



Evaluación de tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín para su utilización como puzolana natural en la construcción*

Yunier Pérez Rodríguez

Carrera: Ingeniería en Metalurgia.

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

Resumen: Se evaluaron las tobas vítreas y zeolitizadas de los yacimientos Sagua de Tánamo, Guaramanao, Caimanes y San Andrés, a partir de la caracterización química, granulométrica y se determinó la resistencia a la flexotracción y a la compresión de morteros elaborados con adiciones de 15 % de material tobáceo como sustituto del cemento portland, a partir de los métodos indicados en las normas para tales especificaciones para su posible utilización como puzolana natural en la construcción. Los materiales fueron triturados, molidos y cribados para obtener las condiciones granulométricas adecuadas para la elaboración de los morteros, lo que permitió determinar que morteros elaborados con adiciones de 15 % de tobas vítreas y zeolitizadas poseen un índice de puzolanidad a los 7 y 28 días de ensayados superior a 75 %, el contenido de los óxidos de silicio, aluminio e hierro supera el 70 % y la cantidad de material retenido en el tamiz con tamaño de 0,045 mm en el cribado por vía húmeda es inferior al 34 %, lo cual demuestra la idoneidad de los materiales evaluados en esta investigación para su empleo como puzolana natural.

Palabras clave: Tobas vítreas y zeolitizadas; material de construcción; puzolona natural.

Evaluation of zeolitized and vitreous tuffs located in the province of Holguín for use as a natural pozzolan in construction

Abstract: This work involves the evaluation of vitreous and zeolitized tuff present in the ore bodies of Sagua de Tánamo, Guaramanao, Caimanes and San Andrés, based on chemical and granulometric characterizations and flexotraction and compression resistance of mortar made with 15 percent tuffaceous material as a substitute for Portland cement by applying the methods described in the standards for those specifications for its potential use as a natural pozzolan in construction applications.

Key words: Vitreous and zeolitized tuff; natural pozzolan; construction material.

Introducción

Desde hace varias décadas es práctica universal la adición al cemento Portland de ciertos materiales sólidos, principalmente silicatos y aluminosilicatos, de origen natural (volcánico o sedimentario) o subproductos de algunas industrias (escorias, etc.) e incluso minerales naturales activados térmicamente (arcillas calcinadas). Estas adiciones confieren al cemento Portland ciertas propiedades de gran importancia práctica, principalmente en el orden de lograr una mayor estabilidad química y por tanto una mayor durabilidad en el cemento y el hormigón (Rabilero, 1988).

Los trabajos de Lea, F. M. (1938, 1940, 1954) así como de Soria F. (1967), Massazza, F. (1974), Calleja, J. (1966 y 1969), Sousa Coutinho, A. (1959) y Malquori, G. (1960), han confirmado las posibilidades de utilización teniendo en cuenta las virtudes de estos materiales que la naturaleza ofrece y una salida de gran importancia económica.

Las puzolanas naturales son un importante componente para la producción de cementos Portland mezclados y puzolánicos, contribuyendo a la conservación del medio ambiente natural y humano al reducir la emisión de gases nocivos como CO₂, SO₂, porque para su obtención no se somete la materia prima a la tostación en los hornos.

Cuba cuenta con recursos prospectados por más de 500 millones de toneladas, en varios

yacimientos con distintos grados de estudio, distribuidos por toda la isla, de tobas alteradas, tobas vítreas (vidrio volcánico) y tobas zeolitizadas; con perspectivas de ser explotadas como puzolanas, además, el país cuenta con varias centenas de millones de toneladas en recursos pronósticos de tobas vítreas, que necesitan de estudios más detallados para avalar su uso como puzolanas.

Hoy en el mundo se ha notado escasez de material de construcción debido al aumento considerable de su utilización, elevado costo y otros factores que se presentan localmente. En Cuba, debido a la acción de los fenómenos naturales como los ciclones, se han perdido anualmente numerosas viviendas lo que obliga a la investigación de otros áridos, motivando así al estudio de rocas como tobas vítreas, tobas zeolitizadas, serpentinitas y otras. Holguín es uno de los territorios más poblados del país. Del total de viviendas un alto porcentaje se encuentra en mal estado (cerca de un 40 %). El nivel de construcciones de vivienda es uno de los más altos del país. Por lo que el objetivo del presente trabajo está encaminado a evaluar las tobas vítreas y zeolitizadas de los yacimientos Sagua de Tánamo, Guaramanao, Caimanes y San Andrés, a partir de sus propiedades puzolánicas, para su posible utilización como puzolana natural en la construcción.

