



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO  
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”  
FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA  
DEPARTAMENTO DE METALURGIA**

# **TOBAS VÍTREAS DE SAGUA DE TÁNAMO COMO ADITIVO EN LA PRODUCCIÓN DE OBJETOS DE CERÁMICA ROJA**

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero en  
Metalurgia y Materiales

**REDEL ALEXANDER AGUILAR MARTÍNEZ**

Moa, Holguín

2014



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO

“Dr. Antonio Núñez Jiménez”

FACULTAD DE METALURGIA Y ELECTROMECAÁNICA

DEPARTAMENTO DE METALURGIA

# TOBAS VÍTREAS DE SAGUA DE TÁNAMO COMO ADITIVO EN LA PRODUCCIÓN DE OBJETOS DE CERÁMICA ROJA

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero en  
Metalurgia y Materiales

Autor: Redel Alexander Aguilar Martínez.

Tutor: Ing. Sergio Ramiro Cabo de Villa Figueiral.

Moa, Holguín

2014

Yo: Redel Alexander Aguilar Martínez, autor de este trabajo de diploma y el tutor Ing. Sergio Ramiro Cabo de Villa Figueiral, declaramos la propiedad intelectual de este, al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa para que disponga de su uso cuando estime conveniente.

---

Diplomante: Redel Alexander Aguilar Martínez

---

Tutor: Ing. Sergio Ramiro Cabo de Villa Figueiral

*“Sin motivación no hay amor y sin amor por la  
tarea que se cumple no hay resultados”.*

*Raúl Castro.*

## DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a mí querida madre y mi abuela por su amor, confianza y sacrificio durante todos estos años de estudios.*

*....A mi novia Daymi y a su familia por su amor y apoyo en todo momento.*

*....A todos mis amigos y compañeros de aula que de cierta forma me ayudaron a hacer realidad este sueño.*

*....A toda mi familia que ha sido clave durante este período.*

## AGRADECIMIENTOS

*A través de estas pequeñas palabras hago constar mis mayores agradecimientos:*

*...A mi querida madre Midiala Martínez Aguilera y a mi querida abuela Mercy Aguilera Acosta por confiar en mí y darme aliento para seguir adelante en toda la etapa de estudiante. Gracias a Dios y a la Virgen de la Caridad.*

*A toda mi familia y mis vecinos por darme el apoyo necesario para lograr esta meta.*

*A mi tía Nuris Martínez Vázquez por su apoyo incondicional, al igual que su esposo Rolando González.*

*A mi novia Daymi por su incalculable ayuda y confianza y a su mamá por acogerme como un hijo, a Dainier y a su esposa Yoa por la atención que me brindaron.*

*A Martha por comportarse como mi madre durante este tiempo que estuve lejos de mi mamá, a su hija Yanet y su hijo Norge, y al padre de sus hijos Pipo.*

*A los profesores del Departamento de Metalurgia que me han ayudado en todo lo que ha estado a su alcance.*

*A los profesores Amauris de los Milagros Palacios Rodríguez, por toda su ayuda en la realización de este trabajo al igual que [ Roger Samuel, Yunion Correa, Yosbel Guerra, Orleidis Loyola, Lianis Columbie, Evangelia García Peña y a mi tutor Sergio Cabo de Villa.*

*...A compañeros de aula por su reiterado apoyo incondicional, Alexis ,Esbiel , Emilio, Daniel, Dennis, Francisco, Omar, Yannelis, Yorlaydis, Yosbel, Ernesto, Boubacar, Anthony, Koffy, a mis amigos Ernesto Gavilán y su novia Yolennis, Marcos, Mairelis, Carlos ,Yosi, Iosnel, Vega, Arlena, Cachi, Yuliet, Javier, Osber , Yarisbel, Yoisel, Yasel, Luis Miguel, Alberto, Yuya, Andy, Salder, entre otros.*

## RESUMEN

El presente trabajo muestra la necesidad de estudiar el comportamiento de fragilidad y secado de los objetos ornamentales de materiales arcillosos y vítreos para su posible utilización en la industria de Materiales Locales en Moa. Se realizó una caracterización, de la materia prima basada en la determinación de la composición química, por el método de fluorescencia de rayos X. En las mezclas diseñadas se sustituyó la arcilla por un 10, 20, 30 y 40 % de tobas vítreas. Mediante los análisis realizados el tiempo de secado tuvo una disminución de acuerdo a los porcentajes de aditivo añadido, lo cual para un 10 % bajó de 7 a 5 días, y para un 20 % disminuyó de 7 a 3 días respectivamente. La adición de las tobas vítreas a la mezcla evitó el agrietamiento de las piezas dándole a estas un mayor brillo.

## SUMMARY

The present work shows the need to study the behavior of fragility and drying of ornamental objects and vitreous clay materials for possible use in the industry of Local Materials in Moa. A characterization of the raw material based on the determination of the chemical composition, by the method of X-ray fluorescence in the blends designed clay was replaced by 10, 20, 30 and 40 % was performed. Using the analysis performed the drying time was decreased according to percentages of additive added, which dropped to 10 % for 7 and 5 days, and 20 % decreased from 7 to 3 days respectively. Adding to the mixture vitreous tuffs prevented cracking these parts giving a higher brightness.

<b>ÍNDICE</b>	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>1. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL .....</b>	<b>4</b>
1.1 ESTADO DEL ARTE.....	4
1.2 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	6
1.2.1 Principales características de arcillas.....	6
1.3 COMPOSICIÓN MOLECULAR DE LA ARCILLA.....	7
<b>AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2SiO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O .....</b>	<b>8</b>
1.3.1. Forma y tamaño de las partículas.....	9
1.4 PROPIEDADES DE LAS ARCILLAS.....	9
1.4.1 Plasticidad.....	9
1.4.2 Capacidad de absorción.....	10
1.4.3 Hidratación e hinchamiento.....	11
1.4.4 Tixotropía.....	12
1.4.5 Capacidad de la arcilla de endurecerse al secarla.....	12
1.4.6 Retracción de la arcilla.....	12
1.4.7 Transición durante la cochura al estado pétreo.....	13
<b>TECNOLOGÍA DE COCCIÓN.....</b>	<b>13</b>
1.5 CONSIDERACIONES ACERCA DE LAS PASTAS DE ARCILLAS.....	14
1.6 ENSAYOS PRELIMINARES SOBRE DEPÓSITOS DE ARCILLA NATURAL.....	14
1.6.1 Inspección visual y de textura.....	15
1.6.2 Tamizado.....	15
1.6.3 Plasticidad.....	15
1.6.4 Adiciones a las arcillas para hacerlas útiles.....	16
1.6.5 Impurezas más comunes en las arcillas.....	17
1.6.6 Pastas de arcillas para torneear.....	17
1.6.7 Pastas de arcillas para barro cocido.....	18
1.6.8 Pastas de arcilla para modelar.....	19
1.6.9 Requerimientos tecnológicos de la arcilla para cerámica.....	19
1.6.10 Secado de la arcilla.....	20
<b>TRANSFORMACIONES DURANTE EL SECADO.....</b>	<b>20</b>
1.6.11 Tobas vítreas.....	22
<b>PRINCIPALES TIPOS DE PUZOLANAS .....</b>	<b>22</b>
1.6.12 Clasificación de las puzolanas según su origen.....	23

<b>CONCLUSIONES PARCIALES .....</b>	<b>24</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
2.1 LOS MATERIALES A UTILIZAR.....	25
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS ARCILLAS DE LA REGIÓN DE BAYAMO.....	25
2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA ARCILLA DE LA REGIÓN DE SAN JUAN.....	27
2.4 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS TUBAS VÍTREAS DEL YACIMIENTO SAGUA DE TÁNAMO.....	27
2.5 DISEÑO DE EXPERIMENTO.....	28
2.6 MÉTODO A UTILIZAR.....	28
2.6.1 Trabajo de campo.....	30
2.6.2 Toma de las muestras.....	30
2.6.3 Trabajo de laboratorio.....	31
2.6.4 Trabajo en la industria de Cerámica.....	31
2.7 PREPARACIÓN DE LOS MATERIALES EN CUANTO A SU DOSIFICACIÓN.....	32
2.8 MATERIALES.....	33
2.9 ESQUEMA TECNOLÓGICO.....	34
2.9.1 Trituración.....	36
2.9.2 Molienda y homogenización.....	36
2.9.3 Tamizado.....	37
2.9.4 Maduración.....	38
2.9.5 Moldeado.....	38
2.9.6 Secado.....	39
2.9.7 Cocción.....	40
2.9.8 Acabado.....	40
2.10 PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS PARA LA CONFORMACIÓN DE LAS PIEZAS.....	40
<b>CONCLUSIONES PARCIALES .....</b>	<b>42</b>
<b>3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS E IMPACTO MEDIOAMBIENTAL.....</b>	<b>43</b>
3.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	43
3.1.1 Proceso de maduración.....	43
3.1.2 Plasticidad de las mezclas.....	44
3.2 SECADO DE LAS PIEZAS.....	45
3.3 PROCESO DE COCCIÓN.....	47
3.4 AGRIETAMIENTO DE LAS PIEZAS.....	48
3.5 CONSUMO ENERGÉTICO PARA LA COCCIÓN DE LAS PIEZAS.....	50
3.6 VALORACIÓN ECONÓMICA.....	52
3.7 IMPACTO MEDIO AMBIENTAL.....	53
3.7.1 La fabricación de objetos cerámicos comprende las siguientes etapas:.....	53

3.8 PROBLEMAS AMBIENTALES EN LAS DIFERENTES ET APAS DEL PROCESO.....	54
3.8.1 <i>Extracción de las arcillas</i> .....	54
3.8.2 <i>Entre los problemas fundamentales que provoca su extracción al medio podemos encontrar:</i> .....	54
3.9 MEDIDAS PARA PARA PROTEGER EL MEDIO AMBIENTE.....	55
CONCLUSIONES PARCIALES.....	55
<b>CONCLUSIONES GENERALES.</b> .....	<b>56</b>
<b>RECOMENDACIÓN.</b> .....	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b> .....	<b>58</b>

## **INTRODUCCIÓN**

La cerámica acompañó al hombre en toda su evolución y fue pasando por la artesanía, que se regía en métodos empíricos, a convertirse gradualmente en una industria con tecnología propia, asimilando las leyes de las ciencias exactas y dando origen a una ciencia con principios que le son propios y una perspectiva protagónica en los cambios tecnológicos del mundo actual.

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.

Las arcillas constituyen la principal materia prima para la confección de objetos cerámicos. Éstas aparecen en todo tipo de formación rocosa, desde la más antigua a la más reciente, y en formaciones ígneas y sedimentarias de todo tipo; como consecuencia de ello, sus características físicas, químicas y mineralógicas varían ampliamente, incluso entre las capas de un mismo depósito arcilloso. Por tanto, en cualquier industria cerámica el control de la calidad de los productos empieza por la caracterización y control de la calidad de sus arcillas. La principal propiedad de las arcillas es la de formar una pasta con agua, poder ser moldeada para tomar formas diversas, esta propiedad es la denominada plasticidad, teóricamente se admite que esto se produce por la lubricación que proporciona el agua en la estructura laminar de la misma. Las propiedades mecánicas de las arcillas se van modificando mediante el proceso de desecación a medida que se va reduciendo el contenido de agua, se produce un aumento de la solidez y dureza y una disminución de la plasticidad. Diferente es el endurecimiento por cocción, el cual se produce a temperaturas elevadas, que van produciendo las modificaciones en las propiedades mecánicas de la pasta arcillosa.

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 de bloque cerámicos, ha propiciado una sensible disminución de los niveles de producción, agudizándose en un mayor grado 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.

Por otra parte, la industria cerámica se ubica entre las grandes contaminadoras que afectan al medio ambiente y a la salud humana. Además, genera cambios significativos en la morfología del entorno natural debido a la extracción de la materia prima.

