



Instituto Superior Minero
Metalúrgico
Dr. Antonio Núñez Jiménez

Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento Metalurgia - Química

Evaluación de mezclas de Gabros de Cayo Guam con adición de tobas vítreas para la fabricación de ladrillos cerámicos.

Tesis En opción al Título de Ingeniero en
Metalurgia y Materiales

Yunaimy Galindo Medina

Moa 2017



Instituto Superior Minero
Metalúrgico
Dr. Antonio Núñez Jiménez

Facultad de Metalurgia y Electromecánica
Departamento Metalurgia - Química

Evaluación de mezclas de Gabros de Cayo Guam con adición de tobas vítreas para la fabricación de ladrillos cerámicos.

Tesis En opción al Título de Ingeniero en
Metalurgia y Materiales

Autor: Yunaimy Galindo Medina

Firma: _____

Tutor: Prof.Inst.Ing. Sergio R. Cabo de Villa Figueiral, MSc.

Firma: _____

Moa 2017

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de diploma a mis padres en especial por estar siempre a mi lado y brindarme su apoyo incondicional en todo momento.

A la persona que ha vivido en mis pensamientos durante todo este tiempo.

A mi familia en general por darme tanta ayuda y tanta fuerza, sin ellos no hubiese sido posible.

A mis compañeros de aula.

AGRADECIMIENTOS

El camino ha sido largo y difícil, pero no fue imposible.

Por ayudarme a cumplir uno de mis mayores deseos dedico este trabajo, en primer lugar, a mi madre Admary Medina López y mi padre y confidente Jorge Galindo Carrera porque ellos son mi vida y mi razón de ser.

A mi hermana Yumaiby Galindo Medina por estar junto a mí cada segundo durante todo este tiempo y nunca dejarme sola.

A mi tutor que me apoyó indiscutiblemente a cada momento del que no tengo la más mínima queja, el Ing. Sergio Cabo de Villa.

A mis profesores por todo el conocimiento que me aportaron para mi vida futura, a mis compañeros de aula en especial a mis compañeras de cuarto de las cuales me llevo la más grata y sincera amistad a lo largo de estos cinco años (mis niñas, que DIOS las bendiga).

A las personas que hoy no están físicamente con nosotros pero los llevo en lo más profundo de mi corazón y mis pensamientos.

A los que me apoyaron de una forma u otra para que este sueño se hiciera realidad.

A TOOS MIS MÁS SINCEROS AGRADECIMIENTOS.

MUCHAS GRACIAS.

PENSAMIENTO

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

DARWIN KINGSLEY

RESUMEN

El presente trabajo “Evaluación de mezclas de Gabros de Cayo Guam con adición de tobas vítreas para la fabricación de ladrillos cerámicos”, muestra el estudio de propiedades físico – mecánicas de las mezclas de materiales arcillosos de Cayo Guam para la fabricación de ladrillos de cerámica, al adicionar tobas vítreas. Mediante la metodología empleada se estudiaron cuatro mezclas cerámicas con diferentes dosificaciones de tobas vítreas. Se evaluó mediante métodos de ensayo los siguientes parámetros tecnológicos, % de absorción de agua, % de pérdida de peso y resistencia a la compresión, además del comportamiento de las mismas durante el secado y la temperatura de cocción. Se demostró que mediante la adición de este material se obtienen ladrillos más ligeros y con mejor resistencia, siendo las muestras con un 50 % de adición de tobas vítreas las que mejor resultado mostraron ante los parámetros evaluados.

ABSTRACT

The present work "Evaluation of mixtures of Guam Cayo Guam with addition of glassy tuffs for the manufacture of ceramic bricks", shows the study of the physical and mechanical properties of the mixtures of clay materials of Guam Cayo for the manufacture of ceramic bricks, When adding vitreous Tuffs. Four ceramic mixtures with different dosages of vitreous tuffs were studied using the methodology used. The following technological parameters, % water absorption, % weight loss and compressive strength, as well as their behavior during drying and cooking temperature, were evaluated by means of test methods. It was demonstrated that by the addition of this material lighter bricks and better resistance are obtained, being the samples with a 50 % addition of vitreous tuffs the best result showed in the evaluated parameters.

| ÍNDICE | Pág. |
|---|-------------|
| Introducción..... | 1 |
| 1. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEORICO CONCEPTUAL..... | 4 |
| 1.1 Estado del arte..... | 4 |
| 1.1.1 Generalidades de los gabros..... | 4 |
| 1.1.2 Clasificación de los gabros..... | 6 |
| 1.1.3 Composición química..... | 7 |
| 1.1.4 Color y textura..... | 7 |
| 1.1.5 Utilización..... | 7 |
| 1.1.6 Características generales de las tobas vítreas..... | 7 |
| 1.1.7 Utilización de las tobas vítreas..... | 8 |
| 1.1.8 Composición mineralógica de las tobas vítreas..... | 10 |
| 1.1.9 Las tobas como material puzolánico..... | 11 |
| 1.2 Conceptualización del tema..... | 12 |
| 1.2.1 Ladrillo, Definición y Tipos..... | 12 |
| 1.2.2 El ladrillo como elemento constructivo..... | 12 |
| 1.2.3 Fabricación de ladrillos..... | 15 |
| 1.3 Investigaciones realizadas..... | 18 |
| Conclusiones parciales..... | 21 |
| 2. MATERIALES Y METODOS..... | 22 |
| 2.1 Materiales a utilizar..... | 22 |
| 2.1.1 Los materiales a utilizar son..... | 22 |
| 2.2 Equipamientos para la preparación mecánica de la materia prima..... | 22 |
| 2.3 Características del Gabro de Cayo Guam..... | 22 |

| | |
|---|-----------|
| 2.4 Características de las Tobas Vítreas de Sagua de Tánamo..... | 24 |
| 2.5 Metodología de la investigación..... | 25 |
| 2.5.1 Preliminar | 26 |
| 2.5.2 Trabajos de campo..... | 26 |
| 2.6 Toma de muestras..... | 26 |
| 2.6.1 Preparación y ensayo de las muestras..... | 26 |
| 2.7 Preparación de las mezclas para la conformación de las probetas | 29 |
| 2.7.1 Dosificación de los materiales | 30 |
| 2.7.2 Moldeado..... | 30 |
| 2.7.3 Secado | 30 |
| 2.7.4 Cocción | 31 |
| 2.8 Metodología para la realización de los ensayos | 32 |
| 2.8.1 Parámetros a ensayar | 33 |
| 2.9 Trabajo de gabinete..... | 35 |
| Conclusiones parciales | 35 |
| 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS..... | 37 |
| 3.1 Caracterización de las tobas vítreas..... | 37 |
| 3.1.1 Caracterización química..... | 37 |
| 3.1.2 Caracterización mineralógica | 38 |
| 3.2 Análisis de los resultados de pérdida de peso..... | 39 |
| 3.3 Análisis de los resultados de resistencia a la compresión | 41 |
| 3.4 Análisis del resultado de absorción de agua de las mezclas cocidas..... | 43 |
| 3.5 Análisis de la contracción lineal | 44 |
| 3.6 Análisis comparativo de los resultados de compresión (MPa)..... | 49 |
| 3.7 Impacto Medioambiental..... | 50 |

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| Conclusiones parciales | 52 |
| CONCLUSIONES | 53 |
| RECOMENDACIONES | 54 |
| BIBLIOGRAFÍA | 55 |

INTRODUCCIÓN

La industria de materiales de la construcción, que agrupa variados procesos industriales tradicionales, específicamente la producción de materiales cerámicos, se ha visto afectada por los altos costos de los combustibles y en el caso específico de la industria del ladrillo rojo común, ha propiciado una sensible disminución de los niveles de producción, agudizándose mayormente en los países del Tercer Mundo, donde pequeños y medianos productores se han visto afectados por el alto costo de los combustibles exigidos en el secado y la cocción lo cual repercute considerablemente en la vida económica.

Por otra parte, la industria cerámica se ubica entre las grandes contaminadoras que afectan al medio ambiente y a la salud humana, debido al uso de combustibles renovables y no renovables. Además, genera cambios significativos en la morfología del entorno natural debido a la extracción de la materia prima (Piñeiro, 2005). Esto hace que se enfatice más en lograr una mayor eficiencia energética en la industria cerámica roja, ya sea por el uso de hornos más eficientes, por la utilización de combustibles más económicos o nuevas materias primas, teniendo en cuenta además el aprovechamiento de potencialidades nacionales para la obtención de aditivos cerámicos que permitan incrementar los volúmenes y en la medida de lo posible la calidad de la cerámica roja (Vieira, 2005).

Una de las tendencias actuales, que se encuentra en el centro de atención de investigadores y científicos es desarrollar tecnologías para la fabricación de materiales cerámicos, utilizando un menor índice de consumo de energía, con un uso eficiente de portadores energéticos y el aprovechamiento de fuentes renovables de energía.

Una vía importante para lograr la eficiencia energética es mediante el uso de fundentes. Estos son componentes de bajo punto de fusión que, al combinarse con los aluminosilicatos presentes en las arcillas, pueden reducir la temperatura de fusión de las mezclas. También son los encargados de disminuir la temperatura a la que

ocurre la sinterización, durante el tratamiento térmico de las pastas cerámicas, proceso en el cual se produce la formación de fases vítreas que aportan a los materiales cerámicos la resistencia mecánica necesaria para su eficaz puesta en obra.

El municipio de Moa posee depósitos de gabros en las cercanías de Cayo Guam y el yacimiento El Picao en Sagua de Tánamo proporciona en gran medida las tobas vítreas, que aún no han sido introducidas en la práctica por la carencia de estudios que avalen su utilización.

Las tobas vítreas son rocas volcánicas compuestas por altos contenidos de dióxido de silicio que en su forma cristalina (López, 2006), es uno de los minerales más resistente y estable. Esta propiedad, junto a ser finamente divididas, las hace candidatas para su utilización en la industria de la cerámica roja. Lo cual resolvería un conjunto de problemas que se presentan en la actualidad tales como:

Mejoramiento de calidad del producto final en la producción de ladrillos.

Explotación desmedida de los recursos minerales.

En su sentido estricto el gabro es una roca ígnea plutónica compuesta principalmente de plagioclasa cálcica y piroxeno en proporciones de volumen similares. El gabro es comercializado como material de construcción bajo el nombre de "granito negro". El valor económico del gabro propiamente tal es menor si se compara con las mineralizaciones de níquel, cromo y platino las cuales están casi únicamente asociadas a gabros y a rocas ultramáficas. También existen mineralizaciones de vanadio asociadas a gabro.

Como **situación problemática** se plantea que: debido a las propiedades que contienen estos dos minerales mencionadas anteriormente se hace necesario estudiar una mezcla que los contenga a ambos para la producción de ladrillos cerámicos y estudiar las propiedades físico – mecánicas de estas mezclas.

El **Problema**: Insuficiente conocimiento de la utilización de la materia prima para la producción de ladrillos en la industria de cerámica.

Hipótesis: si se utiliza el Gabro y las Tobas Vítreas como materias primas en la fabricación de ladrillos de cerámica roja, se mejoraran los procesos tecnológicos de secado y cocción sin que se afecte la calidad del producto terminado.

Objetivo general: evaluar las características que debe tener el Gabro y Tobas Vítreas para ser utilizado en la producción industrial de ladrillos de cerámica roja y su influencia sobre los procesos de secado y cocción.

Objeto de estudio: ladrillos de cerámica roja a escala de laboratorio.

Campo de acción: Propiedades físico mecánicas de los ladrillos al adicionar tobas vítreas.

Objetivos específicos:

1. Evaluar la mezcla de Gabros y Tobas Vítreas para ser utilizada como materias prima en la producción de materiales cerámicos.
2. Definir los parámetros tecnológicos para el uso de los Gabros y Tobas Vítreas como aditivo fundente a escala de laboratorio, al evaluar su efecto sobre los procesos de secado y cocción.

Tareas de la investigación:

1. Realización de un análisis bibliográfico que permita conocer el estado del arte de la temática, a través de la revisión de la literatura más actualizada sobre el tema.
2. Caracterización de las principales materias primas a emplear en la investigación.
3. Realizar estudios físico-mecánicos a las muestras elaboradas en el laboratorio.
4. Evaluar y comparar producciones de ladrillos a escala industrial con los mejores resultados obtenidos experimentalmente a escala de laboratorio.
5. Evaluar la influencia del gabro y tobas vítreas sobre los procesos de secado y cocción de los ladrillos a escala de laboratorio.

1. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEORICO CONCEPTUAL

A continuación se realizará el análisis de los distintos aspectos relacionados con el tema expuesto en la bibliografía consultada, con la finalidad de disponer de los elementos básicos y de las tendencias actuales que resulten esenciales para el correcto desarrollo del trabajo.

El objetivo de este capítulo es: Exponer los principales trabajos que han tratado sobre el tema en cuestión, para poder aprovechar sus principales aportes y experiencias, así mismo analizar sus principales deficiencias y poder superarlas.

1.1 Estado del arte

1.1.1 Generalidades de los gabros

El gabro es una roca plutónica oscura de grano grueso (con índice de color en el rango 35-65 %) compuesta esencialmente de plagioclasa cálcica (Anortita > 50), clinopiroxeno y/o ortopiroxeno, óxidos de Fe (opacos) y muy corrientemente, olivino, en proporciones considerables. En un sentido más amplio gabro puede referir a las rocas gabroicas del diagrama QAPF es decir aquellas en el campo anortosita-gabro-diorita que tienen más de 10% de minerales oscuros y plagioclasa cálcica (An50-An100). Además, tanto el olivino magnésico (rico en molécula de forsterita) como el cuarzo (en baja proporción) pueden estar presentes. Un gabro en sentido estricto tiene como máfico principal el clinopiroxeno, en la norita el máfico principal es ortopiroxeno, mientras que la gabronorita contiene los dos piroxenos. La hornblenda, la biotita y el cuarzo pueden aparecer como accesorios. La magnetita, la ilmenita, son accesorios comunes. Con el aumento de minerales ferromagnesianos los gabros pasan a picritas y otros tipos ultrabásicos; pueden convertirse en anortositas con el aumento de feldespato; y con la introducción de feldespatos alcalinos y/o feldespatoides, los gabros pueden derivar a monzonitas olivínicas y en gabros alcalinos. (Para el límite diorita - gabro, Diorita).

Los gabros son los equivalentes de grano grueso de los basaltos volcánicos y de las doleritas, son texturalmente equigranulares, siendo raros los tipos porfídicos. Se conocen variedades de textura ofítica de tipo grueso. (Para microgabo, Dolerita).

