



Instituto Minero Metalúrgico de Moa

DR. Antonio Núñez Jiménez

Norges Carbonell Hechavarría



Departamento de
Ingeniería geológica

Trabajo de Diploma

En opción del título de Ingeniero geólogo

Título: PERSPECTIVAS DE UTILIZACIÓN DE TOBAS
ZEOLITIZADAS DEL YACIMIENTO PALENQUE DE
YATERAS COMO ADITIVO PUZOLÁNICO.

Autor: Norges Carbonell Hechavarría

Tutores: Dr. C Carlos A. Leyva Rodríguez

Dr. C Eugenio Vidal Méndez

Moa, 2017

Año 59 de la Revolución

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mi mamá Merlanis Hechavarría Fournier y mi papá Pablo Carbonell Videaux por formarme como persona, contribuir a mi investigación porque prácticamente este ha sido su trabajo, ayudándome en todo lo posible y lo imposible y lo más importante, por ser responsables por todas las cosas buenas que me han pasado.

A mis hermanas Eleyanet Carbonell Hechavarría y Maray Carbonell por ser también motivo de inspiración en todos estos años y estar ahí siempre que las necesite.

A mis abuelas y abuelos Miguel, Chanín, Nereida, Juana y Amalia por ser muy buenas, son lo máximo y siempre están al tanto de todo lo que me pasa para ayudarme y las quiero mucho.

A todas mis tías y tíos, Anita, Sara, Nidia, Virgen, Odalis, China, Cristina, Ñaña, Elena, Yolo, Luis, Alfredo, Ariel, Arturo, Rolando, Adonis, Pacito, Adalberto porque siempre están ahí cuando los necesito y esperan muchas cosas buenas de mí además de todas las que les he regalado.

A mis primas y primos, Chuchula, Denisse, Yaomi, Yaima, Isleidis, Keylan, Nayi, Kirenia, Lester, Eric, Anyelo, Yeison, Kevin, Rosleidis, Raudelis, Tato, Dariel, Yaimel porque siempre están ahí para alegrarme el día.

También me lo dedico porque he sabido evadir todos los obstáculos que se me han presentado en el camino y he trabajado para esto, por eso me lo merezco.

Con una familia así puedo conseguir todo lo que me proponga.

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, mis hermanas, abuelas, tío, tías, primas y primos, a todos en general.

Mis tutores, el Dr.C Vidal y el Dr.C Carlos Leyva Rodríguez.

Todos los profesores del departamento de geología y aquellos que no lo son, especialmente, Yurislei, Carlos, Beatriz, Carmenate, Liuska, Nicolás, Roberto, Dioelis, Teresa, Reinier, Jhon, Marlon que de una forma u otra contribuyeron a mi formación como profesional.

Todos mis compañeros de grupo y aquellos que no lo son, en especial a Wilfredo, Carlos Luis, Ernesto, Daniel, Adrián, Dianelis, Lisebel, Keilín, Maidelín, Mariela, Geysi, Juan, Luis, Carlitos, Jorge, Raymond, el gordo, Yoelbis, Freddy, Perucho, Emilio, Enriquito porque una de las mejores cosas que me ha pasado fue conocerlos a ustedes.

Mis hermanos del básquet y de la vida, Carlos, Greenidge, Jose, Yaimel que hicieron de mis cinco años en la universidad toda una aventura.

Mis eternos amigos Frank, Mario, José Manuel, Sisto que siempre están ahí para lo que sea, de verdad que son trascendentales.

A Yusmira del CITMA y sus muchachos de la Estación Meteorológica de Palenque; también Lilieta de la ONRM; Raymond y Dinaurys de la UEB Manuel Támes y Vega de la EPCONS de Guantánamo que fueron muy preocupados y me ayudaron mucho en la realización del trabajo.

A todos, muchas gracias

Pensamientos

"La gente espera éxitos, y quiere que sean como el café, instantáneos".

Sir Robert William "Bobby" Robson. (1933-2009. Jugador de la Selección Nacional de Inglaterra y Manager).

"Mientras más duro sea lograr la Victoria, mayor será la felicidad al alcanzarla".

Edson Arantes Do Nascimento, Pelé. (1940. Ex-Futbolista de la Selección Brasileña y del Santos F.C.)

Resumen

Se determinaron las propiedades puzolánicas de los tobas zeolitizadas del yacimiento de Yateras para evaluar las perspectivas de su utilización como puzolanas naturales, según los parámetros de calidad normalizados, al sustituir el cemento Pórtland con tres porcentajes diferentes: 15, 30 y 50 % en peso. Se realizó una caracterización, basada en la caracterización granulométrica mediante un analizador de tamaño de partículas y los ensayos de resistencia a la compresión a partir del método indicado en las normas para tales especificaciones. Lo que permitió determinar que estos materiales, poseen perspectivas para su utilización como aditivo puzolánico, y al sustituir el 15 y 30 % de cemento con material tobáceo, se obtienen bloques cuyas resistencias son suficientes para su utilización en la construcción siendo estas las dosificaciones idóneas para el empleo como material cementicio suplementario.

Abstrac

The properties puzolánicas of the tufas zeolitizadas of the location of Yateras were determined to evaluate the perspectives of their use like natural puzolanas, according to the normalized parameters of quality, when substituting the cement Pórtland with three different percentages: 15, 30 and 50% in weight. They was carried out a characterization, based on the characterization mediating granulométrica an analyzer of size of particles and the resistance tests to the compression starting from the method indicated in the norms for such specifications. What allowed to determine that these materials, possess perspectives for their use like preservative puzolánico, and when substituting the 15 and 30 cement% with material tobáceo, blocks are obtained whose resistances are enough for their use in the construction being these the suitable dosages for the employment like supplementary material cementicio.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1. Marco teórico conceptual	5
1.1 Generalidades	5
1.2 Clasificación de los cementos.....	5
1.2.1 Cemento Portland Puzolánico	10
1.3 Puzolanas.....	10
1.3.1 Principales tipos de puzolanas	11
1.3.2 Actividad y reacción puzolánica	11
1.3.3 Utilización de las puzolanas.....	15
1.4 Estado del arte:	16
1.4.1 Características físico-geográficas de las tobas zeolitizadas de Palenque.....	23
1.4.2 Características geológicas regionales.....	24
Capítulo 2. Materiales y métodos	28
2.1 Metodología de la investigación	28
2.2 Etapa preliminar	28
2.3 Etapa de trabajo de campo	29
2.4 Etapa de laboratorio.....	29
2.4.1 Métodos y técnicas analíticas, empleados en la investigación	29
2.4.2 Determinación de la composición granulométrica.	30
2.4.3 Preparación de los materiales para la conformación de los bloques.....	30
2.4.4 Determinación de resistencias mecánicas en los bloques	31
2.5 Etapa de gabinete	33
3.1 Resultados experimentales y su análisis	34
3.1.1 Caracterización granulométrica.....	34
3.1.2 Composición química y mineralógica de los materiales tobáceos utilizados	35
3.1.3 Resistencia mecánica en los bloques	36
3.2 Valoración socioeconómica y ambiental	38
Conclusiones	42
Recomendaciones	43
Bibliografía	44
Anexos	53

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.

En el pasado año el paso del huracán Mattews por la zona oriental del país, principalmente por los municipios guantanameros de Yateras, Baracoa, Maisí y San Antonio ha agravado esta situación. Una manera de compensar este déficit es mediante el aprovechamiento de potencialidades nacionales para la obtención de aditivos, que permitan incrementar los volúmenes y en la medida de lo posible la calidad del cemento.

La producción de cementos con adiciones es ya una práctica común en la Industria del Cemento a nivel mundial. Las razones que justifican la utilización de adiciones son tanto económicas (ahorro energético que se origina por la sustitución de una determinada cantidad de clínker por adiciones), como ecológicas (menor emisión de CO₂ a la atmósfera), como técnicas (mejor comportamiento respecto a durabilidad e incluso mecánicamente resistente).

La industria del cemento es particularmente susceptible a las características de las materias primas, pues de ellas depende el tipo y propiedades del cemento producido y la posibilidad de optimización del proceso de fabricación. La diversidad de aplicaciones que tiene el cemento en la actualidad hace que sea necesario elaborar productos que obedezcan a las distintas necesidades de resistencia mecánica y química, tiempos de fraguado, costos, entre otras.

De aquí que las puzolanas naturales sean un importante componente para la producción de cementos Pórtland ordinario y puzolánico, que contribuyen a la conservación del medio ambiente, al reducir la emisión de gases nocivos como CO₂ y SO₂, ya que no es necesario someter la materia prima (puzolana) a la tostación.

Tabla No. 1.1: Ventajas de las Puzolanas en los Cementos Puzolánicos (Texto elaborado por Alejandro Salazar J.).

<p>A. En la resistencia mecánica</p> <p>A.1 A largo plazo, al prolongar el período de endurecimiento</p> <p>A.1.1 A tracción</p> <p>A.1.2 A compresión</p> <p>A.1.3 Mejor relación tracción-compresión</p>	<p>E. En la plasticidad</p> <p>E.1 Rebajando la relación a/c</p> <p>E.2 Reduciendo la segregación</p> <p>E.3 Evitando la exudación y el sangrado</p>
<p>B. En la estabilidad</p> <p>B.1 Frente a la expansión por cal libre</p> <p>B.2 Frente a la expansión por sulfatos</p> <p>B.3 Frente a la expansión por la reacción álcalis-agregado</p> <p>B.4 Frente a la retracción hidráulica de secado, por la menor relación a/c</p> <p>B.5 Frente a la retracción térmica por enfriamiento</p> <p>B.6 Frente a la fisuración</p>	<p>F. En la impermeabilidad</p> <p>F.1 Reduciendo la porosidad</p> <p>F.2 Evitando la formación de eflorescencias</p> <p>F.3 Produciendo la mayor cantidad de Tobermorita</p>
<p>C. En la durabilidad</p> <p>C.1 Frente a ataques por agua puras y ácidas</p> <p>C.2 Frente a ataques por aguas y suelos sulfatados</p> <p>C.3 Frente a ataques por agua de mar</p> <p>C.4 Frente a ataques por gases de descomposición y fermentación de materias orgánicas</p>	<p>G. En la adherencia</p> <p>G.1 Del agregado a la pasta</p> <p>G.2 Del mortero a las armaduras</p>
<p>D. En el comportamiento térmico</p> <p>D.1 Al liberar menor calor de hidratación</p> <p>D.2 Al producir menor elevación de temperatura</p>	

En Cuba han sido utilizadas, como aditivo para la producción de cementos mezclados o para obtener hormigón, tobas zeolitizadas de los yacimientos, Carolina, Siguaney, El Rubio, Palmarito de Cauto y Tasajera; sin embargo las tobas zeolitizadas de los yacimientos, Las Catalinas, El Chorrillo, San Cayetano, Bueycito, Palenque, Las Pulgas, San Andrés y Caimanes, aún no han sido introducidas en la práctica por la carencia de estudios que avalen su utilización.

Por otra parte se conoce que en esta provincia se cuenta con un importante yacimiento de tobas zeolitizadas presente, principalmente en el territorio de Yateras, que en la actualidad no es aprovechado para estas aplicaciones. Lo anterior permite partir de la siguiente **situación problémica**: En la provincia Guantánamo no se aprovecha la disponibilidad de materiales con posibilidades

de poseer propiedades puzolánicas, para compensar el déficit de materiales de construcción.

A nuestro juicio, el aprovechamiento de estos recursos naturales como aditivo mineral activo en la sustitución parcial del cemento, ha estado limitado, al menos en parte, porque no ha sido resuelto lo que en este trabajo, se declara como **problema de la investigación**: El insuficiente conocimiento acerca de las perspectivas de las tobas zeolitizadas del yacimiento de Yateras, para ser utilizadas en calidad de puzolanas naturales mezcladas con cemento Portland.

Objeto de estudio

Tobas zeolitizadas del yacimiento Palenque de Yateras.

Campo de acción

Propiedades puzolánicas de las tobas zeolitizadas del yacimiento de Yateras.

Objetivo general

Determinar las propiedades puzolánicas de las tobas zeolitizadas del yacimiento de Yateras, para evaluar las perspectivas de su utilización como puzolanas naturales, según los parámetros de calidad normalizados.

Hipótesis

Si se establece la caracterización y ensayos realizados en los que el cemento ha sido sustituido parcialmente por las tobas zeolitizadas, se determinarán las potencialidades del yacimiento de Yateras como materiales puzolánicos naturales y se podrá llegar a conclusiones coherentes, acerca de las perspectivas de utilización de estos materiales como puzolanas naturales, según los parámetros de calidad normalizados.

Objetivos específicos.

- Caracterizar geológicamente el yacimiento de tobas zeolitizadas de Yateras

- Determinar los valores de resistencia a la compresión de los bloques con adición de tobas zeolitizadas en varias tipos de dosificaciones.
- Determinar la dosificación más conveniente para el empleo como material cementicio suplementario.

Tareas de la investigación

- Recopilación y análisis de los trabajos relacionados con los materiales de construcción y puzolánicos, así como la exploración de la problemática mundial, nacional y local de los materiales de construcción.
- Preparación de las muestras; apoyado en la trituración, homogenización, molienda y cribado de las mismas.
- Dosificación de las tobas zeolitizadas en el cemento mezclado para la elaboración de bloques huecos de hormigón.
- Valoración socioeconómica y ambiental.

