



Instituto Superior Minero  
Metalúrgico de Moa  
Dr. Antonio Núñez Jiménez

Facultad: Geología y Minería  
Departamento de Geología

# Trabajo de Diploma

Para Optar por el Título de  
Ingeniero Geólogo

**Título:** Evaluación de mezclas de materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam y arena sílice residual para su utilización en la industria cerámica

**Autora:** Margelis Chacón Moreira

**Tutores:** Dr. C. Carlos Alberto Leyva Rodríguez  
Ing. Sergio R. Cabo de Villa Figueiral.

Moa 2015  
“Año 57 de la Revolución”





## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo: **Margelis Chacón Moreira**, autora de este Trabajo de Diploma que tiene como tema “**Evaluación de mezclas de materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam y arena sílice residual para su utilización en la industria cerámica**” y los tutores: *Dr.C Carlos Alberto Leyva Rodríguez* y el *Ing. Sergio R. Cabo de Villa Figueiral*, declaramos la propiedad intelectual de este al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa para que el mismo disponga de su uso cuando estime conveniente.

Para que así conste el presente a los \_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ de 2015.

\_\_\_\_\_  
**Diplomante: Margelis Chacón Moreira**

\_\_\_\_\_  
**Dr.C. Carlos A. Leyva Rodríguez**

\_\_\_\_\_  
**Ing. Sergio R. Cabo de Villa Figueiral**

## PENSAMIENTO

*...Si se es estudiante hay que ser inexorablemente buen estudiante, si se es trabajador de una fábrica, hay que ser obrero modelo en esa fábrica, hay que ser ejemplo de buen compañero, hay que ser ejemplo de sacrificio, hay que ser ejemplo de voluntad, han de ser de los primeros en todo, en el trabajo, en el estudio, en los deportes en la vida de relación con los demás compañeros.*

*FIDEL CASTRO RUZ.*



## DEDICATORIA

*De manera muy especial dedico esta tesis al ser máspreciado y querido que tengo en la vida, al motivo que me ha impulsado y me ha dado fuerzas para llegar hasta este punto por su amor incondicional, confianza y sacrificio durante todos estos años de estudios, a mi querida madre Marbelis Moreira Cruz.*

*...A Juan B. Sánchez Gonzáles que ha estado presente en esos momentos que he necesitado de su apoyo siendo como un padre para mí.*

*...A mi padre José Manuel Chacón Merencio y su esposa Neli por formar parte de mi vida.*

*...A todos mis hermanos Jose Manuel, Héctor Manuel, Liz de la Caridad, Alex Daniel y en especial a mi hermano Richard.*

*...A mis sobrinas Thalía Isabel y Helen María.*

*...A Danger Bientz de los Reyes por estar presente en esos momentos difíciles y brindarme su amor y apoyo incondicional, a su hermana Lizbetty, sus padres Adela y Maiquel y toda su familia.*

*...A mi prima Adachelis y su hijo Addiel.*

*...A toda mi familia en general.*

*...A todas esas personas que me quieren mucho y han velado cada día por que sea mejor persona y logre ser una profesional.*

---

## AGRADECIMIENTOS

*Los resultados del presente trabajo han sido fruto del esfuerzo conjunto dedicación, apoyo y la colaboración de varias personas, las cuales me sirvieron de mucho apoyo para que se cumpliera este sueño en realidad. Por esta razón es necesario agradecer a quienes de alguna manera contribuyeron al feliz término de la misma y a quienes estuvieron presentes en estos arduos años de estudio.*

*Llevo mi más profundo agradecimiento a todas las personas que han contribuido de una manera u otra en mi formación como profesional y en la realización de este Trabajo de Diploma.*

- *Especial agradecimiento a mi madre por su esfuerzo y apoyo en todo momento y por la simple razón de darme la vida.*
- *Agradezco a la Revolución Cubana, y a su líder indiscutible Fidel Castro Ruz por darme la oportunidad de formarme como un profesional competente.*
- *A mis tutores Dr. C Carlos Leyva Rodríguez y el Ing. Sergio R. Cabo de Villa Figueiral por transmitirme sus conocimientos y dedicarme su tiempo cuando lo necesité.*
- *Al claustro de profesores del Departamento de Geología del ISMM por su entrega y dedicación en cada una de las clases impartidas en el transcurso de todos estos años, en especial al Dr. Ortelio Vera por sus consejos y su incondicional apoyo brindado a todos sus estudiantes.*
- *A todos mis amigos y mis compañeros de aula que me extendieron su mano, gracias por sus consejos sabios, su apoyo, comprensión, su ayuda en los momentos precisos.*
- *Muchísimas gracias a Leslie, Danay, Dariana y Reinier por estar presente en esos momentos difíciles y especialmente a Mirian Hamilton Suárez, eternamente agradecida.*
- *...Mis más profundos agradecimientos a todas esas personas que me quieren bien.*

*A Todos, MUCHAS GRACIAS.*

## RESUMEN

El presente trabajo muestra la evaluación de mezclas de materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam y arena sílice residual desechada por la Empresa Mecánica del Níquel para su utilización en la industria cerámica, ya que el insuficiente conocimiento de las propiedades físico-mecánicas de estas mezclas limita su utilización. Para ello se evaluaron las propiedades de las probetas elaboradas.

Se estudiaron tres mezclas cerámicas confeccionadas con diferentes dosificaciones de arcilla con adicción de arena sílice residual, así como los factores que intervienen en la correcta elaboración de las mezclas: tamaño del grano, condiciones de secado y temperatura de cocción. Los parámetros tecnológicos determinados fueron los porcentajes de contracción lineal, pérdida de peso, absorción de agua, así como la resistencia a la compresión expresada en MPa, donde se demuestra que cumplen con los requisitos de las normas cubanas establecidas para ladrillos cerámicos con arcilla cocida. De acuerdo a las propiedades evaluadas, la mezcla compuesta por 70% de arcilla con adicción de 30% de arena sílice residual es la que mejores resultados presenta para su utilización como producto cerámico, teniendo en cuenta además 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, el cual durante su vertimiento causa un efecto negativo al ecosistema. Su utilización puede generar nuevos empleos e ingresos a la economía del país.



## **ABSTRACT**

The present work shows the evaluation of mixtures of loamy materials of the area of Cay Guam and sand residual silica discarded by the Mechanical Company of the Nickel for their use in the ceramic industry, since the insufficient knowledge of the physical-mechanical properties of these mixtures it limits their use. For they were evaluated it the properties of the elaborated samples. Three ceramic mixtures were studied made with different clay dosages with adiction of sand residual silica, as well as the factors that intervене in the correct elaboration of the mixtures: size of the grain, drying conditions and cooking temperature. The determined technological parameters were the percentages of lineal contraction, loss of weight, absorption of water, as well as the resistance to the crush expressed in MPa, where it is demonstrated that they fulfill the requirements of the established Cuban norms for ceramic bricks with cooked clay. According to the evaluated properties, the mixture composed by 70% of clay with adiction of 30% of sand residual silica is the that better results it presents for their use like ceramic product, also keeping in mind that the use of the sand residual silica for the obtaining of ceramic mixtures, constitutes an important step for the use of the volumes of this material, which it causes negative effect to the ecosystem during be shed. Their use can generate new employments and incomes to the economy of the country.





# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL</b> .....	4
<b>ESTADO DEL ARTE</b> .....	20
<b>CAPÍTULO I: CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LA REGIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	25
1.1 Características físico- geográficas .....	25
1.1.1 Situación geográfica .....	25
1.1.2 Relieve.....	26
1.1.3 Clima.....	26
1.1.4 Humedad relativa.....	26
1.1.5 Red hidrográfica.....	27
1.1.6 Vegetación.....	27
1.1.7 Demografía.....	28
1.1.8 Desarrollo económico de la región .....	28
1.2 Características geológicas regionales .....	28
1.2.1 Estratigrafía .....	29
1.2.2 Tectónica.....	33
1.2.3 Geomorfología regional.....	34
1.2.4 Magmatismo.....	36
1.3 Materiales arcillosos de Cayo Guam .....	36
1.3.1 Situación geográfica.....	36
1.3.2 Características generales del área de estudio .....	37
<b>CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN</b> .....	40
2.1 Metodología de la Investigación.....	40



2.1.1 Preliminar.....	41
2.1.2 Trabajos de campo.....	41
2.1.2.1 Toma de muestras.....	41
2.1.3 Preparación y ensayos.....	42
2.1.3.1 Preparación de las muestras.....	43
2.1.3.2 Metodología para la realización de los ensayos .....	46
2.1.4 Trabajos de gabinete.....	49
2.2 Equipos empleados en la investigación.....	49
<b>CAPITULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS E IMPACTO</b>	
<b>MEDIOAMBIENTAL .....</b>	<b>51</b>
3.1 Análisis de los resultados.....	51
3.1.1 Análisis de los resultados de contracción total.....	51
3.1.2 Análisis de los resultados de pérdida de peso .....	53
3.1.3 Análisis del resultado de absorción de agua de la mezcla cocida.....	55
3.1.4 Análisis de los resultados de la resistencia a la compresión .....	57
3.2 Problemas ambientales en las diferentes etapas del proceso de extracción de arcillas.....	58
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>64</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXOS</b>	

---

## INTRODUCCIÓN

El municipio de Moa ocupa un lugar en la historia nacional por la riqueza de su suelo, flora y fauna, por la belleza de sus ríos y además por el impetuoso desarrollo industrial lo que lo convierte en un baluarte económico para el país, ya que posee grandes riquezas minerales, estas reconocidas internacionalmente, convirtiéndolo en uno de los mayores productores de Níquel y Cobalto del mundo. Sin embargo aún se conoce muy poco de las grandes posibilidades que tienen sus cortezas aluminosas para ser empleadas en la industria de la cerámica.