También pueden utilizarse los siguientes términos: bojita – gabo que contiene principalmente anfíbol – barkevicitita u hornblenda -, en oposición a muchos llamados gabros hornbléndicos en los que el anfíbol es secundario. Hiperita es un término en decadencia para un gabo con hiperstena y augita; leucogabo y leuconorita son variedades ricas en feldespato; melagabo y melanorita son variedades ricas en piroxeno y/o olivino. La beerhachita (berbaquita) es una aplita gabroide.

A continuación se expone en la figura 1.1 una muestra del mineral utilizado (gabo) de Cayo Guam. Se hace notable su coloración gris oscura.



Figura 1.1 Muestra de gabros de Cayo Guam

El gabo sensu stricto es el equivalente plutónico del basalto, pero a diferencia de este la mineralogía del gabo es mucho más variable. El gabo sensu stricto y lato se puede hallar en variados ambientes tectónicos como en: dorsales meso-oceánicas,

zonas de subducción, rifts continentales e islas oceánicas. El gabro toma nombre del pueblo italiano de Gabbro en Toscana.

Los gabros se encuentran, bien en forma de grandes lopolitos, como el de Bushveld, África del Sur; Stillwater, Montana; y Duluth, Minnesota, como complejos anulares o circulares por ejemplo Ardnamurchan, Escocia; o como complejos estratigráficos en Skaergaard, Groenlandia. A continuación se muestra en la figura 1.2 la ubicación de este mineral en el Municipio de Moa.



Figura 1.2 Cantera de gabros de Cayo Guam

1.1.2 Clasificación de los gabros

Los gabros pueden clasificarse, según contengan minerales añadidos de plagioclasa y piroxeno, en:

- Gabro (sensu stricto), roca compuesta de plagioclasa con augita (variedad de clinopiroxeno) y a veces con olivino.
- Hiperita, roca compuesta de plagioclasa con augita y con hiperstena (variedad de ortopiroxeno) y a veces con olivino.
- Norita, roca compuesta de plagioclasa con hiperstena y a veces con olivino.
- Evjita, roca compuesta de plagioclasa con hornblenda.
- Bojita, roca compuesta de plagioclasa con hornblenda y augita.
- Troctolita, roca compuesta principalmente de olivino y plagioclasa.

Adicionalmente, si un gabro contiene más de 5% de volumen de olivino se llama gabro de olivino y si tiene más de 5% de cuarzo, gabro de cuarzo. El gabro también puede contener apatita, magnetita o ilmenita como minerales accesorios.

1.1.3 Composición química

Desde el punto de vista químico, los gabros tienen poca sílice y mucho Mg y Ca. Tienen muy poco Na y K. El Fe varía desde valores bajos, en los tipos feldespáticos, a valores extremadamente altos, en los ferrogabros ricos en Fe.

1.1.4 Color y textura

Este mineral posee un color Gris Oscuro (si está compuesto por plagioclasas y piroxenos). Verde (si el piroxeno es sustituido por olivino). Su textura es Granítica, Fanerítica, Granular (intermedia a gruesa).

1.1.5 Utilización

Los gabros son comunes en la Tierra y en la Luna. A veces se explotan desde canteras como piedras ornamentales (granito negro), pero el gabro tiene poco valor económico. Mucho más importantes son los minerales de níquel, cromo y platino que aparecen asociados casi en forma exclusiva al gabro o rocas relacionadas. En los complejos gabroicos también se encuentra magnetita (hierro) e ilmenita (titanio).

1.1.6 Características generales de las tobas vítreas

El material tobáceo del yacimiento Sagua de Tánamo (El Pícao) se caracteriza por ser vitroclástico y vitrocristaloclastico, son de color blanco grisáceo, de granulometría fina a media, generalmente abrasivas al tacto, porosa, ácidas con alto contenido de

SiO₂ (60,84 % según la Tabla 2.1), conteniendo vidrio volcánico superior a 50 %. (Informe Prospección Preliminar y Detallada vidrio volcánico Sagua de Tánamo. Prov. Holguín, 1997). Estas tobas se constituyen de vidrio en forma de espuma y se forman durante un enfriamiento muy rápido de un magma ascendente de alta viscosidad. Presentan en mayor o menor grado alteración a minerales arcillosos, como lo demuestran los contenidos de montmorillonita (22,95 %) dados por los análisis de (ATD), petrográfico y RX, donde destacan los bajos por cientos de feldespatos, calcita, dentro de la composición mineralógica. La dureza varía de 5 – 6 en la escala de Mohs, aunque de dureza media, debido a su alta friabilidad el poder abrasivo es muy bajo, produciendo un efecto muy suave sobre la superficie. Su textura es esponjosa o espumosa; de color ceniza, amarillento; de brillo sedoso. Poseen un coeficiente de fortaleza promedio de $f=1.4$ por la escala de Protodiakonov.

1.1.7 Utilización de las tobas vítreas

Este producto ha sido probado con resultados satisfactorios en la industria del vidrio como sustituto del Feldespato. El vidrio volcánico desde la época de los romanos ha tenido una amplia aplicación y uso, por ejemplo, ha sido empleado por miles de años en el concreto ligero. Los romanos, famosos por el desarrollo y uso del concreto (aparentemente con la ayuda de los griegos), utilizaron miles de toneladas de vidrio volcánico como agregado ligero. El Domo del Partenón, en Roma, fue construido con una mezcla de cal y vidrio volcánico y está estructuralmente sano en la actualidad, después de casi 2 000 años de desgaste. Basados en el ejemplo de los romanos, los europeos han utilizado el vidrio volcánico a lo largo de los dos últimos milenios en el concreto ligero y en bloques.

Sería imposible listar todas las aplicaciones de abrasivos, pero quedan incluidas limpiadores (desde jabones de mano a limpiadores de metal y vidrio), cosméticos (agente exfoliante) y compuestos dentales (pulido de dientes y pasta profiláctica, un compuesto de limpieza dental). Es usado para el acabado en metales, vidrio (paneles y pantallas de televisión y otros). La mayoría de nosotros alguna vez hemos usado jabón de mano de lava o un limpiador similar con base en pumicita para limpiar restos difíciles de quitar.

El vidrio volcánico, en su forma más burda, ha sido usado siempre en pinturas antiderrapantes, así como en recubrimientos. La industria de la pumicita está actualmente penetrando el mercado de los rellenos microfinos, que son buscados no por su abrasividad sino más bien por su relativa fortaleza y su baja gravedad específica. Las tobas vítreas son la materia prima ideal para el material de un buen muro, porque es porosa, ligera, dura (relativo a la solidez del grano) y no inflamable (Ábrego, et al 2000).

Otras aplicaciones del vidrio volcánico es que se utiliza como filtrante en la industria, como aereador de suelos en la agricultura, y en la elaboración de polvos abrasivos para cosmetología, odontología y distintos procesos químicos. Se usa en la fabricación de la dentadura, crema dental. Limpieza de superficies delicadas en construcción civil y monumental, tales como estucos, esgrafiados, bajorrelieves, y de forma general, todas aquellas superficies en las que sea deseable una aplicación suave. Se utiliza para pulimento del zapato. Limpieza ferroviaria del carro. Aplicable también a superficies metálicas para matizado muy leve. El vidrio volcánico para horticultura se emplea en cultivos diversos, invernaderos, campos de golf, jardinería de paisaje, entre otros. El vidrio volcánico es un gran complemento para el suelo.

Provee porosidad para la aereación y al mismo tiempo retiene el agua en el área, permitiendo a las plantas permanecer verdes y saludables por periodos más prolongados entre lluvias o riegos (Ábrego, et al 2000).

Las tobas vítreas debido a su composición han sido probadas para su utilización como:

- Aislante térmico en la industria cerámica y en otras industrias como el níquel
- Material filtrante en la purificación de acetileno
- Lozas antiácidas
- Medio filtrante en la planta de cloro sosa
- Relleno de plástico
- Filtrante de cerveza, jugo de henequén, ron y vino
- Decapado de metales

- Medio filtrante en la industria azucarera
- Floculante en la potabilización de aguas superficiales
- Como material puzolánico para cemento romano

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

- Abrasivo en los ralladores de las cajas de fósforos
- Fabricación de lozas de falso techo
- Fabricación de hormigón celular (Siporex)
- Para ladrillos aligerados sin quemar

Además se han utilizado en forma de piedra acerada para las mamposterías de las paredes de edificios y viviendas, para hacer tabiques y pisos resistentes al fuego, se utiliza también en calidad de piedra decorativa, que es favorecido por la existencia de tobas de diversos colores, además de ser utilizadas como piedras trituradas para hormigones ligeros. Su estructura pumítica les confiere propiedades abrasivas que las convierte finamente molidas en un excelente polvo limpiador, (Roger, 2012).

1.1.8 Composición mineralógica de las tobas vítreas

En la tabla 1.1 se muestran los porcentajes de la matriz vítrea, así como el contenido de arcilla y las principales fases mineralógicas cristalinas encontradas.

Se observa que se destaca el alto contenido de arcilla que presentan las tobas de Sagua de Tánamo.

Tabla 1.1 Composición mineralógica de las tobas vítreas

| Material puzolánico | Matriz vítrea (%) | Contenido de arcilla (%) | Fases cristalinas |
|---------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Tobas vítreas | 54 - 80 | 16 - 39 | Montmorillonita ortoclasa, cuarzo |

Sobre la base de la composición química de las tobas analizadas se pueden clasificar geológicamente como rocas vulcano-sedimentarias, de composición dacítica, Se conoce que las tobas de composición dacítica tienen buena puzolanidad.

1.1.9 Las tobas como material puzolánico

En 1952, el departamento de restauración de los Estados Unidos define el término puzolana, incorporada en las normas ASTM (1958) y mantenida hasta hoy como la definición que dice: "las puzolanas son materiales silíceos o aluminosilíceos quienes por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se encuentran finamente divididos y están en presencia de agua, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes" (Quintana, 2005).

De forma similar se utiliza la definición de puzolanas dada por (Massaza, 1974), que expresa: "se define como puzolanas a aquellos materiales naturales o artificiales, ricos en sílice y alúmina, capaces de reaccionar con cal en presencia de agua y formar por esta reacción compuestos con propiedades cementicias".

En un sentido más particular las puzolanas, o por lo menos algunas de ellas, son de naturaleza zeolíticas, capaces de reaccionar con otras sales cálcicas, así como otros óxidos alcalinotérreos, siempre en presencia de agua y a temperatura ambiente.

En Cuba existe un inmenso potencial de puzolanas naturales con numerosos yacimientos de rocas zeolitizadas y de tobas vítreas diseminadas por, prácticamente, todo el territorio nacional, generalmente con elevada actividad puzolánica.

Las puzolanas presentan en virtud de su inestabilidad química, reflejo del desorden estructural, alta susceptibilidad de reaccionar con otras sustancias para formar nuevos compuestos más estables, es así como atrapan la cal libre en el Clinker. Estas engloban materiales de diferente naturaleza, por esto cuando se habla de ellas se hace alusión a rocas, suelos, sedimentos o productos artificiales que presentan propiedades puzolánicas.



Figura 1.3 Muestra de tobas vítreas del municipio Sagua de Tánamo

1.2 Conceptualización del tema

1.2.1 Ladrillo, Definición y Tipos

El Ladrillo es un componente cerámico artificial de construcción, compuesto básicamente por arcilla cocida. Se emplea para la construcción en diversos elementos constructivos, como muros, tabiques, hornos, etc. Las dimensiones del ladrillo están estandarizadas de modo que cada una sea el doble de la anterior, más 1cm, para el mortero de unión (Apuntes sobre ladrillos, 2009).

1.2.2 El ladrillo como elemento constructivo

1.2.2.1 La arcilla

La arcilla con la que se elabora el ladrillo es un material sedimentario de partículas muy pequeñas de silicatos hidratados de alúmina, además de otros minerales como el caolín, la montmorillonita y la illita. Se considera el adobe como el precursor del ladrillo, puesto que se basa en el concepto de utilización de barro arcilloso para la ejecución de muros, aunque el adobe no experimenta los cambios físico-químicos de la cocción. El ladrillo es la versión irreversible del adobe, producto de la cocción a altas temperaturas (350 °C).

1.2.2.2 Geometría

Su forma es la de un prisma rectangular, en el que sus diferentes dimensiones reciben el nombre de *soga*, *tizón* y *grosso*, siendo la *soga* su dimensión mayor. Asimismo, las diferentes caras del ladrillo reciben el nombre de *tabla*, *canto* y *testa* (la *tabla* es la mayor). Por lo general, la *soga* es del doble de longitud que el *tizón* o, más exactamente, dos *tizones* más una *junta*, lo que permite combinarlos libremente. El *grosso*, por el contrario, puede no estar modulado.

Existen diferentes formatos de ladrillo, por lo general son de un tamaño que permita manejarlo con una mano. En particular, destacan el formato métrico, en el que las dimensiones son $24 \times 11,5 \times 5,25 / 7 / 3,5$ cm (cada dimensión es dos veces la inmediatamente menor, más 1 cm de *junta*) y el formato catalán de dimensiones $29 \times 14 \times 5,2 / 7,5 / 6$ cm, y los más normalizados que miden $25 \times 12 \times 5$ cm.

Actualmente también se utilizan por su gran demanda, dado su reducido coste en obra, medidas de $50 \times 24 \times 5$ cm como se muestra en la figura 1.4.