Capítulo 1. Marco teórico conceptual

En el capítulo se realiza un análisis sobre los diferentes aspectos que se encuentran relacionados con los temas discutidos en la bibliografía consultada, sobre los materiales puzolánicos, con el objetivo de disponer de los elementos básicos para la realización del trabajo. Se expone el estado del arte, la conceptualización y consideraciones teóricas sobre las puzolanas, su importancia económica y tecnológica.

1.1 Generalidades

Para contribuir a una mejor comprensión de los conceptos que se reflejan a lo largo del trabajo se definen algunos términos empleados en el ámbito de los materiales de construcción, como son: cemento, el hormigón, mortero y puzolana.

El **hormigón hidráulico** también denominado **concreto** es el material constituido por la mezcla de cemento, árido grueso, árido fino y agua, con o sin la incorporación de aditivos o adiciones, que desarrolla sus propiedades al hidratarse el cemento, NC 120: (2007a).

Por su parte se denomina “**mortero de albañilería**” a la mezcla de uno o varios conglomerantes minerales, áridos finos, agua y a veces adiciones y/o aditivos, NC 175: (2002b).

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.

1.2 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.

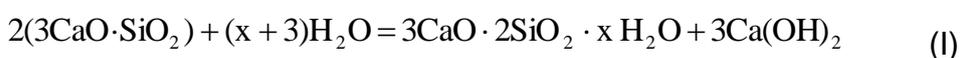
El nombre de cemento Portland está dado por su semejanza, una vez fraguado, con la famosa piedra caliza blanco-plateada que se extraía de unas canteras existentes en la pequeña península de Portland, en la costa sur del Condado de Dorset, en Inglaterra (Toraya, 1999). El cual se describe como un cemento 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.

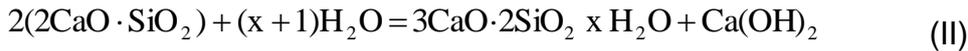
El cemento Portland se obtiene al calcinar a unos 1500 °C mezclas preparadas artificialmente de calizas y arcillas. El producto resultante, llamado clinker, se muele conjuntamente con una cantidad adecuada de regulador de fraguado, que suele ser piedra de yeso natural.

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>).

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.

1.2.1 Cemento Portland Puzolánico

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.

1.3 Puzolanas

Definición

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

1.3.1 Principales tipos de puzolanas

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

Puzolanas artificiales: Sus fuentes principales son los subproductos industriales y materiales tratados térmicamente, ejemplo: cenizas provenientes de la combustión de carbones, bitúmenes e hidrocarburos, en centrales térmicas, eléctricas, etc. Cenizas producidas por la quema de materia orgánica ejemplo: cáscara de arroz, bagazo de caña de azúcar y arcillas activadas térmicamente, las denominadas Microsílice (o el anglicismo “silica fume”) etc. Las cualidades puzolánicas de estos materiales se encuentran en la porción amorfa o vítrea y también en los minerales alterados o fase de descomposición. De todas las puzolanas artificiales las más utilizadas y estudiadas a nivel mundial son las cenizas volantes. Se obtienen como un subproducto de centrales termoeléctricas que utilizan carbón pulverizado como combustible. Estas cenizas se caracterizan por ser un polvo muy fino constituido esencialmente de partículas esféricas. La Norma ASTM C 618 define dos clases de cenizas volantes: Clase F, que se obtienen por la calcinación de carbón antracítico o bituminoso y son cenizas que poseen propiedades puzolánicas; y la Clase C, que se obtienen de la calcinación de carbón sub-bituminoso o lignito, esta clase de cenizas, además de tener propiedades puzolánicas, también tienen propiedades cementicias.

1.3.2 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), no obstante, 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 al cemento Portland (CPO) o como materiales mezclados con el propio CPO, se fundamentan en la reacciones ácido-base en su concepción más general. El ataque químico de los iones OH-que provienen de la disolución del Ca (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).

La composición de los CSH formados durante la reacción puzolánica es similar a la de los CSH formados durante la reacción de hidratación del cemento, pero con una relación Ca/Si generalmente más baja. Si existen apreciables cantidades de alúmina reactiva en la puzolana, tal y como es el caso de las arcillas calcinadas, esta tiende a favorecer no solo la formación de fases de aluminato de calcio, sino también la sustitución parcial del Si por Al en la estructura de los CSH, incrementando así la relación Al/Ca en los CSH, en cuyo caso se refiere a estas fases como CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , H_2O (CASH) (Fernández, L.R. Taylor, H.F.W. ed. 1990). Al igual que las principales reacciones de hidratación del CPO, las reacciones puzolánicas son exotérmicas, pero como se verifican bajo una cinética más lenta, su aporte al calor de hidratación para un instante determinado es menor, aunque la contribución al calor total acumulado puede llegar a ser significativa (Ramachandran, V.S. et al).

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 $V_{H_2O} / V_{Aglomerante}$, un mayor espacio para la formación y crecimiento de las fases hidratadas y un aumento de la relación V_{H_2O} / V_{CPO} , 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).

1.3.3 Utilización de las puzolanas

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

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

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

- Morteros de albañilería (colocación de ladrillos, bloques, entre otros).
- Estabilización de suelo en bloques prensados.

- Producción de prefabricados ligeros de hormigón (bloques, adoquines, entre otros).
- Fundición de hormigón masivo de baja resistencia.

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

1.4 Estado del arte:

Saricimen et al. (1992), a través de la realización de estudios de campo y de laboratorio en zonas (en 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.

La finura del cemento es un factor importante que afecta el índice de desarrollo de la resistencia, para ello, Day y Shi (1994), estudiaron la influencia de la finura de la puzolana en la resistencia de las pastas de cemento cal - puzolana natural. Los resultados demostraron que la resistencia a la compresión aumenta cuando el material es más fino, y la finura de la puzolana natural tiene su efecto más significativo en el desarrollo temprano de la resistencia.

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 Pórtland son más sensibles en el período inicial de curado que las de cemento Pórtland Puzolánico (contenido de puzolana 30 %) porque ocurre la hidratación del cemento Pórtland más rápidamente que la reacción puzolánica en pastas de cemento Pórtland Puzolánico. La hidratación del cemento Pórtland 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 Pórtland en las primeras horas, pero la acelera después de un día.

Shannag y Yeginobali (1995), recomiendan la adición de puzolana natural al cemento Pórtland 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.

Costafreda y Calvo (2007), plantean que la mezcla de cemento Pórtland con agua produce reacciones de hidratación muy activas, dando lugar a la formación de productos estables, tales como portlandita y tobermorita, a partir de la hidratación de fases minerales anhidras que están en su composición primaria. La presencia de zeolita en morteros de cemento, produce ciertas influencias en el comportamiento de esta reacción, que favorecen la formación de productos igualmente estables y duraderos. Los morteros preparados con adición de zeolita natural, exhiben valores bajos de resistencias iniciales a edades tempranas (2 y 7 días); sin embargo, el cemento de referencia sin adiciones, para este intervalo de tiempo, adquiere resistencias cuyos valores duplican los de los morteros con adición de puzolana, lo que demuestra que la presencia de

zeolita natural produce una evidente ralentización de los mecanismos que rigen la reacción de hidratación, lo que posterga la ganancia de resistencias mecánicas. A los 28 días, las resistencias de los morteros con agregado de zeolita adquieren un incremento significativo que se manifiesta en sentido ascendente incluso a los 90 días de edad, cuando en ocasiones supera las resistencias del cemento de referencia. El efecto de ralentización provocado por la zeolita natural puede considerarse como un proceso positivo que permite la coagulación y cristalización del gel cementicio CSH en condiciones físico-químicas óptimas. La zeolita es capaz de controlar, en la interfase cemento-puzolana natural, diversas variables, tales como el pH, la humedad y la velocidad de reacción, y su carácter como intercambiador iónico ejerce profundas influencias en el equilibrio interno de la pasta.

Costafreda (2009), parte de que las zeolitas naturales pueden comportarse como puzolanas activas en sistemas hidróxido de calcio-puzolana, en los cuales provocan abatimientos sensibles en los contenidos de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y de la cal libre en disolución a medida que transcurre el tiempo. Llega a la conclusión de que muchas especies de zeolitas interfieren drásticamente en la concentración de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en disolución y en la conductividad eléctrica de la misma, lo que es un aspecto inherente al tamaño de la partícula, la composición química y la capacidad de intercambio iónico de estos materiales.

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 Pórtland 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.

Costafreda et al. (2011), determinan las propiedades físicas, mecánicas y químicas de algunas zeolitas naturales procedentes de México, Cuba y España y su incidencia en ciertas aplicaciones eminentemente prácticas. Plantean que

los resultados indican que cada variedad de zeolita natural aporta respuestas diferentes frente a los ensayos, posiblemente influenciado por la sutil variabilidad de su composición química. Es evidente que las propiedades físicas, químicas y mecánicas de las zeolitas naturales varían sensiblemente de un tipo a otro dentro de la propia familia mineralógica. Es un hecho que se refuerza cuando estas zeolitas se encuentran en paragénesis con otros minerales distintos, como ocurre en el sureste de España, donde es frecuente encontrar representantes de los filosilicatos, fundamentalmente montmorillonita, como especie mayoritaria del grupo de las esmectitas que son singenéticas con la mordenita en los yacimientos zeolíticos españoles.

En el caso de las zeolitas de México y de Cuba, plantean los autores que puede deducirse su pureza a partir de la gran estabilidad de volumen y del tiempo de fraguado; asimismo, por las resistencias mecánicas elevadas que ofrecen sus probetas ante la compresión.

Costafreda (2011), establece la relación que existe entre el diámetro de las partículas de muestras compuestas esencialmente por zeolitas y esmectitas y su comportamiento puzolánico. El estudio de tres muestras, tras su trituración en tres fracciones distintas (0,080 mm, 0,063 mm y 0,045 mm), demuestra que la superficie específica y la puzolanidad aumentan en la medida en que disminuye el diámetro de las partículas.

Por tal razón para la utilización de los materiales señalados anteriormente se hace necesaria la realización de pruebas que validen su utilización en los diferentes campos de aplicación.

A partir de la década de los años 70 del siglo XX, en Cuba se han efectuado numerosas investigaciones que han elevado el conocimiento geológico del territorio nacional, así como investigaciones a nivel de laboratorio; semi-industriales e industriales que han validado las tobas meteorizadas, tobas vítreas (vidrio volcánico) y tobas zeolitizadas como puzolanas naturales, aptas para producir aglomerantes como el cemento romano y adiciones o mezclas al cemento Pórtland, las cuales han dejado el camino abierto a nuevas investigaciones.

Las zeolitas han tenido un gran desempeño en diversas esferas, es un valioso recurso para la rama de la construcción. Se ha empleado como adición mineral puzolánico en las mezclas con cal en las construcciones antiguas. Estas se utilizan en la construcción como aditivo puzolánicos del cemento (Sarsale, 1985) y hormigones, en la construcción de carreteras, acueductos y edificios, porque el contenido de silicio les permite reaccionar con la cal libre producida durante el fraguado (González, 1976).

Rabilero (1988) ha profundizado más en el comportamiento cinético de la reacción de los cementos con adición de zeolitas naturales cubanas. Al respecto ha llegado a la conclusión de que la portlandita originada por la hidratación del silicato tricálcico (C_3S) reacciona con la zeolita, para dar lugar a una fase tobermorítica secundaria. A partir de los trabajos desarrollados por este investigador, se instauró en Cuba un nuevo tipo de cemento de bajo coste, el cemento romano, que sustituyó parcialmente al cemento Pórtland tradicional, y con el cual se construyeron casas y edificaciones.

Varios autores como López 2006; De Armas 2008; Muxlanga 2009, han estudiado materiales similares como es el yacimiento tobas vítreas Sagua de Tánamo para su utilización como árido ligero y 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, al no contar, con las técnicas y métodos empleados para la realización de los ensayos con las debidas certificaciones de calidad, lo cual no permite homologar sus resultados, para dar lugar a la necesidad de efectuar nuevas investigaciones.

Pérez (2006), establece la caracterización geológica y tecnológica del vidrio volcánico del yacimiento de Guaramanao, orientada hacia su aplicación como material de construcción alternativo. El sistema propuesto se aplica en el municipio de Holguín y permite demostrar que el uso del vidrio volcánico de esta región puede ser utilizado como material para la construcción. Como principal resultado de la investigación se propone, el empleo de la materia prima para diferentes fines como materiales de construcción alternativos,

específicamente áridos y hormigones ligeros. Sin embargo no realiza pruebas encaminadas a su utilización como puzolana natural.

Cabrera (2010), valora un grupo de materiales tobáceos para su utilización como puzolana natural dentro de los cuales se encuentra las tobas de Sagua de Tánamo, Guaramanao, Caimanes y San Andrés. En la investigación se logra determinar la resistencia a la flexotracción y a la compresión de morteros elaborados con la sustitución de 15 y 30 % de tobas por cemento, cuyos resultados evaluados fueron favorables. No obstante, en la investigación no determina el índice de puzolanidad y la caracterización granulométrica se realiza por vía seca, lo que quiere decir que los resultados pudieron verse afectados, debido a que lo recomendado para clases de tamaño pequeñas es el método por vía húmeda. Además se analiza el material sólo a los 7 y 28 días, lo que impide, conocer si las resistencias se incrementan en el tiempo, como se ha planteado por investigadores como Rabilero, Gener y otros, que lo establecen como característica fundamental de los materiales puzolánicos.