Puzolanas. Definición

El código ASTM (1992), en la definición 618-78, define: "las puzolanas son materiales silíceos o aluminio-silíceos donde predomina el componente amorfo 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 del 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 microsílíce (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 puzolánica: Las propiedades de las puzolanas dependen de la composición química y la estructura interna. Se prefiere puzolanas con composición química tal que la presencia de los tres principales óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3) sea mayor del 70 %. Se trata de que la puzolana tenga una estructura amorfa. Es esencial que la puzolana esté finamente dividida para que la sílice pueda combinarse con los óxidos e hidróxidos de calcio, liberados durante las reacciones de hidratación del cemento Portland en presencia de agua, para formar silicatos de calcio estables con propiedades cementantes. Las adiciones al cemento Portland varían de un 3 % hasta más de un 35 %. La adición de puzolanas confiere al cemento Portland, propiedades de gran importancia práctica, como son: aumento de su estabilidad química y por tanto aporta una mayor durabilidad al hormigón, disminuye la liberación del calor de hidratación confiriendo menor permeabilidad en los hormigones. Para evaluar las puzolanas se tienen en cuenta diferentes parámetros tanto químicos como físicos. Estas se clasifican en tres tipos según la norma ASTM C 618-01, los cuales son: N, F y C.

Toma y preparación de la muestra

Para la realización de la investigación las muestras fueron tomadas en la región de Caimanes (Farallones), Sagua de Tánamo (El Picao), San Andrés y Guaramanao (San Andrés), las cuales están constituidas por tobas y compuestas principalmente por vidrio volcánico y zeolita como un producto de la alteración de estas rocas. Para determinar la cantidad de material utilizado en cada caso se tuvo en cuenta la norma cubana correspondiente (NC 178 2002).

Métodos empleados en la investigación

Para la realización de los análisis y ensayos se utilizaron los métodos de caracterización granulométrica por vía seca y húmeda según la norma de la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales ASTM C 897-00 y el análisis por vía húmeda fue corroborada por el analizador de partículas HORIBA LA-910. La determinación de la resistencia mecánica se realizó según la ASTM

C-31 1 "Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for use as a Mineral Admixture in Portland-Cement Concrete". Los ensayos químicos se realizaron por el método de Plasma Inductivamente Acoplado (ICP) y por fluorescencia de rayos X (FRX). Las técnicas y métodos empleados para la caracterización fueron aplicadas en instalaciones y equipos certificados, lo que permite la confiabilidad de los resultados.

Preparación de los materiales para la conformación de los morteros

La composición se preparó en una mezcladora, se hicieron 6 morteros con arena de la planta del Jobo en Sagua de Tánamo, para las tobas vítreas de Sagua de Tánamo y tobas zeolitizadas de Caimanes, y 6 morteros con arena del Molino "Doscientos Mil" en Holguín para las tobas vítreas de Guaramanao y las tobas zeolitizadas de San Andrés en cada caso, además de 6 morteros patrones (sin adición de tobas), tres para cada tipo de arena se utilizó cemento Portland (P350) y el agua según las pruebas de consistencia normal y porcentaje de sustitución de cemento por material tobáceo de 15 % en peso. Para la dosificación de los materiales tobáceos se determinó la consistencia normal según el tipo de muestra (tobas vítreas y tobas zeolitizadas). Según norma cubana NC 54-207:1980. En todos los casos se utilizó una relación arena-cemento 3-1, variándose la relación agua-cemento-tobas según los ensayos de consistencia normal para cada material.

Equipos utilizados en la investigación

Entre los principales equipos utilizados se encuentran las trituradoras de mandíbula TQ (320 x 165 mm) y TQ (150 x 75 mm), las cuales fueron empleadas para la reducción del tamaño de las muestras de estudio con la ayuda de cuarteadores mecánicos. La realización del análisis granulométrico se realizó por vía seca empleando la escala de tamices (9,52; 4,76; 2,36; 1,18; 0,59 y 0,15 mm) para las arenas y para las tobas por vía húmeda la escala (0,09; 0,075, 0,053 y 0,045 mm), y para ello se utilizó un vibrador mecánico de tamices y en el pesaje de las muestras se empleó una balanza digital EUROPE. Para la elaboración de los morteros se utilizó una mezcladora y una compactadora. Para el ensayo de resistencia a la flexotracción y compresión se empleó una prensa hidráulica. Otros equipos auxiliares utilizados durante el desarrollo de la investigación fueron: estufa, cámara digital, entre otros.