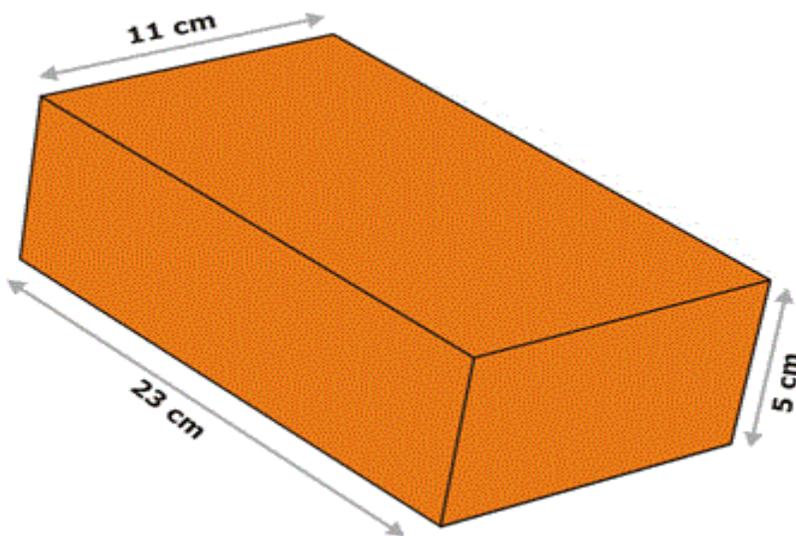


Figura 1.4 Nomenclatura de las caras y aristas de un ladrillo

1.2.2.3 Tipos de ladrillo

Según su forma, los ladrillos se clasifican en:

- Ladrillo perforado, que son todos aquellos que tienen perforaciones en la tabla que ocupen más del 10 % de la superficie de la misma. Se utilizan en la ejecución de fachadas de ladrillo.
- Ladrillo macizo, aquellos con menos de un 10 % de perforaciones en la tabla. Algunos modelos presentan rebajes en dichas tablas y en las testas para ejecución de muros sin llagas.
- Ladrillo tejar o manual, simulan los antiguos ladrillos de fabricación artesanal, con apariencia tosca y caras rugosas. Tienen buenas propiedades ornamentales.
- Ladrillo aplantillado, aquel que tiene un perfil curvo, de forma que al colocar una hilada de ladrillo, generalmente a sardinel, conforman una moldura corrida. El nombre proviene de las plantillas que utilizaban los canteros para labrar las piedras, y que se utilizan para dar la citada forma al ladrillo.
- Ladrillo hueco, son aquellos que poseen perforaciones en el canto o en la testa que reducen el peso y el volumen del material empleado en ellos, facilitando su corte y manejo. Aquellos que poseen orificios horizontales son utilizados para tabiquería que no vaya a soportar grandes cargas. Pueden ser de varios tipos:
 - Rasilla: su soga y tizón son mucho mayores que su grueso. En España, sus dimensiones más habituales son 24 x 11,5 x 2,5 cm.
 - ✓ Ladrillo hueco simple: posee una hilera de perforaciones en la testa.
 - ✓ Ladrillo hueco doble: con dos hileras de perforaciones en la testa.
 - ✓ Ladrillo hueco triple: posee tres hileras de perforaciones en la testa.
- Ladrillo caravista: son aquellos que se utilizan en exteriores con un acabado especial.
- Ladrillo refractario: se coloca en lugares donde debe soportar altas temperaturas, como hornos o chimeneas.

1.2.3 Fabricación de ladrillos

1.2.3.1 Proceso de elaboración

Hoy día, en cualquier fábrica de ladrillos se llevan a cabo una serie de procesos estándar que comprenden desde la elección del material arcilloso al proceso de empaclado final. La materia prima utilizada para la producción de ladrillos es, fundamentalmente, la arcilla. Este material está compuesto, en esencia y cantidades variables de óxidos de hierro y otros materiales alcalinos, como los óxidos de calcio y los óxidos de magnesio.

Las partículas del material son capaces de absorber higroscópicamente hasta un 70 % de su peso en agua. Cuando está hidratada, la arcilla adquiere la plasticidad suficiente para ser moldeada, a diferencia de cuando está seca; estado en el que presenta un aspecto terroso.

Durante la fase de endurecimiento, por secado o por cocción, el material arcilloso adquiere características de notable solidez, y experimenta una disminución de masa, por pérdida de agua, de entre un 5 y un 15 %.

Una vez seleccionado el tipo de arcilla el proceso puede resumirse en:

- Maduración
- Tratamiento mecánico previo
- Depósito de materia prima procesada
- Humidificación
- Moldeado
- Secado
- Cocción
- Almacenaje

➤ Maduración

Antes de incorporar la arcilla al ciclo de producción hay que someterla a ciertos tratamientos de trituración, homogeneización y reposo al aire libre, con la finalidad de

obtener una adecuada consistencia, secado tangente y uniformidad de las características físicas y químicas deseadas.

El reposo a la intemperie tiene la finalidad de facilitar el desmenuzamiento de los terrones y la disolución de los nódulos para impedir las aglomeraciones de partículas arcillosas. La exposición a la acción atmosférica (aire, lluvia, sol, hielo, etc.) favorece además la descomposición de la materia orgánica que pueda estar presente y permite la purificación química y biológica del material. De esta manera se obtiene un material completamente inerte y poco dado a posteriores transformaciones mecánicas o químicas.

➤ **Tratamiento mecánico previo**

Después de la maduración, que se produce en la zona de acopio, sigue la fase de pre-elaboración, que consiste en una serie de operaciones que tienen la finalidad de purificar y refinar la materia prima. Los instrumentos utilizados en la pre-elaboración, para un tratamiento puramente mecánico suelen ser:

- Rompe-terrones: como su propio nombre indica, sirve para reducir las dimensiones de los terrones hasta un diámetro de entre 15 y 30 mm.
- Eliminator de piedras: está constituido generalmente por dos cilindros que giran a diferentes velocidades, capaces de separar la arcilla de las piedras o «chinos».
- Desintegrador: se encarga de triturar los terrones de mayor tamaño, más duros y compactos, por la acción de una serie de cilindros dentados.
- Laminador refinador: está formado por dos cilindros rotatorios lisos montados en ejes paralelos, con separación, entre sí, de 1 a 2 mm, espacio por el cual se hace pasar la arcilla sometiéndola a un aplastamiento y un planchado que hacen aún más pequeñas las partículas. En esta última fase se consigue la eventual trituración de los últimos nódulos que pudieran estar todavía en el interior del material.

➤ **Depósito de materia prima procesada**

A la fase de pre-elaboración, sigue el depósito de material en silos especiales en un lugar techado, donde el material se homogeneiza definitivamente tanto en apariencia como en características físico-químicas.

➤ **Humidificación**

Antes de llegar a la operación de moldeo, se saca la arcilla de los silos y se lleva a un laminador refinador, y posteriormente a un mezclador humedecedor, donde se agrega agua para obtener la humedad precisa.

➤ **Moldeado**

El moldeado consiste en hacer pasar la mezcla de arcilla a través de una boquilla al final de la estructura. La boquilla es una plancha perforada que tiene la forma del objeto que se quiere producir.

El moldeado se suele hacer en caliente utilizando vapor saturado aproximadamente a 130 °C y a presión reducida. Procediendo de esta manera se obtiene una humedad más uniforme y una masa más compacta, puesto que el vapor tiene un mayor poder de penetración que el agua.

➤ **Secado**

El secado es una de las fases más delicadas del proceso de producción. De esta etapa depende, en gran parte, el buen resultado y calidad del material, más que nada en lo que respecta a la ausencia de fisuras. El secado tiene la finalidad de eliminar el agua agregada en la fase de moldeado para poder pasar a la fase de cocción.

Esta fase se realiza en secaderos que pueden ser de diferentes tipos. A veces se hace circular aire de un extremo a otro por el interior del secadero, y otras veces es el material el que circula por el interior del secadero sin inducir corrientes de aire. Lo más normal es que la eliminación del agua del material crudo se lleve a cabo insuflando aire caliente con una cantidad de humedad variable. Eso permite evitar golpes termohigrométricos que puedan producir una disminución de la masa de agua a ritmos diferentes en distintas zonas del material y, por lo tanto, a producir fisuras localizadas.

➤ **Cocción**

Se realiza en hornos de túnel, que en algunos casos pueden llegar a medir hasta 120 m de longitud, y donde la temperatura de la zona de cocción oscila entre 900 °C y 1000 °C.

En el interior del horno la temperatura varía de forma continua y uniforme. El material secado se coloca en carros especiales, en paquetes estándar y es introducido por una de las extremidades del túnel, saliendo por el extremo opuesto una vez que está cocido.

Es durante la cocción cuando se produce la sinterización, de manera que la cocción resulta una de las instancias cruciales del proceso en lo que a la resistencia del ladrillo respecta.

➤ **Almacenaje**

Antes del embalaje se procede a la formación de paquetes sobre pallets, que permitirán después moverlos fácilmente con carretillas de horquilla. El proceso de embalaje consiste en envolver los paquetes con cintas de plástico o de metal, de modo que puedan ser depositados en lugares de almacenamiento, para posteriormente ser trasladados en camiones.

1.3 Investigaciones realizadas

Con el objetivo de evaluarlos y ser utilizados provechosamente para la fabricación de materiales de la construcción y cerámica, los gabros y las tobas vítreas han sido objeto de estudio de varios investigadores.

Investigadores del territorio Orozco (1995), escogiendo un corte muy bien expuesto del yacimiento Cayo Guam concluyó que en la base del corte afloran gabros muy intemperizados alterados a un material de color blanco y aspecto terroso- arcillosos al tacto, muy deleznales y con una alta plasticidad. Hacia la parte superior existe una transición gradual a materiales parecidos a los de la base del corte formando una corteza de meteorización de colores variables desde el rosado hasta el rojo intenso, lo que indica un incremento en el contenido de hierro.

A través de un análisis por difracción de RX, en este mismo trabajo, se llegó a la conclusión de que la muestra era una caolinita desordenada, o sea una caolinita tipo d o fireclay mineral y el análisis químico arrojó que durante el proceso de alteración hubo un incremento considerable de Alúmina y la consecuente migración del hierro, calcio y magnesio para la formación de la caolinita como mineral residual, la cual

tuvo su origen en la meteorización de cuerpos de gabros, formando potentes capas que constituyen depósitos de gran extensión.

Pons y Leyva (1996), determinaron la composición química de las arcillas ferrocaolínicas gibbsíticas del yacimiento de Centeno, con el objetivo de caracterizarlas para su utilización como material refractario, como revestimiento de cazuelas en la Empresa Mecánica del Níquel (EMNi), concluyendo que los depósitos de arcillas estudiadas tuvieron su origen en la meteorización de cuerpos de gabros, los cuales forman parte del complejo ofiolítico de la región y son perfectamente utilizables como material refractario.

López (2006), mostró resultados preliminares sobre las potencialidades como áridos ligeros y puzolanas del yacimiento El Picado, estos resultados fueron preliminares, al no contar el laboratorio donde se efectuaron los ensayos con las debidas certificaciones de calidad, lo cual no permite homologar sus resultados, dando lugar a la necesidad de efectuar nuevas investigaciones.

Ponce, M, (2007), caracterizó la versatilidad del uso de las tobas volcánicas como material de construcción basándose en los ensayos con glicoletileno con la finalidad de evidenciar la posibilidad de que se produjera un efecto expansivo en condiciones de humedad. Los resultados de este ensayo detectaron sólo una pérdida de material del 1,7 %, manifestado como material pulverulento y el redondeamiento de los cubos de ensayo, sin producir fisuración. Como resultado final concluyó que no es posible efectuar el reemplazo total de la arena por el polvo de toba, debido a que el agua de amasado que fija la norma, es insuficiente para la obtención de una mezcla trabajable. Los ensayos indican su posible empleo como agregado fino en reemplazo de arena hasta un 20 % sin que la resistencia se vea afectada al compararlo con un mortero testigo. También se indica como adición aglomerante y de acción puzolánica.

Armas (2008), se demostró que la dosificación de 15 a 30 % de tobas vítreas avalan su puzolanidad y su uso como aditivo al cemento y los hormigones, sin embargo no describe la granulometría adecuada para el mezclado, ni el uso de tobas como árido para la fabricación de hormigones y morteros.

Muxlhangha (2009), desarrolló un estudio sobre la evaluación de las tobas vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo para su utilización como árido y puzolana natural en la construcción, donde se aborda que las tobas vítreas tienen gran utilización a nivel mundial al tener diferentes aplicaciones, se realizaron diferentes ensayos de resistencia y de granulometría, se utiliza un triturador de mandíbula para disminuir el tamaño del material utilizado y también se utiliza un molino de bolas con el objetivo de disminuir aún más el tamaño de partículas al obtener resultados favorables como puzolana.

(Cabo de Villa Figueral, S. 2010) realizó una valoración de mezclas de arcillas de la región de Centeno para su utilización en la industria de materiales locales. El mismo llegó a las conclusiones de que las mezclas con adición de tobas vítreas presentan mayor absorción de agua a medida que se aumenta su contenido en la mezcla, experimentando mayor pérdida de peso al cocerla hasta 750 °C, lo que demuestra las ventajas de esta propiedad de tener mayor facilidad de colocación de los ladrillos cerámicos, a la vez que incrementan las propiedades de mayor aislamiento térmico y acústico.

Cabrera (2010), realizó una evaluación de las tobas vítreas de los yacimientos de la provincia de Holguín, para utilizarlas como puzolana natural en los materiales de la construcción. Al material analizado se le realizan ensayos para determinar la resistencia a la flexotracción y a la compresión de morteros y se comprueba que estos morteros superan la resistencia de los morteros de albañilería y las tobas influyen positivamente en la resistencia mecánica de estos. Se debería haber evaluado también los materiales a un mayor tiempo de fraguado y no se separan las fases de la montmorillonita de la arcilla en las tobas vitroclásticas.

Almenares (2011), determinó las propiedades puzolánicas de los materiales tobáceos de la región de Holguín, con perspectivas a ser utilizadas como puzolanas naturales, al añadir un 15 y un 30 % en peso, de estos materiales por cemento, realiza una serie de análisis para determinar la composición química y mineralógica de estos materiales y obtiene como resultado que al realizar la sustitución de los materiales tobáceos por cemento, los morteros obtenidos cuentan con las resistencia

suficiente para ser utilizados en la albañilería, pero no utiliza ningún método para separar los granos de montmorillonita de otro tipo de arcilla que se encuentra contenida en las tobas vítreas, como un factor planteado por el autor que limita la actividad de los referidos materiales.

Días Álvarez, Adrián 2014 realizó una evaluación de mezclas de arcillas con adición de tobas vítreas para la fabricación de ladrillos cerámicos en Bayamo. Prov. Granma. El mismo llegó a la conclusión que se puede mejorar la calidad de los ladrillos cerámicos y otros productos empleando las mezclas con tobas vítreas, aditivo que se comporta como un fundente, lo cual permite disminuir la temperatura de cocción del ladrillo y/o el tiempo que el mismo se encuentre en el horno. De las mezclas que se utilizaron y se le realizaron las pruebas correspondientes presentaron un mejor resultado aquellas que tenían un 10% de tobas vítreas.

CONCLUSIONES PARCIALES

- Según los trabajos consultados se constató que existen propiedades de los gabros y las tobas vítreas que permiten que sean utilizados en la producción de ladrillos de cerámica roja.
- El municipio de Moa cuenta con grandes yacimientos de ambos minerales que pueden explotarse y sustituir en gran medida los minerales utilizados hasta el momento.
- El uso de las tobas y los gabros puede representar una alternativa viable para alcanzar una mejora en las mezclas para la producción de ladrillos cerámicos. Esto no exige para su implementación grandes cambios tecnológicos, lo cual no implicaría aumentos significativos en los costos de producción y transportación, que se compensan con la disminución del consumo de combustible.

2. MATERIALES Y METODOS

Introducción

La realización del trabajo que se expone en este capítulo se basa en obtener los mejores resultados, para ello es necesario describir los principales materiales a utilizar y los métodos que se emplean. A continuación se da comienzo a la técnica experimental llevada a cabo, luego se desarrolla la toma de muestras y su ulterior preparación para la realización de los distintos experimentos.

2.1 Materiales a utilizar

Para la realización de este trabajo se tomaron muestras representativas de Gabros ubicados en las cercanías del río Cayo Guam y material tobáceo de Sagua de Tánamo.

