



**MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
"DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ"
FACULTAD METALURGIA Y ELECTROMECÁNICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA - QUÍMICA**

EVALUACIÓN DE LAS TOBAS VÍTREAS COMO ADITIVO EN LA PRODUCCIÓN DE CERÁMICA ROJA PARA LA INDUSTRIA DE MATERIALES

**Trabajo de Diploma en opción al título de
Ingeniero en Metalurgia y Materiales**

Reynier Reyes Peña

Moa, 2013



**MINISTERIO DE EDUCACION SUPERIOR
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA
“DR. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ”
FACULTAD METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA
DEPARTAMENTO DE METALURGIA – QUÍMICA**

EVALUACIÓN DE LAS TOBAS VÍTREAS COMO ADITIVO EN LA PRODUCCIÓN DE CERÁMICA ROJA PARA LA INDUSTRIA DE MATERIALES

**Trabajo de Diploma en opción al título de
Ingeniero en Metalurgia y Materiales**

Autor: Reynier Reyes Peña

Firma.....

Tutor: Prof. Inst. Ing. Sergio Cabo de Villa Figueiral

Firma.....

Moa, 2013

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

AGRADECIMIENTOS

A la revolución cubana por haberme dado la oportunidad de realizarme como un profesional.

A mi familia por haberme dado la fuerza y la confianza suficiente en todos estos años.

Al tutor Sergio.

A mi profesor Palacio que es uno de los eslabones más importante para que yo pudiera terminar mi tesis.

A mis tíos y tías.

A mis suegros María y Pedro, por su entera preocupación.

A mí cuñado Ángel.

A mis compañeros de aula, Sinh, Marnolquis, Danilo Yasmani, Anibal y Lisandra por haberme apoyado en los buenos y malos momentos.

A los profesores que durante todo este tiempo dieron lo mejor de ellos para forma un profesional.

A mis compañeros y amigos Yaniel, Oscar y Sinh.

A Limonta, Mindalia y Anella, que me apoyaron en todo momento.

A Néstor, Yisel a Yudid y familia que me tuvieron presente en todo momento.

A todas las personas de una forma u otra contribuyeron a la realización de este trajo a todos de verdad muchas gracias.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todos los que de una forma u otra tuvieron fe de que mi sueño se hiciera realidad en especial a:

....A mi querida madre Noris y abuela Doris por su amor, confianza y sacrificio durante todos estos años de estudios.

....A mi esposa Nayade y mi bebé Isaac, por sus apoyo y entera confianza en que yo si podía realizar mi sueño.

....A mi tío Noranjel.

....A mi primo Alexis, por darme el apoyo cuando más lo necesitaba.

....A mi padrastro Osmani.

RESUMEN

El propósito de la investigación fue evaluar las tobas vítreas de Sagua de Tánamo como aditivo en las mezclas de arcillas de la región de Centeno y Cayo Guam, para su utilización en la industria de materiales cerámicos. Para ello se realizó una caracterización de los materiales de acuerdo con su composición química y sus propiedades físico – mecánicas. Se elaboraron 21 probetas con 5; 10 y 15 % de adición de tobas vítreas de Sagua de Tánamo con las arcillas estudiadas. Se obtuvo que los mejores resultados fueran para 15 % de aditivo de tobas vítreas lo cual permitió elevar sus propiedades en cuanto a contracción lineal (0,160 %), resistencia a la compresión (13,059 MPa) y pérdida de peso (49,885 %). Para la absorción de agua los mejores resultados se alcanzaron con un 5 % de adición de tobas vítreas, con valores de 16,592 % de absorción. A las condiciones de: 15 días de secado, 900 °C de temperatura y 6 horas de cocción.

SUMMARY

The purpose of the investigation was to evaluate the vitreous tuffs of Sagua de Tánamo as additive mixtures of clays in the region of Centeno and Cayo Guam, for its use in the ceramics industry. The characterization of materials was realized according to their chemical composition and physical - mechanical properties. 21 samples were prepared with 5; 10 and 15 % addition of vitreous tuffs Sagua de Tánamo with the studied clays. It was found that the best results were 15 % for vitreous tuffs additive which allowed to increase its properties with regard to contraction (0,160 %), compression strength (13,059 MPa), and weight loss (49,885 %). For water absorption the best results were obtained with 5 % addition of vitreous tuffs, with values of 16,592 % absorption. The conditions were: 15 days of drying, temperature 900 °C and 6 hours of firing.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL. ESTADO DEL ARTE	5
1.1 Trabajos realizados sobre arcillas y tobas vítreas	5
1.2 Problemas y retos actuales que enfrenta la industria cerámica roja	8
1.2.1 Principales problemas que enfrenta la industria cerámica	8
1.2.2 Situación de la industria de la cerámica roja en Cuba	9
1.2.3 Retos que enfrenta la industria cerámica	10
1.3 Soluciones potenciales para mejorar la problemática de la industria de la cerámica	10
1.3.1 Perfeccionamiento del proceso térmico del ladrillo de barro	11
1.3.2 Mejoras en las materias primas	13
1.4 Transformaciones durante los procesos térmicos en los productos cerámicos	14
1.4.1 Transformaciones durante el secado	15
1.4.2 Transformaciones durante la cocción	17
Conclusiones parciales del capítulo	19
2 MATERIALES Y MÉTODOS	20
2.1 Materiales empleados	20
2.1.1 Características de los materiales	20
2.2 Dosificación de los materiales para la elaboración de las probetas	22
2.2.1 Diseño de experimento	23
2.4 Preparación de las muestras	24
2.4.1 Toma de muestras	25
2.4.2 Preparación mecánica	25
2.4.3 Moldeado	26

2.4.4 Secado.....	27
2.4.5 Cocción.....	28
2.4.6 Producto Final.....	28
2.4.7 Ensayos Mecánicos.....	28
2.5 Metodología para la realización de los ensayos.....	28
2.5.1 Ensayo de contracción lineal	29
2.5.2 Ensayo de absorción de agua de la arcilla cocida	30
2.5.3 Ensayo de la resistencia a la compresión	30
2.5.4 Ensayo de pérdida de peso	31
Conclusiones parciales.....	32
3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	33
3.1 Análisis de los resultados de contracción lineal	33
3.2 Análisis del resultado de absorción de agua de la mezcla cocida.....	35
3.3 Análisis de los resultados de resistencia a la compresión.....	36
3.4 Análisis de los resultados de la pérdida de peso.....	38
3.5 Valoración social	39
3.6 Impactos en el medio ambiente y el hombre.....	40
3.6.1 Problemas ambientales en las diferentes etapas del proceso	40
Conclusiones parciales.....	44
CONCLUSIONES.....	45
RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFÍA.....	47

INTRODUCCIÓN

La humanidad en los últimos tiempos ha alcanzado niveles asombrosos en el desarrollo científico – técnico, lo cual repercute directamente en todas las esferas de la vida económica, política y social de los países. El hombre contemporáneo ha dividido el proceso evolutivo de la humanidad en macro períodos de tiempo, relacionados principalmente con los avances más significativos obtenidos en la ciencia e ingeniería de los materiales.

La población mundial crece anualmente, por lo que se incrementa la demanda energética, alimenticia, de vivienda, de salud y otras necesidades. 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 diversas fuentes.

Por lo que presenta la necesidad de desarrollar producciones de materiales de construcción en nuestro país. Esta industria agrupa variados procesos industriales tradicionales y en específico la industria cerámica roja, que se ha visto afectada por la competitividad en el mercado debido a diferentes factores; primeramente se puede mencionar la competencia en el mercado con infinidad de materiales utilizados hoy en día, los mismos los superan en calidad y costos. Otras situaciones que también la acarrearán son los costos de las materias primas que en los últimos tiempos han experimentado un aumento del 10 %, sobre todo a escala industrial, Sánchez (2006). Lo que ha propiciado sensible disminución de los niveles de producción.

El 85 % de las materias primas consumidas en la industria de cerámica roja son materiales arcillosos, cuarzos, arenas y feldespatos alcalinos. Según Hernández (2005), el incremento de los costos está dado por un uso no sostenible de los recursos naturales, al provocar un agotamiento de los materiales en los yacimientos, esta situación difícil reclama no solo cambios en las formas de trabajar y producir, si no buscar nuevas alternativas que permitan optimizar la producción de materiales cerámicos rojos al utilizar materias primas económicas que permitan en parte sustituir los materiales ya existente y aumente la calidad en la producción.

Una manera de compensar este déficit es mediante 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.

En Cuba se encuentran grandes depósitos de tobas vítreas en las provincias de La Habana, Granma, Holguín, Santiago de Cuba y Guantánamo, 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.

Dentro de los depósitos con mayores potencialidades se encuentra el yacimiento El Picao en Sagua de Tánamo, el cual ha sido objeto de estudio para investigadores como, López (2006), De Armas (2008), Muxlanga (2009), Cabrera (2010), en aéreas de diferentes índoles con resultados positivos. Cabo de Villa (2010), comprobó que la adición de tobas vítreas le proporciona a las mezclas de arcillas de la región de Centeno buenos resultados en relación a los diferentes ensayos estudiados, sin

embargo sus resultados han estado limitados por no establecer los parámetros adecuado en cuanto granulometría.

Debido a lo planteado anteriormente se hace necesaria la investigación de la mezcla de este material para fabricar materiales de construcción en la industria de la cerámica roja.

Situación Problemática:

Necesidad de estudiar las propiedades físico - mecánicas de las tobas vítreas de Sagua de Tánamo para su posible utilización como aditivo en la industria de materiales.

Problema:

El Insuficiente conocimiento de las propiedades físico – mecánicas de las tobas vítreas de Sagua de Tánamo, limita su utilización en la industria de materiales.