Actualmente, los productos cerámicos constituyen una amplia gama de nuevos materiales que pudieran sustituir incluso a metales y polímeros en la fabricación de componentes de motores térmicos, herramientas de corte y otros accesorios para mejorar la resistencia al desgaste y a la abrasión, a ambientes corrosivos y a altas temperaturas, debido a las excelentes propiedades mecánicas, ópticas, eléctricas, refractariedad y elevada resistencia a los agentes corrosivos.

En la localidad de Moa existe una institución cuyo nombre es Industrias Locales Moa la cual basa su producción en la confección de objetos cerámicos. La materia prima utilizada en la empresa es trasladada de la provincia Granma, de la empresa GRAMAT donde se fabrican bloques cerámicos utilizando las arcillas de Bayamo y San Juan. La institución de Moa en estos últimos años ha presentado problemas ya que los objetos confeccionados durante el proceso de cocción se agrietan, por lo que se llega a la conclusión de que la mezcla de la empresa GRAMAT puede modificarse añadiendo algún material que mejore su propiedad de contracción al secado así como el agrietado de las mismas, para cumplimentar este objetivo empleamos la opción de añadir tobas vítreas a determinadas mezclas.

Esto conllevó a plantear la **situación problemática** como la necesidad de estudiar el comportamiento del agrietamiento y secado de los objetos ornamentales de materiales arcillosos y vítreos para su posible utilización en la industria de Materiales Locales en Moa.

Se declara como **problema** a resolver: El insuficiente conocimiento del comportamiento del agrietamiento y secado de los objetos de arcillas confeccionados en Industria de Materiales Locales de Moa a partir de la adición de las tobas vítreas de Sagua de Tánamo.

Como **objetivo general**: Determinar el comportamiento de los parámetros del agrietamiento y secado de los objetos de cerámica roja a partir de la adición de las tobas vítreas de Sagua de Tánamo.

Por lo tanto se enuncian los siguientes **objetivos específicos**:

- Determinar el comportamiento del agrietamiento y secado de la mezcla de arcillas de la región de Bayamo, San Juan y las tobas vítreas de Sagua de Tánamo.
- Evaluar la plasticidad de las mezclas.
- Evaluar el tiempo de secado con la adición de tobas vítreas de las piezas.

Se propone como **hipótesis**: Si se determina el comportamiento del agrietamiento y secado de los objetos obtenidos a partir de las arcillas de Bayamo, San Juan y las tobas vítreas de Sagua de Tánamo, es posible obtener la propuesta de las mezclas adecuadas para su utilización en la industria de Materiales Locales.

Por lo que se obtiene como **objeto de estudio**: Las mezclas cerámicas a partir de las arcillas de la región de Bayamo, San Juan y las tobas vítreas de Sagua de Tánamo para la confección de objetos ornamentales.

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados se realizarán las siguientes **TAREAS**:

- Análisis bibliográfico de trabajos relacionados con el objeto de la investigación.
- Elaboración de varias mezclas para la obtención de objetos experimentales (tiestos, búcaros y otras figuras ornamentales).

## **1. ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL**

Este capítulo tiene como objetivo fundamental realizar un análisis bibliográfico sobre el tema en cuestión, 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 Estado del arte.**

En Cuba la industria cerámica ha tenido un amplio desarrollo a partir de 1959, sin embargo, este desarrollo y sobre todo, las investigaciones, estudios y los resultados a los que se ha llegado, no han quedado en la memoria escrita en nuestros archivos.

Existen actualmente muchas normas técnicas para la producción y el control de la calidad de ladrillos, azulejos y otros productos de la industria de los materiales de la construcción, sin embargo no existe mucha información sobre los productos cerámicos utilitarios y ornamentales, los cuales a pesar de tener características similares, no presentan los mismos requerimientos de calidad que los primeros.

No obstante varios autores han realizado numerosas investigaciones relacionadas con la caracterización de los yacimientos arcillosos con el objetivo de valorar sus potencialidades como materia prima en la industria de cerámica roja.

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.

Villar, (2005) en el proyecto de actualización del yacimiento arcilla Bayamo provincia Granma se demostró que el mismo está formado por arcillas, arcillas arenosas, arenas arcillosas, gravas y gravas arenosas.

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.

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.

Palacio, (2010) en el Proyecto de Explotación Mineral el yacimiento arcilla San Juan concluyó que en el mismo predominan muchos fragmentos de rocas frescas y alteradas.

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.

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 adecuados en cuanto a granulometría.

Sosa, (2011) en el informe sobre la exploración adicional en la porción este del Yacimiento Arcilla Bayamo determinó de que las mismas son de origen aluviales, de sedimentos muy

finos donde se aprecian finas capas o intercalaciones con granulometrías más gruesas y capas con alto contenido de carbonato de calcio.

Díaz (2011) determinó el uso del carbonato de calcio como aditivo fundente en la producción de ladrillos cerámica roja, donde logró disminuir el tiempo de cocción de los mismos y a la vez un ahorro de energía, pero la utilización del este aditivo es perjudicial ya que el exceso de carbonato trae consigo el agrietamiento de las piezas durante la cocción de las mismas.

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 la 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.

## **1.2 Marco teórico conceptual.**

### **1.2.1 Principales características de arcillas.**

Las rocas ígneas se originan por el enfriamiento de magmas, que surgen de masas fundidas procedentes del interior de la Tierra. Las arcillas son el producto de la disgregación parcial o total de las rocas ígneas por acción del agua, los agentes atmosféricos (fundamentalmente CO<sub>2</sub>), la temperatura y la presión, durante muy largos períodos de tiempo (eras geológicas: millones de años). Por tal razón, el término arcilla no corresponde a una composición química o mineralógica definida; las arcillas son mezclas de diversas especies minerales, según la composición de la roca matriz y el proceso de meteorización sufrido (Kingery W.D. et al., 1976; Mari E.A., 1998). Por esto, el estudio de las arcillas y la evaluación de sus yacimientos, que por los mismos motivos presentan una elevada heterogeneidad, es complejo.

Las arcillas están formadas por distintas especies mineralógicas, que según su preponderancia le confieren sus peculiares características. Las arcillas además de los minerales de arcillas propiamente dichos, poseen sílice libre que generalmente es cuarzo cristalino de tamaño mayor a 10 micrones, carbonatos de diversos tamaños, feldespatos generalmente alcalinos y alcalinotérreos, compuestos de hierro y titanio, sales solubles, materia orgánica y residuos carbonosos. Así por ejemplo, el término caolín designa una arcilla con un elevado porcentaje de Caolinita y un bajo contenido de impurezas en general, especialmente óxido férrico; una arcilla illítica tendrá el mayor porcentaje del mineral Illita y una arcilla esméctica el mayor porcentaje de algunos de los minerales del grupo de las esmectitas, por ejemplo Montmorillonita.

En 1995 la AIPEA (Asociación Internacional Pour L'Etude des Argiles) y la CMS (Clay Minerals Society) redefinieron el término "arcilla". De esta manera, la palabra arcilla se refiere al material "natural" compuesto fundamentalmente por "mineral de grano fino", el cual es generalmente "plástico" con apropiada cantidad de agua, que endurece cuando se lo seca al aire o calcina. Generalmente, la arcilla está constituida por "filosilicatos" pero puede contener otros materiales que imparten plasticidad y que endurecen con el secado.

Las arcillas son, por definición, sólidos de granos finos y muchas de sus aplicaciones derivan de ello. Son "filosilicatos" porque los iones de su estructura están arreglados en series de planos paralelos, los cuales están fuertemente unidos en forma de láminas.

### **1.3 Composición molecular de la arcilla.**

Las arcillas están conformadas como rocas detríticas sedimentarias por varios silicatos de aluminio hidratado que provienen de la descomposición de los feldespatos que se producen durante la erosión.

Actualmente, se conoce que los minerales arcillosos son numerosos y difieren entre sí por su forma, estructura, apilamiento de las capas y por la simetría de la red que forman entre sí. De acuerdo con su distribución estructural, los minerales arcillosos se pueden dividir en familias o grupos: como pueden ser los filosilicatos bilaminares encontrándose la familia de la caolinitas (figura 1. a) y los filosilicatos trilaminares, como son las Montmorillonita y las Illita (figura 1. b).

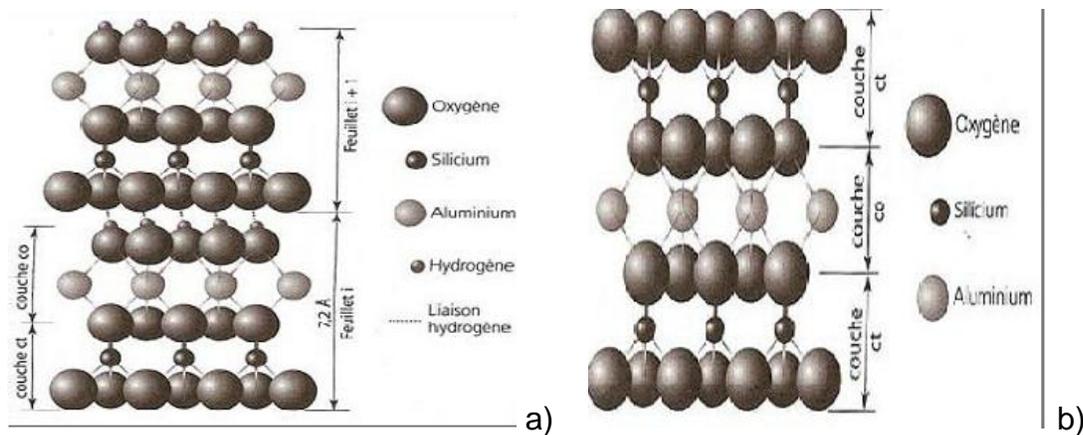


Figura 1.1 a) Estructura de la Caolinita, b) Estructura de la Montmorillonita.

Como mineral de arcilla tiene la siguiente fórmula:



En esta fórmula las cantidades relativas de los óxidos presentes se establecen como relación molecular más que en porcentaje en peso. En la arcilla una molécula de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  está asociada a dos moléculas de  $\text{SiO}_2$  y dos moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$ . Esta fórmula, que es típica, prescinde de la compleja disposición de “impurezas” siempre presentes en las muestras reales. Caolinita es el nombre mineralógico que se ha dado a esta sustancia pura.

La arcilla es el producto de envejecimiento geológico de la superficie de la tierra y la descomposición de rocas que contienen feldespato, constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratado, procedente de la descomposición de minerales de aluminio, este proceso es continuo y se produce en todas partes. La arcilla es un material extremadamente sencillo, barato y abundante en la naturaleza, con frecuencia puede encontrarse en la tierra ya ablandado por la humedad y listo para ser trabajado.

Las arcillas difieren de todas las rocas, más por su estado físico que por su constitución química. El caolín y la arcilla plástica tienen un porcentaje relativamente bajo de hierro y otras impurezas, puesto que las mismas están constituidas predominantemente de aluminio y sílice, todos los otros óxidos presentes pueden considerarse impurezas.

Los minerales arcillosos se clasifican por su estructura en:

- Laminares.
- Fibrosos.

El grupo laminar comprende los subgrupos de la caolinita, la montmorillonita y micas, cuyas estructuras están formadas por un gran número de planos paralelos idénticos entre sí, formando gran cantidad de columnas agrupadas. Los minerales arcillosos de estructura fibrosa son no plásticos.

Generalmente los minerales arcillosos se encuentran en la naturaleza impurificados por diversos cuerpos procedentes de la roca que los originó, como el cuarzo y el feldespato. Las impurezas debidas al carbonato cálcico, sulfatos sódicos y calcio, hidróxido de hierro y sustancias orgánicas las adquiere durante el traslado y sedimentación.

Las arcillas empleadas en la cerámica no pertenecen a una especie mineral única, están formadas por la asociación de varias, se comunican sus propiedades y características para conseguir mejores resultados en la producción de objetos cerámicos, la arcilla es beneficiada de acuerdo con las técnicas de producción a emplear y el fin que se persiga. Así la producción se diversifica ampliamente en la actualidad.