2.1.1 Los materiales a utilizar son

Materia prima

- Gabro de Cayo Guam
- Tobas Vítreas de Sagua de Tanamo

2.2 Equipamientos para la preparación mecánica de la materia prima

- Trituradora
- Molino de bola
- Tamiz
- Moldes para las probetas
- Horno de mufla

2.3 Características del Gabro de Cayo Guam

Cantera ubicada a 400 m en dirección sur hacia el río Cayo Guam, limita al norte con la carretera central Moa – Baracoa. El material presenta coloración pardo amarillo, de composición areno arcillosa y con alto grado de alteración. El área aproximada es de 10903 m², afectada por los eventos tectónicos, vegetación predominante en la parte superior de yagruma e hicacos.

Este mineral posee en su composición química una variedad de compuestos. A continuación se muestra en la tabla 2.1 el por ciento que tiene de cada mineral, se observa que el de mayor predominio es el dióxido de sílice.

Tabla 2.1 Composición química de los gabros de Cayo Guam (%)

| Compuestos químicos | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | CaO | MnO | K ₂ O | TiO ₂ | FeO | P ₂ O ₅ |
|---------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------------------|------------------|------|-------------------------------|
| Contenido (%) | 46,04 | 18,25 | 0,67 | 11,1 | 10,9 | 0,09 | 0,08 | 0,16 | 0,16 | 0,05 |

En la figura 2.1 expuesta a continuación se muestra la cantera de gabros de Cayo Guam donde se puede ver la coloración que posee este mineral.



Figura 2.1 Cantera de gabros de Cayo Guam

2.4 Características de las Tobas Vítreas de Sagua de Tánamo

El yacimiento se encuentra a 10 – 15 km al este de Sagua de Tánamo. Localidad “El Picao”, en las siguientes coordenadas X = 676 000 Y = 215 000; X = 679 000 Y = 217 000, según datos del informe de la ORM de la provincia de Santiago de Cuba (Banderas et al, 1997), está comprendido entre las cuencas de los ríos Sagua de Tánamo por el Oeste y Jiguaní por el Este, de Norte a Sur abarca desde la línea de costa hasta las inmediaciones del sistema montañoso Sagua– Baracoa.

Este mineral posee en su composición química una variedad de compuestos. A continuación se muestra en la tabla 2.2 el por ciento que tiene de cada mineral, se observa que el de mayor predominio es el dióxido de sílice.

Tabla 2.2 Composición química de las Tobas Vítreas (%)

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

A continuación en la figura 2.2 se representa una porción de las tobas vítreas de Sagua de Tánamo donde se puede ver su coloración blanca.



Figura 2.2 Muestra de tobas vítreas de Sagua de Tánamo

2.5 Metodología de la investigación

A continuación se muestra la esquematización detallada de la investigación realizada, contando con una metodología basada en cuatro etapas fundamentales para el desarrollo del trabajo. En primer lugar se tiene la etapa Preliminar, Trabajo de campo, Preparación y ensayo de las muestras y Trabajo de gabinete.

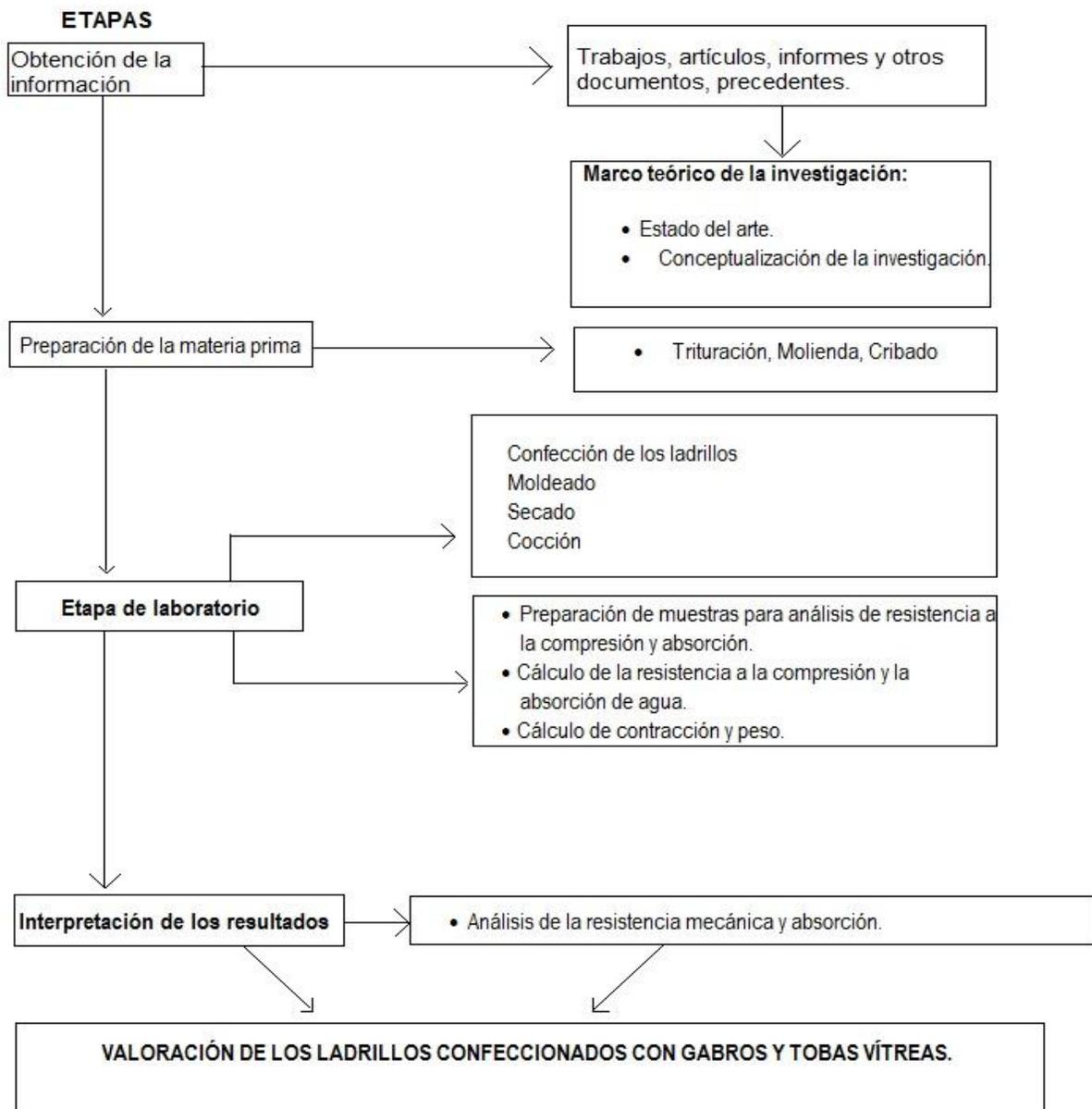


Figura 2.3 Resumen de la metodología de la investigación

- Etapa I: Preliminar.
- Etapa II: Trabajo de campo.
- Etapa III: Preparación y ensayo de las muestras.
- Etapa IV: Trabajo de gabinete.

2.5.1 Preliminar

En esta primera etapa se recopiló toda la información necesaria proveniente de trabajos de diploma, artículos publicados en Internet u otros sitios Web, revistas publicadas, en referencias bibliográficas, etc. Siendo además de interés las características geológicas del área en estudio. Los datos ofrecidos permiten tener una vista más ampliada del tema que se está tratando en cuestión.

2.5.2 Trabajos de campo

El trabajo de campo se dirigió fundamentalmente a obtener el mayor volumen de información sobre el objeto que se está analizando y estudiando. Se realizó un recorrido por las áreas donde se encuentran las dos materias primas y se recopiló la mayor información.

2.6 Toma de muestras

Para la toma de muestra de los gabros se utilizó el método por surco, escogiendo un corte representativo del afloramiento para obtener una muestra a todo lo largo de los perfiles de meteorización, desde la base hasta la superficie, ya que a partir de este tipo de muestreo se abarca toda la potencia del afloramiento. Se aplicaron tres surcos, las muestras de éstos fueron mezcladas para constituir una sola muestra compuesta homogénea.

Para las tobas vítreas se utilizó el método por punto tratando de ocupar la mayor parte del terreno, se escogió una muestra representativa en cada uno de ellos y se mezclaron para formar una sola homogénea.

2.6.1 Preparación y ensayo de las muestras

La investigación se realizó a escala de laboratorio, tomando material suficiente para conformar ambas muestras se transportó hasta el Laboratorio de Beneficio de Minerales del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Luego, se procedió a escoger los equipos para su posterior preparación.

Preparación de las muestras

- Trituración
- Molienda
- Tamizado
- Preparación de las mezclas para la conformación de las probetas
- Moldeado
- Secado
- Cocción

2.6.1.1 Trituración

Para someter las muestras a un proceso de reducción de tamaño se llevaron a cabo dos etapas de trituración. En la primera etapa se utilizó la trituración por impacto de forma manual con una mandarina hasta lograr obtener fragmentos de 100 mm aproximadamente. Después de la trituración manual en que se obtienen tamaños máximos de 100 mm, se lleva a cabo la trituración en una trituradora de mandíbula TQ (150X75) como se ve en la figura 2.4; con un diámetro de alimentación de 100 mm y de descarga de 25 mm, respectivamente.

Se trituró a una granulometría entre 10 y 20 mm, en la descarga de la segunda etapa del proceso de trituración se usó la operación de cribado de control con un tamiz de - 0,25 mm. El material retenido en el tamiz fue sometido a un proceso de molienda, y el cernido, con tamaño inferior a - 0,25 mm fue usado en la conformación de las probetas.



Figura 2.4 Trituradora de mandíbulas TQ (150x75)

La trituradora de mandíbula TQ (150x75) posee una longitud de la quijada de 150 mm, la boca de alimentación tiene un ancho de 55 mm y largo 75 mm y la boca de descarga posee 3,15 mm.

2.6.1.2 Molienda

La molienda es un proceso de reducción de las dimensiones de los trozos (granos) de los materiales mediante su fragmentación por la acción de fuerzas exteriores que superan las fuerzas interiores de cohesión, las que unen entre sí las partículas del cuerpo sólido. La eficiencia de la molienda es precisamente la clave del éxito de la separación de los minerales. A este proceso le corresponde el mayor peso en la liberación de los componentes útiles de las menas, por esta razón, la calidad del producto final, la eficiencia de la separación y la obtención de altos índices cualitativo- cuantitativos del beneficio dependen de la molienda.

Se utilizó un molino de bolas (figura 2.5), que posee un diámetro de 198 mm, una longitud de 245 mm y la velocidad de rotación es de 70 r.p.m. Para disminuir el tamaño de las partículas hasta un diámetro menor a 0,2 mm, esta operación se realiza con el material seco durante 10 minutos para evitar que este se pegue a las paredes del molino, luego hubo un cribado previo donde las partículas retenidas en el tamiz que eran las que tenían un diámetro mayor a -0,25 mm fueron incorporadas nuevamente al proceso de molienda para así alcanzar la granulometría requerida y aumentar la superficie de contacto de las mismas logrando una mayor interrelación entre los materiales empleados y una buena homogenización de la mezcla. Estas operaciones se realizaron para ambas muestras.



Figura 2.5 Molino de bolas

Las muestras de mineral fueron sometidas en su totalidad a un proceso de reducción de tamaño. En la figura 2.6 que se muestra a continuación se esquematizan estos dos procesos ya que son los fundamentales en la preparación de la materia prima.

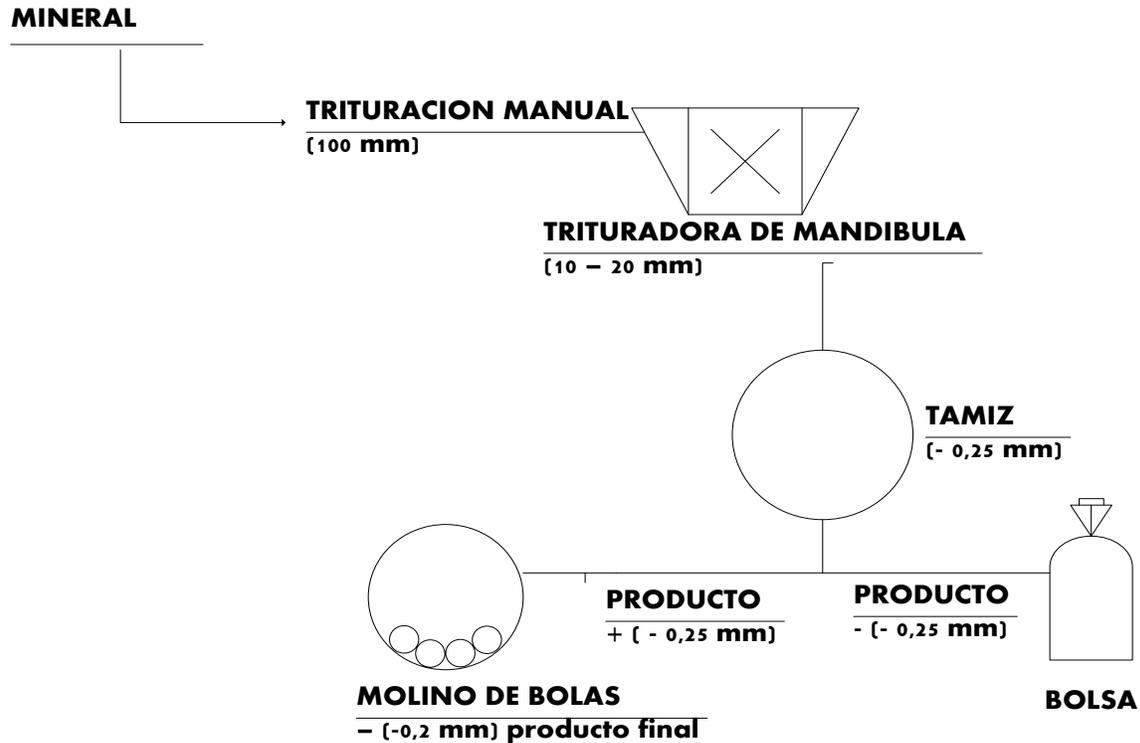


Figura 2.6 Esquema de reducción de tamaño

2.7 Preparación de las mezclas para la conformación de las probetas

Las mezclas se prepararon con las dosificaciones en peso correspondientes para confeccionar las mismas.

Los materiales para la confección de las probetas son homogenizados y luego añadidos en un recipiente donde poco a poco se le agrega agua, hasta formar una pasta compacta y fácil de trabajar, se vierte en los moldes para la conformación de las probetas siempre tratando que se llene el molde en toda su área para que cuando se sequen queden libres de imperfecciones (fisuras). Una vez compactada se enrasó y se dejó en el molde hasta que éste se pudiera retirar sin alterar sus dimensiones.

