

**Ministerio de Educación Superior  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa  
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”  
Facultad de Metalurgia y Electromecánica  
Departamento de Metalurgia**

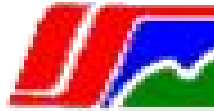
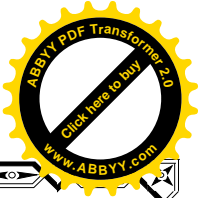
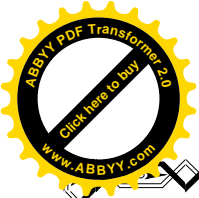
# **Mezclas de arcillas y residuos sólidos de construcción para su utilización en la industria de materiales.**

*Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Metalúrgico*

## **Manuel Brito Fernández**

**Moa, 2012**

**“Año 54 de la Revolución”**



**Ministerio de Educación Superior  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa  
“Dr. Antonio Núñez Jiménez”  
Facultad de Metalurgia y Electromecánica  
Departamento de Metalurgia**

# **Mezclas de arcillas y residuos sólidos de construcción para su utilización en la industria de materiales**

*Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Metalúrgico*

**Autor: Manuel Brito Fernández**

**Tutores: Ing. Sergio Ramiro Cabo de Villa Figueiral**

**Profesor Asistente, Ing. Roger Samuel Almenares Reyes, MSc**

**Moa, 2012**

**“Año 54 de la Revolución”**



Yo: **Manuel Brito Fernández**, autor de este trabajo de diploma, que tiene como tema **Mezclas de arcilla y residuos sólidos para su utilización en la industria de materiales de la contracción** y los tutores Ing. Roger Samuel Almenares Reyes, Ing. Sergio Ramiro Cabo de Villa Figueiral, declaramos la propiedad intelectual de éste, al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa para que disponga de su uso cuando estime conveniente.

---

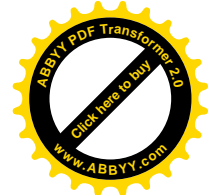
**Diplomante Manuel Brito Fernández**

---

**MSc. Roger Samuel Almenares Reyes**

---

**Ing. Sergio Ramiro Cabo de Villa Figueiral**



# Pensamiento

*"La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica."*

*Aristóteles*



# Agradecimientos

*En especial a mis tutores Ing. Roger Samuel Almenares Reyes, Ing. Sergio Cabo de Villa Figueiral por toda la ayuda brindada para la realización del trabajo.*

*A mis compañeros de aula, que de una forma u otra me brindaron su apoyo durante la realización del trabajo.*

*A mi familia, especialmente a mi madre que siempre estuvo a mi lado apoyándome durante todo este tiempo tan difícil.*

*A Liuba Cárdenas Benítez por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo y dedicación y por enseñarme los beneficios del amor desde primer año.*

*A todos los que sirvieron de ayuda en la culminación de la tesis.*

*A todos los que me pusieron un pie delante, gracias por tumbarme pues me dieron fuerzas para levantarme y seguir adelante.*

*A todos:*

*Eterno*

*Agradecimiento.*



# Dedicatoria

*En especial a mi padre que aunque hoy en día no se encuentra vigente a mi lado le dedico eternamente este trabajo, a mi madre Margarita Fernández Reyes que siempre estuvo con migo y me apoyo durante todos los momentos difíciles, a ellos muchas gracias por enseñarme el camino correcto para lograr exitosamente todas mis metas.*

*A mis hermanos.*

*A. Clara Elena Benítez por apoyarme siempre durante el desarrollo de mi carrera y por ser como una madre para mí.*

*A Liuba y su familia.*



## RESUMEN

El presente trabajo muestra la evaluación de las mezclas de arcillas del yacimiento Cayo Guam y Centeno con residuos sólidos de construcción, a partir de las propiedades físico - mecánicas obtenidas en los productos de estas mezclas, para su utilización en la industria de materiales de construcción. Se estudió la utilización de las mezclas de 20, 30, 40 y 50 % de residuos sólidos de construcción, valorando, mediante ensayos, los parámetros tecnológicos, contracción total, absorción de agua, resistencia a la compresión, el comportamiento de cada una de ellas durante el secado y la cocción. Los resultados obtenidos fueron comparados con las exigencias establecidas por la norma cubanas NC 360 2005, con relación a los parámetros estudiados, lo que permitió conocer que la mezcla de arcilla y los residuos sólidos de construcción pueden ser utilizados para la producción de ladrillos cerámicos, siendo la mezcla con adición de 20 % de residuos sólidos la que presenta mejores propiedades físico – mecánicas.



## **ABSTRACT**

The present work shows to the evaluation of the clay mixtures Cayo Guam and Centeno deposits with solid residual of construction, from the properties physical - mechanical obtained in products of these mixtures, for its use in the industry of construction equipments. The use of the mixtures of 20, 30, 40 and 50 % of solid residual of construction, valuing, by means of tests, the technological parameters, total contraction, water absorption, compressive strength, the behaviour of each one of them during the drying and the baking. The obtained results were compares two with the exigencies established by norm Cuban NC 360 2005, in relation to the studied parameters, which allowed to know that the clay mixture and the solid remainders of construction can be used for the ceramic brick production, being the mixture with addition 20 % of solid residual the one that presents better physical – mechanical properties.





<b>ÍNDICE</b>	<b>PÁG.</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....</b>	<b>6</b>
1.1. Antecedentes de la investigación.....	6
1.1.1. Trabajos realizados con las arcillas de la región de Moa.....	6
1.1.2. Reutilización de residuos de la construcción .....	8
1.2. Características generales de las arcillas .....	11
1.3. Tipos de arcillas existentes en la naturaleza.....	12
Se puede hablar de dos tipos de arcillas: las primarias y las secundarias.....	12
1.4. Aplicaciones Industriales de las arcillas .....	12
1.5. Capacidad de la arcilla de endurecer al secarla.....	13
1.6. Retracción de la arcilla .....	13
1.7. Transición durante la cochura al estado pétreo .....	13
1.8. Adiciones a las arcillas para hacerlas útiles .....	14
1.9. Secado de la arcilla.....	15
<b>CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>17</b>
2.1. Características de los materiales .....	17
2.1.1. Características de la manifestación de la arcilla de Cayo Guam .....	17
2.1.2. Características generales de los residuos sólidos de construcción .....	18
2.2. Preparación de las muestras.....	20
2.2.1. Toma de muestras .....	21
2.2.2. Secado inicial.....	21
2.2.3. Molienda .....	21
2.2.4. Tamizado .....	22
2.2.5. Preparación de la mezcla .....	22
2.2.6. Moldeado .....	22
2.2.7. Secado final .....	22
2.2.8. Cocción.....	22
2.2.9. Producto Final.....	23



2.3. Dosificación de los materiales para la elaboración de las probetas .....	23
2.3.1. Preparación de las materiales en cuanto a su dosificación .....	23
2.4. Diseño de experimento .....	23
2.4.1. Elección de las variables de la investigación .....	23
2.5. Metodología para la realización de los ensayos.....	24
2.5.1. Ensayo de la contracción total. ....	24
2.5.3    Ensayo de absorción de agua de la arcilla cocida .....	25
2.5.2. Ensayo de la resistencia a la compresión .....	25
2.5.4    Ensayo de pérdida de peso .....	26
2.5.3. Equipos empleados en la investigación .....	26
<b>CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>30</b>
3.1. Análisis de los resultados de contracción total.....	30
3.2. Análisis del resultado de absorción de agua de la mezcla cocida.....	31
3.3. Análisis de los resultados de resistencia a la compresión .....	33
3.4. Análisis de los resultados de pérdida de peso. ....	35
3.5. Impacto ambiental.....	36
3.5.1. Extracción de las arcillas .....	36
3.5.2. Beneficio de la materia prima.....	37
3.5.3. Conformación y Acabado.....	37
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>40</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>41</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>42</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>46</b>



## INTRODUCCIÓN

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, refractarias y elevada resistencia a los agentes corrosivos.

Por las grandes riquezas de minerales que posee, y que son reconocidas internacionalmente, el municipio de Moa constituye un baluarte económico para el país, esto lo convierte en uno de los mayores productores de níquel y cobalto del mundo y una de las principales vías de desarrollo económico del país. Sin embargo, se conoce muy poco de las grandes posibilidades que tienen sus cortezas aluminosas para ser empleadas como arcillas en la industria de la cerámica (Díaz, 2011)

De acuerdo con estudios precedentes (Pons y Leyva, 1996 y Orozco, 1995), las arcillas de Moa poseen un carácter semirrefractario y han sido utilizadas en los procesos de fundición de la Industria del Níquel y están siendo empleadas, en pequeños volúmenes, para la fabricación de ladrillos cerámicos, no obstante, la utilización de este recurso mineral no ha sido debidamente explotada de acuerdo a sus potencialidades, en calidad de materiales de construcción.