### **1.3.1. Forma y tamaño de las partículas.**

Muchas arcillas tienen un gran porcentaje de partículas por debajo de 1  $\mu\text{m}$  de diámetro, las cuales pueden considerarse como cristales simples de arcilla. A través del examen en el microscopio electrónico se ha podido determinar que las partículas de arcilla tienen forma plana, alargada en dos dimensiones y delgada en la otra dimensión.

## **1.4 Propiedades de las arcillas.**

### **1.4.1 Plasticidad.**

La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento. Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada

mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción). Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso.

La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla. Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal. En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

Una arcilla es plástica, cuando, previa humectación de la misma, puede con facilidad moldearse en bolas que, comprimidas en una dirección cualquiera, no origina grieta alguna en la pasta cuando el diámetro se ha reducido a su mitad en el sentido de la presión; o cuando en la pasta arrollada en cilindro y curvada en forma de anillo no se produzca tampoco grietas, o cuando estirada una tira, se deja notar visiblemente una reducción de la sección antes de producirse la rotura.

Según los datos de Priklonski, la plasticidad de las arcillas, determinadas por el método de Casagrande, se caracteriza por los valores mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 1.1. Clasificación de las arcillas según su plasticidad.

Arcillas	Número de plasticidad
De alta plasticidad	Mayor que 17
Plásticas	7 - 17
De baja plasticidad	0 - 7

#### **1.4.2 Capacidad de absorción.**

Algunas arcillas encuentran su principal campo de aplicación en el sector de los absorbentes ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar (esmeclitas) o en los canales estructurales (sepiolita y paligorskita).

La capacidad de absorción está directamente relacionada con las características texturales (superficie específica y porosidad) y se puede hablar de dos tipos de procesos que difícilmente se dan de forma aislada: absorción (cuando se trata fundamentalmente de procesos físicos como la retención por capilaridad) y adsorción (cuando existe una interacción de tipo químico entre el adsorbente, en este caso la arcilla, y el líquido o gas adsorbido, denominado adsorbato).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbato con respecto a la masa y depende, para una misma arcilla, de la sustancia de que se trate. La absorción de agua de arcillas absorbentes es mayor del 100 % con respecto al peso.

#### **1.4.3 Hidratación e hinchamiento.**

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmectitas, cuya importancia es crucial en los diferentes usos industriales. Aunque hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las láminas dando lugar al hinchamiento. Este proceso depende del balance entre la atracción electrostática catión-lámina y la energía de hidratación del catión. A medida que se intercalan capas de agua y la separación entre las láminas aumenta, las fuerzas que predominan son de repulsión electrostática entre láminas, lo que contribuye a que el proceso de hinchamiento pueda llegar a disociar completamente unas láminas de otras.

Cuando el catión interlaminar es el sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de hinchamiento, pudiendo llegar a producirse la completa disociación de cristales individuales de esmectitas, teniendo como resultado un alto grado de dispersión y un máximo desarrollo de propiedades coloidales. Si por el contrario, tienen calcio o magnesio como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida.

#### **1.4.4 Tixotropía.**

La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide al amasarlo y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si a continuación se les deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento tixotrópico.

Al añadir una pequeña proporción de arcilla al agua, esta permanece flotando sobre el líquido indefinidamente, alcanzando el estado coloidal. Sin embargo, si se añade más, el líquido se torna viscoso y se resiste a fluir; en cambio, si se agita vigorosamente la suspensión, el líquido recupera su fluidez, perdiéndola nuevamente al cesar la agitación. A esta propiedad se le llama tixotropía, y es típica de muchas de las arcillas comunes.

Tiene su asiento en la afinidad por el agua, así como en la capacidad de hinchamiento del espacio interlaminar, el cual puede alcanzar hasta quince veces el volumen original.

#### **1.4.5 Capacidad de la arcilla de endurecerse al secarla.**

Una particularidad de la pasta de arcilla es su capacidad de endurecerse al secarla al aire libre. La resistencia mecánica de la arcilla secada viene condicionada por la acción de las fuerzas de Van der Waals y la cementación de los granos de minerales por los iones de impurezas. Las fuerzas de presión capilar atraen las partículas de arcilla impidiendo su corrosión, a consecuencia de lo que tiene lugar la retracción aérea.

Durante la saturación de agua desaparecen los meniscos, cesa la acción de las fuerzas capilares, las partículas se desplazan libremente en el exceso de agua y la arcilla se empapa.

#### **1.4.6 Retracción de la arcilla.**

La retracción consiste en que se reducen dimensiones lineales y el volumen de la materia bruta de arcilla durante su secado (retracción térmica). La retracción se expresa en porcentaje del tamaño inicial del artículo.

La retracción aérea transcurre en el proceso de evaporación del agua a partir de la materia bruta, como consecuencia de la disminución del espesor de las capas acuosas alrededor de las partículas de arcilla, aparición en los poros de la materia bruta de meniscos y fuerzas de presión capilar, tendientes a cercar las partículas.

Para diferentes arcillas la retracción aérea lineal oscila entre 2 – 3 y 10 – 12 % en función del contenido de las fracciones finas. Para disminuir las tensiones de retracción, se le añaden a las arcillas grasas desgrasantes, las materias tensas activas introducidas en la pasta arcillosa en cantidad de 0,05 – 0,2 %, mejoran la mojabilidad de las partículas de arcilla por el agua, permitiendo reducir la humedad de moldeo y disminuir la retracción aérea.

#### **1.4.7 Transición durante la cochura al estado pétreo.**

##### **Tecnología de cocción.**

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).

Durante el proceso de cocción de las sustancias arcillosas se produce un conjunto de transformaciones físico-químicas que varía su estructura química y cristalina, aumentando su resistencia mecánica.

1. De 0 a 400 °C se produce la desecación (eliminación del residuo de agua) y el quemado de las materias orgánicas (las impurezas que contenga). En esta etapa hay dilatación, no se producen cambios químicos ni estructurales.

2. De 400 a 600 °C se desprende el agua químicamente unida, descomponiéndose la arcilla en óxidos, cesa la dilatación y comienza la contracción en volumen.
3. De 600 a 900 °C se forma un meta caolín muy inestable que tiende a formar alúmina, muy higroscópico (es decir, absorbe mucha agua).
4. De 900 a 1000 °C reacciona la alúmina con la sílice agregada y se forma el silicato de aluminio ( $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) llamado en mineralogía sillimanita.
5. Más de 1000 °C la sillimanita tiende a transformarse en mullita, un mineral de gran dureza ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ).

### **1.5 Consideraciones acerca de las pastas de arcillas.**

La composición química real de las arcillas, aunque es necesario conocerla, tiene pocas veces algún interés en el proceso de formulación de la mezcla, siendo lo más importante y de mayor interés el carácter físico de las materias primas, tales como: la plasticidad, la estructura de grano y su comportamiento térmico; así como su contracción y fusibilidad.

Una pasta de arcilla no es más que una mezcla de arcillas, o arcilla y otras sustancias minerales terrosas, que se mezclan para lograr una finalidad cerámica determinada. Muchas arcillas, se pueden utilizar sin dificultades tal y como se encuentran en la naturaleza. En la fabricación de ladrillos, por ejemplo, sería antieconómico tener que hacer demasiado mezclado de materias primas. De hecho la arcilla que puede utilizarse para la fabricación de ladrillos corrientes se encuentra en muchos lugares. Igualmente muchas arcillas pueden extraerse del suelo, amasarse con la cantidad adecuada de agua y transformarse en objetos sin hacer ninguna adición.

### **1.6 Ensayos preliminares sobre depósitos de arcilla natural.**

Después de localizado el depósito del material arcilloso, deben realizarse ensayos previos para determinar su posible uso en cerámica. Esto está definido por la aparición en las arcillas de algunas sustancias que se consideran contaminantes, cuya presencia puede incluso, inhabilitarlas para ser usadas. Algunas de estas sustancias son por ejemplo los álcalis solubles, los cuales pueden detectarse por las costras o coloración blanca de la arcilla seca.

La cal es otra sustancia que no debe contener la arcilla debido a que cuando se cuecen cambian de carbonato a óxido cálcico, el cual es inestable en la atmósfera porque absorbe agua y se hincha provocando la rotura de las piezas a los pocos días o incluso a meses de cocida la pasta. La presencia de mucha materia orgánica es perjudicial, ya que torna la arcilla demasiado pegajosa cuando se endurece.

### **1.6.1 Inspección visual y de textura.**

El color de la arcilla natural no es un indicador de su comportamiento luego de la cohesión. No todas las arcillas conservan su color después de cocidas.

El color no define directamente el uso de una arcilla, pues aunque los objetos finos son predominantemente blancos, muchos bellos artículos de arte tienen un color rojo intenso; de modo semejante, aunque los productos de arcilla pesados se fabrican generalmente a partir de arcillas rojas o amarillas tras la cohesión. Los refractarios son a menudo de color muy claro.

La textura de la arcilla natural es útil solamente si es blanda, cuya finura relativa puede apreciarse al tacto. Sin embargo, muchos materiales de grano fino se presentan en masa dura que han de prepararse antes de que se puedan determinar sus propiedades.

### **1.6.2 Tamizado.**

Primeramente es necesario triturar los conglomerados de arcilla hasta lograr el tamaño natural y luego tamizarla. Si la mayor parte de ella queda sobre el tamiz de 18 mallas por pulgada, es improbable que el material contenga mucha sustancia de arcilla y es útil solamente para fines especializados en cerámica. Si queda un pequeño residuo sobre el tamiz de 18 mallas y residuos apreciables sobre los tamices de 60, 100 y 200 mallas, el material será probablemente adecuado para productos cerámicos bastos y una vez molido puede ser bueno para productos finos.

### **1.6.3 Plasticidad.**

Puede comprobarse por un ensayo de plasticidad, mezclando agua gradualmente por amasado a mano con la arcilla pulverizada y haciendo una estimación de la misma, la cual puede resultar, nula, pobre, mediano, bueno, excepcional.

#### **1.6.4 Adiciones a las arcillas para hacerlas útiles.**

Generalmente es necesario hacer adiciones o mezclas a la arcilla natural para ajustarla a las necesidades de conformación y cocción de acuerdo con las finalidades prácticas, sobre todo en arcillas con alto contenido de hierro, como las existentes en la región de Centeno.

Tales exigencias pueden ser por ejemplo; plasticidad excepcional para hacer la arcilla adecuada para el torneado, densidad completa a una temperatura de cocción determinada, blancura y translucidez cuando está cocida o el desarrollo de ciertos colores y texturas deseados.

Para llegar a obtener mezclas adecuadas para un uso dado, se deben comprender las propiedades físicas de las arcillas y su respuesta a la cocción y también las propiedades físicas y térmicas de otros materiales utilizados en las mezclas de arcilla.

Los materiales que constituyen las mezclas de arcilla pueden ser considerados como:

- Plásticos (arcilla).
- Relleno o desgrasantes, que son materiales no plásticos, tales como el pedernal, la chamota o arcilla calcinada.
- Fundente, tales como el feldespató.

Los plásticos dan la trabajabilidad y plasticidad necesarias a la pasta de arcilla; los rellenos o desgrasantes hacen posible que la arcilla se seque con seguridad sin deformación o agrietamiento indebidos y disminuyen el valor de la contracción. Los fundentes controlan el punto de fusión y endurecimiento de la arcilla y hacen que se cueza a un grado satisfactorio de densidad a cualquier temperatura.

La arcilla se puede cambiar de las siguientes maneras:

- Cambios de color o textura: puede desearse modificar el color de cocción de la arcilla para hacerlo más claro o de tono más oscuro, aumentar o disminuir su rugosidad granular o textura.

- Cambios de la plasticidad: puede desearse hacer la arcilla más plástica o menos plástica.
- Cambios para disminuir la contracción o mejorar el secado y cocción, con el mínimo de deformación o agrietamiento.