Objeto de Estudio:

Las tobas vítreas de Sagua de Tánamo como aditivo.

Objetivo General:

Evaluar las tobas vítreas de Sagua de Tánamo como aditivo en las mezclas de arcillas de la región de Centeno y de Cayo Guam para su utilización en la industria de materiales.

Objetivos específicos:

1. Caracterizar la composición de las arcillas de Centeno, Cayo Guam y las tobas vítreas de Sagua de Tánamo.
2. Evaluar los efectos de las tobas vítreas como aditivo en las transformaciones físicos – mecánicas, al determinar la contracción lineal, absorción de agua, resistencia a la compresión y pérdida de peso.

Hipótesis:

Si se evalúan las tobas vítreas de Sagua de Tánamo como aditivo en las mezclas de arcillas pardas de la región de Centeno y rojas de Cayo Guam para su utilización en la industria de materiales, se podrá obtener materiales cerámicos con características de acorde a la norma.

Campo de acción:

Transformaciones físico – mecánicas.

1 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Para una mejor comprensión del trabajo se realiza una reseña de investigaciones anteriores con la finalidad de proporcionar la información básica y de establecer los fundamentos teóricos necesarios para el desarrollo de este trabajo. Los cuales permiten conocer algunas características y el comportamiento de los materiales a utilizar.

1.1 Trabajos realizados sobre arcillas y tobas vítreas

Las arcillas han sido objeto de estudio de diferentes investigadores con el objetivo de evaluarlas y utilizarlas provechosamente. Las investigaciones se han dirigido mayormente a la evaluación de éstas para la fabricación de materiales de construcción y cerámicas entre otras.

Orozco (1995), al escoger una muestra muy bien expuesta del yacimiento Cayo Guam concluyó que en la base del mismo afloran gabros muy intemperizados alterados a un material de color blanco y aspecto terroso arcillosos al tacto, con una alta plasticidad. Hacia la parte superior existe una transición gradual a materiales parecidos a los de la base, 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 rayos X, 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, 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.

Según el mismo autor, los depósitos residuales de caolinita a partir de gabros están poco reportados en la literatura especializada. Sin embargo, en ninguno de sus trabajos estos autores se refieren al potencial de minerales arcillosos en la región, ni se dan localizaciones exactas de los mismos.

Según Fonseca (2003), se planteó que las arcillas presentes en los principales yacimientos del municipio Moa poseen las características adecuadas desde el punto de vista químico físico y mineralógico que permite utilizarlas, con previos estudios, como material refractario en las industrias de la región y como materia prima para la obtención de objetos cerámicos. Lo anterior no tiene argumentos sólidos debido al alto contenido de hierro que afecta su refractariedad considerando como máximo para su empleo en productos semi-refractarios, pero no en refractarios propiamente dichos.

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.

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.

Muxlhanga (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, pero no se puede utilizar como árido porque como árido fino superan los límites de la norma cubana.

Cabrera (2010), realizó una evaluación de las tobas vítreas de los yacimientos de la provincia de Holguín, para ver si se puede utilizar como puzolana natural en los materiales de la construcción, donde el material que se analiza, 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 los morteros. Donde 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.

La investigación de Cabo de Villa (2010), comprobó que la adición de tobas vítreas le proporciona a las mezclas de arcillas de la región de Centeno buenos resultados en relación a los diferentes ensayos estudiados, sin embargo sus resultados han estado limitados por no establecer los parámetros adecuado en cuanto granulometría.

Según los estudios realizados por Ramírez (2011), la mezcla de las arcillas de Centeno más arena sílice, presentaron propiedades físico mecánicas requeridas, al demostrar que estas tienen mayor resistencia a la compresión, al utilizar un 40 % de este material en la mezcla total.

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.

Mariñán (2012), realizó una investigación sobre las mezclas compuestas por arcillas de Centeno y Cayo Guam con adición de un 15; 20 y 25 % de residuos carbonatados de la Empresa Comandante Pedro Sotelo Alba. Los resultados obtenidos fueron positivos en relación a los parámetros estudiados, lo que permite proponer, el empleo de las mezclas con adiciones de residuos sólidos carbonatados en la industria de materiales. Pero su valoración de cómo influye el residuo carbonatado en los diferentes ensayos realizados no es detallado claramente en su investigación.

1.2 Problemas y retos actuales que enfrenta la industria cerámica roja

En la actualidad, la fabricación de ladrillos de cerámica roja ha perdido competitividad en el mercado, debido a diferentes factores; primeramente se puede mencionar la competencia en el mercado con infinidad de materiales utilizados hoy en día en la fabricación de muros, los mismos los superan en calidad y costos. Otro de los factores se relaciona con el consumo elevado de energía y del costo de los combustibles, además de la contaminación medio ambiental que genera su fabricación en la industria.

Estos problemas que afectan a la industria de ladrillo, tanto en Cuba como a nivel internacional. Se tienen en cuenta sus principales retos, las opciones existentes en cuanto al uso de combustibles alternativos, la realización de cambios en los procesos de producción y la utilización de materias primas, así como las transformaciones mineralógicas que ocurren en los materiales arcillosos, a temperaturas inferiores a los 1000°C que provocarían un ahorro energético.

1.2.1 Principales problemas que enfrenta la industria cerámica

En esta industria están involucrados una gran variedad de tecnologías y procesos de producción, que consumen junto con la industria del vidrio, cerca de un seis por ciento de la energía mundial; de ella, el 85 % de los costos se relaciona con el consumo de combustible utilizado para la cocción, Gol'tsova (2006) y Gutiérrez (2010). Como resultado de las relativamente bajas temperaturas de cocción, el consumo varía entre 0,8 y 2,1 MJ/kg de producto obtenido, mientras que en los demás sectores de la cerámica de construcción y fina, el consumo medio es

notablemente mayor, pudiendo elevarse hasta 8 MJ/kg de producto, (Impactos Ambientales y Actividades Productivas 2007).

Por otra parte, Sánchez (2006) plantea, que en la industria de la cerámica roja independientemente de la situación energética que sin duda es uno de los problemas más graves, existen otras situaciones que también deben ser atendidas, como por ejemplo: los costos de las materias primas que en los últimos tiempos han experimentado un aumento del 10 %, sobre todo a escala industrial. El 85 % de las materias primas consumidas son materiales arcillosos, cuarzos, arenas, feldespatos alcalinos. Según Hernández (2005), este incremento de los costos está dado, principalmente, por un uso no sostenible de los recursos naturales, al provocar un agotamiento de los materiales en los yacimientos, creando una situación difícil que reclama no sólo cambios en las formas de trabajar y producir, sino una nueva conciencia empresarial y social.

La situación medio ambiental es otro de los problemas más graves que enfrenta la industria de la cerámica roja a nivel internacional, por las grandes cantidades de energía que necesita para la cocción, las emisiones gaseosas por el humo y la explotación minera. Hernández (2005) determina que los factores que más inciden en los impactos negativos sobre el medio ambiente son: la tecnología de producción y extracción de la materia prima.

1.2.2 Situación de la industria de la cerámica roja en Cuba

Después de la década del 90 en la industria cubana no se han realizado inversiones de gran envergadura, sino que se han concentrado sobre todo, en la construcción de mayor cantidad de hornos y secaderos, fundamentalmente en los combinados existentes, (Zambrana 2007).

Tur Chacón (2005) refiere en cuanto a la comparación de la estructura tecnológica de la industria de la cerámica roja a nivel mundial con respecto a la cubana, la mundial posee dos ventajas competitivas: la primera relacionada con el suficiente tamaño de las empresas y la segunda con la disponibilidad de procesos tecnológicos avanzados. Por lo cual se puede decir que las empresas cubanas se caracterizan por

su reducida dimensión y por tener una tecnología bastante obsoleta.

En cuanto a la situación energética, la industria cubana de cerámica roja depende fundamentalmente de combustibles como el fuel oil, utilizado en los principales combinados de cerámica roja del país. Su consumo está dado por las temperaturas con las que se trabajan en cada uno de los hornos, que oscilan entre los 950 y 1000 °C, lográndose estas temperaturas en dependencia de factores como son: el estado técnico de los hornos, características del material arcilloso y las condiciones de secado, (Juncosa, 2008).

1.2.3 Retos que enfrenta la industria cerámica

Partiendo de la problemática anterior, relacionado principalmente con la ineficiencia energética, los problemas económicos y los impactos medio ambientales en la producción de materiales cerámicos han provocado que los mismos pierdan aceptación. Es por ello que la industria de la cerámica roja debe plantearse los siguientes retos:

- Acometer soluciones para aumentar la eficiencia energética, tanto a escala industrial como artesanal. Esto se puede lograr aumentando la eficiencia en los procesos de producción, a partir de la utilización de tecnologías de hornos más eficientes, el uso de combustibles alternativos, o por la implementación de mejoras a las materias primas, a partir de adiciones minerales a las mezclas, que permitan disminuir la temperatura de cocción de los materiales arcillosos.
- Buscar tecnologías que permitan optimizar la producción de ladrillos cerámicos a pequeña escala, teniendo en cuenta que es la que más predomina y una de las más productoras.

1.3 Soluciones potenciales para mejorar la problemática de la industria de la cerámica

Las posibles soluciones para mejorar los perfiles económicos y ambientales en la industria de la cerámica roja, deben ser vistas principalmente en tres dimensiones: una primera dimensión relacionada con lograr mejoras en los procesos productivos,

específicamente en los procesos térmicos (secado y cocción), a partir del uso de tecnologías más sostenibles y que hagan mejor uso de los portadores energéticos. Una segunda dimensión perteneciente al uso de combustibles alternativos y una tercera referente a la utilización de materias primas económicas que permitan aumentar la eficiencia energética y la calidad en la producción de materiales cerámicos.