De acuerdo con los investigadores del tema el desarrollo de la aplicación de las tobas como una adición mineral, componente alternativo en las mezclas de hormigones y morteros sólo se demuestra mediante ensayos que permitan conocer sus bondades como adición.

Rosell y Galloso (2001); Rosell (2001, 2006, 2007, 2011), han dirigido sus investigaciones al empleo de las zeolitas naturales procedentes del yacimiento de Tasajeras, Provincia de Villa Clara, como material de construcción, principalmente en la producción de cementos y otros aglomerantes, y como aditivos o agregados ligeros, para la producción de hormigones de altas prestaciones con excelentes cualidades técnicas, como la impermeabilidad y durabilidad.

Rosell et al. (2011), plantean que las adiciones activas en los hormigones son cada día más usuales, no solo debido a razones económicas, sino porque los efectos que se desarrollan son beneficiosos para las prestaciones del hormigón, dígame durabilidad y resistencias mecánicas. En Cuba ha sido frenada al no existir fuentes como las tradicionalmente conocidas y

comercializadas como lo son las cenizas volantes y la microsílices. El desarrollo de estudios de algunos minerales industriales nacionales de génesis ígnea como los vidrios volcánicos, las tobas vítreas o zeolitas, han demostrado su actividad puzolánica. Es conocido que la zeolita tiene actividad puzolánica desde la época romana, y actualmente se utilizan en el mundo para la producción de cementos mezclados, sin embargo la experiencia cubana es el precedente de su uso como adición activa a hormigones. Se han realizado investigaciones a diferentes escalas del uso de adiciones de zeolita en tecnologías de prefabricado, premezclado y pretensado que han demostrado las mejoras en las prestaciones.

Prado (2006) comparó las características de los morteros tradicionales empleados en las labores de restauración arquitectónica, con otros morteros elaborados a base de adiciones de puzolanas naturales, preferentemente zeolitas naturales, originarias de Tasajeras, donde obtuvo resultados favorables.

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.

Las primeras producciones de lo que comenzó a ser llamado cemento romano en Cuba, se realizaron en nuestro país en una pequeña planta instalada a tal fin en el lugar conocido por El Brujo a mediados de 1987 en Santiago de Cuba. Algo más tarde se construyó y puso en operación un pequeño molino tipo batch en Aguas Claras, Holguín y una pequeña planta con un molino de bolas de operación continua de dos cámaras con rendimiento de unos 300 kg/h instalada en la planta de prefabricado del MINAZ en Contramaestre, la cual también permitía mezclar el cemento romano que se producía con cemento Pórtland y distribuirlos para diversos fines constructivos con muy buenos resultados.

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.

1.4.1 Características físico-geográficas del yacimiento de tobas zeolitizadas de Palenque.

Según Rizo.R (1991) en su Informe de Exploración Orientativa y Detallado escala 1:2000 del yacimiento Zeolitas Palenque en el municipio de Yateras provincia de Guantánamo da a conocer las siguientes características físico-geográficas y geológicas generales del yacimiento.

Ubicación

El área de estudio se encuentra ubicada al NE de la provincia de Guantánamo, en el municipio de Yateras, al NE del poblado de Palenque. (Fig.No.1)

Las coordenadas según el sistema cónico de Lambert son:

X= 695000 - 700000 Y=191000 – 193000

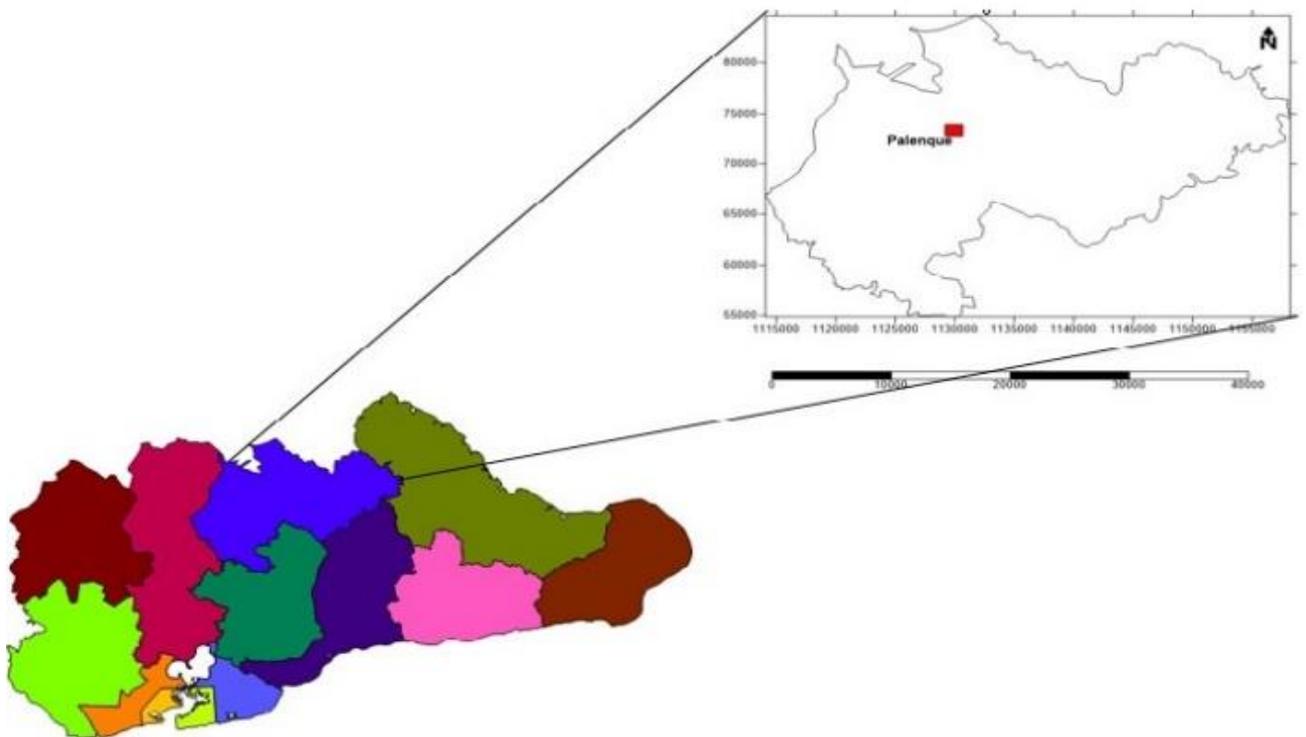


Fig.No.1 Esquema de ubicación geográfica.

Relieve

El relieve en esta zona es montañoso, observándose dentro del sector cotas por encima de los 500m.

Hidrografía

La principal corriente fluvial la constituye el río Toa, considerado el río más caudaloso de Cuba, hacia el mismo drenan sus aguas los ríos Palenque y Palenquito, así como numerosas corrientes intermitentes.

1.4.2 Características geológicas regionales**Geología**

El yacimiento de Palenque está constituido por tobas vitroclásticas, vitroclistolocásticas fundamentalmente, pertenecientes a la formación Sabaneta.

Estas rocas son de colores verde claro, generalmente de granos finos a medios, pudiendo llegar a granos gruesos.

Estas tobas están generalmente zeolitizadas con contenidos de zeolitas del tipo clinoptilolita y mordenita con contenidos de hasta 73% en total.

En cuanto a las intercalaciones estériles podemos decir que en el yacimiento como tal no existe intercalación, que existen algunas secuencias relacionadas con tobas vitroclásticas y vitroclistolocásticas que no cumplen con algunos de los parámetros relacionados con las exigencias tecnológicas y que por lo tanto deben ser considerados como tales.

Estratigrafía

El yacimiento de tobas zeolitizadas Palenque se encuentra enmarcado en la zona estructuro-facial Nipe-Cristal-Baracoa del arco de isla del paleógeno.

Según el mapa geológico escala 1:50000, del levantamiento CAME Guantánamo, en la región se desarrollan rocas que abarcan edades del paleoceno superior al oligoceno inferior.

Las diferentes formaciones que componen el corte estratigráfico de la región son las siguientes:

- Formación Gran Tierra (P¹₁ gt)

La Fm. Gran Tierra está compuesta por calizas brechosas, calizas masivas, margas arenáceas, tobas y tufitas. Estas rocas en su conjunto forman una secuencia aunque litológicamente heterogénea de estructura interna muy característica, desarrollada en docenas de ciclos sedimentarios. En la parte superior de la formación las capas calcáreas disminuyen gradualmente y se desarrollan con mayor frecuencia las rocas vulcanógenas, en especial tobas vitroclásticas y tufitas, parecidas a las que forman la Fm. Sabaneta.

- Formación Sabaneta (P¹₁-P²₂ Sn)

En la composición de la Fm. Sabaneta predominan las tobas ácidas riolíticas o dacíticas raramente más básicas con intercalaciones de tufitas, tobas bentonitizadas y capas silificadas. Su alteración característica en la zeolitización. Su color es verde, gris parduzco, amarillo, verduzco, más raramente gris blancuzco.

Las tobas son predominantemente vitroclásticas de granos finos más raros cristalino o litoclásticas. El espesor de los estratos cambia generalmente entre 10-20 cm y algunos metros, no obstante, las tobas vitroclásticas son a veces casi homogéneas, sin estratificación detectable.

- Formación San Luis (P₂²-3 SI)

La Fm. San Luis se compone de alternancia bastante monótona, a menudo rítmica, de margas y margas arcillosas, bien estratificadas en capas finas con intercalaciones de aleurolitas, areniscas finas, calizas arenáceas-tobáceas, calizas biomorfodetríticas y biomórficas y calcarenitas que son más frecuentes principalmente en la base de la secuencia. El espesor de las capas varía desde 1 a 5 cm, raras veces alcanza 10cm. Las margas arcillosas, aleurolitas y areniscas es característico el color pardo. Estos sedimentos por lo general están débilmente compactados, delznables y friables.

- Formación Mucaral (P₂²-P₃¹ mcl)

La Formación Mucaral está constituida principalmente por margas, margas arcillosas y margas calcáreas, bien estratificadas en capas de 5 a 20 cm con intercalaciones frecuentes de calizas margosas biodetríticas, más raramente de areniscas y gravelitas calcáreas. La secuencia en su parte inferior de 20-50 m de espesor, tiene intercalaciones frecuentes de margas y calizas tobáceas, de tobas y tufitas redepositadas de la Fm. Sabaneta que es en varios lugares su subyacente.

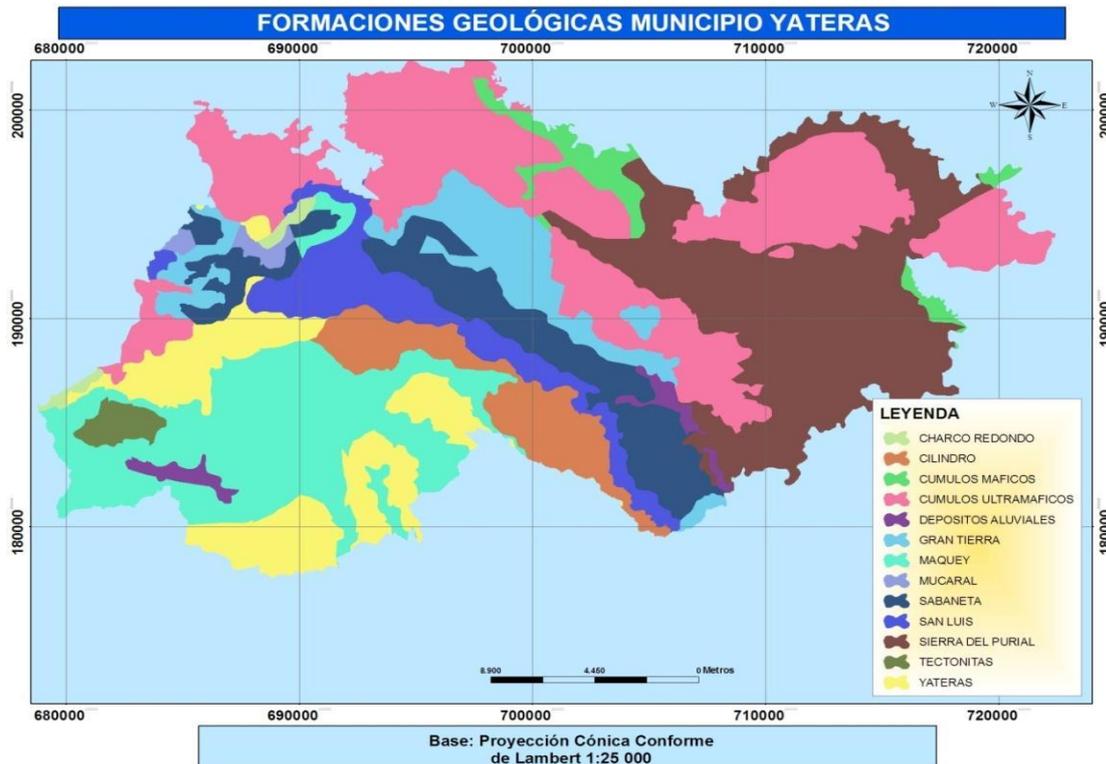


Fig.No.1.2: Mapa geológico del Municipio Yateras, (por Geo-Cuba Guantánamo).

Tectónica

En el yacimiento Palenque podemos decir que los fenómenos tectónicos no tienen un amplio desarrollo.