Las arcillas constituyen la principal materia prima para la fabricación de cerámicos de construcción. Éstas aparecen en todo tipo de formación rocosa, desde la más antigua a la más reciente, y en formaciones ígneas y sedimentarias. 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. Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan.

Actualmente, los productos cerámicos constituyen una amplia gama de nuevos materiales que sustituyen 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 (Hidalgo, 2013).

En el proceso productivo que tiene lugar en la Unidad Empresarial Básica (UEB) de Fundición de la EMNi de Moa, las arenas de sílice, consideradas como una de las materias primas fundamentales para la elaboración de mezclas de moldeo, constituyen más del 85 % de los moldes compactados por medios

---

físicos y alrededor del 98 % de los moldes y machos químicos. Una vez aprovechadas son eliminadas en depósitos y se consideran como desechos sólidos (Brocard, 2011). La utilización de residuos puede ayudar a conservar los recursos naturales al reducir la demanda de materias primas convencionales. Al mismo tiempo contribuye a preservar el medio ambiente, ya que permite la reducción del vertido de residuos que, en general, causan la degradación de grandes áreas. La mezcla de los materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam con esta arena sílice residual puede ser una buena variante en su uso para la industria cerámica, además que de esta manera se posibilitará la conservación ambiental, minimización del consumo de recursos naturales y ahorro de energía, por lo que parece claro la necesidad y conveniencia de estudiar y conocer sus características y propiedades, teniendo en cuenta que en ensayos realizados con anterioridad a la arcilla de Cayo Guam, por sí sola no resulta conveniente para su utilización como material cerámico, ya que las muestras se agrietan totalmente en la etapa de secado natural, lo que impide se continúe el proceso, de ahí surge como **situación problemática**, la necesidad de estudiar las propiedades físico- mecánicas de las mezclas de materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam en el municipio de Moa con arena sílice residual generada en la Unidad Empresarial Básica de Fundición en el mismo municipio, para su posible utilización en la industria cerámica.

### **Problema**

El insuficiente conocimiento de las propiedades físico- mecánicas de las mezclas de los materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam con la arena sílice residual, limita su posible utilización en la industria cerámica.

### **Objeto de estudio**

Materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam y la arena sílice residual obtenida en la UEB de Fundición de la EMNi de Moa.

### **Campo de acción**

Las propiedades físico-mecánicas de los materiales arcillosos de la industria de cerámica roja.

### **Hipótesis**

Si se determinan las propiedades físico- mecánicas de las mezclas obtenidas a partir de los materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam con la arena sílice residual, es posible elaborar la propuesta de las mezclas adecuadas para su posible utilización en la industria cerámica en el municipio de Moa.

### **Objetivo general**

Evaluar las mezclas de los materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam con la arena sílice residual, a partir de sus propiedades físico-mecánicas, con vistas a definir su posible utilización como material cerámico.

### **Objetivos específicos**

- Definir el sector favorable que garantice la calidad esperada, para la extracción de la arcilla de Cayo Guam.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas a las probetas elaboradas, a partir de las mezclas de los materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam con la arena sílice residual, para su posible utilización como material cerámico.
- Proponer las mezclas adecuadas para su posible utilización en la industria cerámica a partir de la evaluación de diferentes mezclas, teniendo en cuenta las condiciones de tratamiento para mejorar sus propiedades físico-mecánicas.

### **Para lograr el cumplimiento de los objetivos propuestos, se plantean las siguientes tareas**

- Selección y preparación de las muestras a utilizar en la investigación.
- Elaboración de las mezclas cerámicas con materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam y arena sílice residual.
- Determinación de ensayos físicos-mecánicos a las probetas obtenidas.
- Análisis de los resultados obtenidos.
- Realización de una evaluación ambiental.

---

## MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

### Generalidades

Para la confección de este trabajo se realiza un análisis sobre los diferentes aspectos relacionados con los temas consultados en diferentes bibliografías, acerca de las arcillas y la arena sílice, con el propósito de disponer de los elementos básicos para la realización del trabajo. Se expone además el estado del arte, las conceptualizaciones y consideraciones teóricas sobre estos materiales.

### El término arcilla se usa habitualmente con diferentes significados.

- Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físicas-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2  $\mu\text{m}$ ).
- Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas.
- Para un sedimentólogo, arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2  $\mu\text{m}$ .
- Para un ceramista una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica.
- Desde el punto de vista económico las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas y con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

La arcilla está constituida por agregados de silicatos de aluminios hidratados, procedentes de la descomposición de minerales de aluminio. Presenta diversas coloraciones según las impurezas que contiene, siendo blanca cuando es pura. Surge de la descomposición de rocas que contienen feldespato, originada en un proceso natural de alteración.

Físicamente se considera un coloide, de partículas extremadamente pequeñas y superficie lisa. El diámetro de las partículas de la arcilla es inferior a 0,002 mm. En la fracción textural *arcilla* puede haber partículas no minerales, los fitolitos.

Químicamente es un silicato hidratado de alúmina, cuya fórmula es:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Son el producto de disgregación total o parcial de las rocas ígneas por acción del agua y los agentes atmosféricos (en especial el dióxido de carbono), temperatura y presión durante largos períodos de tiempo. Por esta razón el término arcilla no corresponde a una composición química o mineralógica definida; las arcillas son mezcla de diversas especies minerales, esto dependerá de la composición de la roca madre de partida. Esto hace muy complicado el estudio de las mismas y la evaluación de los yacimientos que, por el mismo motivo, presentan una elevada heterogeneidad. El término caolín, sin ser mucho más preciso, designa a una arcilla con un elevado porcentaje de caolinita (mínimo 80%) y con un bajo contenido de impurezas, especialmente, en el contenido de óxido de hierro. La composición teórica de la caolinita es: Alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ): 39,56 %, óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ): 46,54 %, y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ): 13,90 % en masa, dichos porcentajes son distintos en las arcillas por la presencia de otros minerales e impurezas como son: el óxido de titanio, calcio, magnesio, potasio, sodio y hierro. El contenido importante de éste último es característico de las arcillas rojas utilizadas en la fabricación de ladrillos y tejas.

Se considera empíricamente la **arcilla** como una sustancia mineral terrosa compuesta en gran parte de hidrosilicato de alúmina que se hace plástica cuando se humedece y semejante a la roca cuando se cuece. Puede ser un material muy moldeable al ser combinado con agua, se le puede dar cualquier forma y luego, se endurece al secar o al ser sometida al calor. Por esas propiedades, la arcilla es ampliamente utilizada para realizar objetos cerámicos; de hecho, fue la primera cerámica realizada por el hombre y hasta hoy, uno de los materiales más utilizados.

### **Clasificación de las arcillas**

Las arcillas se pueden clasificar de acuerdo con varios factores. Así, dependiendo del proceso geológico que las originó y a la ubicación del yacimiento en el que se encuentran.



### **Desde el punto de vista geológico**

Se pueden distinguir entre primarias las cuales son de tipo hipogénico (residuales o de intemperismo) y que permanecieron en el mismo lugar de su formación, y las secundarias que fueron acarreadas a lugares diferentes al de su origen (sedimentario).

**Fluviales:** depositadas por ríos y siendo depósitos de baja calidad.

**Lacustres:** asentados en lagos y estando en capas uniformes de buena calidad.

**En deltas:** son arenosas y de composición irregular.

**Glaciales:** formadas por la acción de grandes masas de hielo sobre rocas cristalinas.

Si atendemos a la estructura de sus componentes, se distinguen las arcillas filitenses y las arcillas fibrosas.

También se pueden distinguir las arcillas de acuerdo a su plasticidad. Existen así las arcillas plásticas (como la bentonítica) y las poco plásticas (como la esméctica, que absorbe las grasas).