Según el artículo “Determinación de la eficiencia energética del Subsector industrial de ladrillo, vidrio y cerámica” para el análisis de la eficiencia energética en la producción de materiales cerámicos y específicamente la de ladrillos cocidos, se debe partir de la existencia de productores, tanto artesanales como industriales. Estos últimos logran una mayor eficiencia energética, a partir de una automatización en sus producciones, panorama que es muy diferente en los productores artesanales que utilizan procesos productivos obsoletos usando combustibles y hornos ineficientes.

1.3.1 Perfeccionamiento del proceso térmico del ladrillo de barro

Los tratamientos térmicos son un paso esencial en la fabricación de la mayoría de los productos cerámicos. Ellos pueden dividirse en dos etapas o procesos: secado y cocción.

Tecnología de secado

Según Xavier (2004) y Vieira (2007), 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 mismo tiene la finalidad de disminuir parte del agua agregada en la fase de moldeado, para de esta manera, pasar a la fase de cocción. Esta fase se realiza en secaderos que pueden ser de dos tipos: natural y artificial.

El secado natural se encuentra entre los más utilizado por los productores artesanales y depende fundamentalmente de las condiciones medioambientales. Una de las principales tendencias para mejorar su desempeño, es realizarlo a la sombra en naves que tengan regularmente un puntal bajo y de ser posible, tener previstos

medios para limitar la entrada excesiva de fuertes vientos que puedan provocar grietas en la superficie de los ladrillos, Taroya (2010). De esta forma se logra un secado bastante uniforme en las piezas, aunque su velocidad está determinada en función de la época del año, temperatura, velocidad del viento y humedad ambiental.

Otra de las tendencias actuales en este proceso tecnológico, en el caso de la producción industrial, es la sustitución de los secaderos naturales por secaderos artificiales, donde en ocasiones, se hace circular aire de un extremo a otro, por el interior del secadero y otras veces, es el material el que circula en el secadero, sin inducir corrientes de aire. Lo más normal es que la eliminación del agua, del material crudo, se lleve a cabo insuflando superficialmente al material aire caliente, con una cantidad de humedad variable. Eso permite evitar golpes termo higrométrico que puedan producir una disminución de la masa de agua a ritmos diferentes en distintas zonas del material y, por lo tanto, produzca fisuras localizadas, Xavier (2004). Este sistema de secado presenta como principal ventaja el secado continuo, o sea, durante todo el año; además, se consigue un secado más homogéneo y los desperdicios son menores.

Tecnología de cocción

La cocción es la fase más importante del proceso de fabricación de productos cerámicos. En este proceso se confiere a la pieza las propiedades deseadas; al mismo tiempo; se muestra si las fases precedentes (amasado, moldeo y secado) se han realizado correctamente o no. Esta etapa se realiza en hornos que en general no son más que una cámara construida con tabiques refractarios y provistos de un equipo de calentamiento alimentado por diferentes combustibles (electricidad, fuel oil, gas, carbón, leña), y que al alcanzar altas temperaturas, hace posible el horneado o cocción de las piezas, como así lo refiere el artículo (Romero, 2004).

En la actualidad, sobre todo en los países del primer mundo donde predomina la producción industrializada de productos cerámicos, las principales soluciones están encaminadas a la utilización de tecnologías con un alto nivel de automatización, utilizando hornos de caldeo continuo o ininterrumpido como son los de tipo Hoffman y túnel, los cuales aprovechan el calor de los gases residuales desprendidos durante el

precalentamiento de las piezas, de tal forma, que las mismas precisan una menor cantidad de combustible durante la cocción, logrando de esta manera una alta eficiencia energética, Cochura (2009). La principal desventaja de estos tipos de hornos es el considerable desembolso de capital inicial como inversión.

Según los autores Jones (1995) y Cochura (2009), para los países subdesarrollados este tipo de tecnología no está al alcance, ya que la producción predominante es la artesanal en pequeñas y medianas empresas, donde no se encuentran grandes sumas de capital, por lo que se utilizan tecnologías de hornos intermitentes, presentando altos niveles de ineficiencia por pérdidas de calor, a través de las paredes y hacia la chimenea, se consume gran cantidad de combustible para calentar la estructura en cada carga de material, así como la cantidad de calor que se pierde totalmente durante el enfriamiento. Es por ello que varios autores y organizaciones, Jones (1995) dan como soluciones el uso de tecnologías de hornos más eficientes como es el caso del Horno Vertical Continuo (HVC).

Este tipo de horno presenta una serie de ventajas, una de las principales es que se puede reducir el consumo de combustible con respecto a otros tipos de hornos, tanto a escala artesanal como industrial, en orden de un 70 %. Además de que se puede realizar un mejor control de la temperatura y tiempo de cocción. Su construcción es relativamente fácil y su costo según datos de la Red Eco Sur está en el rango entre los 15000 y 30000 dólares.

1.3.2 Mejoras en las materias primas

Sustitución de arcillas

En todas las épocas, el ser humano ha usado todas las materias primas disponibles a su alcance para la fabricación de materiales cerámicos, como por ejemplo: arcillas de diferente tipo, caolines, feldespatos, calizas, talcos, cuarzos, dolomitas. Sin preocuparse por la explotación de los yacimientos, ni por el agotamiento de las materias primas no renovables, que en la actualidad se ven afectadas por los intensivos procesos de fabricación y la consiguiente acumulación de residuos, por lo que provoca un impacto medio ambiental creciente.

Es por ello que en la actualidad, las tendencias están encaminadas a la utilización de materias primas no convencionales, con características físico – químicas similares a las utilizadas normalmente en la producción de materiales cerámicos; tal es el caso de las cenizas volantes de las plantas generadoras de electricidad, comúnmente conocidas como “fly ash”, los lodos residuales de la industria papelera, los lodos de las plantas depuradoras de aguas residuales, los residuos de la industria ladrillera, los residuos sólidos urbanos; los que se utilizan como materia prima para hacer ladrillos, con la ventaja adicional de dar un uso práctico a residuos o desechos indeseables.

Son múltiples las ventajas del uso de residuos industriales para la elaboración de ladrillos cerámicos, desde el punto de vista económico y medioambiental, como sustitutos de los materiales arcillosos; aunque su uso está limitado, fundamentalmente, por los volúmenes disponibles para mantener un suministro estable y por la cercanía de los depósitos residuales a los lugares donde se encuentran ubicadas las fábricas para su procesamiento.

Utilización de tobas

Una de las alternativas viables que no se ha explotado lo suficiente para introducir mejoras en las materias primas y que a la vez tenga una influencia beneficiosa sobre la eficiencia energética y la calidad de los productos de cerámica roja es el uso de tobas como adición a las pastas cerámicas; esta podría ser una alternativa mucho más económica a través de la disminución del consumo de combustible por la reducción de las temperaturas de cocción en los hornos o por la reducción del tiempo de cocción, provocando una disminución del impacto al medio ambiente.

1.4 Transformaciones físico – químicas que ocurren durante los procesos térmicos en los productos cerámicos

Los tratamientos térmicos son un paso esencial en la fabricación en la mayoría de los productos cerámicos. En esta subdivisión se considera como procesos térmicos: el secado y la cocción.

1.4.1 Transformaciones durante el proceso de secado

Si bien la cocción es la operación básica para el desarrollo de los productos cerámicos, el proceso de secado es de fundamental importancia dentro de las etapas de elaboración de los mismos. Durante este proceso se producen diversas transformaciones de las dimensiones y características físicas de las piezas, las que de no transcurrir dentro de ciertas condiciones, producen defectos irreversibles tales como fisuras y deformaciones. Razón por la cual es necesario optimizar en lo posible la calidad de esta etapa, (Berteli 2005).

El agua contenida en el cuerpo cerámico puede encontrarse de las siguientes maneras:

- Agua intersticial
- Agua higroscópica
- Agua de cristalización y/o composición.

El agua intersticial es la que se encuentra entre las partículas de arcilla, débilmente adheridas a las mismas y con posibilidades de migración desde el interior del cuerpo hacia su superficie, por efecto de un gradiente de humedad en el cuerpo. Esta agua es eliminada del cuerpo desde su superficie, por efecto de su disolución en el aire circulante a su alrededor; es decir, que la velocidad de secado está controlada, en primera instancia, por las condiciones de humedad del aire de secado, (Berteli 2005).

La característica más importante del agua intersticial es que al eliminarse del cuerpo cerámico, genera una contracción del mismo, lo cual lleva a la producción de fisuras. Esto ocurre cuando el movimiento del agua desde el interior del cuerpo cerámico hacia su superficie, no es suficientemente lento como para mantener un gradiente adecuado. Al superar una cierta velocidad de secado, o bien al generarse una determinada falta de uniformidad se empiezan a producir grietas de secado. Estas grietas tienen características bien definidas, tanto por su posición como por su forma en la pieza, según los inconvenientes que se produzcan al inicio o al final del secado; es decir, que la velocidad de secado de esta etapa es muy difícil de aumentar y es la etapa dominante del secado (Cárdenas 2009).

Cuando se ha eliminado el agua intersticial, debe eliminarse el agua higroscópica, cuyo porcentaje puede ser significativo. Esta agua puede estar en una proporción del orden del 12 %. El secado o eliminación del agua higroscópica está controlado por la temperatura. Una variable secundaria de control está dada por la naturaleza de la arcilla que compone la pieza. Si el cuerpo cerámico no se calienta, no se seca más allá de ciertos porcentajes de humedad, aún cuando la pieza se deje por tiempos relativamente largos. Es la temperatura la que hace que el agua se desprenda de las partículas de arcilla y salga a la superficie de la pieza, (Cárdenas 2009).

Por ello, el agua residual en las piezas cerámicas dependerá de factores como:

- Naturaleza de la arcillas
- Temperatura del sistema
- Tiempo de secado.