Existe una yacencia suave de las capas, con estructura monoclinial. Estas capas buzcan hacia el NE.

Posee una estructura geológica sencilla caracterizada por la yacencia suave de las capas y un corte litológico homogéneo con presencia de tobas vitroclásticas, vitroclistolásticas y vitrolitoclásticas, con muy poca afectación de la tectónica.

Sobre la interpretación de la génesis del yacimiento, según diferentes especialistas, los procesos diagenéticos son los que han condicionado la formación de los minerales de zeolita a partir del vidrio volcánico.

Capítulo 2. Materiales y métodos

En el presente capítulo se hace una descripción detallada de la metodología empleada durante la caracterización geológica general y evaluación de las tobas zeolitizadas del yacimiento Palenque de Yateras como material puzolánico.

2.1 Metodología de la investigación

La investigación desarrollada contempló una metodología basada en 4 etapas de investigación, las cuales se sintetizan en la recopilación, análisis, procesamiento e interpretación de la información, las cuales son esquematizadas a continuación en la figura 2.1.

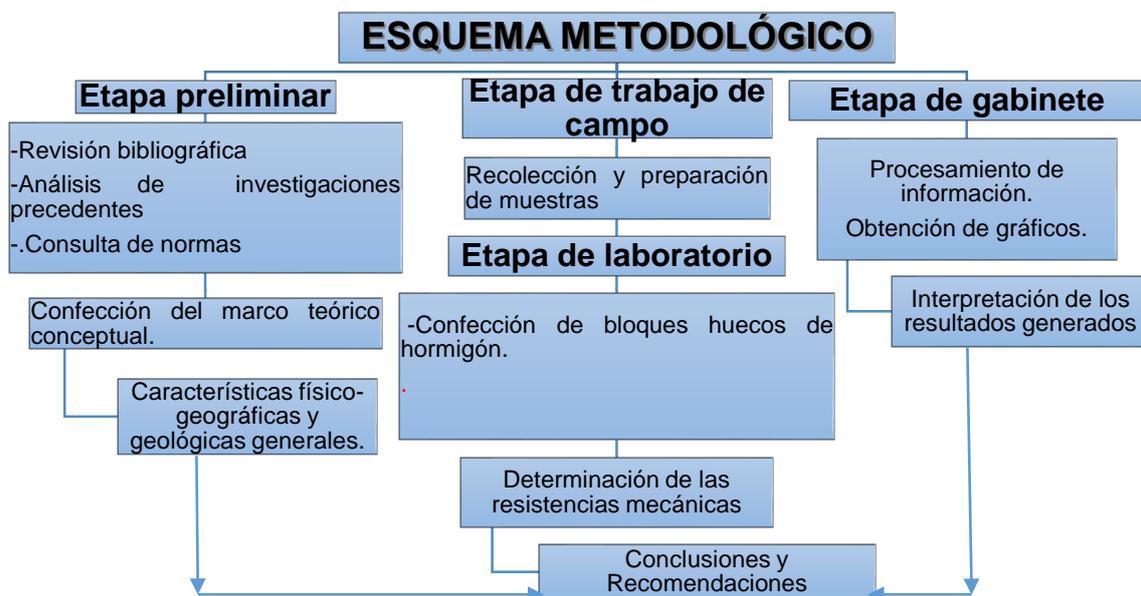


Fig.2.1 Flujograma de trabajo

2.2 Etapa preliminar

Se desarrolló la consulta de un volumen de literaturas relacionadas con la temática a nivel mundial, nacional y provincial basadas en búsquedas bibliográficas en el Fondo Geológico del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, auxiliado principalmente de Trabajos de Diploma, Maestrías y Doctorados, etc.; en el Archivo Técnico de la Oficina Nacional de Recursos Minerales y la Geominera Oriente en Santiago de Cuba se procedió a la revisión de la información geológica referente al yacimiento de tobas zeolitizadas en Palenque de Yateras.

2.3 Etapa de trabajo de campo

Para la realización de la investigación las muestras fueron tomadas del yacimiento de tobas zeolitizadas en la localidad de Palenque en el municipio de Yateras. El método aplicado de toma de muestras fue el método por puntos, que consistió en la toma de trozos típicos de la materia prima. Seguidamente fueron sometidas a un proceso de trituración mediante un molino de martillo, ante la ausencia de un molino de bolas se tuvo que recircular el material nuevamente por el molino de martillo para obtener una granulometría más fina, escogida para la elaboración de los bloques para los ensayos de laboratorio.

2.4 Etapa de laboratorio

Materiales utilizados

La aplicación de las tobas zeolitizadas del yacimiento Palenque como puzolanas naturales se realiza bajo el concepto de rendimiento del cemento, con vistas a contribuir al ahorro del cemento, abaratar el costo en la producción de morteros, bloques y hormigones hidráulicos con el aporte que este hecho realiza al medio ambiente y la economía del país.

Los materiales utilizados en la elaboración de los bloques son:

- Cemento Portland Gris P-350, según NC 95: (2001). Cemento Portland.
- Granito de granulometría 4,76mm a 9,52 mm.
- Arena artificial de granulometría 0,149mm a <4,76mm.
- Tobas zeolitizadas

2.4.1 Métodos y técnicas analíticas, empleados en la investigación

La investigación se desarrolló siguiendo el método tradicional de experimentación, el cual estuvo apoyado para su valoración en la determinación de las resistencias mecánicas de los bloques.

La elección del método y las técnicas analíticas se fundamentan en los aspectos teóricos a los cuales se hizo referencia en el capítulo 1.

2.4.2 Determinación de la composición granulométrica.

El análisis granulométrico realizado se empleó para la determinación de la composición granulométrica de los materiales utilizados en la construcción de bloques huecos de hormigón.

El proceso se basa en la determinación de las fracciones granulométricas por medio de un movimiento lateral y vertical del tamiz, acompañado de una acción de sacudida de manera que la muestra se mueva continuamente sobre la superficie de los tamices, el peso de la muestra analizada fue de 500 g para la obtención de los porcentos granulométricos utilizando la tamizadora que se muestra en la figura 2.2.



Fig. 2.2 Tamizadora

2.4.3 Preparación de los materiales para la conformación de los bloques

Se sustituyó un 15%, 30%, y 50% de cemento por tobas zeolitizadas, para ello se elaboraron 42 bloques distribuidos en tres lotes, en correspondencia con los porcentos de sustitución; para un 15%, 18 bloques. Y 12 bloques para las sustituciones de 30% y 50%.

Para la elaboración de los bloques se usó la concretera que aparece en la figura No.2.2 en la cual se vertió el granito o grava, la arena artificial y luego se realizó la adición del cemento en las cantidades previamente calculadas, según las sustituciones (15, 30 y 50 % de material tobáceo) y se procedió a la mezcla de los mismos durante 30 segundos, hasta lograr la mezcla homogénea, para después verter la mezcla en una mesa de vibración con el molde de los

bloques. Después se dejaron los bloques en reposo durante 7 días regándole agua cada cierto tiempo.



Fig.2.3 Concreteira

2.4.4 Determinación de resistencias mecánicas en los bloques

Ensayo de resistencia a la compresión

Se realizaron 42 ensayos de resistencia a la compresión a bloques de tipo III que conformaron 7 muestras. (Ver tabla 2.1 y 2.2)

El ensayo de resistencia a la compresión se produjo mediante una prensa hidráulica, (ver figura No.3), la cual arroja los valores en la unidad de medida kilonewton (kN). Para esto, a cada bloque se le aplica una pequeña placa de cemento para obtener una superficie lo bastante plana como para que la fuerza se aplique por igual. En el aditamento la placa inferior fue introducida en la platina inferior. La placa superior con rótula recibe la carga transmitida por el plato superior de la prensa.

Después de triturada la probeta el conjunto retorna automáticamente a la posición inicial. La velocidad de carga estará comprendida entre 10 y 20 $\text{kgf}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$ (0,10 a 0,20 $\text{kN}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$) pero se reducirá en caso necesario para que el ensayo no dure más de 10 segundos.

La resistencia a la compresión R se calculó mediante la ecuación (4):

$$R = \frac{P}{S} = \frac{P}{l \cdot b} \quad (4)$$

Dónde

P: carga aplicada a la probeta.

S: superficie de la sección transversal de la probeta, cm²

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

Los ensayos de resistencia a la compresión se realizaron a las edades de rotura de 28 días.

Para cada material ensayado a las diferentes edades, se consideró que la resistencia del mortero, viene expresada por el valor medio de los resultados obtenidos.



Fig.2.4 Prensa hidráulica

Tabla No. 2.1 Cantidad de muestras

Tipos de bloques	Cantidad de muestras
Bloque Tipo III (10 cm)	7

Tabla No. 2.2 Ensayos realizados

Ensayos realizados	Norma utilizada	Cantidad de ensayos
Resistencia a compresión	NC 247:2013	42
Masa y dimensiones		42
Total de ensayos realizados		84

2.5 Etapa de gabinete

En la cuarta etapa de la investigación se procesaron los datos obtenidos en los análisis realizados durante la ejecución del trabajo, lo que permitió una representación visual de los parámetros de resistencias mecánicas en figuras y tablas, se desarrolló una interpretación conjunta de estos resultados lo que resultó de gran ayuda para conocer si se cumplieron los objetivo trazados.

Capítulo 3. Resultados

En el presente capítulo se presentan los resultados experimentales que confirman la hipótesis científica sobre las potencialidades de los materiales tobáceos del yacimiento Palenque como material puzolánico; los ensayos mecánicos a los bloques, para ser empleados como material puzolánico.

3.1 Resultados experimentales y su análisis

3.1.1 Caracterización granulométrica

Caracterización granulométrica de las tobas zeolitizadas

Para la obtención de las clases granulométricas deseadas a utilizar en la investigación se utilizó el cribado de las mismas por el tamiz No. 20 de 0.8 mm. Esta fracción granulométrica ha sido estudiada por Pérez; Carballo y Ruiz (2013) en la confección de hormigones hidráulicos, lo cual fue analizado por el colectivo del Departamento de Producción; teniendo en cuenta la factibilidad de su elaboración o procesamiento en las condiciones actuales de trituración y molienda que posee la entidad, y la potencialidad de ser aplicada a escala industrial en la producción de bloques hormigón y prefabricados con hormigones armados.

El análisis granulométrico de las tobas zeolitizadas obtenidas en las condiciones actuales de procesamiento arrojó los siguientes resultados.

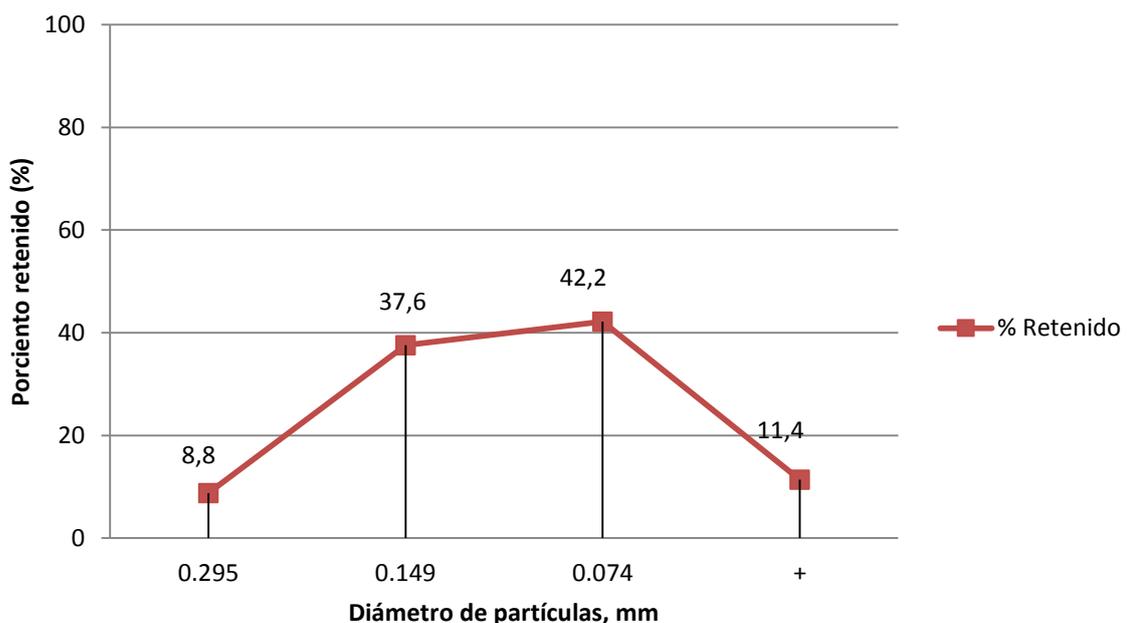


Figura 3.1. Características de tamaño de las tobas zeolitizadas

Se evidencia que el tamaño medio de las partículas está en el rango de 0,074 a 0,149 mm y que es mayoritario el contenido de partículas mayores a 0.074 mm según expresa la figura 3.3.

Las condiciones actuales de trituración y molienda que existen en la entidad permiten obtener una granulometría comparable con un filler que posibilita el uso de este material según las pruebas realizadas en esta investigación.