2.7.1 Dosificación de los materiales

A continuación se muestra una tabla 2.3 con las dosificaciones exactas en por ciento de cada mineral para los ensayos realizados.

Tabla 2.3 Dosificaciones para la conformación de las muestras

| Material | M.P | M - 1 | M - 2 | M - 3 |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| G.C.G | 100 % | 70 % | 60 % | 50 % |
| T.V.S.T | - | 30 % | 40 % | 50 % |

Donde:

G.C.G: gabra de Cayo Guam.

T.V.S.T: toba vítreas de Sagua de Tánamo.

2.7.2 Moldeado

El moldeado consiste en obtener una masa más compacta y una humedad uniforme utilizando las manos u otros equipos. Se realizó con moldes de madera, con dimensiones de 25 cm de largo, 12 cm de ancho y 6 cm de alto. Siguiendo los requisitos de N-C 360.

2.7.3 Secado

Para obtener buenos resultados y un material con calidad en este proceso, es necesario y de gran importancia la ausencia de fisuras, debido a ello es una de las etapas fundamentales y más delicadas. Tiene la finalidad de eliminar el agua agregada en la fase de moldeado para de esta manera, poder pasar a la fase de cocción, figura 2.7.



Figura 2.7 Secado al aire libre

El secado se realizó al aire libre durante dos horas para cada molde. Este proceso va siempre acompañado de la contracción que, aunque se desarrolle lentamente, provoca dificultades durante el secado. A medida que la película de agua entre los granos de mineral se pierde por evaporación, las partículas se acercan más entre sí cerrando el espacio interlaminar. Cuando la superficie de la masa de mineral está ligeramente seca, el agua del interior sale por atracción capilar.

El secado se produce uniformemente, a menos que la masa sea muy gruesa. El efecto acumulativo de cada partícula acercándose unas a otras es la contracción de toda la masa.

El secado más rápido de una parte del objeto, provoca la contracción desigual de la estructura de dicho objeto trayendo como consecuencia la deformación del mismo, para evitar los indeseados procesos de alabeo, agrietamiento o deformación, es necesario un secado lento y uniforme.

2.7.4 Cocción

Este proceso es crucial en la conformación del ladrillo ya que de él depende, en gran medida, su resistencia. La cocción de las muestras se realizó en el horno de mufla a temperatura de 1100 °C durante 6 horas, figura 2.8.



Figura 2.8 Horno de mufla JP Selecta

Primeramente las probetas se dejaron en reposo durante una semana con la finalidad de obtener una adecuada consistencia y uniformidad de las características físicas y químicas deseadas. Una vez introducidas en el horno se aumentó la temperatura hasta solamente 500 °C con el propósito de ayudar el proceso de secado ya que el agua estará completamente deshidratada y la pieza no se ablanda ni se desintegra en el agua y ha perdido su plasticidad.

En la figura 2.9 que se muestra a continuación se esquematizan todos estos procesos desde que se homogeniza el mineral con agua, luego se moldea, se seca y por último se somete a una etapa de cocción hasta obtener la probeta que posteriormente se le realizan los ensayos.

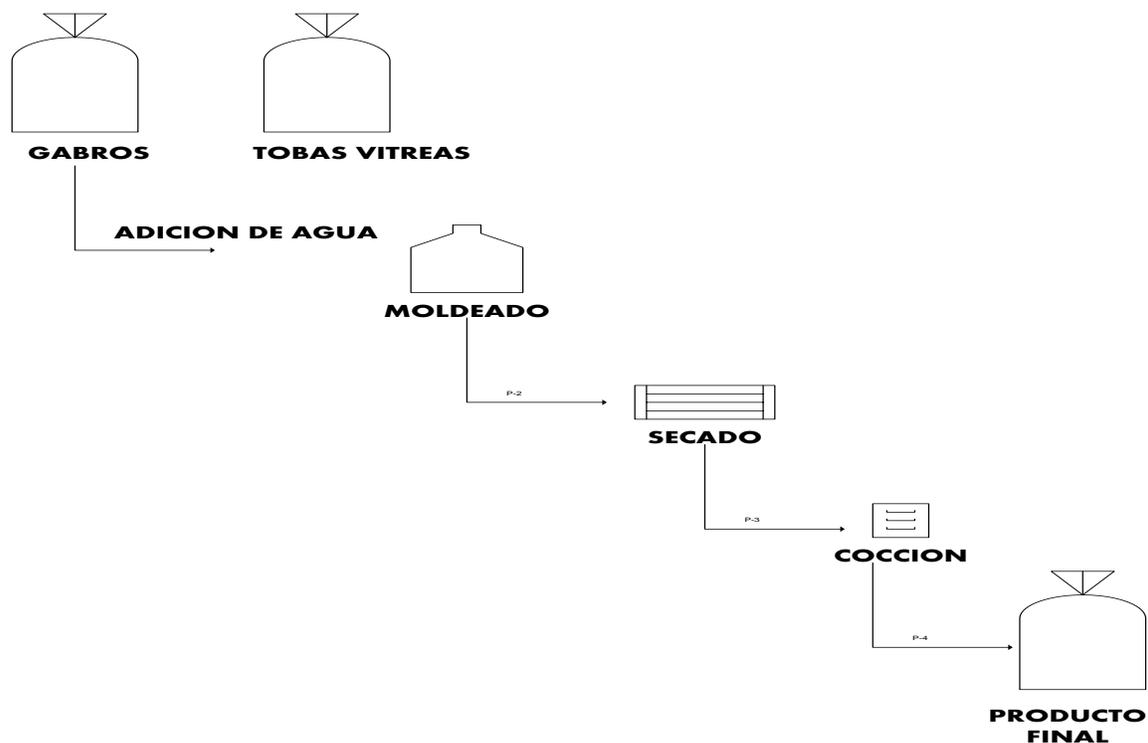


Figura 2.9 Secuencia de los procesos

2.8 Metodología para la realización de los ensayos

A continuación se realiza una descripción minuciosa de los ensayos practicados teniendo en consideración las dosificaciones mostradas en la tabla 2.3.

2.8.1 Parámetros a ensayar

- Pérdida de masa
- Resistencia a la compresión
- Absorción de agua en por ciento
- Contracción total

2.8.1.1 Ensayo de pérdida de masa

Para realizar este ensayo las muestras se pesaron antes y después de ser cocidas. Luego que se obtienen los datos se procede al cálculo por la siguiente ecuación:

$$\text{Pérdida de masa} = 100 * \frac{P_s - P_c}{P_s} \quad (1)$$

Donde:

P_s : Peso en seco, g.

P_c : Peso cocido, g.

Análisis de unidades

$$\% = \% * \frac{g}{g}$$

2.8.1.2 Ensayo de resistencia a la compresión

Este ensayo se realiza con la finalidad de determinar la capacidad del ladrillo de resistir compresión aplicándoles una carga perpendicular a las caras mayores del mismo y se mide en el momento de ruptura como se observa en la figura 2.10. Antes de ser ubicada la probeta en el equipo se mide su área, asegurándose que esté bien ubicada para evitar valores erróneos y se procede a calcular por la ecuación siguiente.

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{F_i}{A_i} * f(\text{MPa}) \quad (2)$$

Donde

F_i : Carga de rotura del elemento (kgf)

A_i : Área de la cara del ladrillo expuesta a la carga (cm²)

f: Factor de conversión de kgf/cm^2 a MPa

Si la máquina de ensayos a la compresión indicara la carga F_i en N entonces se utiliza la ecuación siguiente:

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{F_i \cdot 100}{A_i} \text{ (MPa)} \quad (3)$$



Figura 2.10 Ensayo de resistencia a la compresión

2.8.1.3 Ensayo de absorción de agua

Con el objetivo de determinar la capacidad de absorción de agua se realiza este ensayo primeramente pesando los ladrillos una vez que salen del horno. Luego se sumergen en un recipiente con agua durante 24 horas como se observa en la figura 2.11. Pasado este período se sacan, se seca la superficie con una toalla y se vuelven a pesar. Teniendo los resultados se calcula mediante la fórmula que se ilustra a continuación.

$$\text{Absorción de agua} = 100 * \frac{P_{SAT} - P_S}{P_{SAT}} \quad (4)$$

Donde

P_{SAT} : Peso saturado de agua, g.

P_S : Peso seco, g.

Análisis de unidades

$$\% = \% * \frac{g}{g}$$



Figura 2. 11 Ensayo de absorción de agua

2.9 Trabajo de gabinete

Mediante esta etapa se realiza la confección de tablas y gráficos para interpretar los resultados y dar cumplimiento al objeto de estudio de la investigación.

CONCLUSIONES PARCIALES

➤ Se determinaron las características y las propiedades generales del gabra y de las Tobas Vítreas de Sagua de Tánamo, las cuales son adecuadas para utilizar en la producción de cerámica roja.

- Los factores considerados fueron: la temperatura de 1100 °C, un tiempo de cocción de 6 horas y finura de -0,25 mm.
- El contenido de aditivo se delimitó en tres niveles y adicionalmente se elaboró un patrón de estudio sin aditivo.
- Las variables dependientes que se evaluaron son: resistencia a compresión, absorción de agua para el caso del estudio de las propiedades físico – mecánicas. En el estudio de durabilidad fueron las siguientes: pérdida de peso y contracción lineal.
- La metodología utilizada garantiza la validación de los resultados.

3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Introducción

Los resultados obtenidos luego de tabulados o graficados fueron sometidos a su análisis y discusión, los cuales se apoyaron en una amplia búsqueda bibliográfica que permitió de manera coherente profundizar en las valoraciones científicas de los resultados alcanzados.

3.1 Caracterización de las tobas vítreas

3.1.1 Caracterización química

El espectro de la composición química cualitativa superficial de la toba vítrea determinada por microscopía electrónica de barrido con rayos X acoplado se muestra en la figura 3.1, que indica la presencia de aluminio, silicio, hierro, sodio, oxígeno, magnesio, potasio, calcio y titanio.

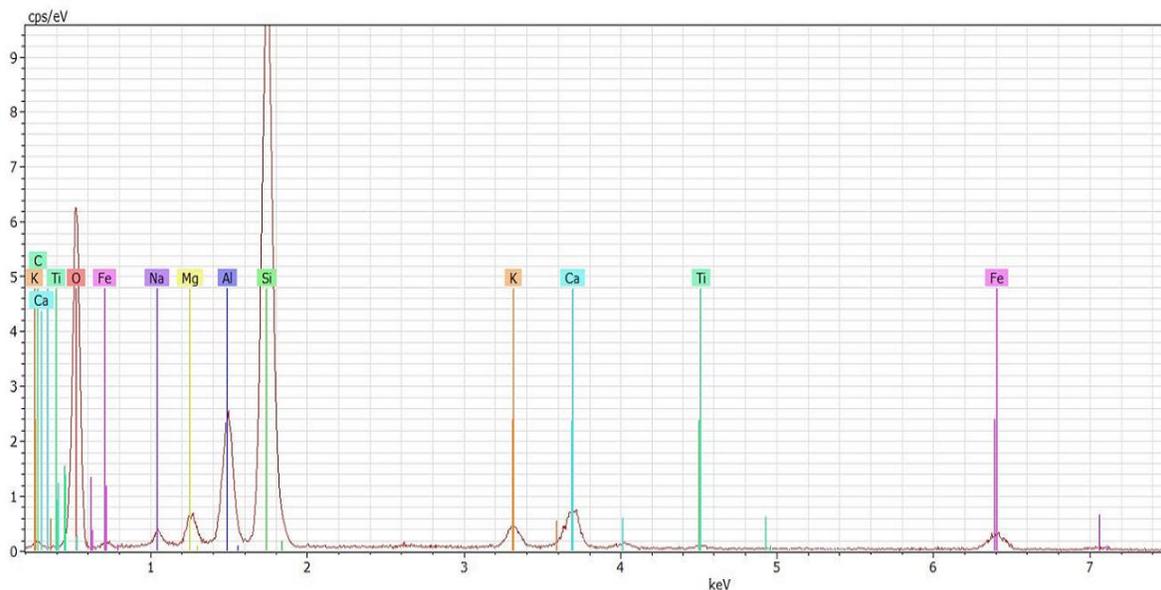


Figura 3.1 Espectro MEB - EDS de la composición química cualitativa superficial de la toba vítrea

En la tabla 3.1 se muestra la composición química cuantitativa por FRX del vidrio del yacimiento Sagua de Tánamo. Se puede apreciar el material está compuesto

fundamentalmente de óxido de silicio, aluminio e hierro, seguido de los óxidos de calcio, potasio, magnesio, sodio y titanio.

Tabla 3.1 Composición química de la muestra de toba vítrea del yacimiento Sagua Tánamo en estado natural

| Composición química | Banderas et al.1997 | Solís 2011 | Autor |
|--------------------------------|---------------------|------------|-------|
| Contenido, % | | | |
| SiO ₂ | 60,80 | 60,51 | 62,70 |
| Al ₂ O ₃ | 14,22 | 14,03 | 12,41 |
| MnO | --- | 0,03 | 0,05 |
| MgO | 2,56 | 2,38 | 2,40 |
| Na ₂ O | 2,68 | 2,85 | 1,70 |
| CaO | 4,50 | 4,11 | 4,86 |
| TiO ₂ | 0,47 | --- | 0,45 |
| P ₂ O ₅ | --- | --- | 0,09 |
| K ₂ O | 1,40 | 1,24 | 2,07 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,82 | 6,38 | 4,17 |
| SO ₃ | --- | 0,04 | 0,08 |
| PPI | --- | 8,40 | 9,00 |

3.1.2 Caracterización mineralógica

En el análisis realizado por DRX a la muestra de tobas vítreas en estado natural mostrado en la figura 3.2 se pueden identificar como las principales fases cristalinas anortita, feldespato, albita, anortoclasa y calcita, además se identifica cuarzo y fases arcillosas como la illita y montmorillonita, resultados que corresponden con la composición química expuesta en la figura 3.2.