Lo que ocurre en general, es que para determinada calidad de arcilla, existe una humedad de equilibrio con una cierta temperatura. Esta humedad se mantiene constante sin interesar el tiempo de exposición, y su valor de equilibrio dependerá de la temperatura final de la pieza, (Cárdenas 2009).

En la generalidad de los casos, la problemática de los secaderos está constituida por:

- Aparición de fisuras
- Falta de secado
- Necesidad de aumentar la producción de secadero
- Aparición de fisuras al tratar de aumentar la velocidad de secado.

Un deficiente secado puede traer consigo posteriores problemas en la etapa de cocción del ladrillo. La no eliminación del agua higroscópica no genera contracción, pero pretender eliminarla en el horno puede generar inconvenientes graves, tales como retrasos en el horno, lo cual es de suma importancia si se desea lograr una mayor eficiencia energética del mismo.

1.4.2 Transformaciones durante el proceso de cocción

La cocción es la fase más importante y delicada del proceso de fabricación de productos cerámicos. Las piezas se cuecen en hornos, a una temperatura que va desde 900 °C hasta alrededor de 1000 °C. Los enlaces atómicos ceden y se inicia la formación de fase amorfa, parte de la cual funde y se va introduciendo en los intersticios reduciendo el volumen de poros. Durante la cocción se someten las piezas a altas temperaturas que originan una serie de reacciones en su masa, quedando finalmente el producto con una consistencia pétrea, (Martirena 2006).

Los cambios de la composición mineralógica de las arcillas ocurren generalmente de acuerdo con los intervalos de temperatura que aparecen a continuación, (Martirena 2006).

1. De 0 a 400 °C: Eliminación de residuos de agua, combustión de la materia orgánica. El material se dilata hasta los 100 °C y luego, a 250 °C sufre una retracción, para volver a dilatarse después. No se producen cambios químicos ni estructurales.
2. De 400 a 600 °C: Se desprende el agua de composición, se descomponen las arcillas en óxidos, cesa la dilatación y se inicia la contracción de volumen.
3. De 600 a 900 °C: Se produce un metacaolín muy inestable que tiende a formar alúmina. Es muy higroscópico.
4. De 900 a 1000 °C: En este período reacciona la alúmina con la sílice y se forma el silicato aluminico, $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, del que existen tres estados alotrópicos en la naturaleza: Sillimanita, Andalucita y Distena.
5. A más de 1000 °C: El silicato $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ tiende a transformarse en $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (mullita, de gran dureza, pequeño coeficiente de dilatación, que cristaliza en agujas muy finas).
6. Fusión: La fusión ocurre a temperaturas por encima de 1700 °C. Las arcillas funden a 1780 °C; la Sillimanita, a 1880 °C y la Mullita, a 1930 °C.

Proceso de densificación: La densificación es la esencia del proceso cerámico. En la cerámica convencional, que es aquella cuya ceramización tiene lugar con la fase líquida como promotora, las partículas, próximas unas a otras, gracias a la etapa de

conformación, empiezan a tender puentes (reacción en estado sólido) o enlaces, ayudadas por las fuerzas del tipo de Van der Waals, (Izquierdo 2001).

La diferencia en el desarrollo de esta etapa de densificación es la que permite catalogar las cerámicas o los procesos de densificación en (Izquierdo 2001):

- Sinterizaciones
- Ceramizaciones
- Fusiones o vitrificaciones.

Desde el punto de vista del ahorro de energía en los materiales cerámicos, se puede definir que la etapa de sinterización es una de las más importantes, ya que la misma ocurre a temperaturas más bajas, (Cárdenas 2009).

Conclusiones parciales del capítulo

1. Los antecedentes de la investigación determinan algunas de las características y propiedades de las arcillas y las tobas vítreas empleadas para la producción de los materiales de construcción.
2. En la actualidad, tanto en Cuba como a nivel internacional, la industria cerámica está afectada por varios problemas relacionados, principalmente, con la gran cantidad de energía que demanda, producida por combustibles renovables y no renovables, que en la actualidad han elevado sus precio, lo cual provoca serios impactos ambientales y económicos.
3. En esta industria cerámica existen grandes diferencias entre los países desarrollados y subdesarrollados. En países del primer mundo se posee tecnologías automatizadas y con alta eficiencia, a diferencia de los países del Tercer Mundo, donde todavía utilizan prácticas que no son eficientes ni ecológicas en el caso de la producción artesanal. Por lo cual es necesario buscar alternativas de tecnologías que permitan potenciar la producción sostenible de materiales cerámicos a pequeña escala.
4. El uso de las tobas 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 MÉTODOS

El desarrollo y el éxito de toda investigación están basados en la fiabilidad de los resultados, herramienta fundamental para su validación. La adecuada selección de los materiales y métodos merece una especial atención. De ahí que el objetivo de este capítulo sea describir los principales materiales a utilizar, los métodos y técnicas empleados para la realización del trabajo.

2.1 Materiales empleados

Los materiales que se han de utilizar son:

- Arcilla parda de Centeno
- Arcilla roja de Cayo Guam
- Tobas Vítreas del yacimiento de Sagua de Tánamo.

2.1.1 Características de los materiales

Arcilla parda de Centeno: su yacimiento posee una extensión aproximada de más de 50 m y un espesor medio entre 6 y 8 km. Esta manifestación constituye la materia prima fundamental del Tejar de centeno. En la tabla 2.1 se representa su composición química.

Tabla 2.1 Composición química de la arcilla parda de Centeno (%)

Compuestos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	SO ₂	PPI	Otros
Arcilla parda	39,030	29,500	7,460	0,560	2,080	0,180	0,250	15,000	5,940

La figura 2.1 se observa que el color del material varía, desde tonalidades más blancas (mayor contenido de caolín) hasta tonalidades amarillentas y rojizas.



Figura 2.1 Arcilla parda de Centeno

Arcillas roja de Cayo Guam: El yacimiento de arcilla roja de Cayo Guam (figura 2.2) se observa un afloramiento artificial, en el que se pueden apreciar sectores con variedad de tonalidades, desde blanco-amarillentas, amarillo-pardo entre otras, que componen una extensión de más de 100 m y un espesor promedio de más de 200 m. En la base afloran gabros muy intemperizados de color blanco y aspecto terroso arcilloso al tacto, y de alta plasticidad. En la parte superior, existe una transición gradual a materiales parecidos a los de la base, formando una corteza de meteorización de colores variables desde el rosado hasta el rojo intenso. Un análisis químico demostró un alto contenido de alúmina en este yacimiento y en menores cantidades el hierro, calcio y magnesio, Orosco (1995), como se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Composición química de la arcilla de Cayo Guam (%)

Compuesto	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	SO ₂	PPI
Arcilla roja	47,910	21,390	16,610	0,580	0,080	0,180	0,250	13



Figura 2.2 Yacimiento de arcillas rojas de Cayo Guam

Tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo: El yacimiento Sagua de Tánamo se localiza a 15 km al este de la cabecera municipal de Sagua de Tánamo, en la localidad “El Picao”. Este material tobáceo se caracteriza por ser vitroclásticas y vitrocrystaloclástico, de color blanco grisáceo y granulometría fina a media, generalmente, abrasivo al tacto, poroso y ácido por su alto contenido de SiO_2 , conteniendo vidrio volcánico superior a 50 %, Almenares (2011). La composición química se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Composición química de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo

Compuesto	SiO_2	Al_2O_3	MnO	MgO	Na_2O	CaO	TiO_2	P_2O_5	K_2O	Fe_2O_3	SO_3	PPI
%	60,080	13,630	0,060	2,640	1,870	5,340	0,490	0,100	2,270	4,580	0,110	8,830

2.2 Dosificación de los materiales para la elaboración de las probetas

La dosificación para la elaboración de las probetas se basa en el diseño de mezclas y las probetas se elaboran con tres materiales principales antes mencionados.

2.2.1 Diseño de experimento

Se escogió para el desarrollo de la investigación un diseño de mezclas, que permite hacer una comparación entre la composición de varias mezclas y seleccionar cuál de ellas ofrece mejores resultados respecto a las variables de salida. Se eligió además, una temperatura de cocción de 900 °C en un horno eléctrico J.P Selecta y un tamaño de partículas de -0,125 mm para las arcillas de Cayo Guam, Centeno y para las tobas vítreas de Sagua de Tánamo. Para la selección de las variables se tuvo en cuenta el número de materiales a utilizar y los parámetros físico-mecánicos que se quieren determinar. Las variables se identificaron, como se muestra a continuación:

Variables de entrada (X):

- Composición de la mezcla

X₁ - arcilla parda de Centeno

X₂ - arcilla roja de Cayo Guam

X₃ – tobas vítrea de Sagua de Tánamo.

- Temperatura de cocción
- Tamaño de partículas
- Condiciones de secado y cocción.

Variables de salida (Y):

Y₁ – porcentaje de contracción lineal

Y₂ – porcentaje de absorción

Y₃ - Resistencia a la compresión

Y₄ - Pérdida de peso.

La tabla 2.4 muestra la dosificación de los elementos que conforman la mezcla cerámica.

Tabla 2.4 Dosificación que conformación las mezclas

Mezclas	X ₁ (%)	X ₂ (%)	X ₃ (%)
MP	45	55	0
1	40	55	5
2	35	55	10
3	30	55	15

En la tabla 2.4 se muestra la dosificación de las variables de entrada compuesta por las arcillas pardas de Centeno varía desde un 45 % para la mezcla patrón y un 35 % para la cuarta mezcla. La arcilla roja de Cayo Guam que se utilizó el mismo porcentaje para las tres mezclas. Como tercera variable se encuentran las tobas vítreas de Sagua de Tánamo como aditivo que varía entre un 0 y 10 % de este material.