### **Granulometría**

Dentro de la clasificación granulométrica de las partículas del suelo, las arcillas ocupan un lugar de acuerdo al tamaño de sus partículas como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Clasificación granulométrica ( Tomado de Hidalgo, 2013)

No.	Partículas	Tamaño
1	Arcillas	< 0.002mm
2	Limos	0.002-0.06mm
3	Arenas	0.06-2mm
4	Gravas	2-6mm
5	Cantos rodados	6-25mm
6	Bloques	> 25mm

## Propiedades físico-químicas de las arcillas

Las arcillas tienen capacidad de intercambio catiónico, es decir son capaces de cambiar fácilmente los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras.

La capacidad de absorción es otra de las propiedades de las arcillas ya que pueden absorber agua u otras moléculas en el espacio interlaminar o en los canales estructurales. Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envoltura sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. Su elevada plasticidad se debe a su morfología laminar, tamaño de partícula muy pequeño y a su alta capacidad de hinchamiento.

Según los datos de Priklonski, la plasticidad de las arcillas, determinadas por el método de Casagrande, se caracteriza por los valores mostrados en tabla 2.

**Tabla 2.** Clasificación de las arcillas según su plasticidad

Arcillas	Plasticidad
De alta plasticidad	>17
Plásticas	7 - 17
De baja plasticidad	0 - 7

**Merma:** debido a la evaporación del agua contenida en la pasta se produce un encogimiento o merma durante el secado.

**Refractariedad:** todas las arcillas son refractarias, es decir resisten los aumentos de temperatura sin sufrir variaciones, aunque cada tipo de arcilla tiene una temperatura de cocción.

**Porosidad:** el grado de porosidad varía según el tipo de arcilla. Esta depende de la consistencia más o menos compacta que adopta el cuerpo cerámico después de la cocción. Las arcillas que cuecen a baja temperatura tienen un índice más elevado de absorción puesto que son más porosas.

---

**Color:** las arcillas presentan coloraciones diversas después de la cocción debido a la presencia en ellas de óxido de hierro, carbonato cálcico, etc.

**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.

**Hidratación e hinchamiento:** la hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmeclitas, y 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.

**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 las 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 aún 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.

**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.

**Retracción de la arcilla:** la retracción consiste en que se reducen las 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.

**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 periodo reacciona la alúmina con la sílice 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 ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ).

---

## **Clases industriales de arcilla**

### ***Caolín o arcilla de china***

Son arcillas primarias (aunque también existen caolín secundario) que se han formado por la meteorización in situ del feldespato. Sus partículas son de gran tamaño y por ello resulta menos plástico en comparación con otras arcillas. Están corrientemente mezclados con fragmentos de roca de feldespato y cuarzo por ello se hace necesario utilizar algún método para su purificación. Su composición química se aproxima a la fórmula del mineral caolinita. Se trata de una arcilla altamente refractaria, con un punto de fusión por encima de los 1 800 °C.

En la práctica, raramente se utiliza el caolín en sí mismo dado su alto grado de refractariedad y su poca plasticidad, por ello se añaden a él otros materiales aunque se debe decir que no todos los caolines son iguales en color y plasticidad. En general su grado de contracción es bajo debido al grosor de sus granos y tiene poca resistencia en seco.

### ***Arcillas refractarias***

Esta arcilla no es un tipo propiamente dicho dado que se refiere a la resistencia al calor de las arcillas en general independientemente del color, plasticidad, o sea cualquiera de sus propiedades.

Cualquier arcilla que resista la fusión hasta alrededor de los 1 500 °C puede considerarse como una arcilla refractaria, lo que significa que es relativamente pura y libre de hierro.

Estas arcillas son útiles para gran variedad de productos, principalmente en la fabricación de ladrillos refractarios y otras piezas para hornos, estufas, calderas, entre otras.

También son utilizadas como aditivos para las pastas de loza o las pastas para gacetas en los que se quiera aumentar la refractariedad.

### ***Arcilla para gres o arcilla para loza***

Las arcillas para loza son generalmente arcillas secundarias y plásticas que se funden a 1 200-1 300°C. Su color de cocción va desde un gris claro a un gris oscuro o marrón.

Cambian mucho de color, plasticidad y temperatura de cocción sin haber una distinción clara entre arcilla refractaria o para loza. La distinción se suele basar según el uso que se haga de la arcilla más que por su naturaleza química o física.

Esta puede presentar un grado óptimo de plasticidad así como de cocción o puede mejorarse añadiendo feldespato y arcilla de bola para ajustar su temperatura y plasticidad.

### ***Arcilla para barro cocido, arcilla para cacharros o arcilla de alfarería***

Son muy corrientes y suelen contener hierro y otras impurezas minerales por lo que su grado de cocción es de 950-1 100°C. En bruto esta arcilla es roja, marrón, verdosa o gris por la presencia del óxido de hierro, y tras su cocción puede variar de color.

Se trata de la materia común para los ladrillos, baldosas, tubos de drenaje, tejas, etc.

La **arcilla roja común** por sí sola es demasiado plástica, llegando a ser pegajosa, aunque a veces contiene arena u otros fragmentos pétreos que dificultan su plasticidad.

En la preparación de una pasta cerámica existen tres ingredientes principales: los elementos plásticos, los magros o desengrasantes y los fundentes. La proporción y calidad de estos tres ingredientes determinará el producto cerámico.

**Elementos plásticos:** son las arcillas y caolines que forman la base de las pastas cerámicas debido a su plasticidad.

**Elementos magros o desengrasantes:** son la sílice, la arena, trozos molidos de terracota (chamota) y las arcillas silíceas. Son para reducir su excesiva plasticidad, para aumentar la porosidad así como facilitar el secado del objeto.

**Elementos fundentes:** son los feldespatos, las micas, la cal, los fosfatos, las fritas molidas, los vidrios pulverizados y las arcillas fundentes, ferrosas y calcáreas.

---

## Utilización de fundentes en la producción de ladrillos cerámicos

**Tabla 3.** Materia prima usada en la industria cerámica.

Grupo industrial	Uso industrial	Tipo de materia prima
CERÁMICA	Cerámica roja	Arcilla, Bentonita, Marga
	Cerámica fina	Caolín, Roca feldespática,
	Cerámica especial	Cianita, wallastonita.
	Cerámica refractaria	Cuarcita

La tabla 3 fue tomada de la clasificación de las materias primas no metálicas y combustibles según su principal uso industrial, de acuerdo a la tabla seleccionada del Mapa de Yacimiento y Manifestaciones Minerales no Metálicos y Combustibles de la República de Cuba. Escala 1: 500 000. Año 1988.

El principal uso de los materiales arcillosos se da en el campo de la cerámica de construcción (tejas, ladrillos, tubos, baldosas, alfarería tradicional, lozas, azulejos y gres. Uso al que se destinan desde los comienzos de la humanidad. Prácticamente todas las arcillas son aptas para estos usos, primando las consideraciones económicas.

Son así mismo utilizadas en la manufactura de cementos, como fuente de alúmina y sílice, y en la producción de áridos ligeros (arcillas expandidas).

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

**Feldespatos:** las propiedades fundentes de los materiales feldespáticos dependen de su contenido de sílice libre y óxidos alcalinos, la relación entre el sodio y el potasio en ellos y la composición del cuerpo en el cual son introducidas. La acción fundente de los materiales feldespáticos aumenta a medida que el punto de fusión disminuye con el incremento de contenidos de



---

óxidos alcalinos. La cantidad y el tipo de material feldespático dependen de la naturaleza del cuerpo cerámico producido.

**Silicato de sodio:** es un eficiente aditivo utilizado en la producción de productos cerámicos. Se usa específicamente en la extrusión de ladrillos, tejas y otros productos de arcillas cocidas. Al adicionarlos en la mezcla disminuye la cantidad de agua necesaria y aumenta la plasticidad de la misma, por lo que en la etapa de cocción disminuye la cantidad de energía necesaria para eliminar la humedad del ladrillo crudo.

**Vidrio pulverizado:** procedentes de botellas y recipientes de vidrio. Se ha comprobado que con una adicción de un 10 % de vidrio pulverizado a la masa de arcilla se logra reducir la temperatura de cocción en 100 C, por lo cual se reduce en un 20 % el consumo de combustible utilizado para la cocción y, a su vez, este fundente influye en el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas del material cerámico; sobre todo en el incremento de la resistencia a la compresión, en la disminución de absorción de agua y, por ende, mejora su durabilidad.