### **1.6.5 Impurezas más comunes en las arcillas.**

Al localizar el yacimiento de arcilla, se debe determinar su posible uso en la cerámica. Esto está determinado por algunas sustancias que se consideran contaminantes de las arcillas, que las inhabilita para ser usadas con estos fines. Algunas de estas sustancias son por ejemplo los álcalis solubles, los cuales pueden detectarse por las costras o coloración blancas en las arcillas secas. La cal es otra de las sustancias que no debe contener la arcilla, debido a que cuando se cuecen cambian de carbonato a óxido de calcio, el cual es inestable en la atmósfera porque absorbe agua y se hincha provocando la rotura de las piezas a los pocos días o incluso a meses de cocida la pasta.

Otras de las impurezas que contiene la arcilla son las materias orgánicas perjudiciales como son pequeños trozos de madera y hojas, ya que vuelve a la arcilla demasiado pegajosa cuando se endurece. Las piedras de tamaños mediano y pequeño que contienen, también son perjudiciales, ya que al elaborar la pasta y a la hora de secarla o cocerla, se observan incrustamientos en la pasta y es una de las causas de formación de grietas provocando la rotura de la muestra.

### **1.6.6 Pastas de arcillas para tornear.**

La arcilla para tornear debe ser extremadamente plástica; que no absorba agua fácilmente mientras se trabaja. Es aceptable que las arcillas para torneado posean una contracción alta y cierta tendencia a la deformación, además las piezas deben ser tratadas cuidadosamente en el secado y la cocción.

La arcilla plástica se utiliza para aumentar la plasticidad, sin embargo su proporción no debe exceder en un 30 % ya que provoca dificultades con la contracción en el secado y la pasta puede hacerse muy pegajosa.

Como regla general las pastas para tornearse deben hacerse con el porcentaje más pequeño posible de sustancias no plásticas en ellas, tales como el pedernal y el feldespató. Los desgrasantes como el talco pueden disminuir significativamente la plasticidad.

Para hacer formas grandes o altas y especialmente las que tienen más de 30 cm de altura es necesaria una arcilla con algún material que mejore la cohesión entre las partículas. Se ha comprobado que la chamota, con la granulometría adecuada, o la arcilla gruesa le dan la necesaria estructura para el torneado. A las pastas de tornearse en lugar de la chamota o además de ésta, puede añadirse una arcilla refractaria gruesa o arcilla cuarzosa. En general de un 8 al 10 % de material granular puede mejorar el comportamiento de las arcillas de tornearse.

Además puede añadirse bentonita para mejorar su trabajabilidad en el torno. La bentonita se hincha y forma un gel cuando se moja, y la presencia de pequeñas cantidades de ella en la pasta de arcilla aumenta grandemente su plasticidad; sin embargo si se utiliza más de un 2 % aproximadamente de bentonita, la arcilla se hace muy pegajosa y difícil de amasar y un exceso de bentonita puede causar problemas en el secado. La pasta correcta para el trabajo en el torno debe tener una arcilla densa, grasa, bien madura y dócil.

#### **1.6.7 Pastas de arcillas para barro cocido.**

Para formular pastas para barro cocido, con las cuales se pueden obtener ladrillos y piezas de alfarería, tiestos, etc. la variante más económica es utilizar una arcilla natural. La mayoría de las arcillas rojas comunes se cuecen a un estado bastante denso y duro.

La arcilla cocida permanece algo porosa y de estructura abierta. La inmensa mayoría de la cerámica mundial ha sido barro cocido, por lo muy corriente de las arcillas para éste y la relativa facilidad de alcanzar en el horno las temperaturas necesarias para cocerla; pues tiene una calidad táctil blanda y una ligereza bastante diferente al de las formas más densas de cerámica; aunque más quebradizo que la loza y la porcelana, no es tan frágil.

### 1.6.8 Pastas de arcilla para modelar.

Para modelar objetos tales como esculturas, azulejos, piezas arquitectónicas o vasijas grandes son necesarias mezclas de arcillas que sequen rápidamente, cuezan con seguridad y con pequeño peligro de agrietamiento. Un contenido de 20 a 30 % de chamota puede proporcionar las propiedades necesarias para modelar.

Mezclas de arcillas muy plásticas con materiales gruesos como arcillas refractarias y chamota pueden dar el grado de plasticidad adecuado sin aumentar la contracción o afectar el secado y la cocción. Un pequeño porcentaje de bentonita, hasta el 2 ó 3 % aporta cocción adicional y sustentación a la arcilla modelada.

Pueden hacerse pastas de arcillas ligeras mezclando agregados combustibles como aserrín, cascarilla de café, etc. a la arcilla plástica. Estos añadidos orgánicos se queman y desaparecen en la cocción y añaden rugosidad a la pasta mejorando el secado.

### 1.6.9 Requerimientos tecnológicos de la arcilla para cerámica.

El control de los parámetros que caracterizan las diferentes producciones de arcillas, permiten conocer la calidad de las mismas y si cumplen o no los requisitos para su uso y consumo. Los diferentes tipos de arcillas poseen requerimientos tecnológicos de acuerdo con sus características y con el posible uso.

La tabla 1.2 muestra algunos de los requerimientos tecnológicos para las arcillas de alto contenido de hierro o de bajo punto de fusión y para arcillas un poco más puras.

Tabla 1.2. Cerámica que emplea arcillas de bajo punto de fusión.

Arcillas de bajo punto de fusión.	1100 – 1150 °C
Temperatura de cochura.	800 – 900 °C
Absorción.	Menor o igual a 25 %
Contracción al secado.	Menor o igual a 6 %
Pérdida por ignición.	Menor o igual a 10 %
Arcillas.	Mayor o igual a 10 %
Carbonato de Calcio.	Menor o igual a 60 %

Temperatura de cochura.	600 – 700 °C
Contracción al secado.	Menor 5 %
Pérdida por ignición.	Menor 15 %
Contracción a la quema.	1 %
Humedad para introducirla al horno.	11 %

Las arcillas ricas en silicatos de aluminio y pobres en hierro, calcio y magnesio son consideradas arcillas de alto punto de fusión.

#### **1.6.10 Secado de la arcilla.**

##### **Transformaciones durante el 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 efectos irreversibles tales como fisuras y deformaciones. Razón por la cual es necesario optimizar en lo posible la calidad de esta etapa.

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.

La característica más importante del agua intersticial es que al eliminarse del cuerpo cerámico, genera una contracción de la misma, 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 desuniformidad, 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.

El secado de la arcilla va siempre acompañado de contracción. La arcilla plástica se contrae alrededor de un 5 % y las muy plásticas pueden contraerse hasta un 8 %.

A medida que se desarrolla el proceso de secado, el agua superficial eliminada se reemplaza por el agua proveniente del interior de la pieza, debido a ello, las partículas se van acercando unas con otras, alcanzándose la contracción máxima, cuando todas las partículas se hallan en contacto.

La contracción aunque se desarrolle lentamente provoca dificultades durante el secado. A medida que la película de agua entre los granos de arcilla se pierde por evaporación, las partículas se acercan más entre sí cerrando el espacio interlaminar. Cuando la superficie de la masa de arcilla 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.

La contracción y el secado están relacionados generalmente con la estructura del grano de la arcilla y por tanto con la plasticidad. Las arcillas de tamaño de grano muy fino se contraen más, debido a la presencia de mayor cantidad de intersticios llenos de agua que se cierran, cuando toda el agua se ha evaporado y las partículas están en contacto, ha concluido el secado, y a pesar de que ellas pueden estar húmedas el secado no está completo, hasta que se elimine por evaporación.

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.

#### **1.6.10.1 Formas de facilitar el secado.**

El proceso de secado se facilita añadiendo a la arcilla cualquier tipo de partículas no plásticas, las cuales tienden a absorber menos agua que la arcilla y proporcionan poros abiertos o canales a través de los cuales se evapora el agua.

Las partículas no arcillosas, especialmente las de tamaños relativamente grandes tienen gran uso cuando los objetos deben hacerse con paredes gruesas como esculturas o terracotas. En este caso se utiliza comúnmente la chamota, que no sufre contracción posterior y disminuye la contracción total.

Otros materiales que también pueden disminuir la contracción y favorecer el secado rápido son el cuarzo y el feldespato. Se debe tener en cuenta que cuando se necesita de una arcilla muy plástica, por ejemplo en el torneado, los materiales no plásticos deben mantenerse al mínimo. Las pastas de arcillas varían considerablemente su resistencia en seco. Un objeto hecho de arcilla plástica puede ser 6 ó 7 veces más resistente que uno hecho de caolín. La propiedad de resistencia en seco está directamente relacionada con el tamaño de las partículas y en consecuencia con la plasticidad.

#### **1.6.11 Tobas vítreas.**

##### **Principales tipos de puzolanas**

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

de diatomeas, o las arcillas calcinadas por vía natural a partir del calor o de un flujo de lava.

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

#### **1.6.12 Clasificación de las puzolanas según su origen.**

Las puzolanas según su origen se clasifican en dos grandes grupos: naturales y artificiales, aunque existe un grupo intermedio constituido por puzolanas naturales, que necesitan tratamientos para su activación para aumentar su reactividad.

Las puzolanas naturales son productos minerales sílice-aluminosos, con estructura imperfecta o amorfa y de grano fino que los hacen aptos para su uso como aditivos activos en la industria del cemento.

Entre las puzolanas naturales están las acumulaciones de cenizas generadas durante las erupciones volcánicas explosivas, que por su alto contenido de materiales vítreos son propensas a sufrir reacciones como las requeridas para las puzolanas.

Más tarde por procesos geológicos de enterramiento estas cenizas se convierten en tobas, las cuales son rocas volcánicas bastante porosas, característica que les confiere una gran superficie interna, lo que favorece su reactividad, entonces, como puzolana sirve tanto el sedimento como la roca.

Cuando se habla de rocas y materiales volcánicos, hay que considerar dos factores controladores de la actividad puzolánicas; por una parte, la composición química del magma originario que determina la de los productos, y por otra, la constitución y textura de los minerales de dichas rocas, las cuales dependen de la velocidad de enfriamiento y de

los procesos de meteorización que los hayan afectado. En las rocas volcánicas son especialmente interesantes las rocas ácidas (ricas en cuarzo y feldespato).

### **Conclusiones parciales.**

- 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 objetos cerámicos.
- Se constató que existe un estudio que permite evaluar las propiedades de agrietamiento y secado de las mezclas de arcillas y tobas vítreas para su utilización en la industria de Materiales Locales.

## **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 métodos y materiales merece una especial atención. De ahí que el objetivo de este capítulo sea caracterizar los principales materiales a utilizar y los métodos empleados para la realización del trabajo.

### **2.1 Los materiales a utilizar.**

Para realizar el diseño de experimento de la investigación se emplearán los siguientes materiales:

- Arcilla parda.
- Arcilla amarillenta.
- Tobas vítreas.

### **2.2 Características de las arcillas de la región de Bayamo.**

El yacimiento de arcilla Bayamo está formado por depósitos cuaternarios de origen continental con influencia marina ubicándose la misma como perteneciente a la parte alta de la formación Cauto. Las litologías del yacimiento incluyen arcillas, arcillas arenosas, arenas arcillosas, gravas y gravas arenosas. El mineral útil está compuesto por arcillas generalmente de color parda con variables grados de plasticidad, con tendencia a la profundidad.

Estas arcillas en su estructura representan un aumento gradual en los contenidos de nódulos de carbonato de calcio en profundidad hasta llegar al límite basal del yacimiento, ocupados en su mayoría por una capa de sedimentos más gruesos (gravas, arenas y arcillas arenosas con nódulos de carbonato) probablemente perteneciente a la formación Bayamo.

Tomando en consideración el color, plasticidad, granulometría y contenido en carbonato las arcillas del yacimiento se han dividido en tres tipos:

1. Arcillas de color gris hasta carmelita, poco o finamente arenosa y plástica.

2. Arcilla de color carmelita con manchas claras, plástica con algunos nódulos de carbonato.

3. Arcillas de color amarillenta, algo arenosa, calcáreas y con poca plasticidad.

El sector se encuentra a 4 km del centro de Bayamo, adyacente a la carretera de Manzanillo y aproximadamente a 500 m de la planta de cerámica "La Cañada", a unos 300-400m al este del depósito del río Bayamo.