Tabla 3.6. Análisis granulométrico de las tobas zeolitizadas

PESO INICIAL		500 g	
TAMICES			
mm	SI	Peso (g)	% Retenido
0.295	No. 50	44	8.8
0.149	No. 100	188	37.6
0.074	No. 200	211	42.2
+	Fondo	57	11.4
	Σ	500	100

3.1.2 Composición química y mineralógica de los materiales tobáceos utilizados

Los resultados de la composición química mostrados en la tabla 3.7 se obtuvieron mediante el método de búsqueda bibliográfica, determinadas a partir del método de Fluorescencia de rayos X (FRX). En esta tabla se muestran los resultados obtenidos por Orozco, Carralero y Rojas, 1985.

Según Orozco, Carralero y Rojas ,1985 los productos de alteración del vidrio volcánico son predominantemente del grupo de las zeolitas y o montmorillonita. Se establecen las fases minerales del tipo clinoptilolita o heulandita.

Estas tobas contienen clinoptilolita y mordenita con promedio entre 30 y 50 % y hasta un máximo de 73 %(Coutín, 2017). Aquí se reporta también analcima, por primera vez en la región oriental (Rizo y Reborido, 1991). Otros minerales presente son cuarzo, cristobalita, plagioclasa, micas, calcita y material arcilloso.

En el anexo 3 se muestra la composición química de muestras tomadas por varios autores (Orozco, Carralero y Rojas, 1985) del yacimiento de Palenque de Yateras.

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, óxidos de sodio y en menores cantidades, óxido magnesio y potasio.

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 3.7 Composición química de las tobas zeolitizadas del yacimiento Palenque. (Orozco, Carralero y Rojas, 1985. Revista Minería y Geología)

Tobas zeolitizadas n=7										
SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	P_2O_5	FeO	PPI
66,91	11,61	0,27	3,81	0,977	1,51	1,76	1,41	0,049	1,24	9,62

3.1.3 Resistencia mecánica en los bloques

Se ofrecen los resultados de los ensayos mecánicos a la compresión por muestras con tobas zeolitizadas, a la edad de 28 días (ver anexo 1).

Los resultados de las pruebas de las resistencias mecánicas son de gran importancia para las posibles aplicaciones y control de la calidad de cementos, morteros, bloques 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. En el trabajo se emplea precisamente, para verificar cómo se comportan las resistencias con diferentes sustituciones de material tobáceo a la edad de 28 días, y determinar la dosificación más óptima para emplearlo como material cementicio suplementario.

Resistencia a la compresión

En las siguientes tablas, se ofrecen los resultados de los rendimientos y los ensayos mecánicos a la compresión por muestras preparadas con tobas zeolitizadas, a la edad de 28 días. Los patrones utilizados para establecer la comparación están basados en las normas cubanas NC. (Ver tablas 3.1 y 3.2).

Tabla No. 3.8 NC 247:2010 Bloques de hormigón. Especificaciones.

Tipos de bloques	Resistencia a la compresión		
	Rc min a los 7 días	Absorción máxima	Rc mínima a los 28 días
	MPa	%	MPa
I	5,6	8	7
II	4	10	5
III	2	-	2,5
IV	2	-	2,5

Tabla No. 3.9 NC 247:2010 Bloques de hormigón. Especificaciones.

Tipo de bloque	l (±3mm)	Rango de longitud (mm)	b(±3mm)	Rango de ancho(mm)	h(±3mm)	Rango de altura (mm)
I	495	492-498	195	192-198	195	192-198
	395	392-398				
II	495	492-498	145	142-148		
	395	392-398				
III	495	492-498	95	92-98		
	395	392-398				
IV	495	492-498	60	57-63		
	395	392-398				

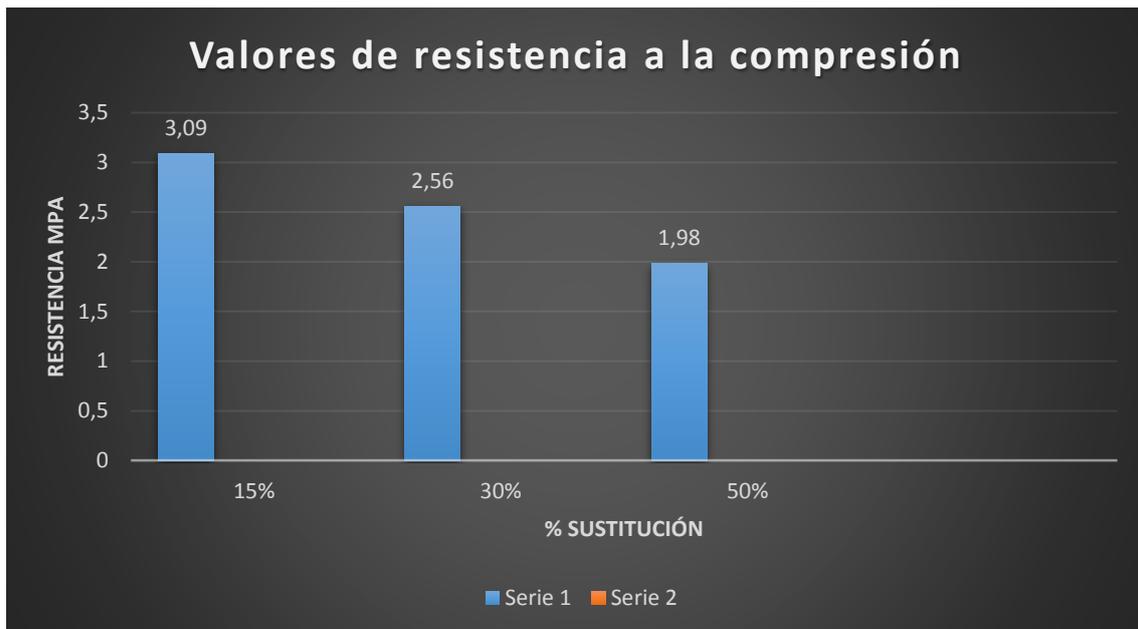


Fig.3.2 Resistencia a la compresión de los bloques con 15%, 30%, 50% de tobas zeolitizadas.

Los resultados obtenidos en el caso de los valores de resistencia a compresión en los bloques muestran que la sustituciones de material tobáceo en un 15 % y 30% superan la resistencia mínima a los 28 días que exige la NC 247:2010 para su empleo en la elaboración de productos de bloques de hormigón, en el caso del segundo lo hace ligeramente, llegando hasta 2,56 MPa, mientras que en un 50% la resistencia se queda por debajo, alcanzando 1,98 MPa. En la figura 3.2 se observa los valores de resistencia a la compresión y un crecimiento en las muestras con adiciones de un 15 % de tobas zeolitizadas, alcanzando a los 28 días una resistencia de 3,09 MPa.

Según investigaciones anteriores la resistencia mecánica aumenta en el tiempo y alcanza una mayor velocidad de recuperación que la mezcla convencional (Almenares 2011).

Este fenómeno se explica si se tiene en cuenta que las puzolanas tienen una fuerte tendencia a reaccionar con el hidróxido de calcio y otras sales cálcicas en presencia de agua a temperatura ambiente, y que el fraguado del cemento de referencia, se considera prácticamente completo a los 28 días, lo cual da lugar a la reacción puzolánica y, por consiguiente, la resistencia mecánica crece a partir de este tiempo (Rabilero, 1988).

3.2 Valoración socioeconómica y ambiental

El presente trabajo constituye un paso muy importante para el desarrollo de nuevos materiales, que en el caso de la provincia de Guantánamo ha sido muy poco estudiado, y no existe un trabajo de valoración que permita orientar su desarrollo de acuerdo con las condiciones establecidas para su uso. Todo esto, unido al déficit de materiales de construcción para acometer los diferentes programas de construcción de viviendas y obras sociales, llevó a la realización de esta investigación.

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.

El uso de puzolanas permite el diseño de mezclas de concretos más impermeables, cuyo período de deterioro por el lixiviado de la cal libre se reduce. Además aportan resistencia al concreto contra el ataque del agua de mar, sulfatada, ácida o que contengan dióxido de carbono en solución.

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; se tiene en cuenta lo siguiente:

La industria cubana del 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 3.3.

Tabla 3.3. Balance de consumo de energía eléctrica de las empresas cubanas de cemento. Fuente: (ENERGÉTICA, 2000)

Operaciones y procesos	Consumo, %
Extracción, preparación de la materia prima y transporte a la fábrica	3
Prehomogeneización 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), 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, ya que a pesar de que en este caso el material se calcina el consumo de energía empleada es mucho menor que para la fabricación del Clinker.

Tabla 3.4 Relación entre gastos energéticos vs% de adición de puzolana. Tomando como referencias la fabricación de un millón de toneladas de clinker de cemento.

% de adición de puzolana	Toneladas métricas de puzolana	Toneladas de combustible ahorradas
10	100 000	15 000
20	200 000	30 000
30	300 000	45 000
40	400 000	60 000

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 30% 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 adición 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. Ver formula.



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 adición o mezclas sin afectar la calidad y prestaciones de los cementos producidos.

Conclusiones

- ❖ Desde el punto de vista de su composición química y mineralógica, las tobas zeolitizadas de palenque de Yateras reúnen las condiciones para ser considerados potencialmente materiales puzolánicos.
- ❖ Se logró determinar los valores de resistencia a la compresión de los bloques con adición de tobas zeolitizadas en varias tipos de dosificaciones; 15%, 30% y 50%.
- ❖ Al sustituir el 15% y 30 % de cemento con material tobáceo, se obtienen bloques cuyas resistencias son suficientes (3,09 MPa y 2,56 MPa respectivamente) para su utilización en la fabricación de productos de bloques huecos de hormigón. En el caso de la sustitución al 50 % el resultado obtenido no avala su empleo en la fabricación de estos productos (Rc 1,98 MPa).

Recomendaciones

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

- ❖ Realizar investigaciones logrando disminuir en mayor grado la granulometría de las tobas zeolitizadas para incrementar su actividad puzolánica.
- ❖ Estudiar la posibilidad de aprovechar integralmente los referidos materiales tobáceos. Donde se incluyan usos agrícolas, alimentación animal, áridos ligeros, así como la fabricación de otros productos de construcción de pequeño formato (baldosas, mosaicos, etc).
- ❖ Completar el estudio sobre la posibilidad de sustituir el 15% y 30 % de cemento para la obtención de morteros que puedan ser utilizados en trabajos de albañilería, así como los aglomerantes cal - puzolana.
- ❖ Continuar las investigaciones de este depósito, e incluir a las tobas vítreas del yacimiento Ají de la Caldera para estos mismos fines.

Bibliografía

ÁLVAREZ D. R. Y LEYVA R. C. 2009: Modelo de Gestión de la Innovación Tecnológica para la Exploración de los Recursos Minerales Territoriales y su Contribución al Desarrollo Local Sostenible. III Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2009. Memorias. [CD - ROM], La Habana, Cuba.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. 232.1R. 2000: Use of Raw or Processed Natural Pozzolans in Concrete. Committee Report, American Concrete Institute. 24 p.

ASTM C – 311. 2008: Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for use as a Mineral Admixture in Portland-Cement Concrete.

ASTM C – 618, 2008: Standard Specification for coal fly ash and raw or calcined Natural Pozzolan for use as mineral admixture in Concrete.

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

BATISTA, R. 2007: Valoración del Potencial de Los Recursos Minerales para la Industria del Cemento en Cuba. Donis Pablo Cautín Correa (Tutor). Tesis de Maestría. Instituto de Geología y Paleontología. Universidad de Pinar del Río. 77 p.

CABRERA, M. R. 2010: Valoración de las tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín para su utilización como puzolana natural en la construcción. Roger Samuel Almenares Reyes (Tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 40 p.

CALLEJA, J. 1966: Apología de los conglomerantes puzolánicos. Revista Cemento – Hormigón. (386): 3.

CALLEJA, J. 1969. Las puzolanas. Monografía del I.E.T.C.C. 281. 95 p.