**Carbonato de calcio:** este mineral ejerce una acción fundente muy enérgica en las pastas cerámicas, rebajando la temperatura de cocción. Por la acción del calor, se descompone CaO y desprende CO<sub>2</sub>, de ahí que se use también cuando se desea obtener cerámica porosa. Si aparece en la arcilla como granos grandes, la cal formada producto a la descarbonatación durante la cocción, tiene a hidratarse al salir del horno por acción del medio ambiente, produciéndoles grietas en el interior y erosión en la superficie de los productos, como resultado del aumento de volumen. En las pastas crudas actúa como antiplásticas, aunque no reduce en el encogimiento en el secado tanto como en la sílice.

La mayoría de los fundentes mencionados son generalmente caros porque llevan y procesamiento industrial y su obtención no resulta tan simple ni económica para la comercialización; se debe exceptuar a los carbonatos ya que se tiene de forma más económica por el procesamiento más simple (solo moler hasta la finura deseada la caliza) a lo que se agrega su abundante disponibilidad. Esto hace posible su presencia en el mercado internacional con un fundente de excelente calidad a muy bajo precio, por tanto, se convierte en

---

una fuente muy económica que facilita el uso de fundentes en la industria cerámica en general.

### **Mineragenia de los depósitos de arcilla en Cuba**

Existe una amplia distribución de la arcilla en todo el territorio nacional, destacándose, por presentar depósitos de buena calidad y considerable volumen de recursos, las provincias de Pinar del Río, Ciego de Ávila, Guantánamo, Holguín, Santiago de Cuba, Sancti Spíritus y Villa Clara.

La arcilla se enmarca dentro de los tipos genéticos de yacimientos sedimentarios (secundarios) y residuales (primarios), con edades del Pre-Cuaternario hasta Plioceno – Cuaternario.

**Sedimentarios (secundarios):** forman parte de los depósitos aluviales indiferenciados, aluvio – deluviales y aluvio – marinos del Plioceno – Cuaternario del neautóctono o cobertura joven, asociándose a distintas terrazas del cauce inferior de los ríos. Son de composición montmorillonítica e illítica y forman desde capas extensas hasta lentes pequeños interdigitados con arena y grava, con espesor útil no mayor de la decena de metros. También forman parte de la cobertura del Paleógeno medio – Neógeno tardío. Tienen composición predominante montmorillonítica con contenido calcáreo en algunas regiones, forman capas de espesor y extensión estables en las formaciones con predominio pelítico, pero en otras, su distribución en el corte es pobre y de poco espesor.

**Residuales (primarios):** se asocian a las cortezas de intemperismo desarrolladas sobre las más diversas rocas que afloran en el archipiélago cubano, principalmente sobre granitoides, serpentinita y gabroides, originando arcilla de composición montmorillonítico – illítica con contenidos variables de caolinita; en algunas regiones forman capas y lentes irregulares en espesor y distribución areal, en dependencia de los factores que controlan la formación y acumulación del eluvio. El espesor útil es de pocos metros.

**Hidrotermales:** se asocian a las lavas y toba andesítica alterada hidrotermal e hipergénicamente de los arcos volcánicos Cretácico y Paleógeno. Composición: montmorillonítico – caolinítica con plasticidad media hasta alta. Forman capas

irregulares y bolsones con fragmentos de roca madre y nódulos de  $\text{CaCO}_3$  y Fe. Su espesor útil es variable y no excede los 10 m. Son utilizadas en la cerámica.

## Arena Sílice

La arena sílice o cuarzosa, procede de la desintegración de las rocas silíceas, y está constituida por granos de cuarzo cuya fórmula química es  $\text{SiO}_2$ . Forma depósitos sedimentarios en los que fueron lechos de antiguos ríos o mares. El cuarzo es uno de los minerales más abundantes en la corteza terrestre.

*Entre sus principales propiedades se encuentran*

- Dureza según escala de Mohs: 7.
- Tipo de fractura: concoidea (forma de concha).
- Peso específico: 2.5 – 2.7. En las variedades puras es 2.65.
- Temperatura de fusión: 1 713 °C.
- Resistente a los ácidos (excepto el fluorhídrico), siendo atacado por los álcalis.

Son precisamente estas propiedades las que definen sus diferentes empleos, entre los que están

- *Industria del Vidrio.* Es la materia prima principal para la fabricación del vidrio. Para los vidrios ópticos se requieren de una altísima pureza y para el vidrio blanco un bajo contenido de hierro. La granulometría a emplear oscila entre 0.6 – 0.1 mm.

Especificaciones químicas para su uso en el vidrio:  $\text{SiO}_2 > 99.5\text{Fe}_2\text{O}_3 < 0.04\text{Al}_2\text{O}_3 < 0.3\text{TiO}_2 < 0.1\text{Cr}_2\text{O}_3 < 2 \text{ ppm}$ .

- *Industria Cerámica.* Es también una de las materias primas básicas en la fabricación de porcelana y loza.
- *Industria Metalúrgica.* Se emplea de conjunto con arcillas y otras materias primas en la conformación de los moldes de fundición.
- *Construcción.* Como material integrante de mezclas de morteros y hormigones, material de relleno, etc.

- *Abrasivos.* Debido a su dureza se emplea como abrasivos en la máquinas de chorro de arena, papel de lija para maderas, aunque no es un abrasivo de calidad debido a que para la salud humana resulta nocivo estar expuesto a los polvos de sílice libre (que provocan la enfermedad profesional silicosis), debido a esto, hay países donde se regula el empleo con estos fines. Su forma de fractura concoidea no favorece la regeneración de aristas aspecto esencial para un buen abrasivo. No obstante, su bajo precio hace que todavía se emplee en el pulimento de superficies.

Las arenas empleadas en fundición pueden ser de varios tipos, son las de cuarzo las que superan a todas las demás en cuanto a aplicación se refiere. Esto se debe a que las arenas de cuarzo constituyen un material barato, abundante y de tan buenas propiedades técnicas como los demás tipos de arenas de fundición. El componente fundamental de las arenas de cuarzo es el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ).

Cuba posee varios yacimientos de cuarzo, algunos muy notables por su alta pureza y calidad. Los principales yacimientos en explotación para la producción de mezclas de moldeo se encuentran en la provincia de Pinar del Río (Guane, Santa Teresa, Cortés, Santa Bárbara); en la Isla de la Juventud (Buenavista) y en el municipio de Trinidad de la provincia de Santi Spíritus (Casilda). La mayoría de las arenas de cuarzo cubanas se caracterizan por un alto contenido de  $\text{SiO}_2$  (95 %) y un contenido relativamente bajo de impurezas, por lo que encuentran aplicación como arena de moldeo en fundición. Una vez empleadas, mantiene sus propiedades, por lo que puede estudiarse la posibilidad de utilización en otros campos.

Se han investigado 14 yacimientos de arena sílice en el país, y se han empleado como materia prima en las industrias del vidrio, cerámica, metalurgia y construcción.

Las arena sílice o cuarzosa presentan en estado natural, contenidos promedios de  $\text{SiO}_2$  entre 97 y 99%. El contenido de hierro, que es el que determina por lo general el uso, oscila entre 0.01 y 0.17%, aunque existen yacimientos en los cuales se excede este valor. Generalmente, estos yacimientos son de arenas

finas, con muy bajos rendimientos en fracciones gruesas (> 0.6 mm), por lo que limita su empleo en limpieza por chorro de arenas (sand blasting).

### **Actualmente existen tres plantas procesadoras de arena sílice en el país**

- **Planta de Arena Sílice de Guane (Pinar del Río).** Fue concebida para explotar el yacimiento “Cortes”, pero actualmente se hace del yacimiento de arena “Santa Teresa”. Por falta de demanda, se aprovecha a un % muy bajo su capacidad de procesamiento, que es, según diseño, de 300.0 Mt/año. El destino principal de su producción es abastecer la industria del vidrio, producción que ha estado muy deprimida en los últimos años.
- **Planta de Arena de Trinidad (Sancti Espíritus).** Aprovecha las arenas del yacimiento de igual nombre, y tiene una capacidad de procesamiento de 80.0 Mt/año (50.0 Mm<sup>3</sup>/año). El destino principal de su producción es la industria metalúrgica, para su empleo en mezcla para moldes de fundición, que también ha estado muy deprimida en todos estos años.
- **Planta de Arena sílice de Buenavista (Isla de la Juventud).** Está enclavada en el yacimiento de igual nombre. La misma no pertenece al Grupo Empresarial GeoMinSal, sino al MICONS. Es el único yacimiento de arena sílice que tiene un rendimiento aceptable en fracciones gruesas, teniendo como impurezas minerales pesados, como la cianita. Su producción se destina para la fundición (instalación de clasificación vía seca, descapitalizada), y para la construcción (instalación de lavado de arena).

En la planta de caolín de Patria, Geominera Isla procesa también un pequeño volumen anual de arena sílice, con destino a la industria cerámica local. Dicho proceso consta de las etapas de desmenuzamiento en tambor lavador, clasificación en clasificador de espiral, y secado subaéreo en piscinas.