Figura 2.1 Depósito de arcilla Bayamo.

Tabla 2.1 Composición química de la arcilla del yacimiento Bayamo.

<b>Nº</b>	<b>Componentes</b>	<b>Contenido (%)</b>
<b>1</b>	SiO <sub>2</sub>	55,46
<b>2</b>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,38
<b>3</b>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,33
<b>4</b>	MgO	2,06
<b>5</b>	CaO	4,53
<b>6</b>	Na <sub>2</sub> O	2,90
<b>7</b>	MnO	0,18
<b>8</b>	K <sub>2</sub> O	0,63
<b>9</b>	CaCO <sub>3</sub>	9,53

### 2.3 Características de la arcilla de la región de San Juan.

El yacimiento se encuentra ubicado a unos 2,5 km del poblado del central azucarero del municipio Bartolomé Masó, pertenece administrativamente al municipio Bartolomé Masó, provincia Granma.

En la superficie del yacimiento se observa una amplia distribución de arcillas muy plásticas, este está formado por tres tipos litológicos de rocas:

- Capa vegetal constituida por un pequeño espesor de arcilla de color carmelita oscuro casi negro, presenta muchas raíces y restos orgánicos.
- Arcillas de color rojo rosado de granulometría fina muy plástica.
- Arcilla de color carmelita claro y oscuro, amarillas con vetas rojizas de granulometría algo arenosas de mediana plasticidad.
- Arcilla arenosa, arena arcillosa de color carmelita claro con muchos fragmentos de rocas frescas y alteradas.

Tabla 2.2 Composición química de la arcilla del yacimiento San Juan.

Nº	Componentes	Contenido (%)
1	SiO <sub>2</sub>	53,32
2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,84
3	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,16
4	MgO	0,78
5	CaO	0,70
6	Na <sub>2</sub> O	2,01
7	TiO <sub>2</sub>	0,34
8	K <sub>2</sub> O	0,87
9	otros	9,98

### 2.4 Características generales de las tobas vítreas del yacimiento Sagua de Tánamo.

El material tobaceo del yacimiento Sagua de Tánamo se caracteriza por ser vitroclástico y vitrocristalocástico, de color blanco grisáceo, de granulometría fina a media, generalmente abrasiva al tacto, poroso, ácido con alto contenido de SiO<sub>2</sub> (60,84 %), según la tabla (2.3) conteniendo vidrio volcánico superior a 50 %. Estas tobas 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 feldspatos, calcita, dentro de la composición mineralógica. Bandera et al, (1997).

Tabla 2.4: Características mineralógicas del material tobaceo estudiado. (Almenares, 2011).

<b>Material puzolánico.</b>	<b>Matriz vítrea, (%)</b>	<b>Contenido de arcilla, (%)</b>	<b>Principales fases cristalinas.</b>
Tobas vítreas Sagua de Tánamo.	54 - 80	16 - 39	Montmorillonita, albita, anortita, apatito, dióxido, hematina, hiperstena, menita, ortoclasa, cuarzo, esfena, X-magnesio.

Tabla 2.3: Composición química del yacimiento de tobas vítreas Sagua de Tánamo.

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

## 2.5 Diseño de Experimento.

Por la sencillez y la rapidez de la obtención de los resultados, el método tradicional de experimentación, en las investigaciones exploratorias, lo hacen candidato para ser utilizado en este trabajo. El mismo consiste en realizar experimentos en los cuales varía solamente un parámetro y se mantienen constante todos los demás. De este modo, la variación de las respuestas se puede atribuir entonces a un solo factor.

Para el estudio de la actividad de la mezcla se analizará solamente la influencia de la presencia de tobas vítrea en la fragilidad y secado con sustitución parcial del 10 al 40 % por las arcillas utilizadas, de Bayamo y San Juan.

## 2.6 Método a utilizar.

- Método de investigación.

Es una especie de brújula en la que no se produce automáticamente el saber, pero que evita perdernos en el caos aparente de los fenómenos, aunque solo sea porque nos indica como no plantear los problemas y como no sucumbir en el embrujo de nuestros prejuicios predilectos. En este trabajo estuvo presente principalmente en el capítulo 1 en el que toda la información que se obtuvo fue mediante la investigación y gestión de la información.

- Método empírico.

Definidos de esa manera por cuanto su fundamento radica en la percepción directa del objeto de investigación y del problema, se aproximan al conocimiento del objeto mediante sus conocimiento directo y el uso de la experiencia, entre ellos encontramos la observación y la experimentación.

El método empírico consiste en la realización de cualquier actividad a partir de los conocimientos con que se cuenta. Este método permitió desglosar distintas actividades encaminadas a la realización del trabajo de diploma entre las cuales se encuentran:

- ❖ Trabajo de campo.
- ❖ Toma de las muestras.
- ❖ Trabajo de laboratorio.
- ❖ Trabajo en la industria de Cerámica.

### **2.6.1 Trabajo de campo.**

El desarrollo del trabajo de campo se dirigió fundamentalmente a obtener el mayor volumen de información sobre el objeto que se está analizando y estudiando, que son la arcilla de Bayamo y San Juan, así como la Toba Vítreo de Sagua de Tánamo.

### **2.6.2 Toma de las muestras.**

Las muestras de tobas vítreas se tomaron mediante el método por puntos, que consistió en la toma de muestra de tres partes diferentes del envase donde se encontraba, por lo cual no hubo necesidad de ir al Picao de Sagua de Tánamo a tomar muestra ya que existían 9 kg en laboratorio de Beneficio de Minerales del Instituto Superior Minero Metalúrgico con una granulometría igual 0,19 mm, por lo que fue sometida a un proceso de reducción de tamaño que se realizó en un molino de bolas, figura 2.1 presente en la planta de beneficio hasta obtener una granulometría menor a 0,2 mm de diámetro, la toba vítreo utilizada en los ensayos se llevó hasta ese tamaño con el objetivo de liberar el contenido de montmorillonita que presenta en su interior, que es de un 22,95 %.

Las muestras de arcilla de Bayamo y San Juan fueron tomadas en su respectivo yacimiento también por el método por punto, pero estas con una granulometría no mayor de 65 mm respectivamente, la cual fue sometida a un proceso de reducción de tamaño y un aumento de la superficie de contacto que se realizó en un molino de bolas de igual características al utilizado con las tobas vítreas, por lo que se obtuvo de forma general un material con la misma granulometría, lo cual facilitó una mejor homogenización de la mezcla elaborada.

- Muestras tomadas directamente de los yacimientos arcilla Bayamo (45 %) y arcilla San Juan (45 %) y un 10 % de tobas vítreas de Sagua de Tánamo.
- Muestras tomadas de un 40 % del yacimiento arcilla Bayamo, 40 % del yacimiento arcilla San Juan y un 20 % de tobas vítreas de Sagua de Tánamo.
- Muestras tomadas de un 35 % del yacimiento arcillas Bayamo, 35 % del yacimiento de arcillas San Juan y 30 % de tobas vítreas de Sagua de Tánamo.
- Muestras tomadas de un 30 % del yacimiento arcillas Bayamo, 30 % del yacimiento de arcillas San Juan y 40 % de tobas vítreas de Sagua de Tánamo.

### **2.6.3 Trabajo de laboratorio.**

En el trabajo de laboratorio consistió en la utilización de los equipos para la realización de los experimentos dentro de los cuales se encuentran el molino de bolas, figura 2.2, la balanza de dos platos figura, 2.1, la tamizadora en conjunto con un tamiz de 0,2 mm de diámetro, figura 2.3.

### **2.6.4 Trabajo en la industria de Cerámica.**

El trabajo en la industria cerámica se llevó a cabo, luego de obtenidas las masas en el laboratorio de Beneficio de Minerales del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM) estas fueron trasladadas hasta la institución de Industrias Locales de Moa en el cual las personas calificadas para la elaboración de las piezas dieron su opinión acerca de las masas confeccionadas en el ISMMM, y mediante el método más sencillo, es decir, doblando o roscando un cilindro fino, en el cual no deben aparecer grietas, (en caso de agrietarse la masa, la plasticidad es baja), de las cuales se obtuvieron resultados

satisfactorios para un 10 y 20 % de toba vítrea respectivamente ya que las que tenían un 30 y 40 % del mismo aditivo no permitían ser moldeadas debido a la poca plasticidad que le brindaba el material añadido. Para la elaboración de la mezcla se dosificó de acuerdo a los porcentajes planteados anteriormente teniendo en cuenta que la masa total de cada muestra es 16 kg, en la que se fue sustituyendo paulatinamente las masas de arcillas por la toba vítrea. En este caso se usó una balanza conocida en las literaturas como balanza de dos platos de 20 kg (Mérleggyár Hódmezővásárhely) confeccionada en Hungría, la cual se muestra en la figura 2.1.



Figura 2.1: Balanza de dos platos.

## 2.7 Preparación de los materiales en cuanto a su dosificación.

A partir del ejemplo que se muestra en la tabla 2.5 se elaboran un número de probetas según la dosificación mostrada en la misma, con diferentes dosificaciones a las cuales se le realiza nuevamente el proceso de tamizado pero en este caso por vía húmeda con el objetivo de retirar la arena que está presente en la materia prima y que por vía seca no se puede separar, principalmente la arena que se encuentra presente en la arcilla de Bayamo.

Tabla 2.5: Dosificación para la conformación de las piezas.

Material	Dosificación %			
	1	2	3	4
arcilla parda	45	40	35	30
arcilla amarillenta	45	40	35	30

<b>toba vítrea</b>	10	20	30	40
--------------------	----	----	----	----

De todos los experimentos los resultantes fueron el 1 y el 2 respectivamente.

Tabla 2.6: Mezclas para analizar a diferentes ensayos.

<b>Mezclas</b>	<b>arcilla parda</b>	<b>arcilla amarillenta</b>	<b>toba vítrea</b>
<b>M1</b>	45	45	10
<b>M2</b>	40	40	20
<b>M3</b>	35	35	30
<b>M4</b>	30	30	40

## **2.8 Materiales.**

Para la realización de este trabajo se contó con la ayuda de trabajadores de la empresa de Industrias Locales de Moa. Las muestras fueron tomadas del yacimiento arcilla Bayamo y San Juan, la cual presenta un color pardo y amarillento con alta plasticidad. Ambos materiales constituyen la fuente primaria de la empresa antes mencionada así como también de la institución materiales de construcción Granma, perteneciente a la empresa conocida como (GRAMAT), la cual basa su producción en materiales de la construcción tales como bloques, tejas, celosías, encofrados. Además se utilizó toba vítrea del yacimiento El Picao, radicado en el municipio de Sagua de Tánamo, provincia Holguín la que va hacer utiliza como aditivo para dicha arcilla.