2.4 Preparación de las muestras

Las muestras se preparan por un proceso mecánico para asegurar la calidad del producto final. Para ello se utilizó la figura 2.3:

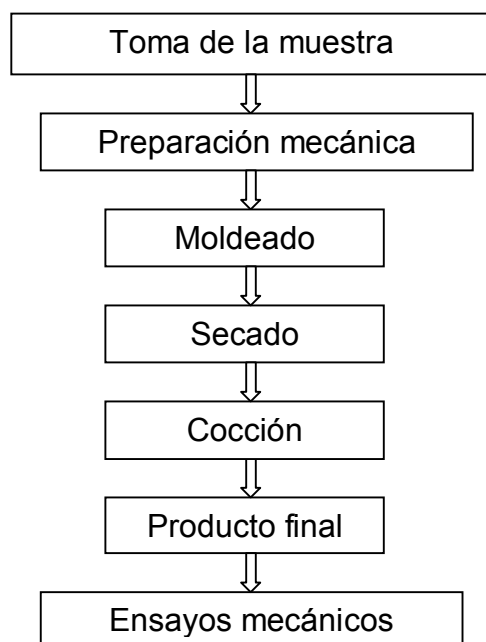


Figura 2.3 Esquema de preparación de las muestras

Cada proceso de la preparación de las muestras se explica a continuación.

2.4.1 Toma de muestras

Las muestras se tomaron mediante el método por puntos, que consistió en la toma de trozos típicos de la materia prima, con la ayuda de un martillo geológico. La muestra general se constituyó con una masa de 100 kg.

Las muestras fueron trasladadas hacia el laboratorio de beneficio de minerales del Instituto Superior Minero Metalúrgico para ser sometidas a un proceso de preparación mecánica.

2.4.2 Preparación mecánica

Las muestras fueron sometidas a un proceso de reducción de tamaño mediante dos etapas de trituración, cada una por separado. Donde en la primera etapa se utilizó la trituración por impacto 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 llevan a cabo dos etapas de trituración en trituradoras de mandíbulas (figura 2.4); las cuales tienen un diámetro de alimentación de 100 y 25 mm y de descarga de 25 y 4,760 mm, respectivamente. En la descarga de la segunda etapa del proceso de trituración se usó la operación de cribado de control con un tamiz de 3,150 mm. El material retenido en el tamiz es recirculado en la segunda etapa de trituración y el cernido con tamaño inferior a 3,150 mm, fue sometido a un proceso de molienda en un molino de bolas (figura 2.5) de 19,500 cm de diámetro interior y 24 cm de longitud para la obtención de las clases -0,125 mm; esta última fracción se utilizó para el moldeado de los probetas.



Figura 2.4 Trituradores de Mandíbulas TQ (320 x 165 mm y 150 X 75 mm)



Figura 2.5 Molino de bolas

2.4.3 Moldeado

El moldeado consistió en obtener una masa más compacta y una humedad uniforme, se realizó en moldes de madera de dimensiones de 12,500 x 12 x 6 cm (figura 2.6), se moldeó manualmente, compactando lo máximo posible la pasta para evitar que quedaran espacios vacíos que pudieran provocar fisuras en el producto final, una vez compactada se enrasó y se dejó en el molde hasta que éste se pudiera retirar sin alterar sus dimensiones.



Figura 2.6 Molde de madera utilizado

2.4.4 Secado

Una vez realizado el moldeado de la pasta, el molde se retiró y se dejó secar la pasta al aire libre durante 15 días bajo techo (figura 2.7). El secado es una de las etapas más importantes del proceso de producción, ya que durante este proceso el material se contrae y un mal secado traería consigo que el material se fisure.



Figura 2.7 Secado de la pasta bajo techo

2.4.5 Cocción

La cocción se realizó en un horno eléctrico J.P Selecta (figura 2.8), al aumentar gradualmente la temperatura por cuatro horas hasta alcanzar 900 °C, y mantener esta temperatura por dos horas, como resultado se produce la sinterización. Por tanto, se puede decir que este es un proceso crucial en la producción que requiere mucho cuidado y control, ya que de éste depende la calidad del producto final.



Figura 2.8 Horno eléctrico J.P Selecta

2.4.6 Producto final

El producto final obtenido fue un ladrillo, probeta a la cual se le determinaron las propiedades físicos – mecánicas.

2.4.7 Ensayos mecánicos

Una vez obtenido el producto final, se le realizan los ensayos mecánicos, para determinar la contracción lineal, absorción de agua, resistencia a la compresión y pérdida de peso.

2.5 Metodología para la realización de los ensayos

Una vez moldeadas las probetas, se llevaron a cabo los ensayos de contracción

lineal, absorción de agua, resistencia a la compresión y pérdida de peso. Para la resistencia se utilizó una prensa hidráulica de 10 t (figura 2.9). Además, se tuvo en cuenta la manera de manipular las probetas sin alterar la preparación de estas para los ensayos.



Figura 2.9 Prensa hidráulica de 10 t

2.5.1 Ensayo de contracción lineal

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 900 °C, lo que permitió tener una idea de la cohesión progresiva de la arcilla con el avance de la temperatura. Para ello se llevaron a cabo los siguientes pasos:

1. Moldear y crear probetas a partir de las mezclas de arcillas y tobas vítreas.
2. Dejar secar las probetas, volteándolas frecuentemente para evitar la deformación de las mismas, y que el calor pueda penetrar uniformemente hacía al interior de la masa sólido del ladrillo.
3. Cocer las probetas a la temperatura determinada.
4. Determinar la contracción total.

La contracción total se calcula a través de la ecuación siguiente:

$$\text{Contracción total} = 100 \cdot \frac{L_p - L_c}{L_p} \quad [\%] = \% \cdot \frac{cm}{cm} \quad (2.1)$$

dónde:

L_p: Longitud en plástico, cm;

L_c: Longitud de cocida, cm.

2.5.2 Ensayo de absorción de agua de la arcilla cocida

Este ensayo se realizó con el objetivo de conocer la capacidad que tienen los ladrillos de absorber el agua, teniendo en cuenta lo siguiente:

1. Pesar las probetas del experimento anterior.
2. Mantenerlas sumergida en agua por 24 h.
3. Secar la superficie de las probetas con un paño y pesarlas otra vez.
4. Determinar la absorción de agua por la ecuación siguiente:

$$\text{Absorción de agua} = 100 \cdot \frac{P_s - P_{\text{seco}}}{P_s} \quad [\%] = \% \cdot \frac{g}{g} \quad (2.2)$$

donde:

P_s: Peso saturado de agua, g;

P_{seco}: Peso seco, g.

2.5.3 Ensayo de la resistencia a la compresión

Mediante este ensayo se conoció la capacidad del ladrillo a resistir compresión

1. Medir el área y pesar las probetas.
2. Ubicar la probeta en el equipo.
3. Asegurarse de que esté bien ubicada para evitar valores erróneos.
4. Determinar la resistencia a la compresión.

Esta resistencia se calcula por la siguiente ecuación siguiente:

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{Q_{\text{máx}}}{A} \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right] \quad (2.3)$$

donde:

$Q_{\text{máx}}$: Carga máxima sobre la muestra en el momento de su destrucción, kgf;

A: Área de la sección transversal de la probeta, cm^2 .

2.5.4 Ensayo de pérdida de peso

Se determinó la pérdida de peso con el objetivo de conocer la facilidad de manejo y tener una idea de la porosidad del ladrillo:

1. Pesar las probetas secas.
2. Cocer las probetas a la temperatura determinada.
3. Pesar las probetas cocidas.
4. Calcular la pérdida de peso por la ecuación 2.4.

$$\text{Pérdida de peso} = 100 \cdot \frac{P_{\text{seco}} - P_c}{P_{\text{seco}}} \quad [\%] = \% \cdot \frac{\text{g}}{\text{g}} \quad (2.4)$$

donde:

P_{seco} : Peso en seco, g;

P_c : Peso cocido, g.

Conclusiones parciales

1. Se determinaron las características y las propiedades generales de las arcillas y de las Tobas Vítreas de Sagua de Tánamo, las cuales son adecuadas para utilizar en la producción de cerámica roja.
2. El tiempo de secado se realizó durante 15 días.
3. Los factores considerados fueron: la temperatura de 900 °C, un tiempo de cocción de seis horas y finura de - 0,125 mm. El contenido de aditivo se delimitó en tres niveles y adicionalmente se elaboró un patrón de estudio sin aditivo.
4. 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.
5. La metodología utilizada garantiza la validación de los resultados.

3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el desarrollo del capítulo se realizó el análisis de los resultados obtenidos, teniendo en cuenta los parámetros ensayados y los métodos experimentales antes expuestos en el capítulo 2. También se realiza una valoración social y ambiental sobre las causas tras su extracción de la naturaleza.

Para validar los resultados de los ensayos mecánicos se comparan con las normas cubanas establecidas: NC 360:2005 para ladrillos cerámicos de arcilla cocida, y NC 359:2005 para ladrillos y bloques cerámicos de arcilla cocida - método de ensayo. Las cuales se muestran en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Rango de variación de las propiedades físicas – mecánicas según la norma cubana NC 360 y 359:2005

Propiedades físicos mecánicas	Rango establecido
Contracción lineal, (%)	6
Absorción de agua, (%)	8 -18
Resistencia a la compresión, (Mpa)	10

3.1 Análisis de los resultados de contracción lineal

El estudio de este parámetro se realizó con los datos que se muestran en la tabla 3.2, para las probeta de cada porcentaje de adición de tobas y la patrón, al aplicar la ecuación (2.1) se determinan los valores de contracción lineal.