### **Clasificación de la arena sílice para la industria**

- Fabricación de vidrio blanco.
- Fabricación de vidrio semi-blaco y ámbar, producciones metalúrgicas, producción de hormigón celular, industria del mármol como abrasivo en el corte, producciones de silicato de sodio y cerámica.

- 
- Fabricación de piezas no ferrosas y de hierro fundida a escala pequeña y de poca complejidad como arena de moldeo.
  - Como aditivo en las mezclas para material de construcción.
  - Arena de moldeo en las producciones metalúrgicas y fundición de hormigón.

El término “arena de sílice” describe un producto que consiste esencialmente del material cuarzo (sílice) y es utilizado principalmente en la práctica de moldeo y ejecución de machos, así como en la fabricación de vidrio (Salcines 1985).

La sílice es el material más utilizado en la fundición por las siguientes razones

- Existe en abundancia en numerosos lugares.
- Es relativamente bajo el costo de producción.
- Está disponible en cualquier tamaño y distribución del grano.
- Posee alta dureza y suficiente resistencia a la abrasión.
- Posee alta compactación con todos los tipos de aglutinantes y aglomerantes empleados en la fundición.
- Consistencia en la pureza, propiedades y conducta en la fundición.
- Alta resistencia al calor y generalmente adecuada resistencia al acero fundido.
- Resultados satisfactorios cuando se producen piezas de hierro laminar, nodular e incluso muchos tipos de piezas fundidas de acero.

La arena sílice utilizada en la EMNi está compuesta principalmente por óxido de silicio, además contiene impurezas como óxidos de hierro, feldespatos, micas, carbonatos, entre otros, su temperatura de fusión es de 1750 °C y durante el calentamiento experimenta diferentes variaciones alotrópicas, las cuales se caracterizan por cambios de coloración y de volumen. Estas transformaciones juegan un papel importante en el comportamiento de las mezclas de moldeo durante el vertido del metal (Brocard, 2011).

---

## ESTADO DEL ARTE

### Referentes teóricos sobre el estudio de las arcillas

Cerámica (ingeniería) (en griego *keramos*, 'arcilla'), en la antigüedad arte de hacer objetos de cerámica con arcilla. Ahora es un término general que se aplica a la ciencia que se ocupa de la fabricación de objetos con materiales terrosos, blandos, endurecidos mediante tratamientos a altas temperaturas. Los materiales cerámicos son compuestos inorgánicos no metálicos, en su mayoría óxidos, aunque también se emplean carburos, nitruros, boruros y siliciuros. La cerámica incluye los trabajos de alfarería, porcelana, ladrillos, baldosas y azulejos de gres. Estos productos no sólo se utilizan con fines decorativos o para servicio de mesa, también se utilizan en los materiales de construcción, e incluso para fabricar soportes magnéticos. Las partículas de óxido de hierro constituyen el componente activo de muchos medios de grabación magnética, como las cintas de casete y los disquetes o discos de ordenador (computadora). Los aislantes cerámicos tienen una amplia variedad de propiedades eléctricas y han reemplazado a los materiales convencionales. Se han descubierto en fechas recientes propiedades eléctricas de superconductividad, en la familia de compuestos cerámicos basados en óxido de cobre, a temperaturas mucho más altas que a las que ciertos metales experimentaban este fenómeno. En la tecnología espacial se utilizan unos materiales cerámicos llamados *cermets* para fabricar la parte delantera de los cohetes, las placas resistentes al calor de los transbordadores espaciales y otros muchos componentes. Los *cermets* son aleaciones de alta resistencia al calor que se obtienen mediante mezcla, prensado y cocción de óxidos y carburos con metales en polvo.

La historia de la cerámica va unida a la historia de casi todos los pueblos del mundo. Abarca sus mismas evoluciones y fechas y su estudio está unido a las relaciones de los hombres que han permitido el progreso de este arte.

La invención de la cerámica se produjo durante la revolución neolítica, cuando se hicieron necesarios recipientes para almacenar el excedente de las cosechas producido por la práctica de la agricultura. En un principio esta cerámica se modelaba a mano, con técnicas como el pellizco, el colombín o la placa (de ahí

---

las irregularidades de su superficie), y tan solo se dejaba secar al sol en los países cálidos y cerca de los fuegos tribales en los de zonas frías.

Más adelante comenzó a decorarse con motivos geométricos mediante incisiones en la pasta seca, cada vez más compleja, perfecta y bella elaboración determinó, junto con la aplicación de cocción, la aparición de un nuevo oficio: el del alfarero.

Santos Amado, José Darío; Malagón Villafrades, Pedro Yesid y Córdoba Tuta, Elcy María. 2009, caracterizaron las arcillas para la preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara, Santander (Colombia) los cuales utilizaron tres tipos de arcilla, demostrándose que la homogenización de estas cumple con los requisitos necesarios para la fabricación de cerámicos de la construcción.

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 relacionados con la caracterización de los yacimientos arcillosos con el objetivo de valorar sus potencialidades como materia prima en la industria de cerámica roja. En este trabajo se hace referencia principalmente aquellos realizados en la región oriental destacando que se han perpetrado investigaciones de este tipo en todo el país.

De acuerdo con estudios precedentes (Pons y Leyva, 1996 y Orozco, 1995) las arcillas de Moa poseen un carácter semirrefractario y han sido utilizadas como morteros en los procesos de fundición de la Industria del Níquel y están siendo



---

empleadas, en pequeños volúmenes, para la fabricación de materiales de la construcción. En las industrias locales del municipio se intentó utilizarlas como materia prima para la fabricación de tiestos, búcaros y otros, pero no se obtuvieron buenos resultados, ya que las piezas se agrietaban durante el secado y se rompían durante la cocción.

Investigadores del territorio (Orozco, 1995; 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.

Villar Reyes, Rafael. 2005 en el Proyecto de actualización del yacimiento Arcilla Bayamo, Provincia Granma demostró que el mismo está formado por arcillas, arcillas arenosas, arenas arcillosas, gravas y gravas arenosas.

Fadel Luali, Marabih. 2005 realizó una evaluación preliminar y caracterización de la manifestación de caolinitas en la zona de Cayo Guam, Moa, para ello se analizaron cuatro horizontes a partir de análisis de difracción de rayos X donde quedó demostrado que predomina en el área la Gibbsita y la Caolinita.

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

Sosa Díaz, Jorge A. 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, Yosvany; Betancourt, Dania y Martirena, Fernández. 2011 realizaron una investigación acerca de la influencia de la finura de molido de Carbonato de

Calcio en las propiedades físicas-mecánicas y de durabilidad de los ladrillos de cerámica roja, donde se demostró que la finura del carbonato de calcio adicionado en muy pequeñas dosis (a partir de los 150  $\mu\text{m}$ ) comienza a ser beneficioso para la calidad de material en pequeñas cantidades (menos del 10 % del peso de la arcilla).

Tendai, Njila. 2011 en su caracterización químico-mineralógica de cortezas de meteorización ferrosialíticas en el noreste de Cuba oriental refiere que las arcillas de Cayo Guam pueden ser empleadas para elementos refractarios.

Rodríguez Reyes, Isail. 2013 realizó una caracterización de materiales arcillosos del depósito Cayo Guam para su posible empleo como material cementicio suplementario, donde determinó que debido a sus características químicas y estructurales y a su amplia disponibilidad, las arcillas de la región de Cayo Guam pueden ser transformadas en materiales de carácter puzolánico a partir de su activación térmica, además concluyó que las arcillas de la región de Moa, potencialmente pueden ser utilizadas en la industria de la cerámica y del cemento.

### **Referentes teóricos sobre el estudio de la arena sílice**

Las características fundamentales de las arenas de moldeo más utilizadas en la industria de la fundición (sílice, cromita, circonio, olivino), se describen en el trabajo realizado por Larrañaga y Armazabal. 2000; se realizan comparaciones entre sus principales propiedades (dureza, densidad, temperatura de fusión y dilatación lineal) y se analizan además las características de los materiales auxiliares para preparar las mezclas de moldeo.

Oliveros. 2002, caracteriza desde el punto de vista físico – mecánico las arenas sílice, olivino y cromita, y determina los parámetros y propiedades de las mezclas autofraguantes. Evalúa la factibilidad económica del uso de estas mezclas con la utilización de las arenas cubanas.

Guerrero. 2008, realizó varios experimentos con la arena sílice en el moldeo autofraguante, y evalúa la utilización de arena sílice para obtener las piezas de acero al manganeso; obteniendo a escala de laboratorio mezclas de arena sílice según la norma cubana NEIB 03-05-14 para lograr piezas libres de defectos.