Resultados de la caracterización granulométrica del material tobáceo

Las tobas vítreas y zeolitizadas fueron caracterizadas desde el punto de vista granulométrico, cuyos resultados se muestran en la figura 1. Se puede apreciar que las tobas vítreas de Guaramanao son las de diseminación más gruesa, el d80 del material cernido se encuentra en el diámetro del tamiz 0,070 mm y diámetro medio de partículas de 0,045 mm, seguida de las tobas zeolitizadas de caimanes y las tobas vítreas de Sagua de Tánamo con d80 del material cernido en el diámetro del tamiz 0,051 mm y diámetro medio de partícula de 0,041 y 0,033 mm, respectivamente. Mientras que las tobas zeolitizadas de San Andrés presentan composición granulométrica más fina, el d80 del material cernido es de 0,050 mm y diámetro medio de partícula de 0,042 mm, lo que muestra un comportamiento muy similar de estos materiales. Estas características le confieren disposición para ser empleados como aditivos puzolánicos al cemento.

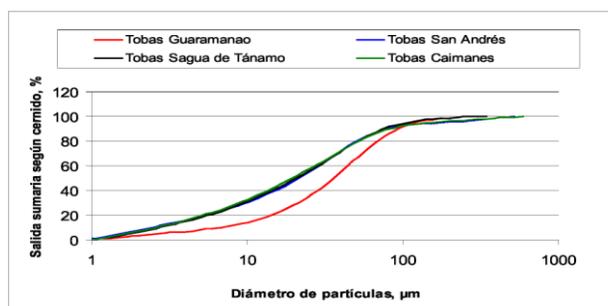


Figura 1. Características de tamaño de las tobas vítreas y zeolitizadas.

Resultados de las caracterización química de las tobas vítreas y zeolitizadas

El material tobáceo del yacimiento Sagua de Tánamo se caracteriza por ser vitroclástico y vitrocrystalocástico, es de color blanco grisáceo, de granulometría fina a media, generalmente abrasivas al tacto, porosa, ácidas con alto contenido de SiO_2 (60,84 %) y contenido de vidrio volcánico superior al 50 %. Por otra parte las tobas del depósito de Guaramanao están constituidas por tobas vitroclásticas de composición ácida (67,6 % de SiO_2), con contenido de vidrio volcánico superior al 87 %, las cuales representan la roca útil o cuerpo mineral. Generalmente estas tobas presentan contenido promedio de montmorillonita de 11,10 %; tal como lo demuestra el contenido de montmorillonita presentan bajo grado de alteración a minerales arcillosos.

Las tobas zeolitizadas del yacimiento Caimanes están compuestas principalmente por zeolita del tipo Clinoptilolita-Heulandita cálcicas y ligeramente potásicas con contenidos que varían de 80-85 % aproximadamente, presenta cuarzo en forma de calcedonia y contenidos de montmorillonita

con valores de hasta 14 %, mientras el óxido de hierro no llega a constituir fase mineralógica por su bajo contenido. Presenta vidrio volcánico amorfo no cristalizado. Mientras que el yacimiento San Andrés se caracteriza por la presencia de tobas zeolitizadas en el que predominan los tipos Heulandita y Clinoptilonita con contenidos de más del 60 y hasta un 85 % de zeolita. Litológicamente la materia prima útil se presenta en tobas vitroclásticas y vitrocrystaloclasticas con colores verde claro o verde.

Tabla 1. Composición química promedio de los yacimientos de tobas vítreas y zeolitizadas

Composición química, %	MnO	FeO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	CaCO ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	PPI
Sagua de Tánamo	-	0,48	1,4	2,56	2,68	3,82	4,5	5,02	14,22	60,8		12,1
Guaramanao	0,08	0,5	2,2	1,11	2,6	2,35	2,7	2,78	12,44	67,6		8,1
Caimanes	1,25	0,58	0,91	4,79	1,28	2,57	0,58	2,95	12,38	62,27		13,17
San Andrés	-	0,87	1,2	1,38	2,05	2,24	3,51	-	11,33	64,5		11,98

Los resultados que se muestran en la tabla 1 demuestran que todos los materiales analizados superan los valores mínimos de la suma de los óxidos de silicio, aluminio e hierro (SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃), los cuales exigen como mínimo 70 % y el menor contenido de componentes alcalinos y alcalinotérreos. La presencia de vidrio volcánico en estos materiales le confiere una estructura amorfa y con ello se incrementa su actividad puzolánica. En este sentido las tobas de Guaramanao y San Andrés son las que poseen mejores cualidades para ser utilizadas como aditivos puzolánico natural.