## **2.9 Esquema tecnológico.**

La preparación de las muestras se realiza siguiendo el siguiente esquema:

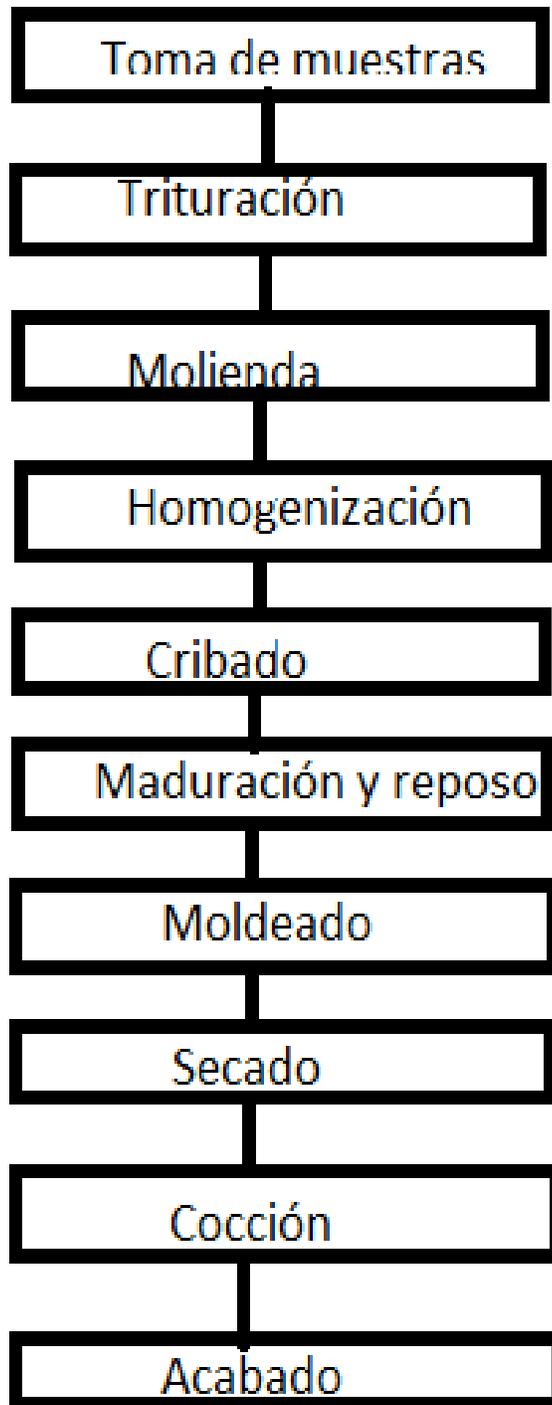


Figura 2.2: Esquema de obtención de las piezas.

### 2.9.1 Trituración.

La trituración se llevó a cabo con el objetivo de reducir el tamaño de las partículas en una trituradora de mandíbulas (TQ (150x75), figura 2.3; las cuales tienen un diámetro de alimentación de 100 y 25 mm y de descarga de 25 y 4,76 mm, respectivamente.



Figura 2.3 Trituradora de mandíbulas.

### 2.9.2 Molienda y homogenización.

Se trituró a una granulometría entre 25 y 5 mm, luego se llevó a cabo la molienda, durante 10 minutos, la cual se realizó para disminuir el tamaño de las partículas hasta un diámetro menor a 0,2 mm, donde hubo un cribado previo y donde las partículas retenidas en el tamiz que eran las que tenían un diámetro mayor a 0,2 mm fueron incorporadas nuevamente al proceso de molienda para así alcanzar la granulometría requerida y aumentar la superficie de contacto de las mismas y así lograr una mayor interrelación entre los materiales empleados como también obtener una buena homogenización de la mezcla, la que también se realizó en un molino de bolas, mostrado en la figura 2.2.



Figura 2.3: Molino de bolas (Tipo M6T).

### 2.9.3 Tamizado.

El tamizado se realizó con el objetivo de liberar las partículas extrañas que acompañaban la materia prima para así obtener una mezclas con una gran calidad, este proceso se llevó a cabo en laboratorio de Beneficio de Minerales del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa donde se empleó la tamizadora con un tamiz de 0,2 mm de diámetro, como se muestra en la figura 2.3.



Figura 2.4 Tamiz (0,2 mm).

#### **2.9.4 Maduración.**

Antes de incorporar la arcilla al ciclo de producción, hay que someterla a ciertos tratamientos de trituración, homogenización, tamizado y reposo, con la finalidad de obtener una adecuada consistencia y uniformidad de las características físicas y químicas deseadas.

El reposo tiene en primer lugar, la finalidad de facilitar el desmenuzamiento de los terrones y la disolución de los nódulos para impedir las aglomeraciones de las partículas arcillosas. 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.

##### **2.9.4.1 Depuración de la mezcla.**

Antes de ser modelada, la arcilla debía someterse a diversos procesos de depuración encaminados a reducir la cantidad de elementos extraños (piedras, vegetación) que se encontraban en la pasta tras su extracción.

El sistema de depuración de la arcilla que se utilizó fue la limpieza a mano, la depuración por la acción de los agentes naturales y el filtrado en agua.

#### **2.9.5 Moldeado.**

El moldeado consiste en obtener una masa más compacta, se puede utilizar las manos u otros equipos como el torno, figura 2.5. Debe de obtenerse una humedad más uniforme y una masa más compacta.



Figura 2.5 Torno.

### 2.9.6 Secado.

El secado es una de las fases más delicadas e importante 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, el tiempo de duración del secado de las piezas dura hasta 7 días, para de esta manera poder pasar a la fase de cocción y acabado de la figura o pieza elaborada.



Figura 2.6 Secado de las piezas.

### **2.9.7 Cocción.**

La cocción de las piezas ornamentales se realizó en un horno figura 2.7, después de ser cargado en su totalidad es calentado hasta 200 °C, este calentamiento se realiza con el objetivo de eliminar el agua externa que contienen las figuras y evitar el agrietamiento al alcanzar las altas temperaturas, al llegar a esa temperatura el mismo es apagado y al día siguiente es encendido nuevamente pero en este caso hasta una temperatura de 800 °C por un período de 9 a 12 horas, las figuras ya después del proceso de cocción permanecen en reposo por dos días para luego darle el acabado que consiste en pintar dichas figuras.



Figura 2.7 Horno de cocción.

### **2.9.8 Acabado.**

El acabado consiste en después de cocción de las piezas, estas se dejan en reposo por tres días y luego son trasladadas hacia él donde dichas figuras se pintan, y quedan listas para la venta.

### **2.10 Preparación de las mezclas para la conformación de las piezas.**

Para la preparación de la mezcla se utilizaron dos tipos de arcilla, arcilla parda del yacimiento Bayamo y arcilla amarillenta del yacimiento San Juan y las tobas vítreas pertenecientes al yacimiento “El Picao”, ubicado en la carretera Moa-Sagua de Tánamo. Las muestras fueron trasladadas hacia el laboratorio de Beneficio de Minerales del Instituto Superior Minero Metalúrgico para la preparación de dicha mezcla. La muestra

general se constituyó por 8 kg de arcilla parda y 8 kg de arcilla amarillenta lo que suma una masa total de 16 kg , por la cual paulatinamente se fueron sustituyendo por el aditivo que en este caso fue la toba vítrea que se sustituyó en un 10; 20; 30 y 40 % de la misma, este material en su totalidad fue sometido a un proceso de trituración y tamizado con la finalidad de purificar, refinar la materia prima, así como eliminar del resto de la materia orgánica, piedras y otras sustancias propias de las canteras. Se trituró a una granulometría entre 10 y 20 mm, luego se molió hasta obtener una granulometría inferior a 0,2 mm de diámetro.

Estos procesos de trituración y tamizaje se realizaron con el objetivo también de eliminar los nódulos de carbonato de calcio presentes en las arcillas, principalmente en el yacimiento Bayamo, que se caracteriza principalmente por presentar altos contenidos de esta sustancia, lo cual conlleva a la aparición de grietas o fisuras en los productos cerámicos durante el secado y la cocción debido a que el carbonato de calcio al calentarse principalmente este se descompone en óxido de calcio y monóxido de carbono, por lo que el gas tiende a salir del interior de la estructura de la pieza y es por eso que provoca este agrietamiento y fisuras de las mismas. Luego se sometió la homogenización de la las dos arcillas y la toba vítrea respectivamente con abundante agua y luego se dejó en reposo con el objetivo de obtener una adecuada consistencia y uniformidad de las características físicas y químicas de la mezcla, pasando al proceso de maduración de la mezcla por un período de 15 a 21 días para lograr la humedad y plasticidad necesaria requerida de la misma, a los quince días la pasta obtenida pero ya un poco más consistente es trasladada de la piscina donde permaneció por ese período y es colocada sobre la superficie de sacos en pequeñas cantidades para así acelerar en gran medida su secado, la pasta que ha sido movida hacia esos depósitos se le da un tiempo de reposo que alcanza los tres días, ya al cumplimentarse este tiempo la masa obtenida ya está lista para la confección de las figuras o tiestos el cual se lleva a cabo de forma manual por las personas encargadas con la ayuda de un torno, figura 2.5, ya obtenidas las figuras se pasa a la decoración de las mismas que nos es más que la realización de dibujos a las piezas antes confeccionadas, posteriormente a dichas piezas se les realiza la cocción para mejorar las propiedades.

La mezcla de arcillas con las mismas características es utilizada en la industria de materiales de construcción de la provincia Granma (GRAMAT), donde se fabrican bloques y tejas, entre otros materiales para la construcción, está compuesta por arcilla parda (50 %), del yacimiento que se encuentra en Bayamo próximo al local donde se está enmarcada la industria, y de arcilla amarillenta (50 %) ubicado en el municipio Bartolomé Masó, sin adicionar otro tipo de material. Estas arcillas se utilizan de forma natural, es decir tal y como son extraídas del afloramiento, sin recibir tratamiento de molienda y tamizado alguno, solamente adicionando agua hasta obtener una pasta moldeable.

Con la pasta confeccionada de esta manera se han obtenido resultados satisfactorios en la fabricación de materiales de la construcción con alto grado de aceptación en la sociedad. Pero existe un problema que debemos tener en cuenta y es que; existe la ocurrencia de agrietamientos de los productos cerámicos obtenidos, debido a la trituración deficiente de las mezclas de arcilla.

Ha quedado demostrado que las arcillas del yacimiento Bayamo, por sí solas no deben ser utilizadas para la elaboración de materiales de la construcción por la alta plasticidad, alto contenido de carbonato de calcio y granulometría fina que presentan, debido a que son yacimientos aluviales, que dan una serie de pigmentos arcillosos de baja calidad, muy variable por su composición. Por lo que es necesario mezclarla con otro material de granulometría más gruesa, que actúe como desgrasante para que ayude a ajustar la excesiva plasticidad de la mezcla, aumente la porosidad y facilite el secado de los productos obtenidos.

### **Conclusiones parciales**

- Se determinaron las características y las propiedades generales de las arcillas empleadas en el proceso así como el de las tobas vítreas de Sagua de Tánamo, las cuales en porcentajes específicos son adecuadas para su utilización en la producción de tiesto y figuras en la empresa de Industria Locales de Moa.
- El tiempo de maduración y secado se realizó durante 21 días.

### **3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS E IMPACTO MEDIOAMBIENTAL.**

El actual trabajo establece un paso muy significativo para el perfeccionamiento de nuevos materiales con buenas posibilidades de ser utilizado como materiales aditivos. Se ha podido constatar de manera particular que en la provincia Holguín existen municipios con posibilidades de explotar recursos minerales para la construcción, así como para la confección de objetos ornamentales, uno de ellos es el municipio de Sagua de Tánamo. Lo cual puede ser de gran beneficio para el desarrollo local del mismo.

#### **3.1 Análisis de los resultados.**

Luego de los ensayos realizados para la conformación del trabajo, se exponen a continuación los resultados donde se demuestran las características de agrietamiento y secado de las piezas confeccionadas entre otras informaciones obtenidas.

##### **3.1.1 Proceso de maduración.**

El proceso de maduración y reposo tiene en primer lugar, la finalidad de facilitar el desmenuzamiento de los terrones y la disolución de los nódulos para impedir las aglomeraciones de las partículas arcillosas. Favorece, además, la descomposición de la materia orgánica que pueda estar presente y permite la purificación química y biológica del material. Se vió reflejado en este proceso que las mezclas obtenidas con los distintos porcentaje de toba vítrea variaron el tiempo de maduración y a la vez el secado de la misma, esto se debe a que la toba vítrea en granulometría fina presenta propiedades físico estructurales que la hacen desempeñarse como puzolana, cuyas partículas al reaccionar con el agua forman una matriz sementada.

La figura 3.1 presenta a continuación como varía el tiempo de maduración a medida que se incrementa el porcentaje del aditivo utilizado.