Brocard Rivera, Yordanis. 2011 en una evaluación de mezclas de arcilla de la región de Centeno en el municipio de Moa con arena sílice residual obtenida en la UEB de Fundición de la EMNi del mismo municipio, demostró a partir de las variables estudiadas de acuerdo al % de contracción, % de absorción y resistencia a la compresión que los mejores resultados se obtuvieron con proporciones de 40 % de mezcla de arena sílice residual, 57 % de arcillas roja y 3 % de agua.

Por la gran disponibilidad de estas materias primas en nuestro territorio y las grandes posibilidades de empleo, se hace necesaria una investigación más exhaustiva de las mismas.

# CAPÍTULO I: CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LA REGIÓN Y ÁREA DE ESTUDIO

## Introducción

En el presente capítulo se exponen las principales características de la región y áreas en estudio, tanto físico-geográficas como geológicas, de acuerdo a los trabajos, artículos, informes y otros documentos consultados para la realización de este trabajo.

## 1.1 Características físico- geográficas

### 1.1.1 Situación geográfica

El área de estudio se encuentra enmarcada en zonas del municipio de Moa, el cual se ubica al noreste de la provincia de Holguín, Limita al Este con el municipio Baracoa, separados por los ríos Jiguaní y Jaguaní; al Sur con el municipio de Yateras, cuya frontera la establece el origen del río Toa; al Oeste con los municipios Frank País y Sagua de Tánamo; y al Norte con el Océano Atlántico. El municipio posee una franja costera de unos 40 Km, que se extiende desde Playa La Vaca hasta la desembocadura del río Jiguaní. Próximos a la costa se encuentran Cayo Moa Grande, Cayo Chiquito y Cayo del Medio en la Bahía de Yamanigüey. La Región en estudio tiene un área de 732,18 Km<sup>2</sup>, forma parte del grupo montañoso Sagua-Moa-Baracoa.

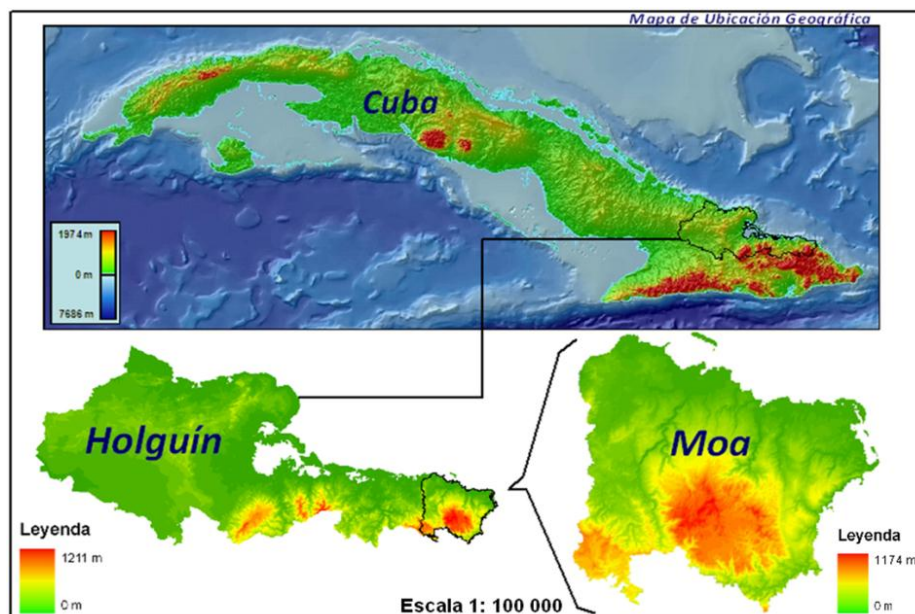


Figura 1.1 Mapa de ubicación geográfica (Viltres, 2010).

### **1.1.2 Relieve**

El relieve del territorio se caracteriza por una franja costera llana con alturas hasta de 200 metros, bastante estrecha y las altas montañas del sistema Sagua – Baracoa, que se extienden hacia el sur con alturas superiores a los mil metros, la mayor de las cuales es el Pico Toldo en las Cuchillas de Moa, con mil ciento setenta metros sobre el nivel del mar, ricas en recursos forestales y variados helechos.

La franja costera tiene una extensión de unos mil metros, llana y en ocasiones con ligeras alturas. Esa zona es seguida por un sistema premontañoso que se prolonga hasta unos seis a diez kilómetros al sur de la costa con alturas medias entre 200 y 500 metros. Sus principales elevaciones son el Cerro de Miraflores al oeste, las minas de la Pedro Soto Alba y las alturas de Cayo Guam.

La otra característica del territorio es la parte montañosa, con alturas entre 500 y más de 1000 metros, que incluyen las Cuchillas de Moa, Calentura, Farallones y las de Gran Tierra.

La zona montañosa del territorio alcanza 363 km<sup>2</sup>, el 50 por ciento del total, la que se encuentra dentro del Plan Turquino y una gran parte de ella se encuentra dentro del Parque Nacional Alejandro de Humboldt, Patrimonio de la Humanidad.

### **1.1.3 Clima**

El clima es una de las razones a tener en cuenta, pues está influenciado por un sistema orográfico, en el que las barreras montañosas sirven de pantalla a los vientos alisios del NE, los cuales descargan copiosas lluvias. En general el clima en la región es tropical con abundantes precipitaciones que oscilan anualmente entre 1600-2200mm y la evaporación anual entre 2200-2400mm (Nuevo Atlas Nacional de Cuba, 1989). La temperatura media anual oscila entre 22.6 y 30.5 °C, siendo los meses más calurosos desde julio hasta septiembre, y los más fríos enero y febrero.

### **1.1.4 Humedad relativa**

La humedad relativa de la zona es alta debido a la exposición marítima del territorio, incluyendo en este aspecto a las precipitaciones, las que son abundantes en todo el año. Los meses que poseen los mayores valores se

---

ubican de noviembre-abril, alcanzándose las máximas de diciembre a enero, lo cual se debe al ascenso orográfico o forzado del viento que favorece las altas precipitaciones al inicio y final del período de transición verano - invierno. La humedad relativa media más alta se alcanza en el horario de la mañana (7:30AM) y es del 90 al 95% y la más baja ocurre en el horario de la tarde (1:30PM) siendo de 70 al 75%.

### **1.1.5 Red hidrográfica**

En la región de estudio se desarrolla una red fluvial densa y dendrítica, representada por numerosos ríos y arroyos, entre los que se encuentran el río Moa, Cabañas, Yagrumaje, Cayo Guam, Quesigua, Cupey, Yamanigüey y Jiguaní, entre otros; todos ellos mantienen un buen caudal todo el año ya que su fuente de alimentación principal son las precipitaciones atmosféricas. Estos ríos desembocan en el Océano Atlántico, formando deltas cubiertos de mangles, apreciándose en los mismos una zona de erosión y otra de acumulación.

Los ríos forman terrazas al llegar a la zona de pie de monte y presentan no pocos meandros, sus orillas son abruptas y erosionadas en la zona montañosa mientras que en las partes bajas son llanas y acumulativas. Son alimentados por las precipitaciones atmosféricas teniendo como origen las zonas montañosas del grupo Sagua - Baracoa. Generalmente sobrepasan los 1.5 m/s de velocidad, los gastos oscilan entre 100 y 400 L/s, en período de estiaje y hasta más de 300 m<sup>3</sup>/s durante avenidas en períodos húmedos. Se puede decir que el nivel de los ríos cambia en dependencia de las precipitaciones, los niveles más bajos se observan en el período de seca, cuando los ríos se alimentan solamente de aguas subterráneas, correspondiente a los meses de julio a septiembre y los más elevados en la época de lluvias máximas, la cual está comprendida de octubre a enero.

### **1.1.6 Vegetación**

La vegetación comprende el 33% del endemismo cubano. Se puede encontrar pinares, pluvisilvas, charrasco y bosques tropicales predominando el pinus cubensis y plantas latifodias, esta es la más importante y explotada económicamente, además de ser valiosa en la biodiversidad y la ecología por construir una flora generadora del suelo. También se pueden observar

---

ejemplares del bosque de pluvisilvas, típico de selvas lluviosas; es una formación vegetal de constitución vigorosa que puede alcanzar hasta 40m de altura, se implanta sobre cortezas lateríticas. También se desarrolla en laderas de arroyos y cañadas, una especie de camodaría latifolia, abundan los helechos en todas sus variantes, así como epifitas de orquídeas y bromeliáceas. Estos bosques retienen la erosión y favorecen la conservación de las fuentes de agua (Atlas Nacional, 1989).

### **1.1.7 Demografía**

En ella encontramos también una exuberante vegetación que se ubica hacia la zona montañosa convirtiéndose en un importante hábitat de diferentes especies muchas de ellas como jutía, el gavián caguarero, el almiquí, polimitas de brillantes colores y bellas mariposas, son partes de una fauna única en el país por lo que sus bosques son una importante reserva natural.