Tabla 3.2 Resultado de los análisis de contracción lineal

Longitud de las muestras en plástico, cm				
Mezcla	MP	Adición de 5 %	Adición de 10 %	Adición de 15 %
M	12,500	12,500	12,500	12,500
Longitud de las muestras cocida, cm				
M	11,863	12,000	12,240	12,480
Contracción lineal, %				
M	5,096	4,000	2,080	0,160

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

La figura 3.1 mostró que con 0 % de adición (muestra patrón) de tobas vítreas de Sagua de Tánamo se obtuvo un mayor porcentaje de contracción lineal con 5,096 %. Y para la muestra con 15 % de adición de tobas con 0,160 % de contracción lineal es la que menos se contrajo, debido a la propiedad de desgrasantes que poseen las tobas. Lo que disminuye la plasticidad de las arcillas 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 en el rango de 6 % como exigen las normas nacionales, las cuales se ilustran en la figura 3.1.

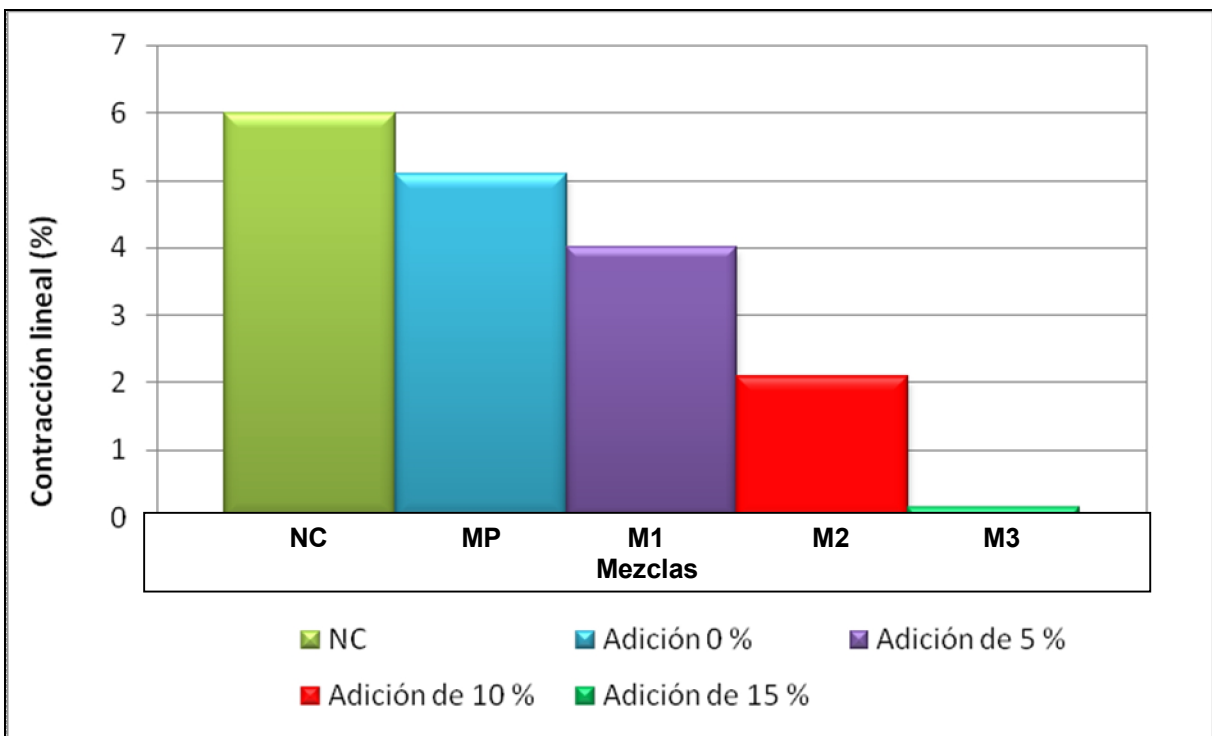


Figura 3.1 Resultados de la contracción lineal de las mezclas

3.2 Análisis del resultado de absorción de agua de la mezcla cocida

Según la ecuación 2.2, se determinaron los valores de la absorción de agua de las tres probetas de cada una de las adiciones de las tobas vítreas de Sagua de Tánamo, luego se comparan estos resultados con el de la muestra patrón. La comparación se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 3.3 Resultados de la absorción de agua

Masa de las muestras saturadas de agua, kg				
Mezcla	MP	Adición de 5 %	Adición de 10 %	Adición de 15 %
M	0,997	1,115	1,133	1,163
Masa de las muestras cocida, kg				
M	0,951	0,930	0,900	0,860
Absorción de agua, %				
M	4,614	16,592	20,588	26,074

Para una mejor comprensión se muestra gráficamente los resultados obtenidos anteriores de la capacidad de absorción de cada muestra se presenta en porcentaje,

la cual se ilustra en la figura 3.2.

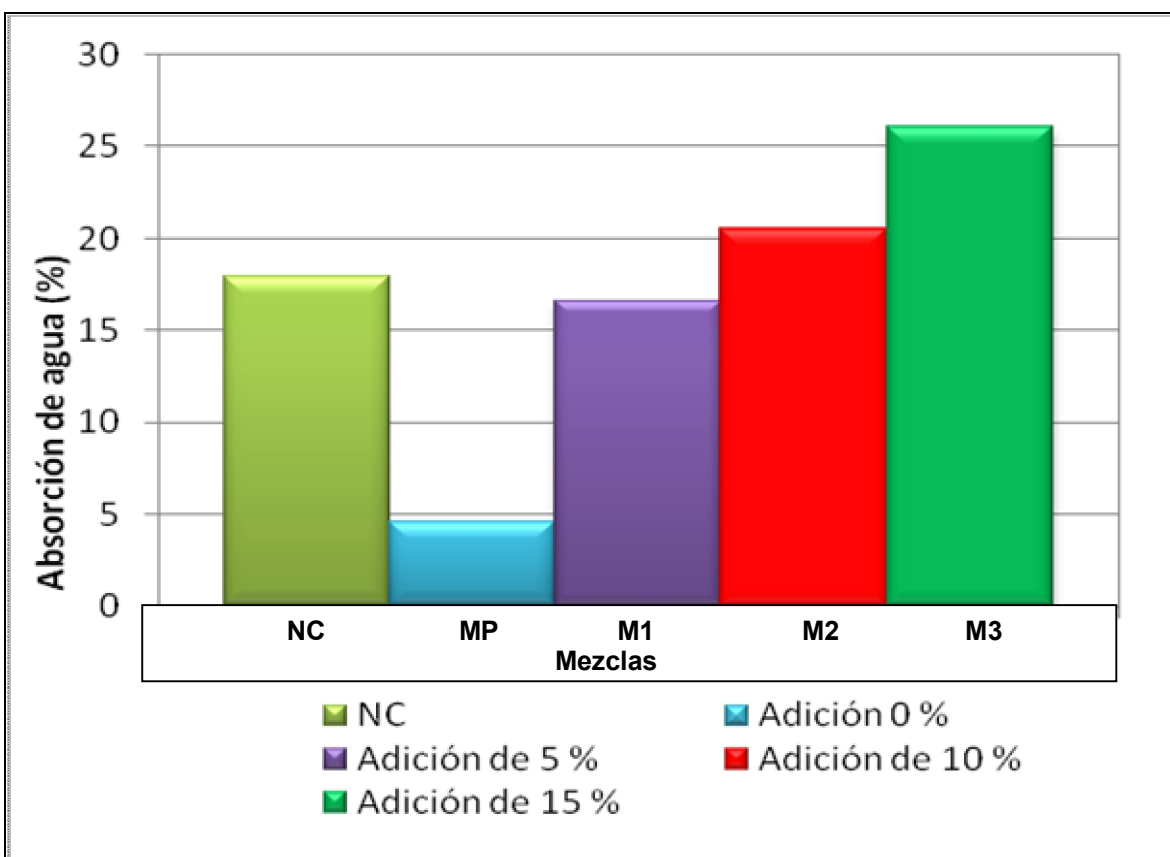


Figura 3.2 Resultados de la absorción de agua

En la figura 3.2 se observa que para un 15 % de adición de tobas vítreas hay un mayor porcentaje de absorción de agua (26,074 %), debido a la alta porosidad que posee la probeta, por lo que sobrepasa el rango permisible de las normas establecidas en la tabla 3.1. Sin embargo, en el caso de la muestra patrón y la mezcla con 5 % de adición de tobas vítreas ocurre una menor absorción de agua, debido a la menor porosidad en la estructura de las probetas. Estos resultados son aceptables ya que cumplen con las normas expuestas en la tabla 3.1.

3.3 Análisis de los resultados de resistencia a la compresión

Al emplear la ecuación 2.3 se obtuvieron los valores de resistencia a la compresión de cada mezcla, los cuales se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Resistencia de la compresión

Resistencia a la compresión, kN				
Mezcla	MP	Adición de 5 %	Adición de 10 %	Adición de 15 %
M	35,987	40,000	46,667	52,500
Resistencia a la compresión, Mpa				
M	10,980	11,380	12,708	13,059

La resistencia es la propiedad del material a oponerse a la destrucción bajo la acción de tensiones internas provocadas por fuerzas exteriores u otros factores.

Al realizar un análisis comparativo de los cuatro resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de las diferentes probetas con el de la norma establecida, se encuentran los valores por encima del rango establecido por la norma.