En la actualidad los depósitos de arcillas de la región de Moa, no están siendo debidamente explotados, a pesar de poseer excelentes perspectivas para ser empleados en la industria de materiales de construcción, particularmente en la elaboración de ladrillos (Fonseca, 2002; Cabo de Villa, 2010 y Díaz, 2011).

Por otra parte se conoce que en el municipio de Moa se generan diferentes residuos de obras constructivas y que el uso que se le da no abarca el volumen de material con posibilidades de empleo, los cuales, sin dudas, que contribuirían a la reducción



los costos de los materiales existentes y la disminución de efecto negativo que provocan al medio ambiente los mencionados materiales.

El reciclaje de estos residuos ha estado encaminado a la elaboración morteros, bloques, losas, ladrillos, e incluso hasta hormigones (Zalazar, 2005).

Estas premisas, presuponen que la mezcla de arcilla con residuos de la construcción posee perspectivas para la obtención de ladrillos, producto de gran demanda en el municipio de Moa. Por lo que constituye **situación problemática** de este trabajo, la necesidad de evaluar las propiedades físico - mecánicas de las mezclas de arcillas y residuos sólidos de construcción, que permita proponer su utilización en la fabricación de ladrillos.

### **Problema de la investigación**

El Insuficiente conocimiento de las propiedades físico – mecánicas de las mezclas de arcillas de la región de Moa y los residuos sólidos de construcción limita su utilización en la industria de materiales de la construcción.

### **Objeto de estudio**

Las mezclas de arcillas de los depósitos Cayo Guam y Centeno con residuos sólidos de construcción.

### **Campo de acción**

Propiedades físico – mecánicas de las mezclas de arcillas de los depósitos Cayo Guam y Centeno con residuos sólidos de construcción.

### **Hipótesis**

Si se determinan las propiedades físico - mecánicas de las mezclas obtenidas a partir de las arcillas de Cayo Guam y los residuos sólidos de construcción, es posible proponer su utilización en la fabricación de ladrillos cerámicos.



## Objetivo general

Evaluar las mezclas de arcillas de los depósitos Cayo Guam y Centeno con residuos sólidos de construcción, a partir de sus propiedades físico - mecánicas para su utilización en la fabricación de ladrillos cerámicos.

## Objetivos específicos

- Determinar los parámetros tecnológicos, contracción total, absorción de agua, pérdida de peso y resistencia a la compresión de las mezclas de arcillas y residuos sólidos de construcción.
- Proponer la mezcla adecuada para su utilización en la fabricación de ladrillos cerámicos.

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

- Análisis bibliográfico de trabajos relacionados con el objeto de la investigación.
- Elaboración de mezclas para la obtención de objetos experimentales (probetas).
- Evaluación de las propiedades físico - mecánica a partir de los ensayos de resistencia a la compresión, absorción, contracción y pérdida de peso.
- Proponer las mezclas adecuadas para su utilización en la fabricación de ladrillos cerámico, a partir de la comparación con las normas NC 359 2005 y NC 360 2005.



# CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

## 1.1. Antecedentes de la investigación

En Cuba, la industria cerámica ha tenido un amplio desarrollo a partir de 1959. Existen actualmente varias 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. En la actualidad a la arcilla se le hacen adiciones de otros productos que corrigen o mejoran sus propiedades. El desarrollo actual y futuro de las cerámicas conduce a innovaciones tecnológicas importantes y capaces de sustituir industrias clásicas, reducir la dependencia de materias primas estratégicas y abarcar sectores industriales completos, aunque, deben superarse barreras como, la optimización de los procesos para obtener productos competitivos que generarían amplios mercados.

### 1.1.1. Trabajos realizados con las arcillas de la región de Moa

Orozco (1995) y Pons y Leyva, (1996.), determinaron el origen geológico de las arcillas en Moa, el cual está dado por la existencia de manifestaciones de arcillas caoliníticas, de las cuales una parte considerable se encuentra relacionada con cuerpos de gabros de diversas dimensiones.

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

A través de un análisis por difracción de RX, en este mismo trabajo, se llegó a la conclusión de que la muestra era una caolinita desordenada, o sea una caolinita tipo D ó fireclay mineral y el análisis químico arrojó, que durante el proceso de alteración hubo un incremento considerable de alúmina y la consecuente migración del hierro,



calcio y magnesio para la formación de la caolinita como mineral residual, la cual tuvo su origen en la meteorización de cuerpos de gabros, formando potentes capas que constituyen depósitos de gran extensión.

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

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

Según el trabajo de Ramos (2002) y Fonseca (2003), se plantea que las arcillas presentes en los principales yacimientos del municipio poseen las características desde el punto de vista químico, físico y mineralógico que permite utilizarlas, con previos estudios, como material refractario en las industrias de la región, y como materia prima para la obtención de objetos cerámicos. Lo anterior no tiene argumentos sólidos debido al alto contenido de hierro que afecta su refractariedad, considerándose como máximo para su empleo en productos semirefractarios, pero no en refractarios propiamente dichos.

Los trabajos de Cabo de Villa (2010) y Díaz (2011), demuestran que la adición de tobas vítreas le proporcionan a las mezcla de arcilla (Cayo Guam y Centeno) buenos resultados en relación a los parámetros estudiados, lo cual permite proponer que se continúe con el estudio de algunos otros materiales que permitan el mejoramiento de estas mezclas para ser utilizada con fines industriales.

Ramírez et al. (2012), en su trabajo acerca de la evaluación de mezclas de arcilla de la región de centeno, Moa, Cuba y arena sílice residual de la Empresa Mecánica del



Níquel, plantean que presentan propiedades físico mecánicas adecuadas para ser empleadas en la elaboración de ladrillos cerámicos, además de demostrar que estas tienen mayor resistencia a la compresión, al utilizar un 40 % de utilización de arena sílice. De la misma se revela que el uso de la arena sílice residual para la obtención de mezclas cerámicas, constituye un paso importante para el aprovechamiento de los volúmenes de este material que se generan, y permitirá disminuir el efecto negativo que sobre el ecosistema tiene su vertimiento.

Sin dudas esta investigación, resulta de gran interés como punto de partida para nuestra investigación, la cual trata de reutilizar residuos de la construcción con las mismas perspectivas de utilización.

Todos los trabajos realizados hasta el momento sobre las arcillas del territorio han contribuido a enriquecer el conocimiento de las características de un material que está siendo poco aprovechado, sin embargo, ninguno de estos autores ha profundizado en las propiedades físico - mecánicas de mezclas de arcillas con materiales residuales de la construcción, lo cual puede ser la base para la producción de ladrillos cerámicos, así como otras aplicaciones industriales.

### **1.1.2. Reutilización de residuos de la construcción**

Los cerámicos (exceptuando a los materiales naturales de tipo biodegradable) son los materiales que menos impactan al medio ambiente debido a su composición físico-química y a que son fácilmente recuperables y se integran de manera eficaz a los procesos de manufactura, al reciclarlos, tanto de productos y subproductos para la construcción como a los mismos edificios y sistemas constructivos (Hernández, 2010)

Según NABH (2007) y Mayer (2005), la posibilidad de reciclar los componentes constructivos, cimiento de concreto simple y la mampostería en cimiento de piedra natural es viable. El índice de reciclabilidad para estos elementos es mediano y alto, respectivamente. Bajo esta misma categoría se pueden clasificar de forma similar los residuos de construcción utilizados en la presente investigación.





Los materiales cerámicos son aquellos materiales que provienen principalmente de minerales no metálicos, los cuales tienen como principal característica que en su estructura no poseen electrones libres. Tienen la característica principal que son muy frágiles a los esfuerzos de tensión pero resistentes a los esfuerzos de compresión (Shackelford, 1995). Su principal tipo de procesamiento para su fabricación (cuando no son naturales) son técnicas de sinterizado o cocción que puede variar su temperatura de cocción debido a diversas condiciones de manufactura o técnicas de procesamiento de los materiales, así como a requerimientos de diseño del material. A pesar de que se conozca que los materiales cerámicos son los que menos impacto causan al ambiente debido a su composición físico-química (Hernández, 2001), ya que requieren de menor procesamiento en su manufactura emiten sustancias nocivas al ambiente, lo que la posibilidad de su reutilización constituye una alternativa para disminuir su impacto sobre el medio.