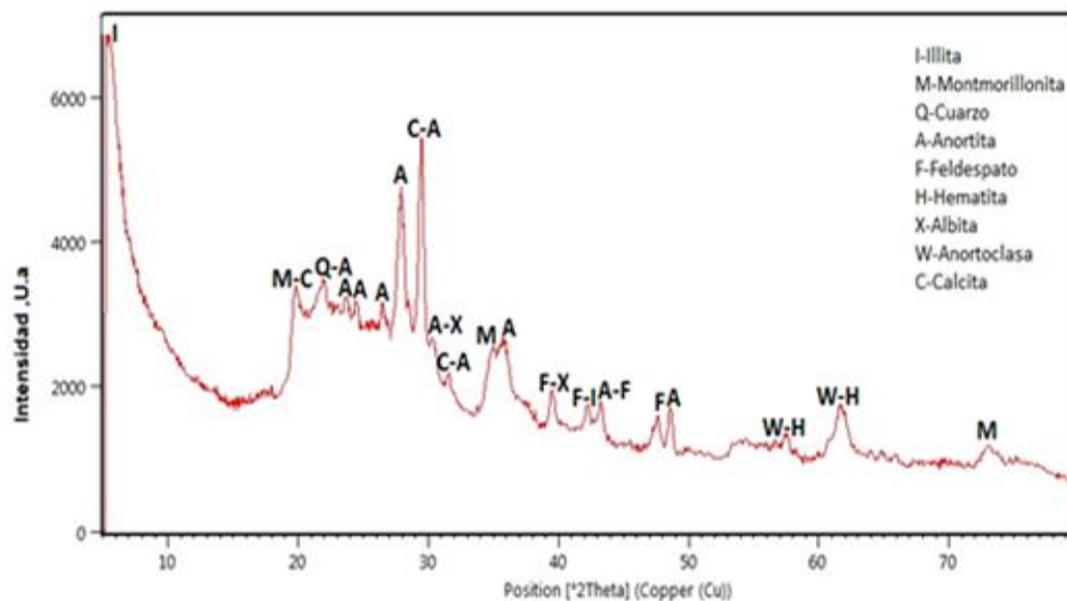


Figura 3.2 Difractograma de la muestra de toba vítrea natural

3.2 Análisis de los resultados de pérdida de peso

Los resultados de este ensayo se muestran en las tablas siguientes (tablas 3.2, 3.3).

La pérdida de peso se muestra en porcentaje y se ilustra en la figura (3.3).

Tabla 3.2 Resultados de pérdida de peso a temperatura de cocción 1100 °C

| Masa de las muestras en seco (g) | | | | |
|---|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Muestras | Patrón | Adición de 30% | Adición de 40% | Adición de 50% |
| M-1 | 319 | 279 | 268 | 250 |
| M-2 | 322 | 278 | 266 | 250 |
| M-3 | 321 | 280 | 260 | 250 |
| M-4 | 311 | 279 | 263 | 252 |
| M-5 | 307 | 279 | 263 | 251 |
| Masa de las muestras cocidas (g) | | | | |
| M-1 | 279 | 239 | 221 | 208 |
| M-2 | 284 | 238 | 220 | 207 |
| M-3 | 283 | 238 | 218 | 208 |
| M-4 | 273 | 238 | 222 | 209 |
| M-5 | 269 | 239 | 222 | 208 |

A continuación se muestran los resultados de pérdida de peso para cada muestra en por ciento y se grafican los promedios.

Tabla 3.3 Pérdida de peso

| Pérdida de masa en % | | | | |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| M-1 | 14,34 | 16,74 | 21,27 | 20,19 |
| M-2 | 13,38 | 16,81 | 20,91 | 20,77 |
| M-3 | 13,43 | 17,65 | 19,27 | 20,19 |
| M-4 | 13,92 | 17,23 | 18,47 | 20,57 |
| M-5 | 14,13 | 16,74 | 18,47 | 20,67 |
| Promedio | 13,84 | 17,03 | 19,68 | 20,48 |

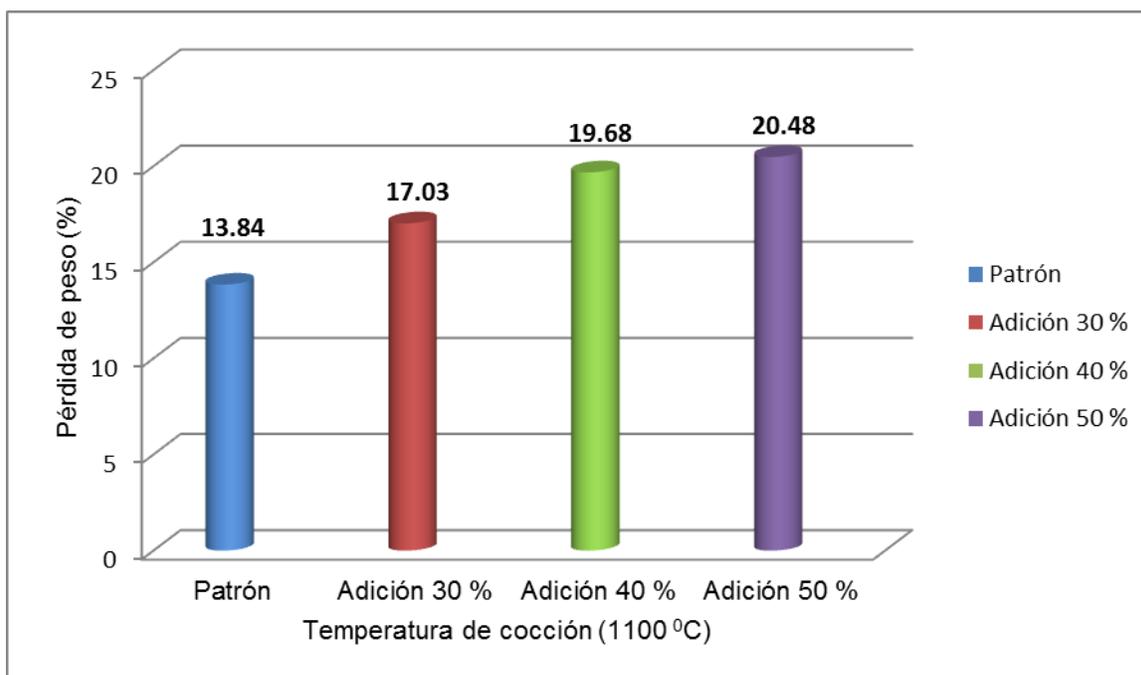


Figura 3.3 Pérdida de peso de los ladrillos a 1100 ° C

Donde:

Patrón: Dosificación de gabros a un 100 %.

Adición 30 %: Dosificación de gabros a un 70 % y tobas vítreas a un 30 %.

Adición 40 %: Dosificación de gabros a un 60 % y tobas vítreas a un 40 %.

Adición 50 %: Dosificación de gabros a un 50 % y tobas vítreas a un 50 %.

Según los valores expuestos en la figura 3.3, las muestras elaboradas como patrón que contienen 100 % de gabros tienen una pérdida de peso de (13,84 %). Las que contienen 30 % de adición de tobas vítreas, tienen una pérdida de peso de (17,03%), las de 40 % tienen una pérdida de peso de (19,68 %) y las mezclas de 50 % alcanzan un máximo de (20,48 %). Con esto queda demostrado que el mejor resultado fue la muestra con adición de 50 % de gabros y 50 % de tobas vítreas, siendo la que mayor peso pierde.

3.3 Análisis de los resultados de resistencia a la compresión

Los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión son de gran importancia y casi definitorios en la industria Cerámica y de Materiales. Los obtenidos en este trabajo se determinaron mediante la ecuación dos, mostrándose en porcentaje en la tabla (3.4) e ilustrándose en la figura (3.4). Dichos resultados caracterizan la capacidad de los objetos cerámicos de resistir golpes y cargas sin sufrir roturas durante su uso y manipulación.

Tabla 3.4 Resultados de la resistencia a la compresión

| Resistencia a la compresión (MPa) | | | | |
|--|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Muestras | Patrón | Adición de 30% | Adición de 40% | Adición de 50% |
| M-1 | 14,40 | 17,20 | 16,00 | 22,40 |
| M-2 | 14,80 | 17,80 | 16,80 | 23,30 |
| M-3 | 14,60 | 16,80 | 16,60 | 23,20 |
| Promedio | 14,60 | 17,26 | 16,46 | 22,96 |

La figura 3.4, muestra los valores obtenidos para las tres dosificaciones en estudio y la muestra patrón. Resaltando que todos los valores alcanzados se encuentran por encima del rango establecido en la norma cubana (NC 360:2005 y NC 359:2005). La dosificación patrón alcanzó una resistencia de 14,6 MPa, la que contiene 30 % de adición de tobas vítreas tiene una resistencia de 17,26 MPa, la mezcla con 40 % de este mineral resistió hasta 16,46 MPa y el resultado más alto lo alcanzó la mezcla con un 50 % de adición de tobas vítreas resistiendo 22,96 MPa.

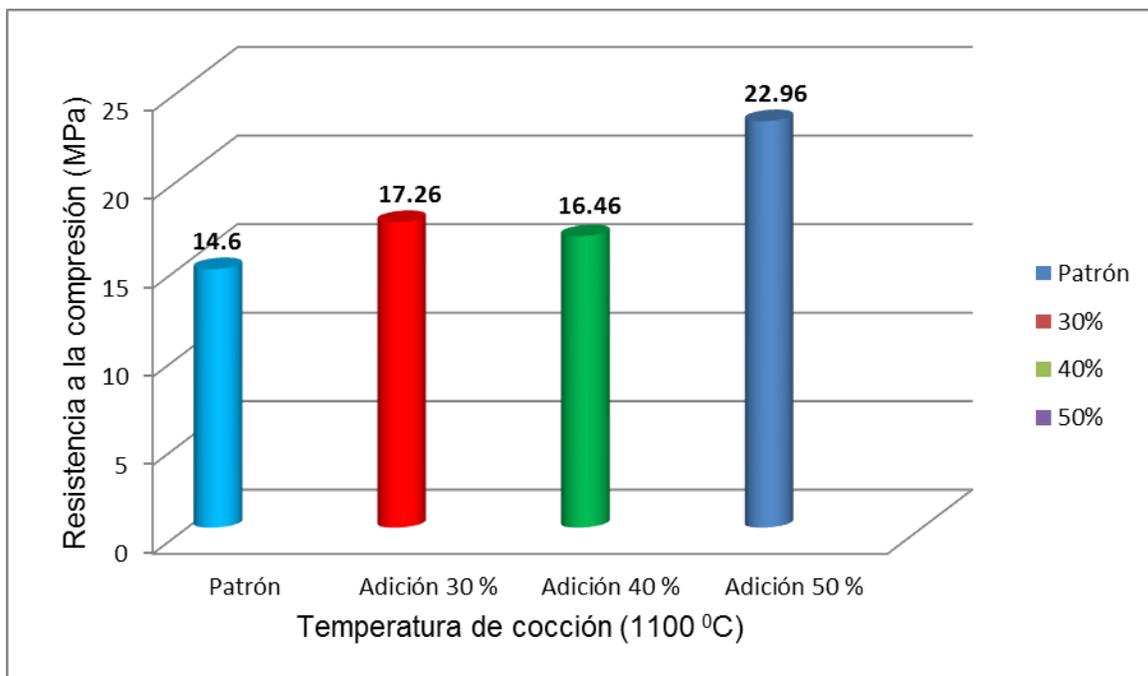


Figura 3.4 Resistencia a la compresión a 1100 ° C

Donde:

Patrón: Dosificación de gabros a un 100 %.

Adición 30 %: Dosificación de gabros a un 70 % y tobas vítreas a un 30 %.

Adición 40 %: Dosificación de gabros a un 60 % y tobas vítreas a un 40 %.

Adición 50 %: Dosificación de gabros a un 50 % y tobas vítreas a un 50 %.

Atendiendo a la clasificación según la N-C 359 se pueden clasificar en ladrillos de clase A, ya que superan los valores establecidos por la misma. Este comportamiento

se debe a que el material agregado a los gabros le brinda mayor resistencia a los objetos obtenidos.

3.4 Análisis del resultado de absorción de agua de las mezclas cocidas

El análisis de este parámetro se obtuvo a partir de los resultados obtenidos que se muestran en la tabla (3.5), para cada una de las mezclas. La capacidad de absorción de cada muestra se presenta en porcentaje y se ilustra en la figura (3.5). Esta demuestra que a mayor porcentaje adicionado de tobas vítreas disminuye la absorción de agua debido al crecimiento de pequeños cristales.

Tabla 3.5 Resultados de absorción de agua a temperatura de cocción 1100 °C

| Peso de las muestras cocidas (g) | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Muestras | Patrón | Adición 30% | Adición 40% | Adición 50% |
| M – 1 | 284 | 238 | 222 | 209 |
| Peso de las muestras saturadas (g) | | | | |
| M – 1 | 347 | 340 | 290 | 268 |
| M – 1 % | 22,18 | 42,86 | 30,63 | 28,23 |

Como se puede observar en la figura 3.5, este ensayo confirma el porcentaje de absorción de agua que tiene cada una de las mezclas estudiadas. Las dosificaciones con 30 % de adición de tobas vítreas alcanzan valores de (42,86 %) de absorción, las de 40 % de adición del mismo material absorben (30,63 %) de agua, resaltando que el valor más bajo de absorción lo obtuvo la dosificación de 50 % de gabros y 50 % de tobas vítreas.

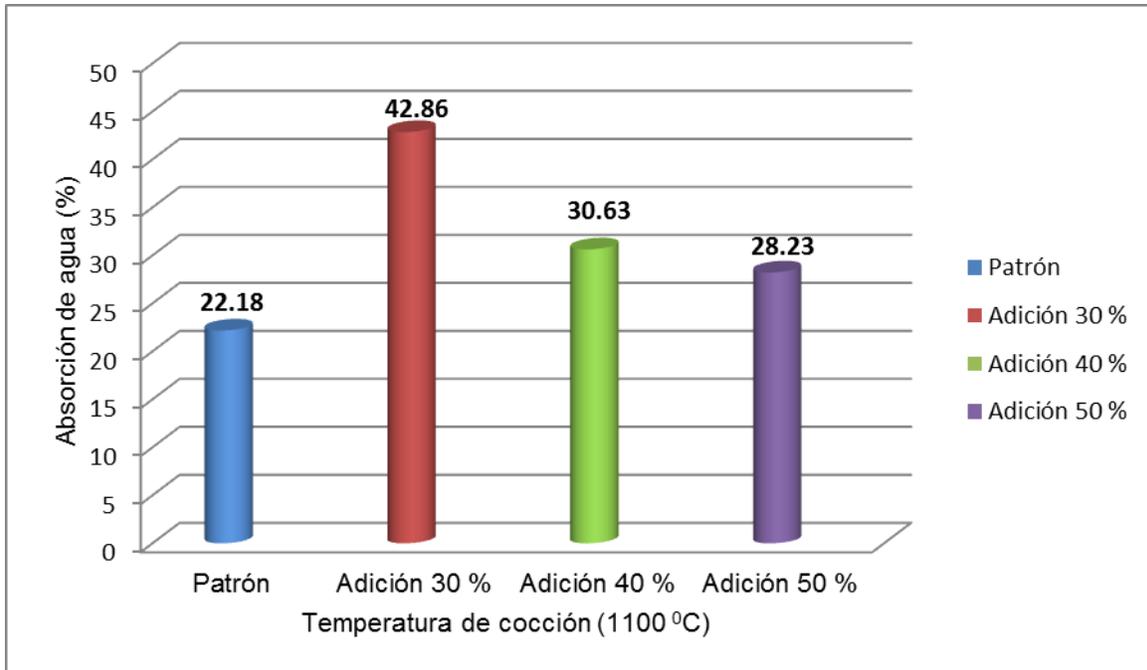


Figura 3.5 Absorción de agua de las probetas

Donde:

Patrón: Dosificación de gabros a un 100 %.