CALVO, B.; ESTÉVEZ, E. y COSTAFREDA, J. L. 2005: Estudio de las propiedades puzolánicas de materiales de origen volcánico ubicados en la

- zona sureste de España. En: V Congreso Ibérico de Geoquímica. Memorias. España, 20 - 23 de septiembre.
- CAMPOLAT, F.; YILMAZ, K., KÖSE, M., SÜMER, M y YUURDUSEV, A. 2003: Use of zeolite, coal bottom ash and fly ash as replacement materials in cement production. *Cements and Concrete Research*. 1 - 6.
- COSTAFREDA, J. L. 2011: Granulometría y reacción puzolánica. IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2011. Memorias [CD - ROM], La Habana, Cuba, 4 – 8 de abril.
- COSTAFREDA, J. L. y CALVO, B. 2007: Influencia de la zeolita de Cabo de Gata, Almería, en la evolución del fraguado de morteros de cemento. *Industria y Minería*, número especial (371): 20 p
- COSTAFREDA, J. L.; CALVO, B. y PARRA, J. L. 2011: Criterios para el aprovechamiento de tobas dácíticas en la sustitución de cemento Pórtland en morteros y hormigones. *INTEREMPRESAS - OBRAS PÚBLICAS*: 162- 780/2011.
- COSTAFREDA, J. L.; DÍAZ, J. J. y CALVO, B. 2011: Propiedades físicas, mecánicas y químicas de algunas zeolitas naturales procedentes de México, Cuba y España. IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2011. Memorias [CD - ROM], La Habana, Cuba, 4 – 8 de abril.
- COSTAFREDA, J. L.; ROSELL, M. y CALVO, B. 2009: Estudio del comportamiento puzolánico de algunas zeolitas de Iberoamérica empleando el método de la conductividad eléctrica. En: VII Congreso Ibérico. X Congreso Nacional de Geoquímica. Memorias. Soria, España, 21 - 23 de septiembre.
- COUTIN, D.P., ALEXEIEV, B. Y BRITO, A. 1975: Los yacimientos de puzolanas naturales de Las Villas, Camagüey y Oriente. *Serie Geológica* (24). 24 p.
- COUTÍN. D.P 2017. Las zeolitas de Cuba. *Revista* 73p 157p

- DAVIS, R. E., 1950: A Review of Pozzolanic Materials and Their Use in Concretes. En: Symposium on Use of Pozzolanic Materials in Mortars and Concrete, STP 99, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pa.
- DAY, ROBERT L. Y SHI, CAIJUN. 1994: Effect of initial water curing on the hydration of cements containing natural pozzolan. *Cement and Concrete Research* 24(3):463-472.
- DAY, ROBERT L. Y SHI, CAIJUN. 1994: Influence of the fineness of pozzolan on the strength of lime natural-pozzolan cement pastes. *Cement and Concrete Research* 24(8):1485 – 1491.
- De Armas, J. 2006: Reevaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo como puzolanas naturales. Rolando Batista González (Tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 70 p.
- DELOYE, F. 1993: Hydraulicité et pouzzolanicité. *Bulletin Liaison Lab. Ponts*.
- ELLERBROCK, H.G., MATHIAK, H. 1994: Ögütme Teknolojisi ve Enerji Kullanımı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, *Cemento Bulletin*, Vol. 336.
- ERDOGAN, T.Y. 1997: Admixture for Concrete. Middle East Technical University. Press. Ankara.
- ERDOGAN, T.Y. 2002: Materials of construction. Middle East Technical University. Press. Ankara.
- ERDOGAN, T.Y. 2003: Beton. Middle East Technical University Press, Ankara.
- 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.
- FRAZAO, M. 2007: Concentración de fases zeolíticas de las tobas zeolitizadas del yacimiento Caimanes. Alfredo Lázaro Coello Velásquez (Tutor). Tesis Doctoral. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 105 p.

- GAYOSO R. Y ROSELL M. 2003: Zeolita utilizada como aditivo mineral activo para hormigones. V Conferencia Internacional de zeolita. Memorias [CD - ROM], Universidad de la Habana, Cuba, marzo 2003.
- GENER R. M. y CABRERA, J. 2002: Influencia de la relación agua/cemento en la elaboración del mortero normalizado de los cementos con puzolana. *Materiales de Construcción*, ISSN 0465-2746 (265): 77-84.
- GENER, R. M y ALONSO, L. J. M. 2002: Influencia de la composición mineralógica de puzolanas naturales en las propiedades de los cementos con adiciones. *Materiales de construcción*, ISSN 0465-2746 (267): 73-78.
- GENER, R. M. 2008: Actividad puzolánica de una roca volcánica zeolítica. *Materiales de construcción*. Instituto de Ciencias de la Construcción "Eduardo Torroja". Madrid.
- GILI, G. 2000: Cementos. Definiciones, clasificación y prescripciones. *Hormigón armado*. Barcelona. 21 p.
- GONZÁLES DE LA COTERA, S. M. 1996: Apreciación de la actividad puzolánica. VI Coloquio de Química del Cemento. Memorias. Lima, Perú. 10 p.
- GONZÁLEZ, M. 1991: Ataque químico al concreto. Exposición en el ciclo organizado por el ACI. Capítulo peruano sobre corrosión en estructuras de concreto. 17 p.
- GONZÁLEZ, M. 2000: Requerimientos del cemento en los reglamentos de construcción. Memorias. ASOCEM-2000. 30 p.
- 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.
- 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.

- INSPECCIÓN ESTATAL ENERGÉTICA. 2000: Diagnóstico Energético. Rama Cemento. Ministerio de Economía y Planificación. Dirección de Energética, Departamento de la Inspección Estatal Energética. Ciudad de la Habana, 30 de enero del 2000. 83 p.
- JIMÉNEZ, M. P.; GARCÍA, M. A. y MORÁN, C. F. 1982: Hormigón armado. Tomo I. Barcelona, España. Editorial Gustavo Gili S.A. ISBN 84 - 252 - 0758 - 4: 13-18.
- JUSTICE. J.M. et al.2005. Comparison of Two Metakaolins and a Silica Fume Used as Supplementary Cementitious Materials. In Seventh International Symposium on Utilization of High-Strength/High Performance Concrete.
- LEA, F. M.1938: The chemistry of pozzolans, Proc. Symp on the Chemistry of Cement. Estocolmo. 460 - 504 p.
- LEA, F. M.1940: Investigation on pozzolans, building research tech. His Majesty's Stationary Office, Londres. Paper (27): 63 p
- LEA, F. M.1954: Mecanismo dell'azione puzolánica, Estratto dagli anali di chimica. Roma. Vol. 44.
- LEYVA, R. C; CARMENATE F. J.; ÁLVAREZ, D. R. y CASTELLANOS, P. E. 2008: Valoración de los recursos minerales territoriales en Cuba y sus perspectivas para potenciar la pequeña minería a nivel local. Taller Iberoamericano de Recursos Minerales y apoyo a la pequeña minería. [en línea], junio 2008 Consulta: 21 marzo 2010. Disponible en: <http://petitamineria.com/comunicaciones/valoraciondelosrecursosmineralesterritorialesencuba/leyvarodriguezetal.pdf>
- LÓPEZ P., L. M. 2006: Caracterización geológica de las materias primas mineras de los municipios Moa - Sagua de Tánamo para su empleo como material de construcción. Carlos Leyva Rodríguez (Tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 87 p.
- MALHOTRA, V.M. y MEHTA, P. K. 1996: Pozzolanic and Cementitious Materials. Gordon and Greca Publishers, Preface.

- MALQUORI, G. 1960: Portland Puzzolanic Cements. Proc. IV Int. Symposium of the Chemistry of Cements Washington.
- MARTÍNEZ, J.; PÉREZ, N.; PONCE, N.G.; BATISTA, R. 1994: Pronóstico de Materias Primas No Tradicionales de la República de Cuba. IGP. La Habana. Inédito.
- MARTIRENA, J.F. 2003. 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. Universidad Central de Las Villas: Santa Clara, Villa Clara, Cuba.
- MASSAZZA, F. 1974: Chemistry of Puzzolanic Addition and Mixed Cements. En: VI International Congress on the Chemistry of Cements. Moscú.
- MASSAZZA, F., y COSTA, V. 1979: Aspects of the Pozzolanic Activity and Properties of Pozzolanic Cements, *Il Cemento* (76): 3-18, Jan.-Mar.
- MATHER, K., 1982: Current Research in Sulfate Resistance at the Waterways Experiment Station, George Verbeck. En: Symposium on Sulfate Resistance of Concrete, SP-77, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich: 63-74.
- MEHTA, P. K., 1981: Studies on Blended Portland Cements Containing Santorin-Earth," *Cement and Concrete Research*, 11: 507-518.
- MITROFÁNOV, S. I. 1982: Investigación de la capacidad de enriquecimiento de los minerales. Moscú, Editorial Mir. 435 p.
- MUÑOZ, J. A. Y RABILERO, A. C. 1975. Actividad puzolánica. Evaluación de una toba cubana". *Revista Tecnológica*; 12(5): 47-58.
- MUXLANGA, R. J. 2009: Evaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo para su utilización como árido y puzolana natural en la construcción. Roger Samuel Almenares Reyes (Tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico 48 p.
- NC 120-2007 Hormigón Hidráulico-Especificaciones.

- NC 170 - 2002: Mortero fresco. Determinación de la consistencia en la mesa de sacudidas.
- NC 173 - 2002: Mortero endurecido. Determinación de la resistencia a flexión y compresión.
- NC 175, 2002: Mortero de albañilería. Especificaciones.
- NC 178 - 2002: Áridos. Análisis granulométrico.
- NC 251 - 2005: Áridos para hormigones hidráulicos—requisitos.
- NC 54 – 207,1980: Cemento. Ensayo físico – mecánicos.
- NC 95- 2001: Cemento Portland. Especificaciones.
- NC TS 527 - 2007: Cemento hidráulico. Método de ensayo. Evaluación de las puzolanas.
- ODLER, I. 2000: Special Inorganic Cement, E and Fn Spon. 150 p.
- OROZCO MELGAR G.; CARRALERO CASTRO N.:1985. Características geólogo-mineralógicas de las tobas alteradas de Palenque de Yateras, Guantánamo. Revista Geología y Minería No.1 1985 ISMM.
- PÉREZ, R. Y. 2006: Características geológicas y perspectivas de utilización como material de construcción del vidrio volcánico del sector Guaramanao, San Andrés, Municipio Calixto García. Carlos Leyva Rodríguez (Tutor). Trabajo de Diploma. Instituto Superior Minero Metalúrgico. 62 p.
- QUINTANA, C. E. 2005: Relación entre las propiedades geotécnicas y los componentes puzolánicos de los sedimentos pampeanos. Emilio R. Redolfi (Tutor). Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba. 308 p.
- RABILERO, A. C. 1988: Las Puzolanas. Cinética de Reacciones. Editorial Oriente. Santiago de Cuba. Santiago de Cuba. 114 p.
- RABILERO, A. C. 2005: Mineralogía de las puzolanas. VI Congreso de Geología. Primera Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GOCIENCIAS'2005. Memorias [CD-ROM], La Habana, Cuba, 5 - 8 de abril.
- RAMACHANDRAN, V. S. 1995: Concrete Admixtures Handbook. Second Edition, Noyes. 670 p.

- RIZO .R. 1991 Informe de Exploración Orientativa y Detallado escala 1:2000 del yacimiento Zeolitas Palenque en el municipio de Yateras provincia de Guantánamo inédito inv 4696, ORNM
- RIZO, R. 1991: Informe de Exploración Orientativa y Detallado escala 1:2000 del yacimiento Zeolitas Palenque en el municipio de Yateras provincia de Guantánamo. Inédito. Inv. 4696, ORNM.
- ROSELL, M. 2006: Zeolitas naturales cubanas. Reactividad puzolánica. Uso en adiciones para hormigones. Centro Técnico para el desarrollo de Materiales de Construcción. 123 p.
- ROSELL, M. 2007: Influencia del tamaño de partícula de zeolita en su actividad puzolánica. II Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2007. Memorias [CD - ROM], La Habana, Cuba, marzo 2007.
- ROSELL, M. y Gayoso, R. 2001: Utilización de la zeolita como material de construcción. Experiencia cubana. I Jornadas Iberoamericanas de Materiales de Construcción. Red CYTED XIII-C. 10 p.
- ROSELL, M; COSTAFREDA, J. L., PARRA, J. L. y CALVO, B. 2011: Influencia de la adición de zeolita en las propiedades micro y macroestructurales en pastas y morteros. En: IX Jornadas Iberoamericanas de Materiales de Construcción. Memorias [CD - ROM]. Soria, España, 9 - 10 de agosto.
- SARICIMEN, H.; MASLEHUDDIN, M. AL-MANA, A. y I.EID, O. 1992: Effect of field and laboratory curing on the durability characteristics of plain and pozzolan concretes. Cement and Concrete Composites. 14(3):169-177.
- SHANNAG, M. JAMAL y YEGINOBALI, ASIM. 1995: Properties of pastes, mortars and concretes containing natural pozzolan. Cement and Concrete Research. 25(3): 647-657.
- 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. (306).

SOUZA. P.S.L. and D.C.C. DAL MOLIN, 2005. Viability of using calcined clays, from industrial by-products, as pozzolans of high reactivity. Cement and Concrete Research.

STANTON, T. E., 1950: Use of pozzolans for counteracting excessive concrete expansion resulting from reaction between aggregates and alkalis in cement. En: Symposium on use of pozzolanic materials in mortars and concrete, STP 99, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pa., 178-201.

TAPIA, M. E. 2003: Valoración de la gestión geominera ambiental en el yacimiento Zeolita San Andrés. Hugo Ivonnet Borrero (Tutor). Tesis de Maestría. Instituto Superior Minero Metalúrgico 70 p.

Taylor. H.F.W. ed. Cement Chemistry. 1990, Academic Press: London, U.K. 491.

TOBON, J. I. 2000. Puzolanas en los alrededores de Irra. Departamento de Recursos Minerales, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Dyna 129.

TURRIZIANI, R. 1964: Aspects of the Chemistry of Puzzolanas. The Chemistry of Cements. Vol. 2. Cap. XIV. Academic Press. 69 p.

VALDEZ, P. L; DAS ROY, T K y RIVERA, R. 2004: Evaluación de la velocidad de hidratación en sistemas puzolanas naturales – portlandita. Ciencia UANL, VII (002): 190 - 195.

ZHANG. Y.M. W. SUN and H.D. YAN, 2000. Hydration of high-volume fly ash cement pastes. Cement and Concrete Composites.