Todos los materiales que usamos en la construcción tienen efectos en el medio ambiente, ya sea directa o indirectamente. Ejemplo claro, es el concreto, el material más usado en el mundo (WBDG, 2007), y aunque la materia prima que lo conforma es abundante (como la grava y arena) el problema que crea su consumo es el empleo del cemento como matriz de aglomeración, es decir material aglutinante, y la extracción de las materias primas que lo componen, ya que causan un severo daño al paisaje por la explotación de las minas e igual afectan a los ecosistemas involucrados; de ahí que se tenga un impacto nocivo al ambiente de manera directa, pero si se re-usan los desperdicios del concreto mediante la recuperación de la grava (NABH, 2000), estos desperdicios se pueden emplear como agregado grueso para fabricar concreto nuevo (PNL, 1994).

Otro aspecto importante en el impacto que causan los materiales al medio ambiente es la energía utilizada para explotar y transformar las materias primas en nuevos productos y también en su transporte. Unido al consumo energético de la transformación de los materiales están las emisiones contaminantes y agentes químicos que se desprenden al aire, tierra y agua durante las fases de producción (Hanford, 1994) además, los desechos de los materiales cuando llegan al término de



su vida útil y al enorme consumo de agua en todo el ciclo de vida de los productos, principalmente en la fase de manufactura.

Las políticas y normas de reciclaje en todo el mundo están aún en sus primeros pasos de desarrollo. En Cuba ya se comienza a dar pequeños pasos al respecto. No obstante, persisten problemas con el tratamiento de los residuales de varias industrias, especialmente la industria de los materiales de la construcción, la cual ha tomado gran auge en los últimos tiempos por la demanda de los productos para la construcción de viviendas y otras obras sociales. Esta industria genera grandes volúmenes de residuos sólidos que impactan en un determinado grado al medio ambiente, por lo que el re-uso de estos materiales, en la medida de lo posible, sería de gran importancia para mitigar los problemas anteriormente señalados. Por ello, es necesario conocer los aspectos o características de los referidos materiales, como factores determinantes para establecer las posibles aplicaciones.

En la sociedad actual se tiene muy en cuenta la protección del medio ambiente, la reducción del consumo energético, la preservación de las fuentes de materias primas y la reducción de residuos. Los residuos deben ser estabilizados para así evitar su efecto nocivo. Se debe garantizar la seguridad ambiental en el vertido de aquello que, por razones tecnológicas o económicas, no haya podido ser reutilizado. Es muy alta la cantidad de residuos que no puede volver a incorporarse a los ciclos naturales o a las líneas de producción industrial, por las vías hasta ahora conocidas. Este puede llegar a ser un problema crítico si no hallamos una solución, y mayor será el problema cuanto más nos tardemos en llegar a ésta, por esta razón la investigación de nuevas vías de tratamiento resulta imprescindible (Crespo y Jiménez, 2012).

Salazar (2005), realiza un diseño de materiales compuestos para uso en la construcción, optimizando la participación del cemento Portland a través de la utilización de residuos sólidos industriales o escombros como matriz cementante o de relleno, se han utilizado, residuos de la industria cerámica roja y lodos de plantas de tratamiento de áridos, residuos de construcciones. Algunos desarrollos o aplicaciones de los últimos 4 años son: producción de cementantes, elementos de



mampostería, agregados para bases de vías, arenas de construcción, hormigones y ladrillos cerámicos.

La importancia que reviste la reutilización de materiales, y en particular el reciclado de residuos de construcción conduce al desarrollo de trabajos para proponer posibles empleos de los mismos. Una alternativa potencial es el uso de estos materiales mezclado con arcilla para la producción de ladrillos, incluso con mejores propiedades que los convencionales (ver anexo 1).

## **1.2. Características generales de las arcillas**

Las arcillas están conformadas como rocas detríticas sedimentarias por varios silicatos de aluminio hidratado que provienen de la descomposición de los feldespatos producido de la erosión. La cantidad de óxidos presentes, se establecen como relación molecular más que en porcentaje de peso, lo que prescinde de la compleja disposición de “impurezas” siempre presentes en las muestras reales. Las arcillas empleadas en la cerámica no pertenecen a una especie mineral única, estando formadas por la asociación de varias que se comunican sus propiedades y características para conseguir mejores resultados en la producción de objetos cerámicos.

Se podría definir la arcilla como una sustancia de mineral terrosa, compuesta en gran parte de hidrosilicato de alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), que se hace plástica cuando se humedece y dura, semejante a la roca cuando se cuece. También se puede determinar como la disgregación y la descomposición de las rocas feldespáticas durante millones de años para dar lugar a partículas pequeñas.

Por lo tanto, el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 2 mm. De acuerdo con esto, todos los filosilicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, entre otros).



### **1.3. Tipos de arcillas existentes en la naturaleza**

**Se puede hablar de dos tipos de arcillas: las primarias y las secundarias.**

Arcillas primarias o residuales: Son las formadas en el lugar de sus rocas madres y no han sido por tanto transportadas por el agua, el viento o el glaciar. Éstas tienden a ser de grano grueso y relativamente no plásticas. Cuando han sido limpiadas de fragmentos de roca, son relativamente puras, blancas y libres de contaminación con materiales arcillosos. La mayoría de los caolines son arcillas primarias.

Arcillas secundarias: Son las que han sido desplazadas del lugar de las rocas madres originales. Aunque el agua es el agente más corriente de transporte, el viento y los glaciares pueden también transportar arcilla. Éstas son mucho más corrientes que las anteriores y tienen una constitución más compleja debido a que están compuestas por material procedente de distintas fuentes: hierro, cuarzo, mica, materias carbonosas y otras impurezas.

Hoy en día las arcillas comerciales, son aquellas que sirven como materia prima industrial. Un 90 % de la producción se dedica, preferentemente a la fabricación de materiales de construcción y agregados, y sólo un 10 % se dedica a otras industrias (fabricación de papel, caucho, pinturas, absorbentes, decolorantes, arenas de moldeo, productos químicos y farmacéuticos, agricultura, entre otros).

En general, al primer tipo (las que se utilizan en la construcción) se les denomina arcillas cerámicas, arcillas para la construcción o arcillas comunes, las cuales son materiales compuestos por dos o más minerales de arcilla, generalmente hilita y esmectita, con importantes cantidades de otros minerales que no son filosilicatos (carbonatos, cuarzo, entre otros).

### **1.4. Aplicaciones Industriales de las arcillas**

El principal uso de estos materiales arcillosos se da en el campo de la cerámica de construcción (tejas, ladrillos, tubos, baldosas, entre otras cosas), alfarería tradicional, lozas, azulejos y gres. Uso al que se destinan desde los comienzos de la humanidad. El uso de las arcillas está unido a sus propiedades, dentro de las propiedades más importantes se encuentran la plasticidad, capacidad de absorción, hidratación e hinchamiento, tixotropía



### **1.5. Capacidad de la arcilla de endurecer al secarla**

Una particularidad de la pasta de arcilla es su capacidad de endurecer 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.

### **1.6. 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 por ciento 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 tensoactivas 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.

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

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.



- De 0 a 400 °C. En este intervalo de tiempo se produce la desecación (eliminación del residuo de agua) y el quemado de las materias orgánicas (o sea, las impurezas que contenga). En esta etapa hay dilatación, no se produce cambios químicos ni estructurales.
- De 400 a 600 °C. En esta etapa se desprende el agua químicamente unida, descomponiéndose la arcilla en óxidos, cesa la dilatación y comienza la contracción en volumen.
- De 600 a 900 °C. Se forma un metacaolín muy inestable que tiende a formar alúmina, muy higroscópico (es decir, absorbe mucha agua).
- De 900 a 1000 °C. Durante este período 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.
- Más de 1000 °C. La sillimanita tiende a transformarse en mullita, un mineral de gran dureza ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ).

### 1.8. 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.

Tales exigencias pueden ser por ejemplo; plasticidad excepcional para hacer la arcilla adecuada para el torneado, o una densidad completa a una temperatura de cocción determinada, o 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 plásticos dan la trabajabilidad y plasticidad necesarias a la pasta de arcilla; los rellenos o desengrasantes 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.

### 1.9. Secado de la arcilla

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 y unas con otras, alcanzándose la contracción máxima, cuando todas las partículas se hallan en contacto, como se muestra en la Figura 1.