Adición 30 %: Dosificación de gabros a un 70 % y tobas vítreas a un 30 %.

Adición 40 %: Dosificación de gabros a un 60 % y tobas vítreas a un 40 %.

Adición 50 %: Dosificación de gabros a un 50 % y tobas vítreas a un 50 %.

3.5 Análisis de la contracción lineal

El parámetro tecnológico contracción total da una medida de la unión de las partículas después de cocidas las piezas. La evaluación de este parámetro es de vital importancia debido a que, mediante su control, se puede lograr productos cerámicos más o menos densos para cada una de las mezclas.

El parámetro contracción lineal da a conocer una medida de la unión de las partículas después de cocidas las piezas. La contracción se determinó en probetas cocidas a una temperatura de 1100 ° C, lo que permitió tener una idea de la cohesión progresiva de la mezcla con el avance de la temperatura.

La contracción es una consecuencia del secado y la cocción de las probetas, por lo que se requiere que estos procesos deben ser controlados estrictamente en cuanto a

temperatura y el tiempo de ejecución. Estos procesos tienen como objetivo eliminar el agua en el material, pero además se logra que las partículas se compacten más entre sí.

A continuación se muestra la tabla (3.6) con los valores para los cuales se contrajo cada muestra luego de esperar un tiempo de siete días para efectuar el secado a temperatura ambiente.

Tabla 3.6 Resultados de la contracción total a temperatura ambiente

| Contracción inicial en seco | | | | |
|------------------------------------|----------|------------|------------|-----------|
| Adición de Tobas Vítreas | Muestras | Largo (mm) | Ancho (mm) | Alto (mm) |
| Patrón | P – 1 | 7 | 4 | 1 |
| | P – 2 | 6 | 2 | 1 |
| | P – 3 | 7 | 3 | 1 |
| Promedio | | 6.7 | 3 | 1 |
| Adición 30 % | M – 1 | 6 | 3 | 1 |
| | M – 2 | 7 | 3 | 1 |
| | M – 3 | 6 | 3 | 1 |
| Promedio | | 6.4 | 3 | 1 |
| Adición 40 % | M – 1 | 7 | 3 | 1 |
| | M – 2 | 6 | 3 | 1 |
| | M – 3 | 6 | 3 | 1 |
| Promedio | | 6.4 | 3 | 1 |
| Adición 50 % | M – 1 | 8 | 3 | 1 |
| | M – 2 | 6 | 3 | 1 |
| | M – 3 | 10 | 3 | 1 |
| Promedio | | 8 | 3 | 1 |

En la figura que sigue (3.6) se grafican los resultados en promedio para cada medida en largo, ancho y alto tomados de cada muestra.

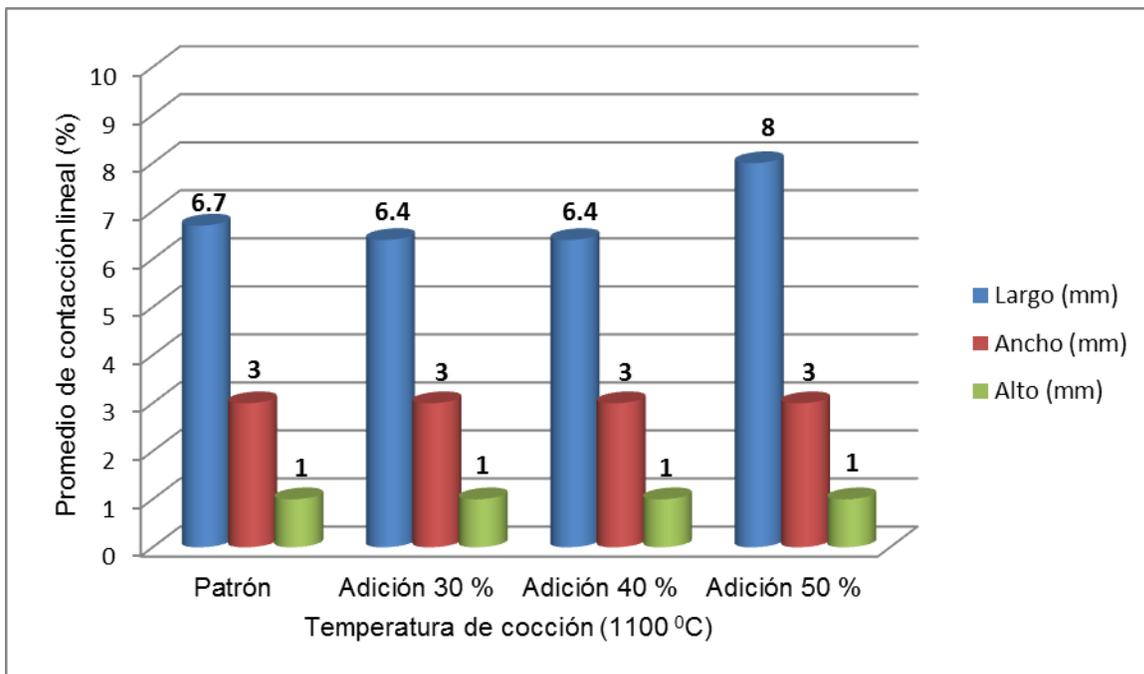


Figura 3.6 Resultados de la contracción total a temperatura ambiente

Donde:

Patrón: Dosificación de gabros a un 100 %.

Adición 30 %: Dosificación de gabros a un 70 % y tobas vítreas a un 30 %.

Adición 40 %: Dosificación de gabros a un 60 % y tobas vítreas a un 40 %.

Adición 50 %: Dosificación de gabros a un 50 % y tobas vítreas a un 50 %.

La figura muestra que la dosificación que más se contrajo fue la de 50 % de adición de tobas vítreas y 50 % de adición de gabros con valores de 8 mm de largo, 3 mm de ancho y 1 mm de alto.

Una vez introducidas las probetas en el horno durante un tiempo de 6 horas a una temperatura de 1100 °C estas sufren nuevamente un aumento de contracción. Se tabulan a continuación estos datos en la tabla (3.7) y se grafican en la figura (3.6).

Tabla 3.7 Resultados de la contracción lineal a 1100 °C

| Contracción final luego de la cocción | | | | |
|--|----------|------------|------------|------------|
| Adición de Tobas Vítreas | Muestras | Largo (mm) | Ancho (mm) | Alto (mm) |
| Patrón | P – 1 | 3 | 1 | 2 |
| | P – 2 | 2 | 1 | 2 |
| | P – 3 | 1 | 1 | 1 |
| Promedio | | 2 | 1 | 1.6 |
| Adición 30 % | M – 1 | 4 | 3 | 1 |
| | M – 2 | 4 | 3 | 1 |
| | M – 3 | 5 | 3 | 1 |
| Promedio | | 4.4 | 3 | 1 |
| Adición 40 % | M – 1 | 5 | 3 | 1 |
| | M – 2 | 5 | 3 | 1 |
| | M – 3 | 6 | 2 | 1 |
| Promedio | | 5.3 | 2.7 | 1 |
| Adición 50 % | M – 1 | 5 | 4 | 1 |
| | M – 2 | 6 | 4 | 1 |
| | M – 3 | 6 | 4 | 1 |
| Promedio | | 5.7 | 4 | 1 |

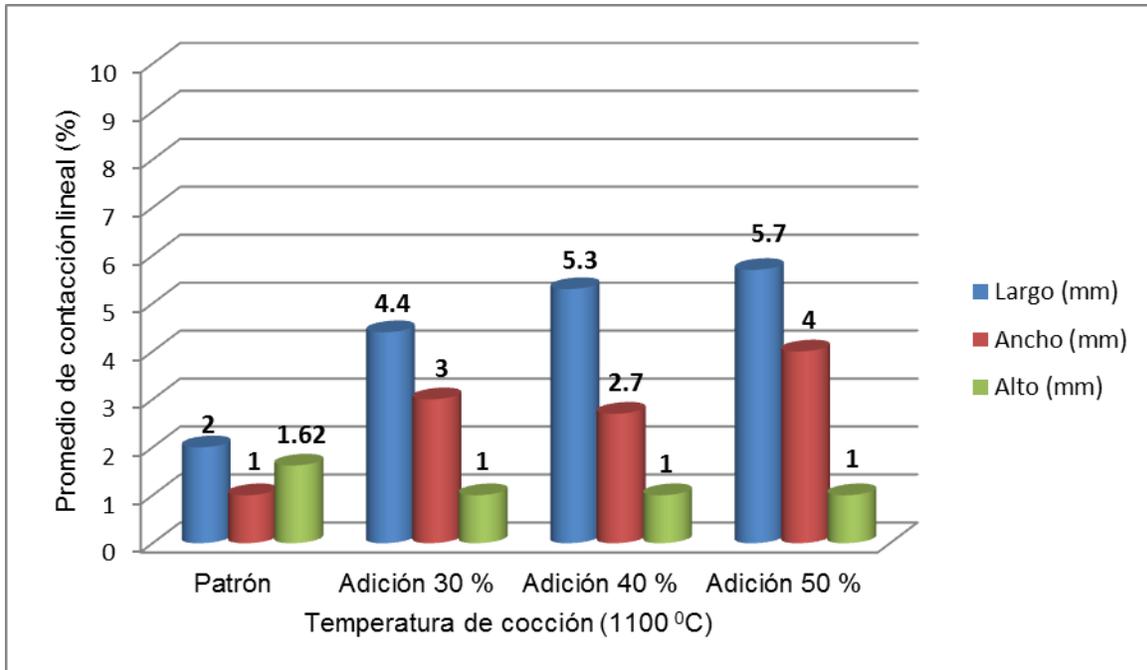


Figura 3.7 Resultados de la contracción lineal a 1100 °C

Donde:

Patrón: Dosificación de gabros a un 100 %.

Adición 30 %: Dosificación de gabros a un 70 % y tobas vítreas a un 30 %.

Adición 40 %: Dosificación de gabros a un 60 % y tobas vítreas a un 40 %.

Adición 50 %: Dosificación de gabros a un 50 % y tobas vítreas a un 50 %.

La figura 3.7 demostró que con 0 % de adición (muestra patrón) de tobas vítreas de Sagua de Tánamo se obtuvo un mayor porcentaje de contracción lineal. Para la muestra con 50 % de adición de tobas fue la que menos se contrajo, debido a la propiedad de desgrasantes que poseen las tobas. Lo que disminuye la plasticidad del gabro y reduce la contracción de las muestras durante el secado y la cocción, además de evitar grietas y fisuras. La comparación demostró que para los diferentes porcentajes de tobas, la contracción lineal se encuentra por debajo del rango establecido por la norma de 6 % como exigen las normas nacionales.

3.6 Análisis comparativo de los resultados de compresión (MPa)

Los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión resultan de gran importancia y definitorios en la industria Cerámica y de Materiales. Los obtenidos en este trabajo, establecen que las mezclas con adición de tobas vítreas son capaces de lograr resistencias superiores a los ladrillos elaborados con mezclas comunes.

En la figura 3.8 se realiza una comparación de los resultados obtenidos con la exigencia establecida a los ladrillos cerámicos en cuanto a la resistencia a la compresión, estos resultados están en correspondencia a los ladrillos de calidad A, que solicitan resistencias mínimas de 18 Mpa.

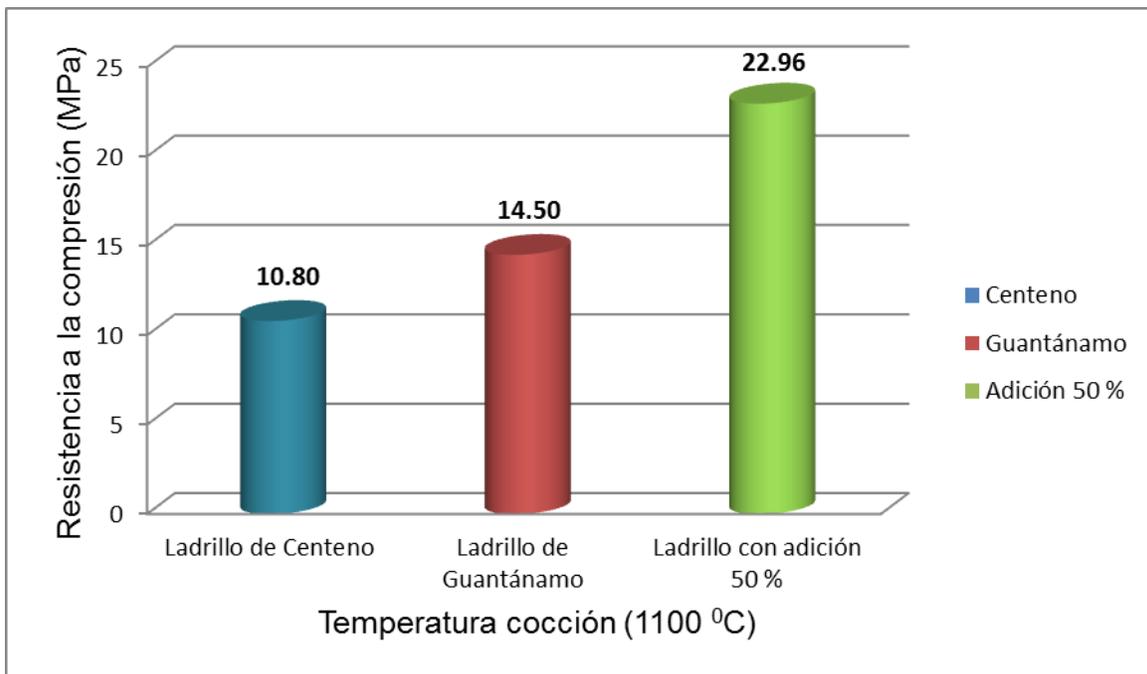


Figura 3.8 Comparación de resistencia a la compresión (MPa) a 1100 °C

Se establece una comparación con los resultados obtenidos y los ladrillos que se producen tradicionalmente en la ladrillera de Centeno, ladrillos producidos en Guantánamo y los ladrillos producidos con una adición de 50 % de tobas vítreas, los resultados arrojaron valores como (10,80 MPa) para los ladrillos de Centeno, (14,50 MPa) para los ladrillos elaborados en Guantánamo y (22, 96 MPa) para los ladrillos con adición de un 50 %. El mejor resultado se obtuvo con la mezcla de un 50 % de

adición de tobas vítreas, superando los resultados obtenidos con los ladrillos de Centeno y Guantánamo.