Anexos

Anexo 1. Resistencia a la comprensión de las tobas zeolitizadas de Palenque

Resistencia a la comprensión 15%

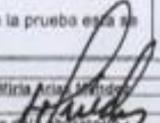
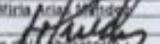
 <p>INVECONS INVESTIGACIONES PARA LA CONSTRUCCION</p>	EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS, INVECONS Dirección General y Unidades de Investigaciones para la Construcción INFORME DE ENSAYO UIC Santiago de Cuba Finca Flor de Liz, Altos de Quintero, Santiago de Cuba telef. 384244											
	NORMA CUBANA					CÓDIGO			BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN. ESPECIFICACIONES			
	NC 247:2010								RG II 23.6			
	CONTROL DE CALIDAD Fabrica de bloques EPCONS Manuel Tamez MUESTRA No. 52 Fabrica de bloques FECHA DE FABRICACION: 10/05/2017 22/05/2017 FECHA DE RECEPCIÓN: 23/05/2017 FECHA DE ENSAYO: 31/05/2017 EPCONS, Agramonte y 1 norte VALOR POR DIVISION DEL ANILLO DINAMOMETRICO (kN/división): 1,0000											
TIPO DE BLOQUE: <input type="checkbox"/> I <input type="checkbox"/> II <input checked="" type="checkbox"/> III <input type="checkbox"/> IV												
No.	l (mm) Largo	b (mm) ancho	H (mm) alto	E (mm) espesor	Área (a) (mm²)	kgf	Carga de rotura (F) (kN)	Lectura (kN)	R _i (Resistencia) (MPa)	Masa húmeda (Mh) (kg)	Masa seca (Ma) (kg)	% de absorción (A)
1	394	100	199		39400		59,00	59,00	1,50			-
2	395	99	198		39105		150,00	150,00	3,84			-
3	395	99	197		39105		146,00	146,00	3,73			-
4	397	100	199		39700		162,00	162,00	4,08			-
5	394	100	199		39400		73,00	73,00	1,85			-
6	397	100	198		39700		85,00	85,00	2,14			-
7												-
8												-
9												-
10												-
11												-
12												-
13												-
14												-
15												-
16												-
17												-
Valores promedios	395	100	198	-	-	-	112,50	-	2,86	-	-	-
Desviación típica (Sx)	1,2	0,5	0,7	-	-	-	-	-	1,0	-	-	-
Coefficiente de variación $V=SR/R$	-	-	-	-	-	-	-	-	0,37	-	-	-
OBSERVACIONES: Esta muestra de bloques contiene un 15 % de adición de Zeolita ESPESOR DE LAS PAREDES Y LOS TABIQUES <input type="text"/> RECTITUD DE LAS ARISTAS Y PLANEIDAD DE LAS CARAS <input type="text"/> NC 247 : 2010 Bloques huecos de hormigón. Especificaciones.												
Tipo de bloque	l(± 3mm)	Rango de de longitud (mm)	b(± 3mm)	Rango de ancho (mm)	h(± 3mm)	Rango de altura (mm)	Resistencia a la comprensión					
I	495	492-498	195	192-198	195	192-198	Rc min a los 7 días	Absorción máxima	Rc mínima a los 28 días			
	395	392-398					MPa	%	MPa			
II	495	492-498	145	142-148	195	192-198	5,6	8	7			
	395	392-398					4	10	5			
III	495	492-498	95	92-98	195	192-198	2	-	2,5			
	395	392-398					2	-	2,5			
IV	495	492-498	60	57-63	195	192-198	2	-	2,5			
	395	392-398					2	-	2,5			
CRITERIOS DE ACEPTACION O RECHAZO DEL LOTE a) El lote se considera conforme cuando el valor medio de la resistencia a compresión sea mayor o igual a lo establecido en la tabla No. 2 b) En caso que el coeficiente de variación sea mayor que 0,20 y el 84% de los valores unitarios estén por encima de los valores establecidos en la Tabla 2 c) Cuando el promedio de las unidades de la muestra cumplan con las dimensiones que se establecen en la Tabla No. 1 d) Cuando el promedio de las unidades de la muestra cumpla con la absorción establecida en la Tabla 2, de no cumplirse con la prueba esta se repetirá a los 28 días, siendo este el resultado definitivo.												
Realizado por:	Nombre: <i>Leonel Vital</i> Firma: <i>Leonel Vital</i> Cargo: <i>Tec. "A" Proyecto Ingeniería</i>				Calculado por:	Nombre: <i>Juan Carlos Pupo</i> Firma: <i>Juan Carlos Pupo</i> Cargo: <i>Esp. "A" Proyecto</i>				Revisado y Aprobado por:	Nombre: <i>Ina María Arias Méndez</i> Firma: <i>Ina María Arias Méndez</i> Cargo: <i>Jefa del Laboratorio</i>	
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la aprobación escrita del Laboratorio que lo emite, y sólo tiene validez si cuenta con las firmas autorizadas												

	EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS. INVECONS Dirección General y Unidades de Investigaciones para la Construcción INFORME DE ENSAYO UIC Santiago de Cuba Finca Flor de Liz, Altos de Quintero, Santiago de Cuba telef. 384244		RQ II 23.6									
	NORMA CUBANA NC 247:2010		CÓDIGO BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN. ESPECIFICACIONES									
	OBRA: PROCEDENCIA: UEB Manuel Tamez.		MUESTRA No. 53									
	LUGAR DE MUESTREO: Fabrica de bloques EPCONS Manuel Tamez		FECHA DE FABRICACION: 10/05/2017									
FECHA DE MUESTREO: 22/05/2017		FECHA DE RECEPCIÓN: 23/05/2017										
NOMBRE Y DIRECCIÓN DEL CLIENTE: EPCONS Agramonte y 1 norte		FECHA DE ENSAYO: 31/05/2017										
TIPO DE BLOQUE:		VALOR POR DIVISION DEL ANILLO DINAMOMETRICO (kN/división): 1,0000										
I II X III IV												
No.	l (mm) Largo	b (mm) ancho	H (mm) alto	E (mm) espesor	Área (a) (mm²)	kgf	Carga de rotura (F) (kN)	Lectura (kN)	R _i (Resistencia) (MPa)	Masa húmeda (Mh) (kg)	Masa seca (Ms) (kg)	% de absorción (A)
1	397	100	199		39700		135,00	135,00	3,40			-
2	397	101	198		40097		112,00	112,00	2,79			-
3	396	100	198		39600		130,00	130,00	3,28			-
4	396	100	199		39800		142,00	142,00	3,57			-
5	396	99	198		39204		140,00	140,00	3,57			-
6	396	100	199		39800		132,00	132,00	3,32			-
7												-
8												-
9												-
10												-
11												-
12												-
13												-
14												-
15												-
16												-
17												-
Valores promedios		397	100	199	-	-	131,83	-	3,32	-	-	-
Desviación típica (Sx)		0,8	0,6	0,5	-	-	-	-	0,3	-	-	-
Coeficiente de variación V=SR/R _i		-	-	-	-	-	-	-	0,08	-	-	-
OBSERVACIONES: Esta muestra de bloques contiene un 15 % de Adición de Zeolita												
ESPESOR DE LAS PAREDES Y LOS TABIQUES <input type="text"/>												
RECTITUD DE LAS ARISTAS Y PLANEIDAD DE LAS CARAS <input type="text"/>												
NC 247 : 2010 Bloques huecos de hormigón. Especificaciones.												
Tipo de bloque	l(± 3mm)	Rango de de longitud (mm)	b(± 3mm)	Rango de ancho (mm)	h(± 3mm)	Rango de altura (mm)	Resistencia a la compresión					
I	495	492-498	195	192-198	195	192-198	Rc min a los 7 días	Absorción máxima	Rc mínima a los 28 días			
	395	392-398					MPa	%	MPa			
II	495	492-498	145	142-148	195	192-198	I	5,6	8	7		
	395	392-398					II	4	10	5		
III	495	492-498	95	92-98	195	192-198	III	2	-	2,5		
	395	392-398					IV	2	-	2,5		
IV	495	492-498	60	57-63	195	192-198	IV	2	-	2,5		
	395	392-398										
CRITERIOS DE ACEPTACION O RECHAZO DEL LOTE												
a) El lote se considera conforme cuando el valor medio de la resistencia a compresión sea mayor o igual a lo establecido en la tabla No. 2												
b) En caso que el coeficiente de variación sea mayor que 0,20 y el 84% de los valores unitarios estén por encima de los valores establecidos en la Tabla 2												
c) Cuando el promedio de las unidades de la muestra cumplan con las dimensiones que se establecen en la Tabla No. 1												
d) Cuando el promedio de las unidades de la muestra cumpla con la absorción establecida en la Tabla 2, de no cumplirse con la prueba esta se repetirá a los 28 días, siendo este el resultado definitivo.												
Realizado por: Nombre: <i>León Vilal</i> Tec. Leonel Vilal			Calculado por: Nombre: <i>Juan Carlos Pupo</i> Ina. Juan Carlos Pupo			Revisado y Aprobado por: Nombre: <i>Maria Inés Méndez</i> Ina. María Inés Méndez			Firma: <i>[Firma]</i> Cargo: <i>[Cargo]</i>			
Firma: <i>[Firma]</i> Cargo: <i>[Cargo]</i>			Firma: <i>[Firma]</i> Cargo: <i>[Cargo]</i>			Firma: <i>[Firma]</i> Cargo: <i>[Cargo]</i>			Firma: <i>[Firma]</i> Cargo: <i>[Cargo]</i>			
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la aprobación escrita del Laboratorio que lo emite, y sólo tiene validez si cuenta con las firmas autorizadas												

Resistencia a la compresión 30%

 <p>INVECONS INVESTIGACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN</p>	EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS, INVECONS Dirección General y Unidades de Investigaciones para la Construcción INFORME DE ENSAYO UIC Santiago de Cuba Finca Flor de Liz, Altos de Quintero, Santiago de Cuba telef. 384244		RG II 23.6									
	NORMA CUBANA NC 247:2010	CÓDIGO	BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN. ESPECIFICACIONES									
	OBRA: Control de Calidad											
	PROCEDENCIA: Fabrica de bloques EPCONS Manuel Tamez LUGAR DE MUESTREO: Fabrica de bloques FECHA DE MUESTREO: 22/05/2017 NOMBRE Y DIRECCIÓN DEL CLIENTE: EPCONS. Agramonte y 1 norte	MUESTRA No. 57 FECHA DE FABRICACION: 16/05/2017 FECHA DE RECEPCIÓN: 23/05/2017 FECHA DE ENSAYO: 31/05/2017	VALOR POR DIVISION DEL ANILLO DINAMOMETRICO (kN/división): 1,000									
TIPO DE BLOQUE: <input type="checkbox"/> I <input type="checkbox"/> II <input checked="" type="checkbox"/> III <input type="checkbox"/> IV												
No.	l (mm) Largo	b (mm) ancho	H (mm) alto	E (mm) espesor	Área (a) (mm ²)	kgf	Carga de rotura (F) (kN)	Lectura (kN)	R1 (Resistencia) (MPa)	Masa húmeda (Mh) (kg)	Masa seca (Ms) (kg)	% de absorción (A)
1	397	100	200		39700		108,00	108,00	2,72			-
2	396	101	200		39996		119,00	119,00	2,96			-
3	396	99	200		39204		120,00	120,00	3,06			-
4	396	99	200		39204		89,00	89,00	2,27			-
5	397	100	200		39700		80,00	80,00	2,02			-
6	397	101	200		40097		94,00	94,00	2,34			-
7					-		-	-	-			-
8					-		-	-	-			-
9					-		-	-	-			-
10					-		-	-	-			-
11					-		-	-	-			-
12					-		-	-	-			-
13					-		-	-	-			-
14					-		-	-	-			-
15					-		-	-	-			-
16					-		-	-	-			-
17					-		-	-	-			-
Valores promedios	397	100	200	-	-	-	101,67	-	2,56	-	-	-
Desviación típica (Sx)	0,5	0,8	0,0	-	-	-	-	-	0,4	-	-	-
Coefficiente de variación V=SR/R _m	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	-	-	-
OBSERVACIONES: Esta muestra de bloques contiene un 30% de adición de Zeolita ESPESOR DE LAS PAREDES Y LOS TABIQUES <input type="text"/> RECTITUD DE LAS ARISTAS Y PLANEIDAD DE LAS CARAS <input type="text"/> NC 247 : 2010 Bloques huecos de hormigón. Especificaciones.												
Tipo de bloque	l(± 3mm)	Rango de longitud (mm)	b(± 3mm)	Rango de ancho (mm)	h(± 3mm)	Rango de altura (mm)	Resistencia a la compresión Tipos de bloques Rc min a los 7 días Absorción máxima Rc mínima a los 28 días I 5,6 8 7 II 4 10 5 III 2 - 2,5 IV 2 - 2,5					
I	495	492-498	195	192-198	195	192-198						
II	495	492-498	145	142-148								
III	495	492-498	95	92-98								
IV	495	492-498	60	57-63								
CRITERIOS DE ACEPTACION O RECHAZO DEL LOTE a) El lote se considera conforme cuando el valor medio de la resistencia a compresión sea mayor o igual a lo establecido en la tabla No. 2 b) En caso que el coeficiente de variación sea mayor que 0,20 y el 84% de los valores unitarios estén por encima de los valores establecidos en la Tabla 2 c) Cuando el promedio de las unidades de la muestra cumplan con las dimensiones que se establecen en la Tabla No. 1 d) Cuando el promedio de las unidades de la muestra cumpla con la absorción establecida en la Tabla 2, de no cumplirse con la prueba esta se repetirá a los 28 días, siendo este el resultado definitivo.												
Realizado por: Nombre: <i>Vital</i> Firma: Cargo: Tec. "A" Proyecto Ingeniería	Calculado por: Nombre: <i>Juan Carlos Puzo</i> Firma: Cargo: Esp. "A" Proyecto	Revisado y Aprobado por: Nombre: <i>Mirya Acha</i> Firma: Cargo: Jefa del Laboratorio	Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la aprobación escrita del Laboratorio que lo emite, y sólo tiene validez si cuenta con las firmas autorizadas									