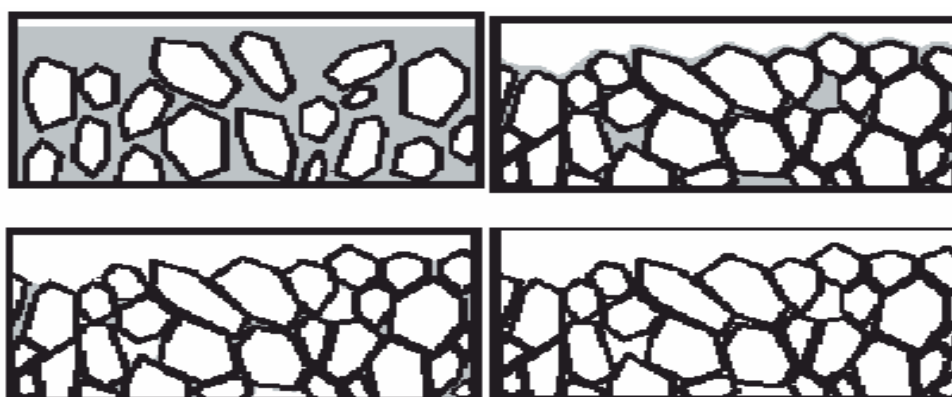


Figura 1. Mecanismo de la contracción al secado.

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.

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, a pesar de que ellas pueden estar húmedas y el secado no está completo, hasta que se elimine por evaporación.

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.

### **Conclusiones Parciales**

- Según el estudio bibliográfico, se constató la posibilidad de utilizar adición de residuos sólidos de construcción a materiales arcillosos.
- Las propiedades físico mecánicas de los probetas elaboradas con mezcla arcilla y residuo sólido de construcción representan la base para proponer su utilización en la elaboración de ladrillos cerámicos.





## CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

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

En este capítulo se describe la metodología empleada para evaluar las mezclas de arcilla y residuo sólido de construcción.

### 2.1. Características de los materiales

#### 2.1.1. Características de la manifestación de la arcilla de Cayo Guam

Esta manifestación se ubica aproximadamente en dirección noreste del molino de piedra. En el afloramiento artificial se observan grandes taludes donde se pueden diferenciar sectores con variedades de tonalidades, desde blanco, amarillo, pardo, rosado entre otras, estos afloramientos tienen una extensión de más de 100 m y un espesor promedio de más de 200 m. En la base afloran gabros muy intemperizados y deleznales, de color blanco y aspecto terroso arcilloso al tacto, y de alta plasticidad. En la parte superior, existe una transición gradual a materiales parecidos a los de la base, formando una corteza de meteorización de colores variables desde el rosado hasta el rojo intenso. Un análisis químico demostró un incremento considerable de alúmina y la consecuente migración de hierro, calcio y magnesio.

Tabla 2: Composición química de la arcilla de Cayo Guam

Compuestos	SiO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	
Arcilla roja (%)	41.91	23.39	10.2	0,18	0,08	0,18	0,25	



Figura 2. Depósito de Arcilla Cayo Guam.

### 2.1.2. Características generales de los residuos sólidos de construcción

Los residuos sólidos de construcción están dados por la demolición de alguna edificación, por las abundantes producciones de ladrillos, tejas, losas, entre otros. Estos residuos se presentan con una granulometría indefinida por el tamaño de sus trozos, el color es muy variado y predomina la coloración gris. También como residuos se utilizaron retazos de ladrillos fabricados en centeno con un color rojizo y un tamaño indefinido.



Figura 2.1. Muestra de los residuos sólidos de construcción.

Estos residuos sólidos fueron materiales que se destinaron con un fin constructivo y que ahora son residuos, son trozos de bloques, ladrillos, losas, mezclas de cemento y arena, relleno de arena y otros, con distintas dimensiones.

## Arcilla de Centeno

Esta arcilla es perteneciente a la zona de Centeno y su yacimiento posee una extensión aproximada de más de 50 m y un espesor medio entre 6 y 8 km. Esta manifestación constituye la materia prima fundamental del Tejar de centeno. En este afloramiento se observa que el color del material varía, desde tonalidades más blancas hasta tonalidades amarillentas y rojizas.

Tabla 2.1. Composición química de la arcilla de Centeno

Compuestos	SiO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	PPI
Arcilla parda, (%)	39,03	29,50	7,46	0,56	2,08	0,18	0,25	15



Figura 2.2. Muestra de la arcilla de centeno



## 2.2. Preparación de las muestras

La preparación de las muestras se realiza por un proceso de preparación mecánica para asegurar la calidad del producto final. Para ello, se ha utilizado el esquema que se presenta en la figura 2.3.

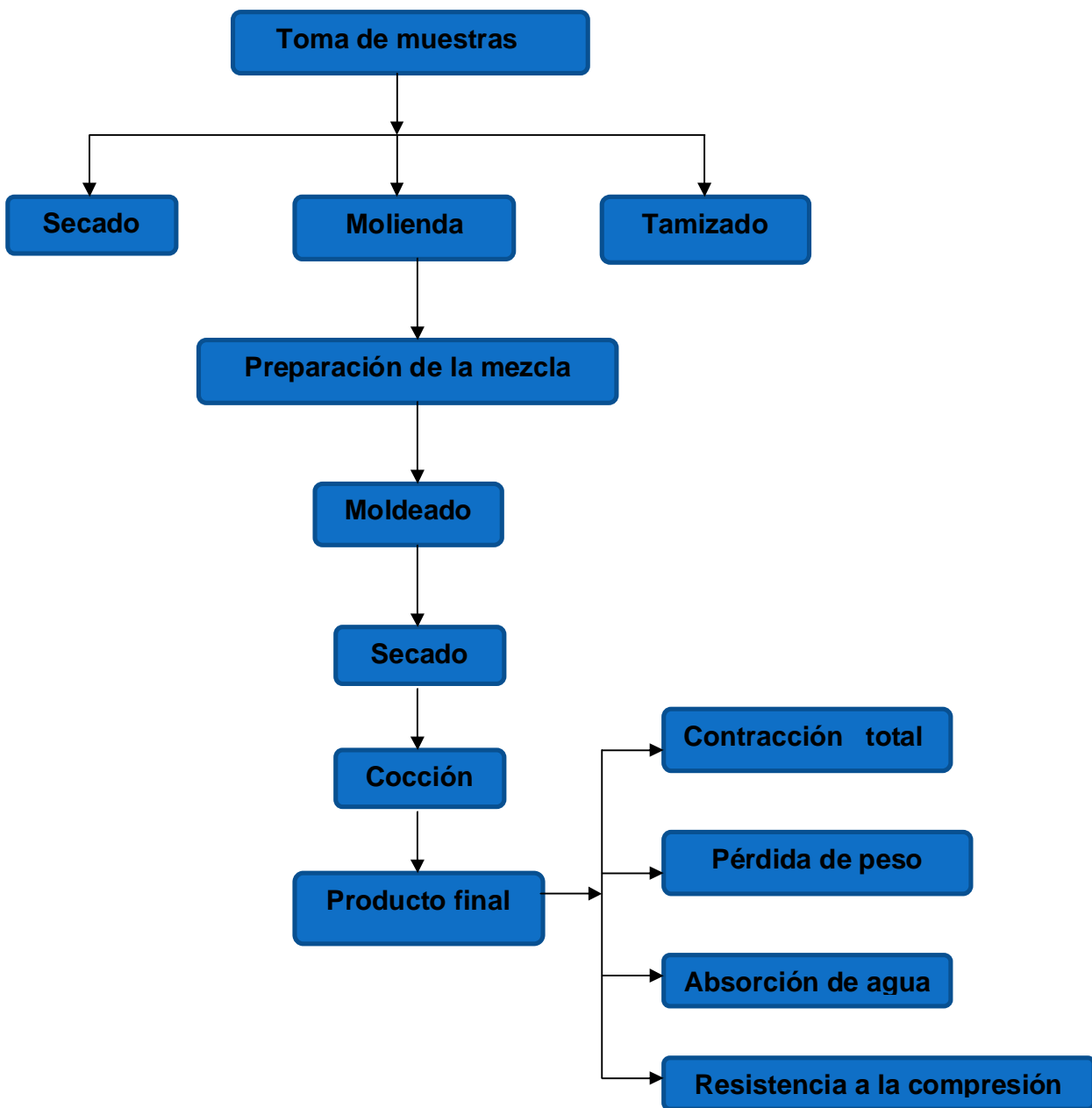


Figura 2.3. Esquema de preparación de las muestras



### **2.2.1. Toma de muestras**

La toma de muestra de la arcilla parda se tomo del deposito en el patio del Tejar de Centeno, se empleo el método por punto, para las arcillas del río Cayo Guam la muestra se tomo del laboratorio de preparación mecánica del ISMM y los residuos sólidos de construcción se tomo de la demolición del comedor de dicho ISMM.

Para la muestras de arcilla parda y residuo sólido de construcción se aplicó el método por puntos (Mitrofanov, 1984), que consistió en la toma de pequeñas porciones típicas de la materia prima, en cada punto de muestreo. El número de puntos de obtención de muestra depende de la regularidad del área de almacenaje de dicho material y la dimensión de la superficie sujeta al muestreo.