Resultados de la determinación de la resistencia a la flexotracción

En la figura 2 se observa que a los 7 y 28 días el comportamiento de los valores de resistencia a la flexotracción para los materiales tobáceos están por debajo de los patrones, mostrando un aumento de la resistencia a los 28 días; los materiales que muestran mejor comportamiento son las tobas vítreas de Guaramanao y las tobas zeolitizadas de San Andrés. Sin embargo, no quiere decir que las tobas vítreas de Sagua de Tánamo y las tobas zeolitizadas de Caimanes no posean un comportamiento positivo, esto se refleja en el porcentaje de crecimiento de la resistencia de 7 a 28 días. De acuerdo a los trabajos consultados estos materiales ofrecen un buen comportamiento ante los ensayos de resistencia.

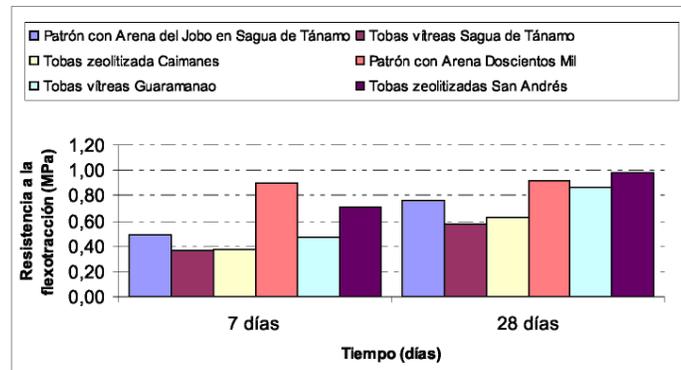


Figura 2. Resistencia a la flexotracción de los morteros patrones y con 15 % de tobas.

Se puede observar que el crecimiento bastante semejante a los 7 y 28 días, excepto para las tobas zeolitizadas, en las cuales se nota un crecimiento más perceptible a pesar de que tiene los más altos valores de resistencia en cada caso. Los resultados obtenidos a los 28 días reflejan la tendencia al acercamiento de resistencia a la flexotracción con las diferentes dosificaciones de tobas (puzolanas) a la mezcla patrón e incluso, las tobas de San Andrés superan esos valores. En todos los casos la resistencia tiende a incrementarse con respecto a los patrones, indicando la acción puzolánica, de los materiales tobáceos analizados.

Resultados de la determinación de la resistencia a la compresión

Según la figura 3, los materiales de mejor comportamiento fueron las tobas de San Andrés y Guaramanao; este resultado puede estar dado por las características granulométricas y químicas de estos materiales al ser finos y con altos contenidos de los óxidos de silicio, aluminio e hierro (SiO₂, Al₂O₃ y Fe₂O₃) y gran contenido de material amorfo. Los resultados mostrados conducen a recomendar estos materiales como puzolanas naturales.

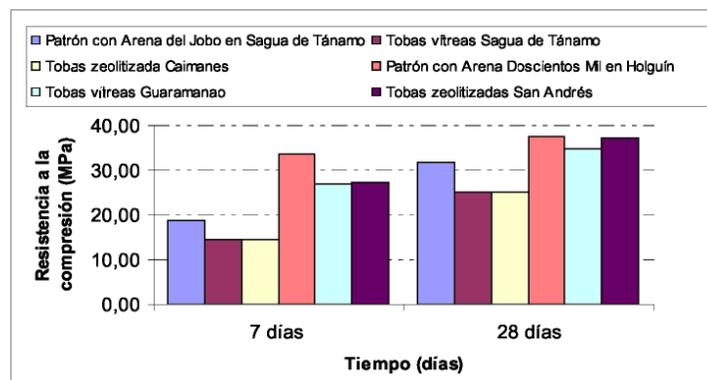


Figura 3. Resistencia a la compresión de los morteros patrones y con 15 % de tobas.

Cumplimiento de los requerimientos exigidos para la utilización de materiales como puzolana natural

La resistencia a la compresión a los 28 días es generalmente usada como criterio principal para seleccionar el tipo de mortero, ya que es relativamente fácil de medir y comúnmente se relaciona con otras propiedades, como la adherencia y absorción del mortero. De acuerdo a los resultados obtenidos de resistencia a la compresión mostrados en la figuras 9 y 10 y al compararlos con los tipos de morteros que utilizan en la albañilería, los cuales para una relación arena-cemento 3-1 (relación utilizada en esta investigación) deben mostrar una resistencia a la compresión a los 28 días de 12,4 mPa de acuerdo a lo establecido en la norma cubana (NC 175: 2002).