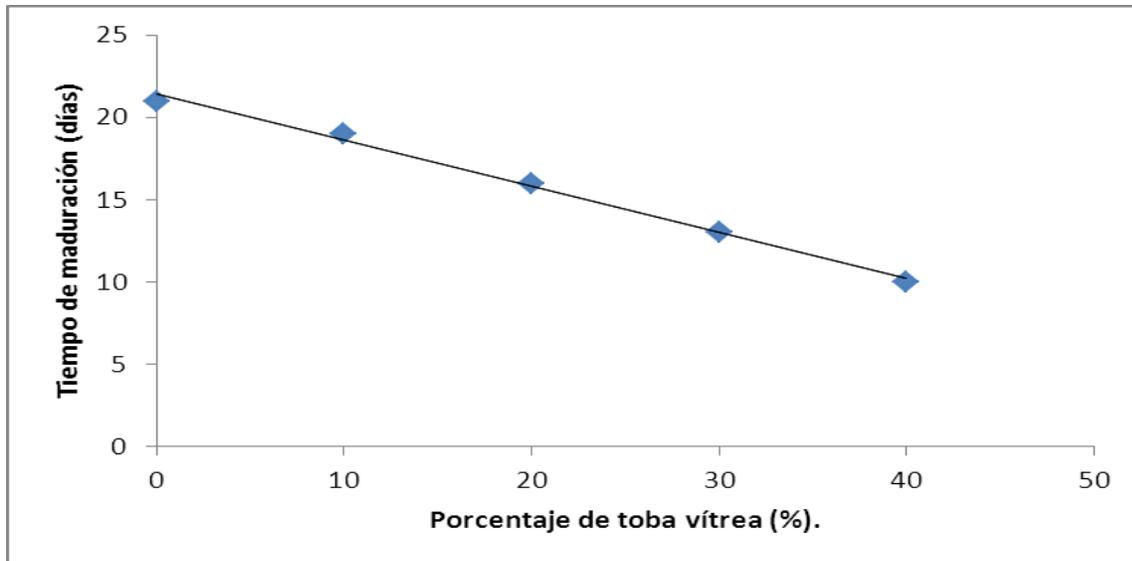


Figura 3.1: Tiempo de maduración de la mezcla.

Como se puede observar, el gráfico brinda una panorámica acerca del comportamiento de las mezclas obtenidas para la confección de los objetos con la utilización o no de aditivos, donde se observa que a medida que se va aumentando el porcentaje de toba vítrea el tiempo de maduración va disminuyendo, aunque las mezclas de menor tiempo de maduración 30 y 40 % carecen de plasticidad lo que las hace inutilizables, esto se logró al ejercer la comprobación de la plasticidad por el método tradicional el cual se hace referencia en el capítulo 2.

### 3.1.2 Plasticidad de las mezclas.

Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. A través del método utilizado para conocer la plasticidad de la mezcla que se hace referencia en el capítulo 2, y la facilidad que nos brinda dicho método en la práctica por ser sencillo, rápido y eficaz, se determina que la plasticidad de dos de las cuatro mezclas es buena, debido a que cuando se aplica el método estudiado, donde se logra doblar el cilindro observando que el mismo no presenta grietas, figura 3.2, en este caso fueron las que presentan un 10 y 20 % de tobas vítrea respectivamente, ya que las mezclas que contaban con un 30 y 40 % de mismo aditivo se agrietaban con gran facilidad, figura 3.3, debido a que este activo actúa como un

desgrasante disminuyendo su plasticidad, le proporciona un mayor porcentaje de porosidad, poca retención de agua, por tanto hace que la mezcla pierda plasticidad.



Figura 3.2 Cilindro sin grietas.

Figura 3.3 Cilindro con grietas.

### 3.2 Secado de las piezas.

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. 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. 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. Durante este proceso se producen la contracción de las piezas al perder el agua externa, disminuyendo sus dimensiones iniciales y características físicas de las piezas, las que de no transcurrir dentro de ciertas condiciones, producen efectos irreversibles tales como fisuras y deformaciones. El secado de dichas piezas tuvo gran variabilidad debido a la influencia del aditivo utilizado.

En la figura 3.4 se muestra cómo se comporta la estructura de la arcilla durante el secado.

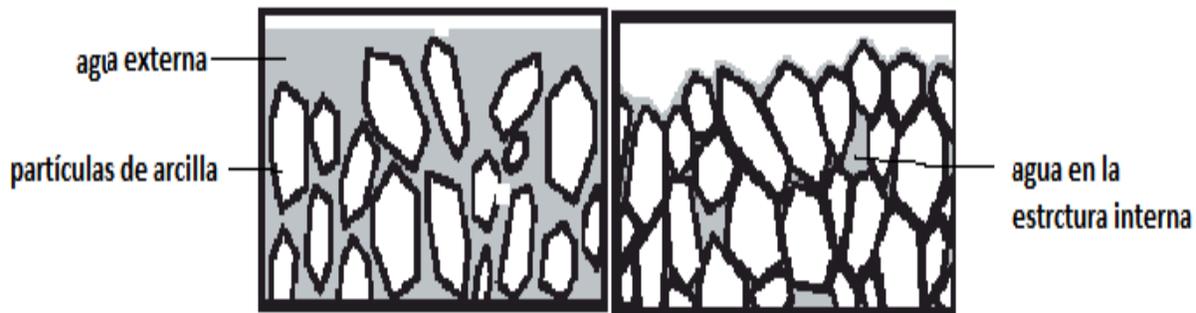


Figura 3.4: Transformación de la estructura de la arcilla durante el secado.

La gráfica que se muestra a continuación establece una relación entre el porcentaje de aditivo añadido y el tiempo de secado de las piezas. El secado natural se encuentra entre los más utilizados por los productores artesanales y depende fundamentalmente de las condiciones medioambientales.

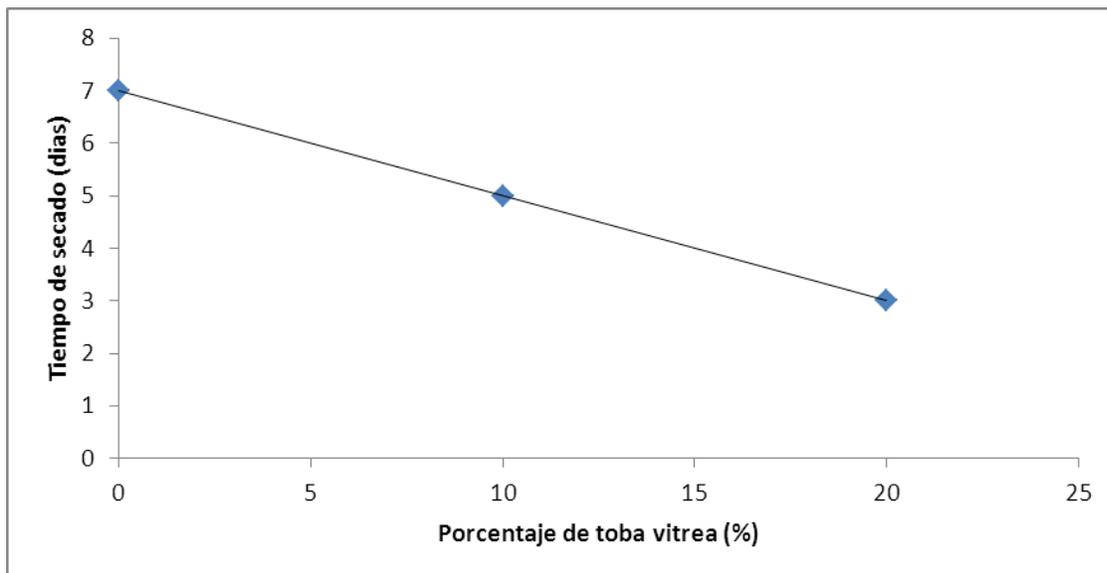


Figura 3.5: Tiempo de secado de las piezas.

Como se puede observar la gráfica muestra el comportamiento del secado de las piezas después de ser moldeadas, el cual se puede notar la disminución del tiempo de secado de los tiestos a medida que se incrementó el porcentaje de tobas vítrea, donde se aprecia

que las piezas sin la adición de toba alcanzan hasta 7 días en su secado antes de la cocción dicho resultado coincide con los resultados obtenidos por Betancourt (2013), mientras las que tienen un 10 y 20 % del mismo aditivo tardan 5 y 3 días respectivamente por lo que se observa la gran influencia del aditivo añadido en granulometría fina, con el agua debido a sus propiedades físico estructurales.

### 3.3 Proceso 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, electricidad y que al alcanzar altas temperaturas, hace posible el horneado o cocción de las piezas, como así lo refiere el artículo de Romero, (2004).

La figura muestra cómo se comporta la estructura de las arcilla al ejercer el precalentamiento donde se elimina el agua higroscópica que acompaña la pieza a una temperatura igual 400 °C.

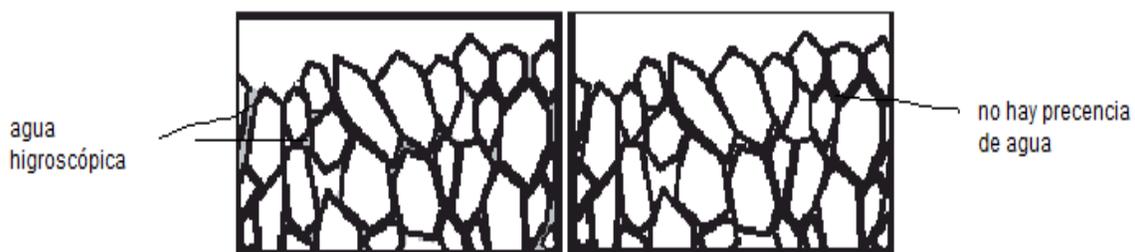


Figura 3.6 Estructura de la arcilla durante la cocción.

En la figura 3.7 se puede observar la estructura de la arcilla utilizada en el proceso hasta 800 °C de temperatura, donde se aprecia gran cantidad de partículas de color blanco, lo

cual es la presencia de carbonato de calcio el cual incide perjudicialmente en la confección de las piezas.



Figura 3.7 Estructura microscópica de la arcilla.

### 3.4 Agrietamiento de las piezas.

Una de las causas del agrietado de las piezas es la presencia de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en las arcillas utilizadas en la elaboración de las mezclas, principalmente la arcilla de Bayamo; 9,53 %; por lo que al someter las piezas al proceso de cocción, el carbonato de calcio presente en las arcillas se descompone en óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a una temperatura de 780 °C, donde dicho gas trata de salir a la superficie provocando a su salida fisuras en los objetos confeccionados. Con la adición de las tobas vítreas al proceso las fisuras en las piezas desaparecieron ya que el aditivo empleado reaccionó con la materia prima utilizada, donde reaccionó con características parecidas a las puzolanas cuando reaccionan con el cemento, donde se origina la formación de un gel cementicio.

La presencia del óxido de calcio en fracciones gruesa presente en la arcilla da a la formación de caliche (nódulos de carbonato de calcio), (figura 3.8), provocando fisuras y grietas en los productos cerámicos, afectando las propiedades físico – mecánicas y de

durabilidad de los mismos, dándole a estos la no conformidad, al no cumplir los requisitos exigidos, lo que provoca la eliminación de los mismo del área de producción.