### **1.1.8 Desarrollo económico de la región**

La base económica fundamental de la región de Moa depende de la minería y la metalúrgica. Económicamente está dentro de las más industrializadas del país; cuenta con dos plantas procesadoras de menas de níquel actualmente en producción, la Empresa Comandante Ernesto "Che" Guevara y la Empresa Comandante Pedro Soto Alba, Moa Níquel SA, con capacidades de diseño original de 30000 y 24000 t de concentrado de Ni+Co al año respectivamente. Además de estas industrias existen otras instalaciones de apoyo a la metalurgia y minería, tales como la empresa Mecánica del Níquel "Comandante Gustavo Machín", centro de proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL), la Empresa Constructora y Reparadora del Níquel (ECRIN), el municipio cuenta además con un puerto y un aeropuerto, además existen otros centros industriales de menor tamaño, así como otros en construcción, vinculados a la actividad económica del territorio.

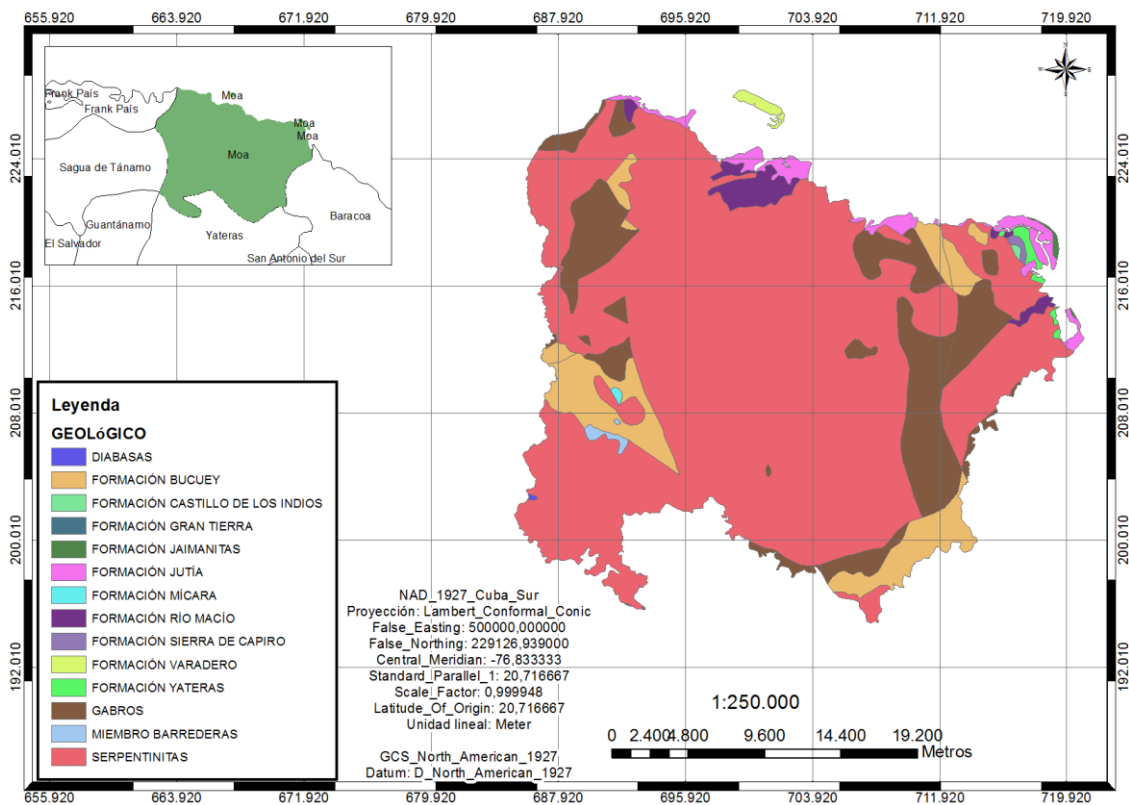
## **1.2 Características geológicas regionales**

La estructura geológica del archipiélago cubano es extraordinariamente compleja y tiene características de faja móvil de carácter lineal. El rasgo principal de la constitución geológica de Cuba es la presencia de Asociaciones Estructuro-



Formacionales (AEF), que se distinguen por su estructura, composición facial e historia de su desarrollo que permite considerarlos como originados en diferentes condiciones paleotectónicas, lo cual constituye una nueva concepción acerca de la zonación estructural en Cuba.

La geología de la región se caracteriza por una gran complejidad condicionada por la variedad litológica presente y los distintos eventos tectónicos transcurridos en un tiempo geológico dado, lo cual justifica los diferentes estudios y clasificaciones realizadas. Estas se describen según la información del esquema geológico del área de estudio, escala original 1:250 000, tomado del Instituto de Geología y Paleontología (I.G.P.) 2001.



**Figura 1.2** Esquema Geológico del Municipio Moa. Modificado de IGP 2001.  
 Escala 1: 250 000

### 1.2.1 Estratigrafía

En 1989, F. Quinta en su tesis Doctoral, 1993, realiza la clasificación geológica regional según ocho asociaciones estructuro-formacionales. En la región aparecen cuatro, las cuales se mencionan a continuación:

1. (AEF) del Arco Insular Volcánico del Cretácico.



2. (AEF) del Complejo Ofiolítico.
3. (AEF) del Arco Insular Volcánico del Paleógeno.
4. (AEF) de la Neoplateforma.

Para la realización de la propuesta de su clasificación, se basó en la teoría que explica el origen y evolución de los arcos insulares, así como la formación de las plataformas, las etapas evolutivas y los conjuntos litológicos faciales típicos de cada estadio.

A continuación se realiza una descripción de las Asociaciones Estructuro-Formacionales (AEF) que se desarrollan.

- **AEF del Arco Insular Volcánico del Cretácico**

En la región existe un amplio desarrollo de las secuencias volcánicas y vulcanógenas-sedimentarias del Cretácico Inferior pre-Aptiano-Cretácico Superior indiferenciado. Estas secuencias compuestas por tobas de diferentes tipos, basaltos, basaltos-andesitas y otras rocas. Esta AEF está bien representada en la región por la Formación Santo Domingo.

### **Formación Santo Domingo**

Única representante del Arco Volcánico del Cretácico en el área, está constituida por tobas, lavas, conglomerados, aparición de pequeños pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas. Se incluye además en esta Fm las calizas pizarrosas bien estratificadas y muy plegadas de color grisáceo. Las tobas ocupan más del 50% de la Fm, apareciendo en la parte superior preferentemente, siendo comunes las variedades ristolovitroclásticas y vitroclásticas. Las lavas aparecen en ocasiones con textura amigdaloidal, predominando las variedades porfidíticas, yaciendo en forma de mantos interestratificados casi concordantes con las tobas. A menudo, junto con las lavas se observan aglomerados de composición dacítica y andesítica, muy alterados. Se le asigna una edad Cretácico Aptiano-Turoniano.

- **AEF del Complejo Ofiolítico**

Las rocas que predominan son las ultramáficas que aparecen serpentinizadas en mayor o menor grado, asociadas a gabros y diabasas, que en su conjunto forman la Asociación Ofiolítica.

---

Los contactos observados con las estructuras circundantes son tectónicos. Estas estructuras son complicadas debido al clásico emplazamiento que presentan, estando afectadas por dislocaciones plicativas y disyuntivas.

En Cuba, así como en el resto del mundo las ofiolitas constituyen parte de la corteza oceánica y participan en el emplazamiento de las rocas ultramáficas en estado frío, conocido en la literatura como protucción. Los complejos que se mencionan a continuación son representativos de las secuencias pertenecientes a la asociación ofiolítica. Las secuencias de la asociación ofiolítica se encuentran representadas por los siguientes complejos:

1. Complejo Ultramáfico.
2. Complejo Acumulativo Máfico.
3. Complejo de Diques paralelos o Diabasas.

*Complejo Ultramáfico:* composición heterogénea, con gran predominio de las harzburgitas y en menor grado dunitas; además se han descrito dunitas plagioclásicas, wherlitas, iherzolitas y piroxenitas (Guild, 1947; Ríos y Cobiella, 1984; Heredia y Terepin, 1984; Fonseca et al, 1989). Lo que estos autores denominan dunitas plagioclásicas pudieran considerarse troctolitas. La mayoría de los trabajos diferencian en el complejo ultramáfico niveles de acumulado. Proenza (1997), considera todas las rocas ultramáficas presentes como restos litosféricos de mantos, aunque según otros especialistas (Quintas y Rodríguez A.) consideran que solo corresponden al manto la zona de tectonitas, puesto que las rocas del complejo acumulativo, pertenecen a la corteza. En el área las harzburgitas son las rocas dentro de la Asociación Ofiolítica, mayormente distribuidas, cubiertas por una potente corteza laterítica, todas estas rocas poseen diferente grado de serpentinización.