3.7 Impacto Medioambiental

El municipio de Moa cuenta con una amplia reserva de minerales para el desarrollo de la industria cerámica, debido a ello, requiere un estudio detallado del impacto que provocaría su explotación al medio ambiente. Por la extracción de minerales y la introducción de desechos mineros, se originan cambios en el entorno.

El estudio de los problemas ambientales debe abarcar desde la prospección de la materia prima, como primera actividad contaminadora, hasta el vertimiento de los desechos propios del proceso productivo (conformación y procesamiento de los objetos cerámicos). Estas actividades van transformando el paisaje original en el desarrollo de procesos dañinos o degradantes. En general, se consideran como impactos ambientales, y su significado y carácter se estudian mediante el esclarecimiento de su origen, temporalidad, dinámica y distribución espacial, de forma que el territorio queda evaluado en función de la concentración de las mismas. Derivados del desarrollo de la explotación de canteras de materiales para construcción se encuentran los siguientes impactos ambientales:

- Alteraciones del suelo y modificación de sus propiedades.
- Alteraciones en las aguas superficiales (alteración de los ríos, drenajes superficiales, contaminación física y química de las aguas superficiales)
- Alteraciones en las aguas subterráneas (depresión del nivel freático, contaminación química del acuífero).
- Alteraciones en la atmósfera (emisión de polvo, ruido y vibraciones).
- Destrucción de la flora y la fauna.
- Pérdida de la biodiversidad.
- Impactos sobre los riesgos geológicos (aumento del riesgo de desprendimientos o deslizamientos).
- Cambios geomorfológicos y del paisaje (modificación del relieve, alteración del color, rotura de la cuenca visual, introducción de formas extrañas, focalización de la percepción en la cantera en detrimento de otros puntos).

- Impactos sobre el medio socio - económico (limitación en los usos del suelo, destrucción de recursos culturales, impactos sobre las vías de comunicación).

Problemas ambientales en las diferentes etapas del proceso

En la fabricación de objetos cerámicos se tienen en cuenta tres etapas:

1. Extracción de la materia prima.
2. Beneficio de los minerales.
3. Conformación y acabado del producto.

❖ Extracción de la materia prima

La extracción se realiza a cielo abierto, por vía seca y su impacto depende siempre de la extensión y la ubicación del terreno sobre todo lo que respecta a condiciones climáticas, regionales y de infraestructura, la misma conlleva a serias alteraciones medio ambientales.

Entre los problemas fundamentales que provoca el laboreo minero al medio ambiente podemos encontrar:

- La erosión de los suelos.
- Destrucción de la flora y fauna del lugar.
- Emisiones de polvo a la atmósfera.
- Problemas propios de contaminación por el uso de medios de transportación y extracción mecanizada.
- Desestabilización de pendientes.

Medidas para para proteger el medio ambiente.

- Guardar la parte orgánica del suelo (humus) en forma apropiada para luego usarla en la fase de cierre y rehabilitación.
- Evitar los deslizamientos de pendientes a la hora de su extracción.
- Evitar la destrucción de la flora y la fauna en los lugares donde se va a extraer el material.

CONCLUSIONES PARCIALES

1. Las mezclas con adición de tobas vítreas presentan contracción dentro de lo establecido por las normas, (6 %).
2. Las mezclas con un 30 % de adición de tobas vítreas son las que más absorben agua.
3. El valor de la resistencia a la compresión obtenido en la mezcla de 50 % alcanza un valor de 22,96 MPa superior según las normas, 18 MPa.
4. La pérdida de peso en la mezcla de 50 % alcanza un valor de 20,48 % de acuerdo a su contenido de adición de tobas vítreas.

CONCLUSIONES

Luego de analizar los resultados obtenidos en la investigación se hace referencia a las conclusiones siguientes:

- ✓ Se demuestra que es factible utilizar mezclas de gabros de la zona de Cayo Guam y las tobas vítreas de Sagua de Tánamo, para su utilización en la industria de materiales de construcción.
- ✓ Se demostró que los mejores resultados fueron para un 50 % de adición de tobas vítreas, lo cual permitió elevar sus propiedades.
- ✓ Los valores de resistencia a la compresión de las mezclas con adición de tobas vítreas, alcanzan hasta 22,96 Mpa para la mezcla con 50 %, superior a lo que se exige para los ladrillos de calidad A (18 Mpa). Esta propiedad los hace idóneos para su empleo.
- ✓ En cuanto a la resistencia a la compresión (22,96 MPa), pérdida de peso (20,48 %) y absorción de agua con un valor de (28,23 %), los mejores resultados se alcanzaron con un 50 % de adición de tobas vítreas, a las condiciones siguientes: 7 días de secado, 1100 °C de temperatura en 6 horas de cocción.

RECOMENDACIONES

- ✓ Realizar el estudio de la influencia de las tobas vítreas en el proceso de cocción, mediante ensayos microestructurales.
- ✓ Evaluar con mayor profundidad el impacto económico, ecológico y social de la adición de tobas vítreas como aditivo en la fabricación de ladrillos de cerámica, a partir de un estudio de factibilidad económica.
- ✓ Proponer que se investiguen los gabros de Cayo Guam como materia prima principal para la confección de objetos cerámicos, ya que quedó demostrado que las mezclas con una mayor adición de la misma tienen los mejores resultados.
- ✓ Estudiar la implementación de estos resultados en el Taller de Industrias Locales del municipio Moa, donde se emplean arcillas de Bayamo para obtener productos artesanales, lo cual traería ventajas económicas para dicha empresa.
- ✓ Presentar los resultados de este trabajo a la dirección técnica de la ECOPP para proponer la implementación del uso de las mezclas de arcilla de Cayo Guam, para su posible utilización en la industria de materiales de la construcción.

BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez, A. D. T. d. d (2014). "Evaluación de mezclas de arcillas con adición de tobas vítreas para la fabricación de ladrillos cerámicos. Bayamo. Prov. Granma.
2. Arteaga, C. Producción y Comercialización del ladrillo en Colombia. 2005 [cited 2009; Available from:
<http://www.monografias.com/trabajos14/ladrillocolomb/ladrillocolomb.shtml>.
3. Autores,C. D. http://www.mycoad.com/mycoad/spa_5_14.htm. "Características de las arcillas."
4. Barrios, E. G. R. y. M. S.(<http://www.uclm.es/users/higueras/yymm/Arcillas.ht>). "LAS ARCILLAS." PROPIEDADES Y USOS.
5. C. M. F. Vieira, P.R.N.d.S., F. T. da Silva, J. L. Capitaneo, S. N. Monteiro, Microstructural Evaluation and Properties of a Ceramic Body for Extruded Floor Tile, in Revista Materia. 2005. p.526 - 536.
6. Cámara, M. T. d. d (2007). Caracterización geoquímica y mineralógica de las cortezas no ferroniquelíferas en Moa, en los ejemplos de sectores Centeno y Cayo Guam, Instituto Superior Minero Metalúrgico.
7. Céspedes Y., T. d. d. (2014). "Análisis de la degradación de los suelos en el municipio Moa", Instituto Superior Minero Metalúrgico.
8. EcoSUR, R., Apuntes sobre ladrillos. 2009.22. E.Sánchez, J.G.-T., M.Regueiro, Materias para la industria cerámica española.Situación actual y

- perspectivas. Boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio., 2006. 45: p. 1-12.
9. El estado municipal en los procesos de degradación ambiental. El caso de la actividad ladrillera en la provincia de Buenos Aires. 2004 [cited 2007; Available from:
<http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/eco/ladribsas.htm>.
 10. Fadel–Marabish T. d. d (2005). Evaluación preliminar y caracterización de la manifestación de caolinitas en la zona de Cayo Guam, Instituto Minero Metalúrgico.
 11. Figueiral, S. R. C. d. V. T. d. d (2010). Valoración de mezclas de arcillas de la región de centeno para su utilización en la industria de materiales locales., Instituto Superior Minero Metalúrgico.
 12. GARZA, G. C. R. Caracterización de las arcillas y su aplicación industrial.
 13. Impactos Ambientales y Actividades Productivas. Cerámica fina y de producción. 2007 [cited 2007; Available from:
www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=259.
 14. JOSÉ, A. I. (1998). Curso de yacimientos minerales no metálicos.
 15. Ladrillos de arcilla cocidos requisitos. N.-C.360.
 16. Ladrillos y Bloques Cerámicos Métodos de ensayo. N.-C. 359.
 17. Manual de buenas prácticas. Eficiencia energética. 2000 [cited 2004; Available from: <http://www.medioambiente.gov.ar/?idarticulo=348>.
 18. Méndez D. A. T. d. d (2010). Caracterización mineralógica y tecnológica de materiales arcillosos del territorio de Moa para su empleo en la Industria Local, Instituto Superior Minero Metalúrgico.
 19. Navarro, D. E. F. T. d. m (2003). Evaluación de mezclas de arcillas de la región de Centeno, Moa .Instituto Superior Minero Metalúrgico.

20. Njila, T. T. d. m (2011). "Caracterización químico-mineralógica de cortezas de meteorización ferrosialíticas en el Noreste de Cuba Oriental."
21. Nueva Política de Producción: Reducen Contaminación en Fábricas de Ladrillos., in Revista Bit. enero 2004.
22. Ochoa mayo, I. R. Geología de los yacimientos de arcillas para la cerámica.
23. Orozco, G. (1995). Caracterización de las arcillas de Cayo Guam. Informe técnico. ISMM.
24. Piñeiro, M.C., Procesos de producción más limpia en ladrilleras de Arequipa y Cuzco. Diagnóstico Situacional. Preparado por PRAL. 2005: Lima, Perú.
25. Pons Herrera, J. A. y. L. R., C (1996). "Empleo de las arcillas ferrocaolínicas – gibsíticas de la región de Moa en los talleres de fundición". Revista Minería y Geología XIII (3): p. 93
26. Producción ecológica y económicamente sustentable de ladrillos en Chambo, Ecuador. 2010 [en línea]. Eco Sur. <http://www.ecosur.org/enlaces/562-produccionecologica-y-economicamente-sustentable-de-ladrillos-en-chambo-ecuador>. [consulta: junio 2013].
27. Producción ecológica y económicamente sustentable de ladrillos en Chambo, Ecuador. 2010 [en línea]. Eco Sur. <http://www.ecosur.org/enlaces/562-produccionecologica-y-economicamente-sustentable-de-ladrillos-en-chambo-ecuador>. [consulta: junio 2013].
28. Quinta Conferencia Científico Técnica de la Construcción, Jornada Iberoamericana.
29. RAMÍREZ, Y. C.; ALMENARES, R. S.R. y OCHOA, Y. M. 2011: Evaluación de mezclas de arcilla de la región de centeno, Moa, Cuba y arena sílice residual.
30. RAMÍREZ, Y. C.; ALMENARES, R. S.R. y OCHOA, Y. M. 2011: Evaluación de mezclas de arcilla de la región de centeno, Moa, Cuba y arena sílice residual.

31. Reyes, I. R. T. d. d (2013). Caracterización de materiales arcillosos del depósito Cayo Guam para su posible empleo como material cementicio suplementario, Instituto Superior Minero Metalúrgico.
32. Rivera, Y. B. T. d. d (2011). Evaluación de mezclas de arcilla de la región de centeno y arena sílice residual., Instituto Superior Minero Metalúrgico.
33. Rodríguez, A. (1998). "Estudio Morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica", Instituto Minero Metalúrgico.
34. Rodríguez, L. A. D. R. T. "Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones." Boletín de la sociedad Española de cerámica y vidrio.
35. Romero A. 2004. [en línea] Cerámica Artística y Acuarelas. Cerámica: Glosario básico. <http://www.xtec.cat/~aromero8/htm>. [consulta: mayo 2013]
36. Romero A. 2004. [en línea] Cerámica Artística y Acuarelas. Cerámica: Glosario básico. <http://www.xtec.cat/~aromero8/htm>. [consulta: mayo 2013]
37. Salcedo, A. y. H., F. (www2.gratisweb.com/wilben/cap07.html). Los materiales cerámicos"
38. SANCHEZ, E., REGUEIRO, M. 2006. Materias para la industria cerámica española. Situación actual y perspectivas. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y vidrio. 35 (6): 1-12.
39. SANCHEZ, E., REGUEIRO, M. 2006. Materias para la industria cerámica española. Situación actual y perspectivas. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y vidrio. 35 (6): 1-12.
40. Sánchez, Y. H. T. d. d (2013). Evaluación de mezclas de arcillas de la región de Granma con adición de tobas vítreas para su utilización en la Industria de Materiales de la Construcción., Instituto Superior Minero Metalúrgico.

41. TORAYA J. 2010. Manual Técnico para la producción artesanal de ladrillos de barro. Ciudad de la Habana.
42. TORAYA J. 2010. Manual Técnico para la producción artesanal de ladrillos de barro. Ciudad de la Habana.
43. TUR, J. M. 2005. El aprendizaje tecnológico y la innovación en la industria de materiales de construcción. Experiencias del Combinado de Cerámica Roja de Ciudad de la Habana. Folletos - Gerenciales 2: 32-40.
44. TUR, J. M. 2005. El aprendizaje tecnológico y la innovación en la industria de materiales de construcción. Experiencias del Combinado de Cerámica Roja de Ciudad de la Habana. Folletos - Gerenciales 2: 32-40.
45. VIEIRA, C.M.F., MONTEIRO, S. N. 2007. Evaluation of a Plastic Clay from the 50 State of Rio de Janeiro as a Component of Porcelain Tile Body, Matéria (Rio de Janeiro). 12(1): 1 – 7.
46. VIEIRA, C.M.F., MONTEIRO, S. N. 2007. Evaluation of a Plastic Clay from the 50 State of Rio de Janeiro as a Component of Porcelain Tile Body, Matéria (Rio de Janeiro). 12(1): 1 – 7.
47. XAVIER, E. 2004. Optimización de procesos cerámicos industriales. 1ra Parte. [en línea] Introducción al comportamiento de las pastas cerámicas. www.cnpml.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID57.pdf [consulta: junio 2013].
48. XAVIER, E. 2004. Optimización de procesos cerámicos industriales. 1ra Parte. [en línea] Introducción al comportamiento de las pastas cerámicas. www.cnpml.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID57.pdf [consulta: junio 2013].
49. ZAMBRANA, O.F.S. 2007. Tomado de la entrevista al experto en cerámica de la Empresa “COREPMA” del Ministerio de la Construcción de Cuba. Ciudad de La Habana.

50.ZAMBRANA, O.F.S. 2007. Tomado de la entrevista al experto en cerámica de la Empresa “COREPMA” del Ministerio de la Construcción de Cuba. Ciudad de La Habana.