Se puede afirmar que para las adiciones del 15 % de tobas vítreas y zeolitizadas los valores de resistencia son superiores para todos los casos, lo cual demuestra la idoneidad de los materiales evaluados en esta investigación. Además demuestran su capacidad de ser empleados como puzolana natural de acuerdo al cumplimiento de los requisitos normalizados para la utilización de estos materiales con estos fines.

Tabla 2. Requerimientos normalizados que cumplen los materiales ensayados

Ensayo	Requerimientos	Resultados			
		Tobas Sagua	Tobas Caimanes	Tobas Guaramanao	Tobas San Andrés
Índice de puzolanidad	A los 7 días 75 %	77%	78%	80%	81%
	A los 28 días 75 %	79%	79%	93%	99%
Análisis químico	Óxidos de silicio, aluminio y hierro (SiO ₂ , Al ₂ O ₃ y Fe ₂ O ₃), mín., 70%	78,88%	77,22%	82,41%	78,07%
	Pérdida por ignición, máx., 10 %	11,2	13,17%	8,10%	11,98%

Conclusiones

Todos los materiales analizados cumplen con los requerimientos evaluados para la utilización de materiales como puzolana natural.

Los morteros elaborados con adiciones de 15 % de tobas vítreas y zeolitizadas superan los valores de resistencia de los morteros de albañilería (NC 175: 2002), lo cual demuestra la idoneidad de los materiales evaluados en esta investigación para su empleo en la industria de materiales de construcción.

La resistencia a la flexotracción y a la compresión de los morteros elaborados con material tobáceo muestra un incremento de 7 a 28 días con respecto a los morteros patrones. Esto demuestra su actividad puzolánica, acentuado para las tobas zeolitizadas de San Andrés y las tobas vítreas de Guaramanao.

Recomendaciones

La determinación del Índice de Bond de las tobas vítreas de Sagua de Tánamo y las tobas zeolitizadas del yacimiento Caimanes para la posible propuesta de una tecnología de explotación de estos materiales.

Estudiar la implementación de una tecnología para la explotación de las tobas vítreas y zeolitizadas para contribuir al ahorro de cemento, a eliminar el déficit de materiales de construcción y por ende al desarrollo local.

Referencias bibliográficas

- ASTM C 897-00. 1992: Standard Specification for Aggregate for Job-Mixed Portland Cement-Based Plasters.
- CALLEJA, J. 1966: Apología de los conglomerantes puzolánicos. Revista Cemento – Hormigón. No. 386. 3 p.
- CALLEJA, J. 1969: Las puzolanas. Monografía del I.E.T.C.C. No. 281.
- LEA, F. M. 1938: The Chemistry of Puzzolanas, Proc. Symp on the Chemistry of Cement. Estocolmo. 460-504 p.
- LEA, F. M. 1940: Investigation on Puzzolanas, Building Research Tech. Paper No. 27, His Majesty's Stationary Office, Londres. 63 p
- LEA, F. M. 1954: Mecanismo Dell'azione puzolánica, Estratto Dagli Anali di Chimica. Vol. 44. Roma.
- MALQUORI, G. 1960: Portland Puzzolanic Cements. Proc. IV Int. Symposium of the Chemistry of Cements Washington.

MASSAZZA, F. 1974: Chemistry of Pozzolanic Addition and Mixed Cements. Proc. VI Int. Congreso on the Chemistry of Cements. Moscú.

NC 178: 2002: *Áridos. Análisis granulométrico.*

NC 54-207: 1980 *Cemento. Ensayo físico-mecánicos.*

RABILERO, A. C. 1988: *Las Pozolanas. Cinética de Reacciones.* Editorial Oriente. Santiago de Cuba.

SORIA, F. 1967: Panorama de los cementos puzolánicos en el futuro. Premio Luzán. Compañía española de puzolanas. Madrid. 46 p.

SOUSA CONTINHO, A. 1959: Las puzolanas y sus propiedades. Revista *Cemento-Hormigón*. No.306. España.

* Trabajo presentado en el *XIX Forum Científico Nacional de Estudiantes Universitarios de Ciencias Técnicas*. Tutorado por el ingeniero Roger Samuel Almenares Reyes.