La muestra de arcilla roja de Cayo Guam se tomo empleando el método por surcos con una profundidad de 2.50 m y un ancho de 50 cm así se logra que la muestra sea representativa.

### **2.2.2. Secado incial**

Luego de tomada la muestra, se le realiza un proceso de homogeneización, y al existir la posibilidad que la muestra se encuentre mojada o húmeda por encontrarse en un medio propenso a esto, la muestra se deja reposar al sol, obteniendo así un secado para de facilitar el desmenuzamiento de los terrones e impedir las aglomeraciones de partículas arcillosas. Además, este favorece la descomposición de la materia orgánica que pueda estar presente, permitiendo la purificación química y biológica del material. De esta manera se obtiene un material completamente inerte con mayor estabilidad a posteriores transformaciones mecánicas o químicas.

### **2.2.3. Molienda**

Se realizo en un molino de bolas para desmenuzar el material y eliminar los terrones mas gruesos y así llevarlo a una misma granulometría, esta operación se realiza con el material seco para evitar que este se pegue a las paredes del molino.



#### **2.2.4. Tamizado**

El tamizado es realizado luego de la molienda con el fin de darle a cada material la granulometría específica con la que se trabajara para realizar la mezcla, se tomo los tamices 0.40 para las arcillas y 1.18 para el residuo sólido.

#### **2.2.5. Preparación de la mezcla**

Las mezclas se preparo con las dosificaciones correspondiente para realizar las probetas .Los materiales para la confección de las probetas son añadidos en un recipiente done se le agrega agua, luego se homogeniza hasta formar una pasta compacta y fácil de trabajar, se vierte en los moldes para la conformación de las probetas.

#### **2.2.6. Moldeado**

El moldeado consiste en verter la mescla en los moldes, realizar un trabajo de apisonado para evitar que se formen cavidades dentro de la mezcla y así evitar futuras rupturas, y también lograr la igualdad en las superficies de la muestra.

#### **2.2.7. Secado final**

El molde es retirado y se deja secar al aire libre en un tiempo de 15 días, bajo la sombra. El secado es uno de las etapas más importantes del proceso de producción, ya que durante este proceso el material se contrae y un mal secado trae consigo el material se fisure, dañando el producto final.

#### **2.2.8. Cocción**

La cocción se realiza en un horno de mufla, donde se prefijo la temperatura hasta alcanzar 750 °C, y se mantuvo esta 1 h, aquí se produce la sinterización. Por lo tanto se puede decir que este es un proceso crucial en la producción, y de mucho cuidado y control, ya que de este depende la calidad del producto final.



### **2.2.9. Producto Final**

El producto final obtenido es un ladrillo, este será la probeta a la cual se le determinarán las propiedades físico-mecánicas.

### **2.3. Dosificación de los materiales para la elaboración de las probetas**

#### **2.3.1. Preparación de los materiales en cuanto a su dosificación**

Como ya se ha mencionado anteriormente las probetas se elaboran con tres materiales principales, arcilla roja, arcilla parda y residuos sólidos de construcción.

### **2.4. Diseño de experimento**

Se escogió para el desarrollo de la investigación un diseño de mezclas, que permite, hacer una comparación entre la composición de varias mezclas y seleccionar cuál de ellas ofrece mejores resultados respecto a las variables de salida. Se eligió, además una temperatura de cocción de 750 °C en un horno de mufla y un tamaño de partículas de -0.40 mm para las arcillas de Cayo Guam y Centeno y para el residuo sólido de construcción -1.18mm.

#### **2.4.1. Elección de las variables de la investigación**

Variables de entrada (X):

- Composición de la mezcla (%)
  - X1 - arcilla roja
  - X2 arcilla parda
  - X3 residuo sólido de construcción
  - Temperatura de cocción
- Tamaño de partículas
- Condiciones de secado y cocción

Variables de salida (Y):



- Y1 - % de contracción total
- Y2 - % de absorción
- Y3 - Resistencia a la compresión

La tabla 6 muestra la dosificación de los elementos que conforman la mezcla cerámica.

Tabla 2.2. Dosificación para la conformación de las probetas.

Materiales	X1 (%)	X2 (%)	X3 (%)	X4 (%)
Arcilla roja	50	40	40	35
Arcilla parda	30	30	20	15
Residuos sólidos	20	30	40	50

## 2.5. Metodología para la realización de los ensayos

Una vez realizadas las probetas, se determinan los ensayos de contracción, absorción al agua, resistencia y pérdida de peso, para ello se utilizan los siguientes métodos.

### 2.5.1. Ensayo de la contracción total.

El parámetro contracción total da a conocer una medida de la unión de las partículas después de cocidas las piezas. La contracción se determina en probetas cocidas a una temperatura de 750 °C, lo que permite tener una idea del secado y la cohesión progresiva de la arcilla con el avance de la temperatura. Para ello se llevaron a cabo los siguientes pasos:

1. Moldear y crear probetas a partir de las mezclas de arcillas y residuo sólido de construcción
2. Dejar secar las probetas, volteándolas frecuentemente para evitar la deformación de las mismas
3. Cocer las probetas a la temperatura determinada





4. Calcular la contracción total por la fórmula:

$$\text{Contracción lineal} = 100 \cdot \frac{L_p - L_c}{L_c} \quad [\%] = \% \cdot \frac{\text{cm}}{\text{cm}} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

L<sub>p</sub>: Longitud en plástico, cm

L<sub>c</sub>: Longitud de cocida, cm

**2.5.3 Ensayo de absorción de agua de la arcilla cocida**

Este ensayo se realiza con el objetivo de conocer la capacidad que tienen los ladrillos de absorber el agua, siguiendo lo siguiente:

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

$$\text{Absorción de agua} = 100 \cdot \frac{P_s - P_{seco}}{P_{seco}} \quad [\%] = \% \cdot \frac{\text{g}}{\text{g}} \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

P<sub>s</sub>: Peso saturado, g

P<sub>seco</sub>: Peso seco, g

**2.5.2. Ensayo de la resistencia a la compresión**

Mediante este ensayo se conoce la resistencia del ladrillo a la compresión.

1. Medir el área de las probetas
2. Pesado
3. Ubicar la probeta en el equipo
4. Asegurarse de que este bien ubicada para evitar valores erróneos



5. Calcular la resistencia por la siguiente ecuación:

$$\text{Resistencia a la compesión} = \frac{Q_{\text{máx}}}{A} \left[ \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right] \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

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

A: Área de la sección transversal de la probeta,  $\text{cm}^2$

Para la conversión de unidades de  $\text{kgf}/\text{cm}^2$  a Mpa se debe dividir el valor de la resistencia a la compesión entre 10.

#### 2.5.4 Ensayo de pérdida de peso

$$\text{Pérdida de peso} = 100 \cdot \frac{P_{\text{seco}} - P_{\text{c}}}{P_{\text{c}}} \quad [\%] = \% \cdot \frac{g}{g} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

$P_{\text{seco}}$ : Peso en seco, g

$P_{\text{c}}$ : Peso cocido, g

#### 2.5.3. Equipos empleados en la investigación

Los equipos empleados en la investigación fueron, molino de bolas de 19,5 cm de diámetro interior y 24 cm de longitud (Figura 2.4), trituradora de mandíbulas TQ de dimensiones 150 x 75 mm (Figura 2.5), se emplearon para la reducción del tamaño de las partículas tanto para las arcillas como para los residuos sólidos de construcción, hasta alcanzar la granulometría deseada. También se requirió de la utilización de una balanza (Figura 2.6) para el pesaje de las probetas antes y después de ser ensayadas y por último se utilizó una prensa hidráulica de 10 t de fabricación soviética, la cual se muestra en la figura 2.7, para realizar el ensayo de resistencia a la compesión a las probetas elaboradas.



Figura 2.4. Molino de bolas



Figura 2.5. Trituradoras de mandíbulas TQ (150 x 75 mm)



Figura 2.6 Balanza



Figura 2.7. Prensa hidráulica (10 toneladas)



### **Conclusiones parciales**

- Las muestras de arcillas y residuos sólidos de construcción se consideran representativas.
- Las técnicas analíticas y experimentales que fueron aplicados en los materiales y mezclas preparadas para el desarrollo de la investigación reúnen los requisitos según las normas cubanas.
- Los materiales arcillosos y los residuos sólidos de construcción poseen características adecuadas para ser utilizados en calidad de materia prima para la elaboración de ladrillos cerámicos.



## CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se desarrolla el análisis de los resultados después de obtenidos, teniendo en cuenta los parámetros ensayados y las normas cubanas para tales especificaciones (NC 359 2005 y NC 360 2005). También se tendrá en cuenta el impacto ambiental que causan estos materiales tras su extracción hacia la naturaleza.