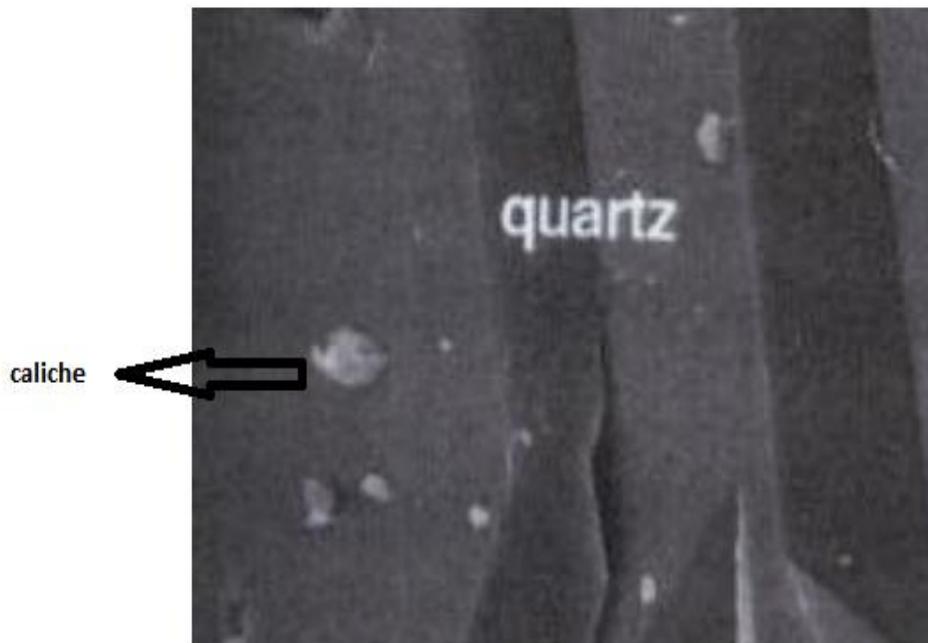


Figura 3.8 Presencia de caliches en la arcilla.

Como se puede apreciar en las figuras 3.9 al realizar la cocción de los objetos estos se agrietan por la parte más fina que poseen debido a la salida del gas por esta superficie ayudado en gran medida por las contracciones y transformaciones que van ocurriendo a medida que transcurre el tiempo de cocción y se va perdiendo la humedad que existe en el interior de los objetos que van llevando al límite de plasticidad a las secciones de dicha pieza, afectando principalmente las partes que tienen menor masa, convirtiéndose estas es las más vulnerables para la ocurrencias de dichas fisuras. Mediante la utilización de las tobas vítreas en la cocción de las piezas se obtuvo una pieza sin grietas y con gran brillo como se aprecia en la figura 3.10, esto se debe a la reacción del aditivo añadido con las arcillas utilizadas, así como la sustitución de un material con un porcentaje de carbonato de calcio menor, en este caso fue de 5,02 % que es el máximo porcentaje que se puede utilizar para la confección de materiales cerámicos, (Betancourt 2011).



Figura 3.9: Objeto con grietas.



Figura 3.10 Objeto sin grietas.

### **3.5 Consumo energético para la cocción de las piezas.**

Como aporte económico, se enmarca en la disminución del tiempo de cocción de las piezas, que para este caso se ahorran 65,5 kW/h, ya que sólo es necesario realizar el proceso de cocción en ocho horas, disminuyendo el tiempo de trabajo para 12 h que es el que se emplea actualmente en la práctica, para la elaboración de los objetos.

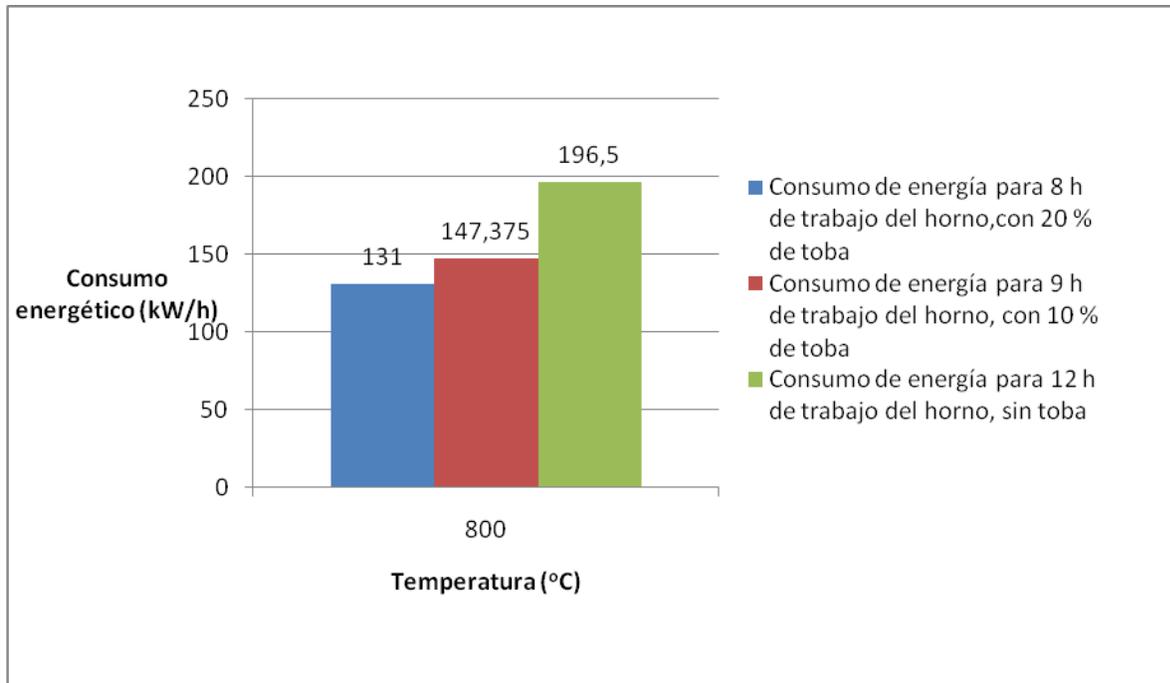


Figura 3.11: Consumo energético de las piezas.

En la figura 3.11 se muestra el consumo de energía empleado en la cocción de las piezas por lo que se puede apreciar la variabilidad del mismo debido al aditivo empleado, donde el consumo de energía para piezas sin aditivo es de 196,5 kW/h en un rango de 12 horas, equivalente a \$ 1375,5. Para el caso de la adición de un 10 % de toba se logró disminuir el tiempo de cocción de 12 a 9 horas ahorrando 49 kW/h lo que equivale \$ 343 y con la adición del 20 % de toba se disminuyó el tiempo de cocción de 12 a 8 horas donde se obtuvo un ahorro de 65,5 kW/h lo cual tiene un valor monetario igual \$ 458,5.

### 3.6 Valoración económica.

Tabla 3.1 Distribución del consumo energético del horno teniendo en cuenta los porcentos de aditivos para diferentes tiempos de cocción.

<b>Trabajo del horno</b>	<b>Consumos de energía sin toba, (kW/h)</b>	<b>Consumos de energía con 10 % de toba, (kW/h)</b>	<b>Consumos de energía con 20 % de toba, (kW/h)</b>
<b>Para 1 cocción</b>	196,5	147,4	131
<b>Para 3 cocciones</b>	589,5	442,1	393
<b>Para 36 cocciones</b>	7074	5305,5	4716

Como se muestra en la tabla 3.1 el consumo energético (kW/h) para los distintos porcentajes de aditivo utilizados, se pudo observar que para 36 cocciones el consumo energético sin aditivo fue de 7074 (kW/h), mientras que para un 20 % de aditivo el consumo energético fue de 4716 (kW/h), demostrando que el ahorro de energía en un año es de 2358 (kW/h).

Tabla 3.2 Costo en (CUP) relacionados con el consumo energéticos.

<b>Trabajo del horno</b>	<b>Costos de los (kW/h) sin toba, (CUP)</b>	<b>Costos de los (kW/h) con 10 % de toba, (CUP)</b>	<b>Costos de los (kW/h) con 20 % de toba, (CUP)</b>
<b>Para 1 cocción</b>	1375,5	1031,8	917
<b>Para 3 cocciones</b>	4126,5	3094,7	2751
<b>Para 36 cocciones</b>	49518	37138,5	33012

En la tabla 3.2 el costo de energía consumida para los distintos porcentajes de aditivo empleados, se puede observar que para 36 cocciones el costo energético sin aditivo fue de 49518 pesos, mientras que para un 20 % de aditivo el consumo energético fue de 33012 pesos, demostrando que para un año se ahorraron 16509 CUP en cuanto a los costos energéticos.

### **3.7 Impacto Medio ambiental.**

El estudio de los problemas ambientales debe 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).

#### **3.7.1 La fabricación de objetos cerámicos comprende las siguientes etapas:**

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

La extracción de las arcillas, la cual por lo general se encuentra debajo de la capa vegetal, trae consigo problemas a los suelos, provocando su erosión y afectando desde la

vegetación hasta la fauna típica de la zona de minado, así como la emisión de polvo a la atmósfera.

### **3.8 Problemas ambientales en las diferentes etapas del proceso.**

#### **3.8.1 Extracción de las arcillas.**

La arcilla es uno de los minerales que con más frecuencia encontramos 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, y 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. Cabo de Villa (2010).

#### **3.8.2 Entre los problemas fundamentales que provoca su extracción al medio podemos encontrar:**

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

- Desestabilización de pendientes.

### **3.9 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.

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

### **Conclusiones parciales.**

- El tiempo de secado de las piezas con la adición de tobas vítreas disminuyó al incrementarse el porcentaje del aditivo utilizado.
- La plasticidad de las mezclas tuvo variación de acuerdo al porcentaje de aditivo utilizado donde se obtuvieron resultados satisfactorios para un 10 y 20 % de aditivo, ya que las mezclas que contaban con un 30 y 40 % tenían poca plasticidad debido a la formación de un número mayor de poros producidos por las tobas vítreas.

## **CONCLUSIONES GENERALES.**

El secado de los objetos de cerámica roja confeccionados en el centro de producción Industrias Locales Moa a partir de la implementación de las tobas vítreas de Sagua de Tánamo tuvo una disminución en el tiempo de acuerdo a los porcentajes de aditivo añadido, lo cual para un 10 % bajó de 7 a 5 días, y para un 20 % disminuyó de 7 a 3 días respectivamente. La adición de las tobas vítreas a la mezcla evitó el agrietamiento de las piezas dándole a estas un mayor brillo.

## **RECOMENDACIÓN.**

- ❖ Incorporar el aditivo de tobas vítreas en la confección de otros materiales cerámicos como pueden ser tubos de barro, piezas de alfarería.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

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.

AUTORES, C. D. Características de las arcillas. Consulta 15 de octubre 2009.

BASCHINI, M. Minerales Arcillosos. Un Enfoque Químico .Consulta 9 de octubre 2009.

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.

Coello V, A y Tijonov O, N. 1996. Regularidad en la Molienda de Minerales Laterítico". Minería y Geología Vol XIII No 3.

Coello V, A. 2002. Métodos de determinación de la molibilidad de los minerales". ISMM Moa.

Coello V, A. 2002. Sostenibilidad Energética en los Procesos de Preparación Mecánica de Minerales .ISMM Moa.

Coello V, A. et. Al. 1994. "Control de la Carga Interior del Molino A Través de Terceros Parámetros" Minería y Geología Vol II.

DÍAZ, YOSVANY; BETANCOURT, DANIA Y MARTIRENA, FERNÁNDEZ. 2011 influencia de la finura de molido de Carbonato de Calcio en las propiedades físicas-mecánicas y de durabilidad de los ladrillos de cerámica roja. Universidad Central "Marta Abreu".

DÍAZ, Z. S. 2011. Evaluación de mezclas de arcillas y tobas vítreas para su utilización en la industria de materiales de construcción. [ISMM]. Moa 48 p.

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.

LEY DEL MEDIO AMBIENTE. Portal del Medio ambiente cubano. [en línea] <http://www.medioambiente.cu/legislacion/leyes/L-81.htm>.

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.

OROZCO, G. 1995: Caracterización de las arcillas de Cayo Guam. Informe técnico. ISMM.

PALACIO GRECO, LIVÁN. 2010 en el Proyecto de Explotación Minera del yacimiento Arcilla San Juan.

PABLO, G. L. 1964: Las arcillas. Clasificación, identificación, usos y especificaciones industriales. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. tomo XXVII, 2, 49-92, México.

VILLAR REYES, RAFAEL, 2005 Proyecto de actualización del yacimiento Arcilla Bayamo, Provincia Granma.

XAVIER, E. 2004. Optimización de procesos cerámicos industriales. 1ra Parte. [En línea] Introducción al comportamiento de las pastas cerámicas. [www.cnpmi.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID57.pdf](http://www.cnpmi.org/html/archivos/Ponencias/Ponencias-ID57.pdf) [consulta: junio 2013].