Resistencia a la compresión 50%

		EMPRESA NACIONAL DE INVESTIGACIONES APLICADAS. INVECONS Dirección General y Unidades de Investigaciones para la Construcción INFORME DE ENSAYO UIC Santiago de Cuba Finca Flor de Liz, Altos de Quintero, Santiago de Cuba telef. 384244										RG II 23.6																																																																
		NORMA CUBANA NC 247:2010					CÓDIGO		BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN. ESPECIFICACIONES																																																																			
		OBRA: UEB Manuel Tamez.																																																																										
		PROCEDENCIA: Fabrica de bloques EPCONS Manuel Tamez MUESTRA No. 56 LUGAR DE MUESTREO: Fabrica de bloques FECHA DE FABRICACIÓN: 10/05/2017 FECHA DE MUESTREO: 22/05/2017 FECHA DE RECEPCIÓN: 23/05/2017 FECHA DE ENSAYO: 31/05/2017 NOMBRE Y DIRECCIÓN DEL CLIENTE: EPCONS. Agramonte y 1 norte																																																																										
VALOR POR DIVISION DEL ANILLO DINAMOMETRICO (kN/division): 1,0000																																																																												
TIPO DE BLOQUE: <input type="checkbox"/> I <input type="checkbox"/> II <input checked="" type="checkbox"/> III <input type="checkbox"/> IV																																																																												
No.	l (mm) Largo	b (mm) ancho	H (mm) alto	E (mm) espesor	Área (aj) (mm²)	kgf	Carga de rotura (Fj) (kN)	Lectura (kN)	R1 (Resistencia) (MPa)	Masa húmeda (Mh) (kg)	Masa seca (Ms) (kg)	% de absorción (Ai)																																																																
1	396	100	198		39600		69.00	69.00	1,74			-																																																																
2	395	99	198		39105		100.00	100.00	2,56			-																																																																
3	398	100	200		39800		52.00	52.00	1,31			-																																																																
4	398	99	200		39402		42.00	42.00	1,07			-																																																																
5	396	100	197		39600		93.00	93.00	2,35			-																																																																
6	396	98	200		38808		112.00	112.00	2,89			-																																																																
7					-		-	-	-			-																																																																
8					-		-	-	-			-																																																																
9					-		-	-	-			-																																																																
10					-		-	-	-			-																																																																
11					-		-	-	-			-																																																																
12					-		-	-	-			-																																																																
13					-		-	-	-			-																																																																
14					-		-	-	-			-																																																																
15					-		-	-	-			-																																																																
16					-		-	-	-			-																																																																
17					-		-	-	-			-																																																																
Valores promedios	397	99	199	-	-	-	78.00	-	1,58	-	-	-																																																																
Desviación típica (Sx)	1,1	0,7	1,2	-	-	-	-	-	0,7	-	-	-																																																																
Coeficiente de variación V=SR/R _m	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	-	-	-																																																																
-																																																																												
OBSERVACIONES: Esta muestra de Bloque contiene un 50 % de adición de Zeolita ESPESOR DE LAS PAREDES Y LOS TABIQUES <input type="text"/> RECTITUD DE LAS ARISTAS Y PLANEIDAD DE LAS CARAS <input type="text"/> NC 247 : 2010 Bloques huecos de hormigón. Especificaciones																																																																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo de bloque</th> <th>l(± 3mm)</th> <th>Rango de de longitud (mm)</th> <th>b(± 3mm)</th> <th>Rango de ancho (mm)</th> <th>h(± 3mm)</th> <th>Rango de altura (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">I</td> <td>495</td> <td>492-498</td> <td rowspan="2">195</td> <td rowspan="2">192-198</td> <td rowspan="6">195</td> <td rowspan="6">192-198</td> </tr> <tr> <td>395</td> <td>392-398</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">II</td> <td>495</td> <td>492-498</td> <td rowspan="2">145</td> <td rowspan="2">142-148</td> </tr> <tr> <td>395</td> <td>392-398</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">III</td> <td>495</td> <td>492-498</td> <td rowspan="2">95</td> <td rowspan="2">92-98</td> </tr> <tr> <td>395</td> <td>392-398</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">IV</td> <td>495</td> <td>492-498</td> <td rowspan="2">80</td> <td rowspan="2">57-63</td> </tr> <tr> <td>395</td> <td>392-398</td> </tr> </tbody> </table>						Tipo de bloque	l(± 3mm)	Rango de de longitud (mm)	b(± 3mm)	Rango de ancho (mm)	h(± 3mm)	Rango de altura (mm)	I	495	492-498	195	192-198	195	192-198	395	392-398	II	495	492-498	145	142-148	395	392-398	III	495	492-498	95	92-98	395	392-398	IV	495	492-498	80	57-63	395	392-398	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Tipos de bloques</th> <th colspan="3">Resistencia a la compresión</th> </tr> <tr> <th>Rc min a los 7 días</th> <th>Absorción máxima</th> <th>Rc mínima a los 28 días</th> </tr> <tr> <td></td> <th>MPa</th> <th>%</th> <th>MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>I</td> <td>5,6</td> <td>8</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>4</td> <td>10</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>III</td> <td>2</td> <td>-</td> <td>2,5</td> </tr> <tr> <td>IV</td> <td>2</td> <td>-</td> <td>2,5</td> </tr> </tbody> </table>							Tipos de bloques	Resistencia a la compresión			Rc min a los 7 días	Absorción máxima	Rc mínima a los 28 días		MPa	%	MPa	I	5,6	8	7	II	4	10	5	III	2	-	2,5	IV	2	-	2,5
Tipo de bloque	l(± 3mm)	Rango de de longitud (mm)	b(± 3mm)	Rango de ancho (mm)	h(± 3mm)	Rango de altura (mm)																																																																						
I	495	492-498	195	192-198	195	192-198																																																																						
	395	392-398																																																																										
II	495	492-498	145	142-148																																																																								
	395	392-398																																																																										
III	495	492-498	95	92-98																																																																								
	395	392-398																																																																										
IV	495	492-498	80	57-63																																																																								
	395	392-398																																																																										
Tipos de bloques	Resistencia a la compresión																																																																											
	Rc min a los 7 días	Absorción máxima	Rc mínima a los 28 días																																																																									
	MPa	%	MPa																																																																									
I	5,6	8	7																																																																									
II	4	10	5																																																																									
III	2	-	2,5																																																																									
IV	2	-	2,5																																																																									
CRITERIOS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO DEL LOTE a) El lote se considera conforme cuando el valor medio de la resistencia a compresión sea mayor o igual a lo establecido en la tabla No. 2 b) En caso que el coeficiente de variación sea mayor que 0,20 y el 84% de los valores unitarios estén por encima de los valores establecidos en la Tabla 2 c) Cuando el promedio de las unidades de la muestra cumplan con las dimensiones que se establecen en la Tabla No. 1 d) Cuando el promedio de las unidades de la muestra cumpla con la absorción establecida en la Tabla 2, de no cumplirse con la prueba esta se repetirá a los 28 días, siendo este el resultado definitivo.																																																																												
Realizado por: Nombre:  Ina. Juan Carlos Pupo Firma:  Cargo: Esp. "A" Proyecto Ingeniería			Calculado por: Nombre:  Ina. Juan Carlos Pupo Firma:  Cargo: Esp. "A" Proyecto			Revisado y Aprobado por: Nombre:  Ina. Miria Firma:  Cargo: Jefe del Laboratorio																																																																						
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la aprobación escrita del Laboratorio que lo emite, y sólo tiene validez si cuenta con las firmas autorizadas																																																																												

Anexo 2. Bloques de hormigón para la determinación de la resistencia mecánica a los 28 días



Anexo 3. Composición química de las tobas zeolitizadas del yacimiento Palenque.(Orozco, Carralero y Rojas, 1985. Revista geología minería)

ÓxidProbe	P2 ²	P3C ²	P4 ^{Mo}	P7 ^{Mo}	P10 ^{Mo}	P14 ²	P21 ^{Mo}	P22B ²	P23 ^{Mo}
SiO ₂	61,92	65,34	59,32	57,16	59,46	67,56	61,34	67,87	56,98
Al ₂ O ₃	12,87	11,95	16,06	15,76	16,01	12,48	14,37	11,85	14,44
TiO ₂	0,37	0,24	0,58	0,59	0,66	0,34	0,46	0,28	0,53
CaO	5,54	3,99	4,65	4,10	5,10	3,66	3,66	2,99	7,20
MgO	1,75	0,70	3,03	4,49	2,31	1,35	2,31	0,24	3,11
Fe ₂ O ₃	2,47	0,75	3,65	5,48	3,84	1,16	2,48	1,20	2,95
Na ₂ O	1,50	2,35	2,90	1,30	1,95	1,55	1,50	2,00	1,85
K ₂ O	1,56	2,22	1,29	0,53	1,87	0,93	1,73	0,84	1,96
P ₂ O ₅	0,060	0,097	0,112	0,089	0,093	0,056	0,108	<0,02	0,089
MnO	0,03	0,030	0,08	0,043	0,10	0,013	0,053	0,007	0,053
SO ₃	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
FeO	0,82	2,37	2,73	2,26	2,62	1,03	2,57	1,49	3,09
PPI	10,34	8,76	5,65	7,99	6,85	9,23	8,68	10,18	7,10

ÓxidProbe	M ₁ ²	M ₃ ^T	M ₄ ^T	M ₆ ²	M ₈ ^{Mo}	M ₁₁ ^{Mo}	M ₁₂ ²	M ₂₄	M ₂₉ ^{Mo}
SiO ₂	65,40	36,39	52,0	71,99	61,22	58,84	68,27	70,51	57,35
Al ₂ O ₃	11,79	10,88	11,79	9,34	13,27	14,40	11,01	11,60	14,98
TiO ₂	0,21	0,73	0,46	0,17	0,44	0,50	0,31	0,29	0,21
CaO	3,84	21,35	10,39	3,42	3,42	3,13	3,27	2,56	3,99
MgO	0,95	3,55	2,75	0,80	3,60	5,52	1,05	2,15	4,00
Fe ₂ O ₃	1,28	4,66	3,69	1,99	4,31	4,65	1,72	2,21	6,34
Na ₂ O	2,35	0,75	1,10	1,28	1,28	0,90	1,30	0,60	1,05
K ₂ O	2,30	1,40	2,30	0,46	1,50	0,84	1,55	0,90	1,75
P ₂ O ₅	0,056	0,087	0,131	0,031	0,062	0,037	0,031	0,025	0,037
MnO	<0,05	0,23	0,10	<0,05	0,11	0,06	0,11	<0,05	0,06
S	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
FeO	0,93	1,39	1,49	1,29	1,29	1,65	0,77	0,26	1,13
PPI	9,86	18,76	12,83	9,31	8,58	9,03	9,72	8,42	8,56

Tobas zeolitizadas n=7										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	FeO	PPI
66,91	11,61	0,27	3,81	0,977	1,51	1,76	1,41	0,049	1,24	9,62

Tobas Montmorillonitas n=8										
SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	FeO	PPI
58,95	14,91	0,49	4,40	3,54	4,21	1,59	1,43	0,078	2,16	7,93

Muestras	P 22	P 22b	P 7	P 3c	P 2	P 10	P 14	P 4
SiO ₂	61,34	67,87	57,16	65,34	61,92	59,46	67,56	59,32
Al ₂ O ₃	14,37	11,85	15,76	11,95	12,87	16,01	12,48	16,06
TiO ₂	0,46	0,28	0,59	0,24	0,34	0,66	0,34	0,58
CaO	3,66	2,99	4,10	3,99	5,54	5,10	3,66	4,65
MgO	2,31	0,24	4,49	0,70	1,75	2,31	1,35	3,03
Fe ₂ O ₃	2,48	1,20	5,48	0,75	2,47	3,84	1,16	3,65
Na ₂ O	1,50	2,00	1,30	2,35	1,50	1,95	1,55	2,90
K ₂ O	1,73	0,84	0,53	2,22	1,56	1,87	0,93	1,29
P ₂ O ₅	0,108	0,02	0,089	0,097	0,060	0,09	0,056	0,112
MnO	0,053	0,007	0,043	0,030	0,030	0,10	0,013	0,080
SO ₃	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
FeO	2,57	1,49	2,26	2,37	0,82	2,62	1,03	2,73
PPI	8,68	10,18	7,99	8,76	10,34	6,85	9,23	5,65

Anexo 4. Caracterización química del depósito de zeolitita de Palenque, Guantánamo (Dr.Coutín D. P 2017. Las zeolitas de Cuba)

Depósitos		Palenque
Provincia		Guantánamo
Óxidos % en peso	SiO ₂	56,41
	Al ₂ O ₃	11,92
	Fe ₂ O ₃	3,50
	FeO	0,86
	MnO	
	MgO	1,98
	CaO	4,90
	Na ₂ O	2,81
	K ₂ O	1,42
	H ₂ O	16,02
	Zeolitas principales %	Total
Clpt		X
Mord		Predomina
	Heul	
	Analc	
CIC, meq/100g	Total	96,30
	Ca	39,4
	Mg	7,68
	Na	43,9
	K	5,76
Calor inm., °C	Δt	10,8
Tipo natural de mena		II