### 3.1. Análisis de los resultados de contracción total

El análisis de este parámetro se realizó con los datos que se muestran en la tabla 3.1, al aplicar la ecuación (1), determinándose de esta manera los porcentajes de contracción lineal.

Tabla 3.1. Resultado de los análisis de contracción total

<b>Longitud de las muestras en plástico, cm</b>				
<b>Mezclas</b>	<b>Adición de 20%</b>	<b>adición de 30%</b>	<b>Adición de 40%</b>	<b>Adición de 50%</b>
M1	22,5	23,1	22	23,4
M2	22,4	22,8	23	23
M3	22,3	23	23,3	23
<b>Longitud de las muestras cocidas, cm</b>				
M1	21,5	22	22	22
M2	22	22	22,4	22,4
M3	22	22	22,2	22,2
<b>Contracción lineal, %</b>				
<b>Mezclas</b>	<b>Adición de 20%</b>	<b>Adición de 30%</b>	<b>Adición de 40%</b>	<b>Adición de 50%</b>
M1	4,7	5,0	11,0	6,36
M2	1,8	3,6	2,7	2,7
M3	1,4	4,5	1,4	3,6
<b>Promedio</b>	2,6	4,4	5,0	4,2

En la figura 3.1 se puede apreciar que la muestra con una adición de 30 % de residuos sólidos de construcción es la que más se contrae con un valor de 4,5 % encontrándose dentro del rango establecido por la norma cubana NC 360: 2005.



La muestra para 40 % de aditivo es la que menos se contrae, ya que el residuo sólido de construcción no presenta la misma capacidad de absorción que las arcillas, por lo tanto su influencia en la mezcla se considera una propiedad secundaria.

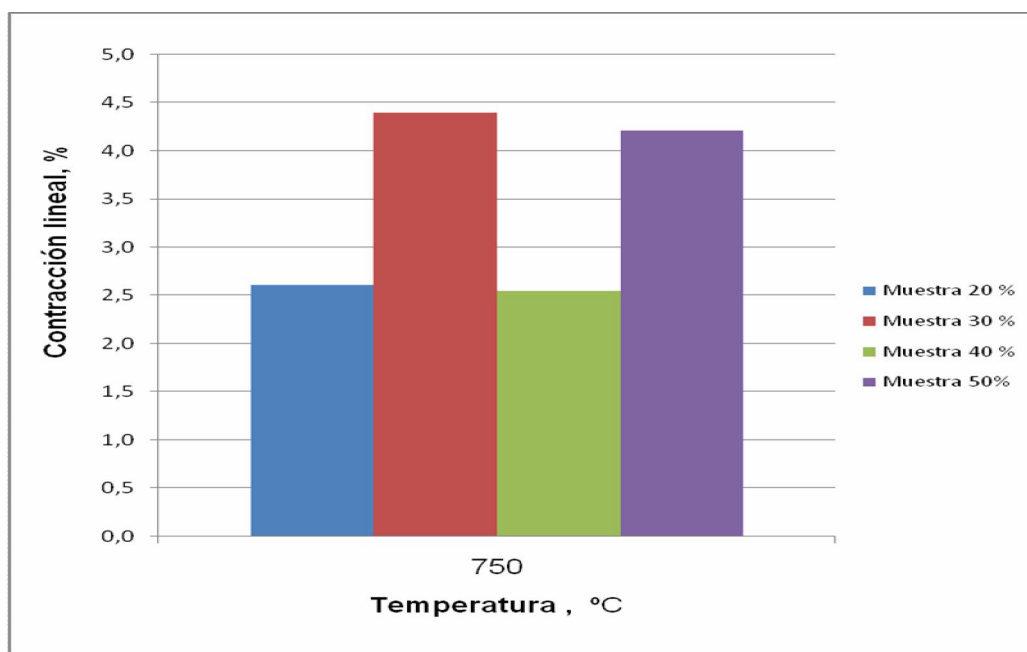


Figura 3.1. Resultados de la contracción lineal contra temperatura a 750 °C

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

El análisis de este parámetro se obtuvo a partir de los resultados obtenidos que se muestran en la tabla 3.2, para cada una de las mezclas antes y después de la cocción. La capacidad de absorción de cada muestra se presenta en porcentaje y se ilustra en la figura 3.2.



Tabla 3.2 Resultados de la absorción de agua.

<b>Masa de las muestras con agua, kg</b>				
M1	2,212	2,970	3,425	3,550
M2	2,312	2,565	3,525	3,700
<b>Masa de las muestras cocida; kg</b>				
<b>Mezclas</b>	<b>Adición de 20%</b>	<b>Adición de 30%</b>	<b>Adición de 40%</b>	<b>Adición de 50%</b>
M1	1,911	2,125	2,615	2,155
M2	1,946	2,125	2,585	2,023
<b>Absorción de agua , %</b>				
<b>Mezclas</b>	<b>Adición de 20%</b>	<b>Adición de 30%</b>	<b>Adición de 40%</b>	<b>Adición de 50%</b>
M1	15,751	39,765	30,975	64,733
M2	18,808	20,706	36,365	82,897
<b>Promedio</b>	17,279	30,235	33,669	41,448

Para el análisis se compararon los resultados según lo establecido en las normas cubana NC 360:2005 para ladrillos cerámicos de arcilla cocida (Tabla 3.5). Por tanto, se puede decir que la absorción de agua se encuentra por encima del rango permisible para productos cerámicos elaborados con 30, 40 y 50 % de adición de residuo sólido, ya que las exigencias de esta propiedad para los ladrillos cerámicos, está en el rango desde 8 hasta 18 %, no así para la mezcla con 20 % de adición de residuo sólido de construcción, la cual según la figura 3.2, es la que menos agua absorbió, con un promedio de 17,27 % de absorción, lo cual está en el rango especificado por la norma. La mezcla que más absorbe es la de 50 % de adición, dado esto por la alta porosidad que tienen las arcillas al cocerlas a baja temperaturas y la que posee los residuos sólidos de construcción empleados, lo que indica que a mayor porcentaje de adición, mayor es la absorción de agua.



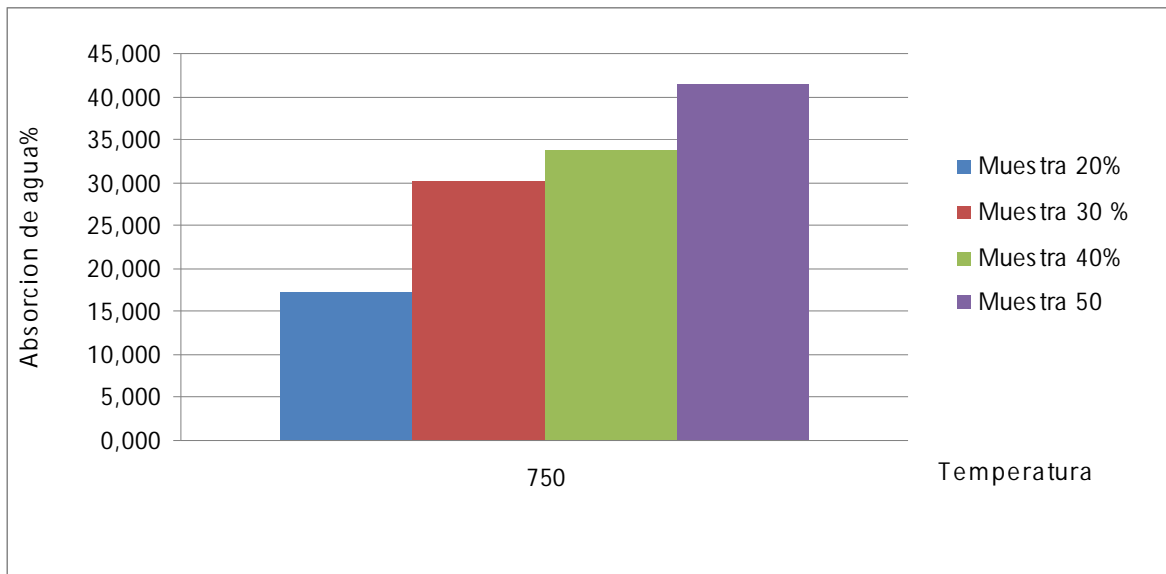


Figura 3.2. Resultados de la absorción de agua a 750 °C

### 3.3. Análisis de los resultados de resistencia a la compresión

Los valores obtenidos para el análisis de este parámetro se encuentran en la tabla 3.3,

Tabla 3.3. Resistencia de la compresión a 750 °C

Mezclas	Adición de 20 %	Adición de 30 %	Adición de 40 %	Adición de 50 %
M1	675	790	860	960
M2	685	795	895	980
<b>Promedio</b>	680,0	792,5	877,5	970
<b>Resistencia a la compresión, Mpa</b>				
<b>Mezclas</b>	22,7	26,4	29,3	32,33