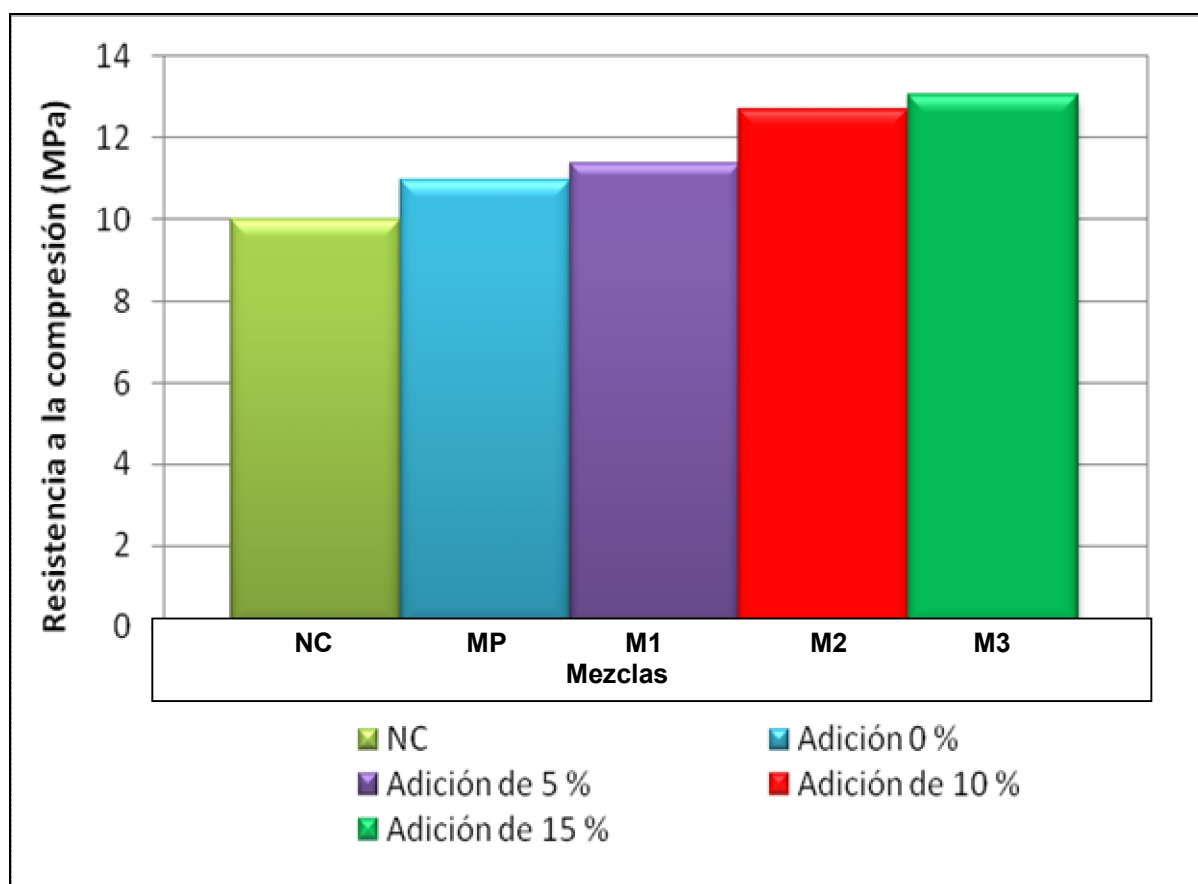


Figura 3.3 Resultados de la resistencia a la compresión

En la figura 3.3 se demostró que en los casos de adición de tobas vítreas, a medida

que aumenta el porcentaje de este aditivo en las diferentes proporciones de 5; 10 y 15 % aumenta también la resistencia a la compresión de las probetas. La cual fue resultado de la formación de los silicatos de alúmina formados ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) durante el proceso de cocción.

3.4 Análisis de los resultados de la pérdida de peso

A partir de la ecuación (2.4), se determinaron las pérdidas de peso de cada muestra estudiada durante los procesos de secado y cocción. Posteriormente se comparan con el resultado de la muestra patrón. La comparación se ilustra en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Resultados de la pérdida de peso

Masa de las muestras en seco, kg				
Mezcla	MP	Adición de 5 %	Adición de 10 %	Adición de 15 %
M	1,212	1,248	1,265	1,289
Masa de las muestras cocidas, kg				
M	0,951	0,930	0,900	0,860
Pérdida de peso, %				
M	27,445	34,194	40,556	49,884

La tabla 3.5 muestra que a diferencia de los otros parámetros, este valor no se encuentra regido por las normas cubanas.

La muestra que mayor pérdida de peso presentó es la mezcla de un 15 % de aditivo de tobas vítreas, con un 49,884 % como muestra la figura 3.4. Esto es debido a la porosidad que poseen las tobas, por lo que facilita el proceso de eliminación del agua durante el secado.

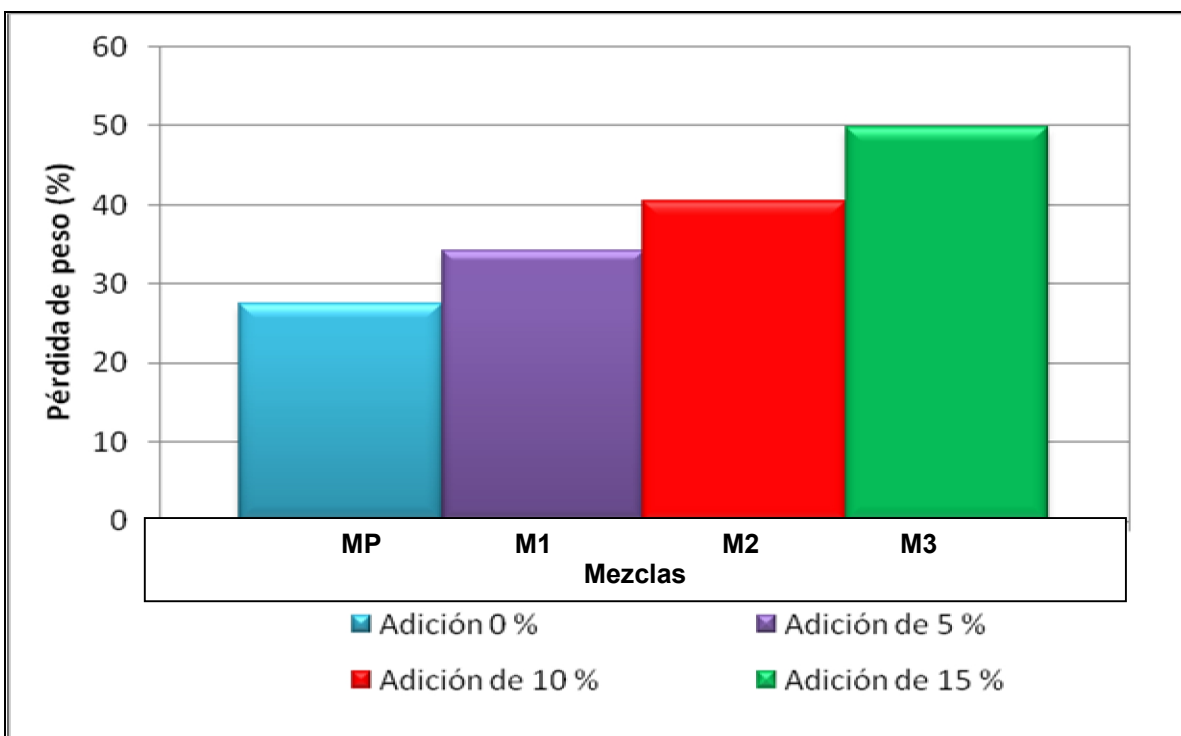


Figura 3.5 Resultados de la pérdida de peso

3.5 Valoración social

El mayor aporte de esta investigación está en alcanzar mejores cualidades de los ladrillos a partir de la utilización de adición tobas vítreas como aditivo. Por lo que se pueden destacar tres aspectos fundamentales como aporte económico y social.

El primero se enmarca en la disminución del tiempo de cocción de la mezcla, con lo cual se ahorra considerablemente la energía, ya que sólo es necesario realizar el proceso de cocción a seis horas, disminuyendo el tiempo con la que actualmente se trabaja en la práctica para la elaboración de ladrillos, donde se lleva a cabo el proceso en un rango de tiempo de 10 horas.

El segundo aspecto está en la disminución de las pérdidas de ladrillos por su baja calidad, por la presencia de grietas, rajaduras y alabeos, aspectos que afectan actualmente la industria cerámica.

Y tercero, la humanización del trabajo, al disminuir considerablemente el peso de los ladrillos, lo cual brinda facilidades de manipulación, traslado y colocación, tanto en el

proceso productivo como en la obra que se ejecute.

3.6 Impacto en el medio ambiente y el hombre

El desarrollo de la industria cerámica en el municipio de Moa, requiere un estudio detallado y minucioso de las grandes reservas de minerales arcillosos con que cuenta la región, como el análisis del impacto que provocaría su explotación en gran escala al medio ambiente.

Para el estudio de los problemas ambientales es necesario abarcar desde la prospección de la materia prima (minería de las arcillas), como primera actividad contaminadora, hasta el vertimiento de los desechos propios del proceso productivo (conformación y procesamiento de los objetos cerámicos).

La fabricación de objetos cerámicos comprende las etapas siguientes:

- Extracción de la materia prima
- Beneficio de las arcillas
- Conformación y acabado del producto.

El proceso de extracción de las arcillas generalmente se realiza por debajo de la capa vegetal, esto trae consigo problemas a los suelos y afecta desde la vegetación hasta la fauna típica de la zona de minado, así como la contaminación del aire por la emisión de polvo a la atmósfera.

3.6.1 Problemas ambientales en las diferentes etapas del proceso

Extracción de la materia prima

La arcilla es uno de los minerales que con más frecuencia se encuentran en la tierra, y constituye gran parte de nuestro suelo, que es un recurso natural que corresponde a la capa superior de la corteza terrestre.

