual puede ser de gran beneficio para el desarrollo local del mismo.

Las puzolanas como aditivos son de capital importancia dentro de la industria del cemento, ya que intervienen en la calidad del producto final, aumentan la eficiencia del proceso de fabricación, y reducen los costos de producción y las emisiones al medio ambiente.

Con los resultados obtenidos del trabajo y con el objetivo de tener una idea acerca de los aportes económicos de estos por concepto de sustitución de cemento por tobas naturales y la reducción de gases nocivos a la atmósfera se tiene en cuenta lo siguiente:

La industria cubana de cemento presenta altos consumos de energía, tanto eléctricas como de portadores energéticos (combustibles), el consumo anual de las seis fábricas con las que cuenta el país, están en alrededor de 240 000 MW·h y 250 000 t de combustible. De acuerdo a las operaciones y procesos involucrados en la obtención de cemento se establece el balance de consumo energético que

se muestra en la tabla 7. Balance de consumo de energía eléctrica de las empresas cubanas de cemento.

Tabla 7. Balance de consumo de energía eléctrica de las empresas cubanas de cemento

Operaciones y procesos	Consumo, %
Extracción, preparación de la materia prima y transporte a la fábrica	3
Prehomogenización y molienda de crudo	18
Homogeneización y clinkerización	29
Molienda de Clinker	24
Servicios generales y auxiliares	23
Iluminación	3

En la actualidad el consumo de combustible y energía eléctrica se ha incrementado debido a las transformaciones de expansión que se ha llevado a cabo en estas empresas cementeras. Se han incrementado los costos del petróleo y la importación de insumos y materiales auxiliares, unido a la lejanía y escasez de recursos minerales que se emplean como materia prima para la producción de cemento.

Lo anterior permite comprender el ahorro considerable de energía al practicar la producción de puzolanas a nivel local ya que mientras más cerca este la fuente de la materia prima de la industria, menores serán los gastos en cuanto al transporte y con ello el consumo de combustibles.

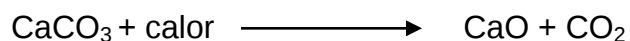
De acuerdo a la literatura especializada (Taylor, H. 1990), plantea que para producir una tonelada de clinker se necesita consumir aproximadamente 150 kilogramos de combustibles. Por tanto, producir un millón de toneladas de clinker, consumiría cerca de 150 mil toneladas de combustible. La adición de diferentes cantidades de puzolanas, ahorra combustible.

Cuba cuenta con una capacidad de producción de cemento Portland o gris de 3,376 millones de toneladas, tomando como referencia la producción de un millón

de toneladas, con una media de un 20% de adición de puzolanas, se ahorrarían unas 45 mil toneladas de combustibles, equivalentes a unos 22 millones de USD, tomando como referencia que una tonelada de combustible cuesta unos 490,00 USD.

Estos valores se ajustarían de localizarse y explotarse yacimientos de puzolanas de mayor calidad, que equivaldrían a mayores por cientos de adicción y la introducción masiva del uso de los cementos puzolánicos en la actividad constructiva.

En cuanto a los beneficios ambientales que trae consigo el empleo de las puzolanas como adición mineral al cemento Portland. Tenemos que durante la fabricación del clinker de cemento, se despiden a la atmósfera, grandes cantidades de gases, entre ellos CO₂ y uno de los responsables del efecto invernadero. Para producir un millón de toneladas de clinker se necesitan calcinar cerca de dos millones de toneladas de calizas o margas portadoras de CaCO₃, por lo que se emitirán a la atmósfera un aproximado de medio millón de toneladas de CO₂, al descomponerse el CaCO₃. Como se muestra en la fórmula siguiente.



Otro de los gases nocivos que se emiten a la atmósfera durante la fabricación del clinker es el SO₂ responsable de las lluvias acidas, este gas es un producto de la quema de combustibles con determinados por cientos de azufre (S).

De lo anterior se deduce que es vital desde el punto de vista económico y medio ambiental para la industria del cemento, reducir los volúmenes de producción de clinker y una de las formas de lograrlo es localizando y fomentando el uso de puzolanas de alta calidad, lo cual elevaría los por cientos de adicción o mezclas sin afectar la calidad y prestaciones de los cementos producidos.

CONCLUSIONES

Los materiales tobáceos de la cooperativa de Flores, según requisitos de calidad establecidos por la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales (ASTM C 618), poseen perspectivas para su utilización como aditivo puzolánico natural, lo que se fundamenta en los siguientes argumentos:

- Desde el punto de vista teórico al considerar la composición química, granulométrica y mineralógica, los materiales reúnen las condiciones para ser considerados potencialmente materiales puzolánicos naturales.
- Al realizarles los ensayos de resistencia a la compresión a los bloques con adición de puzolanas arrojaron valores satisfactorios.
- La distribución granulométrica de las tobas vítreas de la cooperativa de Flores es adecuada de acuerdo a los requisitos normalizados para su utilización como puzolana natural.
- Las perspectivas de utilización de los materiales tobáceos estudiados en esta investigación muestran resultados alentadores para los programas de construcción de viviendas y otras obras sociales, lo cual permite influir positivamente en el desarrollo local con la disminución del consumo de cemento.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos y su valoración se recomienda:

- Estudiar con técnicas adecuadas el mecanismo de la reacción puzolánica que ocurre al emplear tobas vítreas y su comparación con otros materiales naturales y artificiales.
- Completar el estudio en sistemas cal – puzolana y en hormigones, que permitan establecer las dosificaciones correspondientes a cada aplicación específica.
- Desarrollar el proyecto de exploración geológica de las tobas vítreas del yacimiento de Flores que permita obtener la concesión minera para ser empleadas como material puzolánico.
- Continuar estas investigaciones como una alternativa más factible que el empleo del metacaolín, que hasta este momento es la aprobada inicialmente para ser aplicada en nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Almenares. R. R. S. (2011).** Perspectivas de utilización de tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín como aditivos puzolánicos. Carlos A. Leyva Rodríguez (Tutor). Tesis de Maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. 77 p.
2. **Ambroise. J. S. Maximilien and J. Pera.** Properties of Metakaolin blended cements. Advanced Cement Based Materials, 1994.
3. **Arikan. M. et al.,** Properties of blended cements with thermally activated kaolin. Construction and Building Materials, 2009.
4. **Batista R.** Valoración del potencial de los recursos minerales para la industria del cemento en Cuba, 2007.
5. **Cabrera R.** Evaluación de las tobas vítreas y zeolitizadas de la región de Holguín para su utilización como puzolana natural en la construcción, 2010.
6. **Castillo O. Pou C.** Tecnología general del cemento.
7. **Calleja, J. 1966.** Apología de los conglomerantes puzolánicos. Revista Cemento – Hormigón. (386): 3.
8. **Calleja, J. 1969.** Las puzolanas. Monografía del I.E.T.C.C. 281. 95 p.
9. **Costafreda. J.L. Rosell. M. Calvo. B.** Estudio del comportamiento puzolánico de algunas zeolitas de Iberoamérica empleando el método de la conductividad eléctrica.
10. **Chakchouk. A. B. Samet, and T. Mnif.** Study on the potential use of Tunisian clays as pozzolanic material. Applied Clay Science, 2006.

11. **Chakchouk. A. et al.** Formulation of blended cement: Effect of process variables on clay pozzolanic activity. Construction and Building Materials, 2009.
12. **Cabrera, J. and M.F. Rojas,** Mechanism of hydration of the metakaolin-lime-water system. Cement and Concrete Research, 2001.
13. **Drits. V.A.** Structural and chemical heterogeneity of layer silicates and clay minerals. Clay Minerals, 2003.
14. **Erdogan, T.Y. 1997.** Admixture for Concrete. Middle East Technical University. Press. Ankara.
15. **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.
16. **Gonzales S.** Evaluación de mezclas de cieno carbonatado y cemento P-350 para su posible uso como materia de construcción, 2012.
17. **Howland, J. J.; Blanco-Varela, M. T.; Gener, M. y Martín, A. R. 2006.** Investigación sobre la durabilidad de los hormigones elaborados con cemento Pórtland y adición de puzolanas naturales, en ambiente marino. Cemento Hormigón, ISSN 0008-8919 (891): 2-10.
18. **Justo Álvarez.** Evaluación preliminar de materiales cementantes suplementarios como aditivos al cemento P-350 para su utilización en la construcción. 2012.
19. **José R.** Evaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo para su utilización como árido y puzolana natural en la construcción, 2009.

20. **Kakali. G. et al.** Thermal treatment of kaolin: the effect of mineralogy on the pozzolanic activity. Applied Clay Science, 2001.
21. **Martirena. J.F.** Una alternativa ambientalmente compatible para disminuir el consumo de aglomerante de clinker de cemento Portland: la aglomerante cal -puzolana como adición mineral activa, in Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Construcciones. 2003, Universidad Central de Las Villas: Santa Clara, Villa Clara, Cuba.
22. **Mateos M.** Resistencias de mezclas de puzolana natural, cal y arena, 1977.
23. **NC 178 – 2002.** Áridos. Análisis granulométrico.
24. **NC 251 – 2005.** Áridos para hormigones hidráulicos —requisitos.
25. **NC 54 – 207,1980:** Cemento. Ensayo físico – mecánicos.
26. **NC TS 527 - 2007:** Cemento hidráulico. Método de ensayo. Evaluación de las puzolanas.
27. **Rabilero. A. C. 1988:** Las Puzolanas. Cinética de Reacciones. Editorial Oriente. Santiago de Cuba. Santiago de Cuba. 114 p.
28. **Shi. C. and R.L. Day.** Comparison of different methods for enhancing reactivity of pozzolans. Cement and Concrete Research, 2001.
29. **Taylor. H.F.W. ed.** Cement Chemistry. 1990, Academic Press: London, U.K. 491.

ANEXOS

Anexo1



Molino de arena

Anexo2



Compactadora eléctrica

Anexo 3



Muestra de tobas vítreas de la cooperativa

Anexo 4



Muestra de bloques

Anexo 5



Aditamento para la compresión