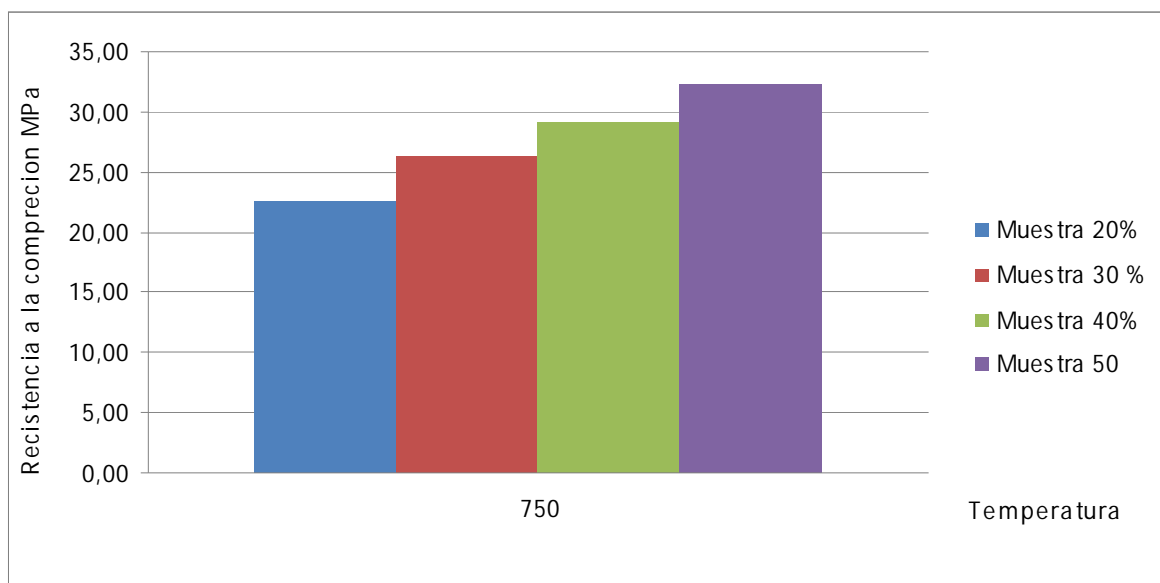


Figura 3.3 Resultados de la resistencia a la compresión a 750 °C.

La figura 3.3 muestra los valores de resistencia para las cuatro mezclas en estudio, las cuales arrojaron excelentes resultados, todos por encima del valor mínimo establecido por la norma NC 360: 2005, en este sentido, la que mejor resistencia mostró fue la mezcla 4 con un 50 % de adición, con un valor de 32,3 MPa.

Teniendo en cuenta los resultados de los parámetros tecnológicos se considera todas las mezclas poseen correspondencia con la norma en cuanto a la contracción lineal y resistencia a la compresión, no así para la absorción de agua, en la que solo cumple con los requisitos establecidos por la norma la mezcla con adición de 20 % de residuo sólido de construcción (Tabla 3.4).

Tabla 3.4 Rango de variación de las resistencia a la compresión, según la norma cubana NC 360: 2005

Propiedades físico mecánicas	Rango establecido	Rango de valores obtenidos
Contracción lineal (%)	6	2,5 – 4,5
Absorción de agua (%)	8 -18	17,28 – 41,45
Resistencia a la compresión (MPa)	10	23,2 – 32,3



### 3.4. Análisis de los resultados de pérdida de peso.

Este parámetro se obtuvo a partir de la ecuación (4) y permite conocer la facilidad de manejo del producto final, por pérdida de peso.

Tabla 3.5. Resultados de la pérdida de peso

<b>Masa de las muestras en seco; kg</b>				
<b>Mezclas</b>	<b>Adición de 20%</b>	<b>Adición de 30%</b>	<b>Adición de 40%</b>	<b>Adición de 50%</b>
M1	2,135	2,350	1.700	2,310
M2	2,130	1,860	2,190	2,030
<b>Masa de las muestras cocidas, kg</b>				
M1	2.101	2.115	3,425	2,450
M2	1,946	1.860	3,525	2,126
<b>Perdida de masa, %</b>				
<b>Mezclas</b>	<b>Adición de 20%</b>	<b>Adición de 30%</b>	<b>Adición de 40%</b>	<b>Adición de 50%</b>
M1	1.6	1,350	0.700	5.714
M2	1,1	0,860	1,190	4.516
<b>Promedio</b>	1.4	1,105	0.945	0.599

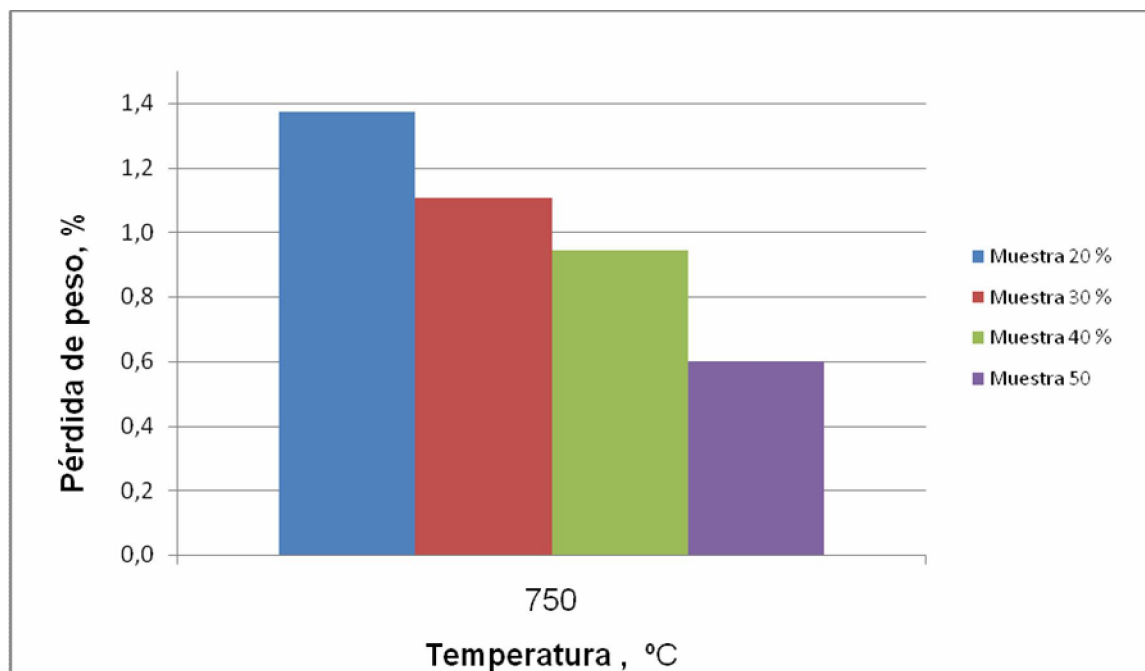


Figura 3.4 Resultados de la pérdida de peso a 750 °C



Las muestras que menor pérdida de peso presenté fue la de 50 % de adición de residuo sólido de construcción y la que mayor pérdida presentó fue la de 20 %. Por lo tanto, estos últimos resultan más ligeros y de mayor facilidad de colocación a medidas que se incrementa la adición de residuos de construcción.

### **3.5. Impacto ambiental**

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

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).

La fabricación de objetos cerámicos comprende las etapas siguientes:

- 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.

Problemas ambientales en las diferentes etapas del proceso

#### **3.5.1. Extracción de las arcillas**

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.

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

- 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.

### **3.5.2. Beneficio de la materia prima**

Esta etapa comprende los procesos siguientes:

- Mezclado de las materias primas
- Clasificación
- Filtración

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

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

### **3.5.3. Conformación y Acabado**

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



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

La contaminación que provoca este proceso a la atmósfera, además de cambios climáticos, produce una reducción de la visibilidad y la destrucción total de la vegetación debido a la lluvia ácida.

Los daños directos sobre el hombre se refieren principalmente a enfermedades agudas susceptibles de causar la muerte; intoxicaciones o irritaciones. El monóxido de carbono se combina con la hemoglobina de la sangre formando un complejo estable e irreversible disminuyéndose así la capacidad de transporte de oxígeno. Diversas sustancias producen bronquitis, asma, tos crónica, enfisema, neumonía, obstrucciones broncopulmonares, y cáncer.

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

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

Estas sustancias pueden ser recicladas aprovechándolas en algún otro proceso.