Debido a que este mineral se encuentra a poca profundidad de la superficie, debajo de la capa vegetal, su 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. Se caracteriza por la

producción de grandes volúmenes, con las canteras emplazadas cerca de las unidades de producción, lo que implica su ubicación cerca de los núcleos poblacionales, con los correspondientes efectos sobre ellos.

En la Ley No. 81 DEL MEDIO AMBIENTE del 11 de Julio de 1997 en su Título VI, capítulo V, sección primera (Suelos) y Capítulo VIII Recursos minerales, quedan establecidas todas las regulaciones que se deben observar en cuanto al medio ambiente durante la investigación, prospección y extracción de estos recursos.

Estos procesos de pérdida y degradación del suelo son originados por la falta de planificación y el descuido del hombre. Las causas más comunes de dichos procesos están relacionadas con la erosión que se corresponde al arrastre de las partículas y las formas de vida que conforman el suelo.

Entre los problemas fundamentales que provoca su extracción al medio se pueden encontrar:

- La erosión de los suelos
- Destrucción de la flora y fauna del lugar
- Emisiones de polvo a la atmósfera
- Desestabilización de pendientes.

Para el mejor control del impacto ambiental provocado por la minería de las arcillas, es importante poner en práctica algunas de las medidas siguientes:

- 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
- Plantar árboles para evitar la erosión de los suelos y conserven su entorno.

Beneficio de la materia prima

Esta etapa comprende los procesos siguientes:

- Mezclado de las materias primas
- Clasificación
- Filtración.

Los principales riesgos específicos de la industria cerámica provienen del uso y manipulación de las diferentes materias primas.

- De los componentes de las arcillas
- De las emisiones del horno de cocción.

Conformación y acabado

En esta etapa del proceso se producen desechos sólidos y gaseosos fundamentalmente, por el proceso de horneado y los residuos de materiales después de la elaboración de las piezas. Debido al propio proceso de cocción en los hornos se generan gases tóxicos, los cuales enrarecen el ambiente laboral y contaminan directamente el aire.

El combustible utilizado es el carbón mineral o la leña, cuya combustión produce gases de diferentes tipos, entre ellos: compuestos de azufre, óxidos de carbono, el monóxido de carbono que se produce por la combustión incompleta de combustibles orgánicos y el dióxido de carbono gas que se encuentra normalmente en la atmósfera ya que se produce durante la espiración de los seres vivos. La leña desprenden grandes volúmenes de humo durante el proceso de combustión, estos arrastran gran cantidad de cenizas y microgotas de combustible sin quemar. Además, del excesivo calor a que están expuestos los operadores del horno.

El proceso contamina la atmosfera y produce cambios climáticos a largo plazo, que provocan una reducción de la visibilidad y la destrucción total de la vegetación debido a la lluvia ácida.

Los daños directos sobre el hombre se refieren principalmente a enfermedades agudas susceptibles de causar la muerte, intoxicaciones o irritaciones. El monóxido de carbono se combina con la hemoglobina de la sangre formando un complejo estable e irreversible disminuyéndose así la capacidad de transporte de oxígeno. Diversas

sustancias producen bronquitis, asma, tos crónica, enfisema, neumonía, obstrucciones broncopulmonares y cáncer.

El control de la contaminación producto de los gases de combustión deberá estar enfocado a:

- Monitoreo y análisis permanente del aire mediante la instrumentación adecuada.
- Cambios de las materias primas o los procesos para evitar la generación de contaminantes, puede afectarse la rentabilidad.
- Separación de los contaminantes después de su generación y antes de su dispersión.

Estas sustancias pueden ser recicladas aprovechándolas en otro proceso.

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 15 % de adicción de tobas vítreas son las que más absorben agua.
3. El valor de la resistencia a la compresión obtenido en la mezcla alcanza valores superiores según las normas, 10 MPa.
4. La pérdida de peso en las probetas estudiadas, varían entre 27,445 y 49,884 % de acuerdo a su contenido de adición de tobas vítreas.

CONCLUSIÓN

Se evaluó las tobas vítreas de Sagua de Tánamo como aditivo y se obtuvo que los mejores resultados fueran para 15 % de adición. Lo cual permitió elevar sus propiedades en cuanto a contracción lineal (0,160 %), resistencia a la compresión (13,059 MPa) y pérdida de peso (49,884 %). Para la absorción de agua los mejores resultados se alcanzaron con un 5 % de adición de tobas vítreas, con valores de 16,592 % de absorción. A las condiciones siguientes: 15 días de secado, 900 °C de temperatura y 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.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALMENARES, R., LEIVA R. 2011. Perspectivas de utilización de tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín como aditivo puzolánico. Tesis de Maestría. Moa, Instituto Superior Minero Metalúrgico. 78 p.
2. BERTELI M., M.A. 2005. Evaluation of short cut pasta air dehydration assisted by microwaves as compared to the conventional drying process. *Journal of Food Engineering* 68 (2): 75-183.
3. BETANCOURT D. 2008. Utilización del carbonato de calcio como adición mineral en la producción de ladrillos de cerámica roja. Tesis de Grado. Santa Clara, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Facultad de Construcciones.
4. CABO DE VILLA, S., BEYRIS P. B., 2010. Valoración de mezclas de arcillas de la región de Centeno para su utilización en la industria de materiales locales. Trabajo de Diploma. Moa, Instituto Superior Minero Metalúrgico. 30 p.
5. CABRERA, M. R., ALMENARES, R. 2010: Valoración de las tobas vítreas y zeolitizadas de la provincia Holguín para su utilización como puzolana natural en la construcción. Trabajo de Diploma. Moa, Instituto Superior Minero Metalúrgico. 40 p.
6. CARDENAS, C. y otros. 2009. Las microondas como una alternativa para el secado de materiales cerámicos tradicionales. Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales. Colombia. p. 427-432.
7. Cochura. 1923 [en línea] Manual del fabricante de ladrillos. <http://www.xtec.net/~cgarci38/ceta/historia/cochura.htm>. [consulta: mayo 2013]
8. DE ARMAS, J., BATISTA, R. 2006. Reevaluación de las tobas vítreas del

- yacimiento Sagua de Tánamo como puzolanas naturales. Trabajo de Diploma. Moa, Instituto Superior Minero Metalúrgico. 70 p.
9. Determinación de la eficiencia energética del Subsector industrial de ladrillo, vidrio y cerámica. 2001. República de Colombia, Unidad de Planeación Minero Energética. (UPME).
 10. FONSECA R. D., PONS H. 2003. Evaluación de mezclas de arcillas de la región de Centeno. Tesis de Maestría. Moa, ISMM. 72 p.
 11. GUTIERREZ, C. 2010. Modelación y simulación de un horno de túnel industrial en la Facultad de Minas. Colombia. Universidad Nacional de Colombia: p. 56.
 12. Hernández, R. Materias primas no convencionales en cerámica. 2005; Available from: www.empremin.org.ar
 13. Impactos Ambientales y Actividades Productivas. 2007. [en línea] Cerámica fina y de producción. www.estrcplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?ld=259 [consulta: junio 2013].
 14. JONES, T. 1995. The Basics of Brick Kiln Technology.
 15. JUNCOSA, E. 2008. Tomado de la entrevista a experto del grupo de Desarrollo de la Industria de Materiales de la Construcción. GEICON.
 16. LÓPEZ P, L., LEIVA C. 2006. Caracterización geológica de las materias primas mineras de los municipios Moa – Sagua de Tánamo para su empleo como material de construcción. Trabajo de Diploma. Moa, Instituto Superior Minero Metalúrgico. 87 p.
 17. MARIÑAN T., CABO DE VILLA, S. Mezclas de arcillas y residuos sólidos carbonatados para su utilización en la industria de materiales de construcción. Trabajo de diploma. Moa, Instituto Superior Minero Metalúrgico. 48 p.
 18. MARTIRENA J.F., y otros. 2006. Improvement of Engineering Properties and Energy Efficiency of Fired Clay Bricks through the Addition of Calcite. In 7th International Masonry Conference. London, Inglaterra.
 19. MAYORAL M.C., y otros. 2001. Aluminosilicates transformation in combustion

followed by DSC. Termochimica acta 373. p. 173-180.

20. MUXLANGA, R. J., ALMENARES R. 2009: Evaluación de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo para su utilización como árido y puzolana natural en la construcción. Trabajo de Diploma. Moa, Instituto Superior Minero Metalúrgico. 48 p.
21. NC 360:2005 para ladrillos cerámicos de arcilla cocida y NC 359:2005 para ladrillos y bloques cerámicos de arcilla cocida - método de ensayo.
22. O. B. GOL'TSOVA, V.S.K., O. B. NAGOVITSIN, y otros. 2006. Heat losses in a tunnel kiln for brick firing. Glass and Ceramics. 63: p. 127-129.
23. OROZCO, G. 1995: Caracterización de las arcillas de Cayo Guam. Informe técnico. ISMM.
24. Producción ecológica y económicamente sustentable de ladrillos en Chambo, Ecuador. 2010 [en línea]. Eco Sur. <http://www.ecosur.org/enlaces/562-produccion-ecologica-y-economicamente-sustentable-de-ladrillos-en-chambo-ecuador>. [consulta: junio 2013]
25. 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.
26. Romero A. 2004. [en línea] Cerámica Artística y Acuarelas. Cerámica: Glosario básico. <http://www.xtec.cat/~aromero8/htm>. [consulta: mayo 2013]
27. 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.
28. TORAYA J. 2010. Manual Técnico para la producción artesanal de ladrillos de barro. Ciudad de la Habana.
29. 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.
30. VIEIRA, C.M.F., MONTEIRO, S. N. 2007. Evaluation of a Plastic Clay from the

State of Rio de Janeiro as a Component of Porcelain Tile Body, *Matéria* (Rio de Janeiro). 12(1): 1 – 7.

31. 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]
32. 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.