## Conclusiones Parciales

- Las mezclas con adición de un 30 % residuos sólidos de construcción fue la que más se contrae con un valor de 4,5 %, y la de menor contracción resulta la mezcla con 40 % de adición con 2,5 %, encontrándose todas las mezclas dentro del rango establecido por las normas.
- A medida que se incrementa el contenido de residuos sólidos de construcción, la probeta absorbe mayor cantidad de agua y experimenta en ese mismo sentido menor pérdida de peso al cocerla hasta 750 °C, lo que demuestra las ventajas de esta propiedad de tener mayor facilidad de colocación de los ladrillos cerámicos.
- Los valores de resistencia a la compresión se incrementan en las mezclas con adición de residuos sólidos de construcción, alcanzando valores superiores a 30 MPa para la mezcla con adición de 50 %, superior a lo que se exige para los ladrillos de calidad A (10 MPa) de las norma cubana NC 360 2005.



## CONCLUSIONES

Luego de analizar los resultados relacionados con los parámetros tecnológicos, contracción total, absorción de agua, pérdida de peso y resistencia a la compresión de las mezclas de arcillas y residuos sólidos de construcción, en este sentido se especifica lo siguiente:

- Las mezclas de arcillas de Cayo Guam y Centeno con los residuos sólidos de construcción pueden ser utilizados para la producción de ladrillos cerámicos, de acuerdo a lo establecido por la norma cubana NC 360: 2005, siendo la mezcla con adición de 20 % de residuos sólidos la más adecuada en cuanto a sus propiedades físico – mecánicas para su empleo en la industria de materiales de construcción.





## RECOMENDACIONES

- Profundizar en los requisitos establecidos por la norma cubana NC 360 2005 en cuanto al desconchado en el ladrillo, tolerancias dimensionales, planeidad y eflorescencias.
- Presentar los resultados de este trabajo a la dirección técnica de la ECOPP, para proponer la implementación del uso de las mezclas con adición de residuos sólidos de construcción hasta el 20 % sustentado en los resultados de este trabajo.



## BIBLIOGRAFÍA

1991. Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Instituto Tecnológico Geominero. Madrid. España., p.
- 1996:. Caracterización de las arcillas refractarias de la zona de Cayo Guam y su empleo en la fundición. Revista Minería y geología XIV (3):19 p
- ANDREIEV, S. E. & P. V. 1987. Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales. Editorial Pueblo y Educación. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, p.
- ARDUINO, T. 2002. Glosario de términos cerámicos.Cerámica contemporánea de México.<http://www.ceramica.info/glosario.htm>
- ARIOSAZNAGA, J. 1998. Curso de yacimientos minerales no metálicos.Capítulo 21: Arcillas y Caolín.
- AUTORES, C. D. Características de las arcillas. Consulta 15 de octubre 2009.
- BASCHINI, M. Minerales Arcillosos. Un Enfoque Químico .Consulta 9 de octubre 2009.
- BLANCO TORRENS, R. 1981. Mecánica de rocas. Santiago de Cuba. Editorial Oriente.,
- DORRONSORO, C. Granulometría de las arcillas .Consulta 15 de octubre 2009.
- FIGUEIRAL, S. R. C. D. V. 2010. Valoración de Mezclas de Arcillas de la Región de Centeno para su Utilización en la Industria de Materiales Locales. [ISMM]. Moa 48 p.
- FONSECA, D. 1999. Determinación de los índices de plasticidad de las arcillas de Centeno. . Informe técnico. Industrias Locales.



- G.I.GORCHAKOV. 1981. Materiales de Construcción. Moscú: Editorial Mir, 1Rizhskiper, 2, 129820, Moscú.
- GARZA, G. & C. ROBERTO. Caracterización de las arcillas y su aplicación industrial.Consulta 16 de octubre 2009.
- KASATKIN, A. G. 1971. Operaciones Básicas y aparatos en la tecnología Química. La Habana: Editorial Pueblo y educación 740 p.
- MAYO, O. & I. R. 2002. Geología de los yacimientos de arcillas para la cerámica. Quinta Conferencia Científico Técnica de la Construcción, Jornada Iberoamericana, La Habana. Editorial SOFTCAL, IR 824-831.
- MÉNDEZ, D. A. 2010a. Caracterización mineralógica y tecnológica de materiales arcillosos del territorio de Moa para su empleo en la Industria Local. [ISMM]. Moa 50 p
- Provincia Holguín para su Utilización como Puzolana Natural en la Construcción. [ISMM]. Moa 39 p
- MITROFANOV, S. I. 1982. Investigación de la capacidad de enriquecimiento de los minerales. Editorial MIR, Moscú, p.
- NAVARRO, D. E. F. 2003. Evaluación de Mezclas de Arcillas de la Región de Centeno, Moa. [ISMM]. Moa 85 p.
- OROZCO, G. 1995:. Caracterización de las arcillas de Cayo Guam.Informe técnico. ISMM.
- PABLO, G. L. 1964:. Las arcillas. Clasificación, identificación, usos y especificaciones industriales.Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.tomo XXVII, 2, 49-92, México.
- PONS HERRERA, J. A. & C. LEYVA. 1996. Empleo de las arcillas ferrocaoliniticas – gibbsíticas de la región de Moa en los talleres de fundición. Revista Minería y Geología XIII (3):93 p



RIPOLLES, R. & R. FERRO. Controles de laboratorio para gres porcelánico. Consulta 9 de octubre 2010.

RODRÍGUEZ, L. A. D. & R. TORRECILLAS. 2002. Arcillas cerámicas: una revisión de sus distintos tipos, significados y aplicaciones. BOLETIN DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE Cerámica y Vidrio 41 (5):459-470

SALCEDO, A. & F. HERRERA. 1976. Temas sobre materiales de construcción. La Habana: Editorial. Pueblo y Educación., p.

SEGUEIRA, J. E. 1976. Temas sobre materiales de construcción. La Habana: Editorial. Pueblo y Educación.,p

Hernández Moreno Silverio; de Hoyos Martínez Jesús E. y Delgado Hernández David J. 2010. Impacto Ambiental y Vida Útil de los Materiales más Comunes en la Industria de la Construcción. Tecnologías y materiales.

Hernández Moreno, Silverio. 2001. Tecnología de materiales compuestos y sus posibilidades de aplicación en arquitectura; desarrollo tecnológico de un material cerámico de tipo reforzado, Tesis de doctorado en Arquitectura, área de Tecnología, Posgrado de Arquitectura de la UNAM, México, D. F.

Mayer, Peter. 2005. BLP Durability assessment; Final Report (020 7929 1366) for National Audit Office, 6 de Julio de 2005, Building LifePlans Ltd, EUA.

NAHB (National Association House of Building). 2007. Study of life expectancy of home components, Bank of America Home Equity, USA.

Crespo Castillo, Rayda y Jiménez Chappotin, Rafael. 2012. Caracterización mineralógica y aplicaciones en la construcción de los lodos procedentes del lavado de áridos naturales. XXXIII CONVENCIÓN PANAMERICANA DE INGENIERÍAS, UPADI 2012. Memorias [CD - ROM], La Habana, Cuba, 9 -13 abril 2012.

Shackelford, James F. 1995. Ciencia de Materiales para Ingenieros, Pearson Education, México.



PNL. 1994. Addressing solid waste problems in the Pacific Northwest, PNL-SA 23528, 22 p.

NAHB (National Association House of Building). 2000. A Guide to Deconstruction; an Over View of Deconstruction with a Focus on Community Development Opportunities, House Urban Department, USA.

Hanford Reach. (1994). Environmental technology building and energy saver, Editorial Hanford Reach, EUA.

WBDG (Whole Building Design Guide). 2007. Principios de Diseño Sustentable en Edificación, Gobierno de Estados Unidos. EUA. Consulta 02/05/2012. Disponible en: <http://www.wbdg.org>

Ramírez Cruz, Yaritza; Almenares Reyes, Roger S. y Ochoa Mc Intosh, Yoel. 2012. Evaluación de mezclas de arcilla de la región de centeno, Moa, Cuba y arena sílice residual. XXXIII Convención Panamericana de Ingenierías, UPADI 2012. Memorias [CD - ROM], La Habana, Cuba, 9 -13 abril 2012.

Salazar J. A. 2005. Experiencia de Reciclaje en la Producción de Materiales de Construcción. V CONGRESO NACIONAL DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS SÓLIDOS. 30 de septiembre de 2005. Pereira. 57 p.



## ANEXOS

### Anexo 1. Ladrillos con base en residuos sólidos de la construcción



Obra Jardín de las Casas. 96 casas II Etapa. Constructora Bolívar-Muros y Techos  
Utilización de adición mortero, groutin y eco-concreto. Abril – Agosto 2004. Fuente:  
Salazar, 2005

*Manuel Brito Fernández*