*Complejo Acumulativo Máfico:* está representado de abajo hacia arriba por troctólitas, gabros olivínicos, noritas, anortositas y gabros normales de diferentes granulometrías.

Los cuerpos de gabroides tienen una estructura en forma de grandes bloques, aunque en la mayoría de los casos los cuerpos están incluidos en el complejo ultramáfico. En el complejo Moa-Baracoa están representados dos tipos de

gabros: bandeados y masivos, en la parte alta, a los que se asocian cromitas y otros tipos de mineralizaciones dispersas.

*Complejo de Diques paralelos o Diabasas:* no aparece como se define clásicamente en forma de diques, lo cual se debe a su relación con la complejidad tectónica de la región. Las diabasas aparecen generalmente en forma de bloques tectónicos incluido en los gabroides, sobre todo en la parte inferior del complejo acumulativo.

- **AEF del Arco Insular Volcánico del Paleógeno**

Está representada en los flancos septentrionales y meridionales de la Sierra Cristal; así como en la cuenca de Sagua de Tánamo y otras áreas donde aparece la formación que a continuación se describe.

#### **Formación Sabaneta**

Pertenciente a la AEF del Arco de Isla Volcánico del Paleógeno (Neoarco), Sub-AEF de Retroarco, la misma está constituida por rocas vulcanógenas-sedimentarias de granos finos, frecuentemente zeolitizadas o montmorillonitizadas, con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobáceas, calizas, conglomerados tobáceos, argilitas, margas, silicitas, gravelitas, conglomerados vulcanomícticos, ocasionalmente con pequeños cuerpos de basaltos, andesitas, andesito-basaltos y andesito-dacitas, así como tobas cloritizadas. Las tobas son vitroclásticas y cristalolitoclásticas zeolitizadas, en menor grado bentonitizadas. Las calizas tobáceas y tufitas aparecen regularmente hacia la parte alta de la formación, como se observa en Farallones de Moa, puede destacarse además que la estratificación es buena, siendo frecuentemente gradacional.

- **AEF de la Neoplataforma**

Está constituida por secuencias sedimentarias donde predominan las rocas carbonatadas sobre las rocas terrígenas, depositadas en régimen de plataforma continental, aparece representado en la región por la formación Majimiana que yacen discordantemente sobre las unidades del cinturón plegado. Estructuralmente estas secuencias se caracterizan por yacencia monoclin

---

suave u horizontal, con algunas perturbaciones en las zonas donde existen dislocaciones jóvenes.

### **Formación Majimiana**

Está constituida por calizas órgano-detríticas típicas de complejos arrecifales y bancos carbonatados con intercalaciones de margas. Las secuencias de la misma experimentan bruscos cambios faciales en cortas distancias, contiene una abundante fauna de foraminíferos bentónicos y planctónicos, lo que ha permitido asociar su edad al Oligoceno Superior hasta el Mioceno.

#### **1.2.2 Tectónica**

La tectónica de la región es compleja, se pone de manifiesto la superposición de fenómenos tectónicos originados en condiciones geodinámicas contrastantes y en diferentes períodos, así el sistema de mantos tectónicos y el intenso plegamiento que caracterizan la estructura geológica de las secuencias más antiguas surgieron en un ambiente de compresión máxima.

En contraposición a esto los eventos tectónicos más jóvenes surgieron en lo fundamental, bajo la acción de esfuerzos de tracción de la corteza terrestre, estos esfuerzos han originado sistemas de fallas que dividieron la zona en una serie de bloques horsticos y gravens que enmascararon las estructuras más antiguas. Por otra parte los movimientos de traslación horizontal que provocan el desplazamiento de los mantos tectónicos de Cuba Oriental fueron de gran magnitud, principalmente para las serpentinas que forman una unidad alcotana.

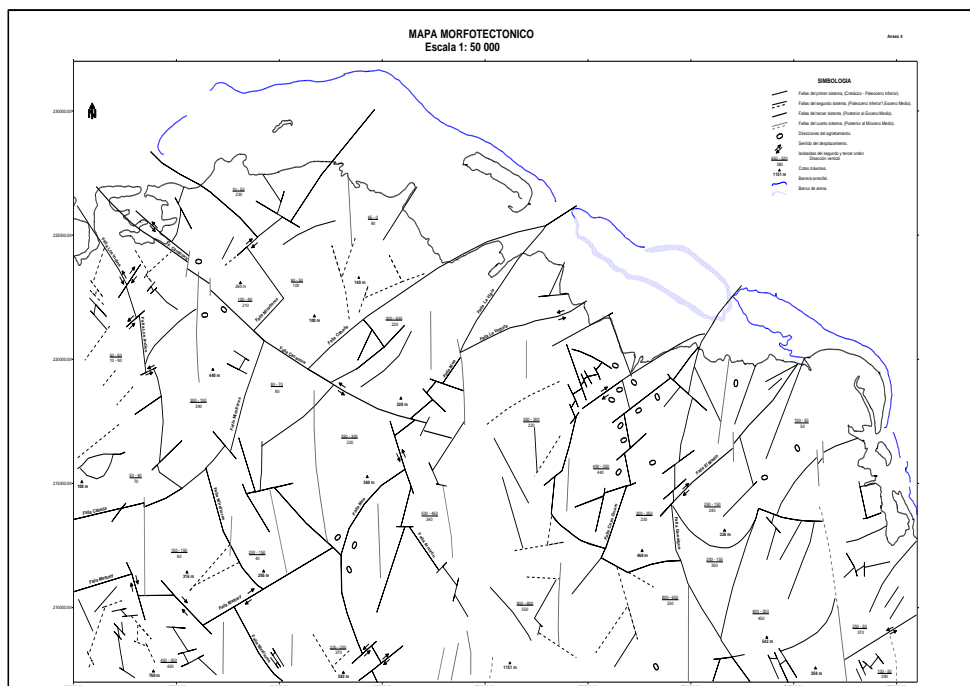
Las dislocaciones de plegamiento que presenta la región son sumamente complejas. En la secuencia más antigua se hace difícil el desciframiento de las meso-estructuras plegadas dada la monotonía litológica que presenta, no obstante los estudios realizados permiten afirmar que en las secuencias más antiguas (rocas metamórficas y vulcanógenas) existen tres direcciones principales de plegamiento:

1. Noreste - Sureste.
2. Noroeste - Sureste.
3. Norte - Sur.

La tectónica disyuntiva es de igual complejidad, existe un sistema de mantos tectónicos cuyo rumbo coincide con la dirección general del plegamiento de las secuencias antiguas y con la cual se asocian fallas inversas de ángulos abruptos y grietas de cizallamiento

- Sistema de fallas en dirección Oeste - Noreste, Este - Suroeste.
- Sistema de fallas en dirección Norte - Noroeste, Sur - Suroeste
- Sistema de fallas más jóvenes en dirección Este - Oeste.

Además, estos sistemas fundamentales afectan intensamente las rocas serpentinizadas, surgidas durante el emplazamiento que provocó la división en bloques y favoreció el desarrollo de la corteza de intemperismo (Rodríguez, 1998).



**Figura 1.3** Mapa morfotectónico del territorio de Moa. (Rodríguez, 1998).

Escala 1: 50 000

### 1.2.3 Geomorfología regional

Debido a la existencia de condiciones geológicas contrastantes desde el Mesozoico, se reflejan de forma singular en el relieve de la región el accionar de complejos procesos geotectónicos. A estos se han superpuesto desplazamientos

verticales, oscilatorios, diferenciados e interrumpidos así como la separación en bloques del territorio.

El territorio se clasifica en dos zonas geomorfológicas fundamentales: la zona de relieve de llanuras y la zona de relieve de montañas, con subtipos específicos (Rodríguez, 1998).

Zona de Llanuras. Se desarrolla en toda la parte norte del área ocupando la zona comprendida desde la barrera arrecifal hasta los 100-110 m de altura hacia el sur. La formación de estas llanuras está relacionada con la acción conjunta de diferentes procesos morfogénicos que en ella han actuado, predominando los procesos fluviales y marinos.

Zona de Montañas. Esta zona geomorfológica es la más extendida dentro del área de las investigaciones ocupando toda la parte sur y central, además del Cerro de Miraflores y las zonas nordeste y noroeste del poblado de Cananova.

Teniendo en cuenta esos parámetros la zona de relieve de montaña fue clasificada en cuatro subtipos:

- Zona de premontañas aplanadas ligeramente diseccionadas.
- Zona de submontañas y premontañas ligeramente diseccionadas.
- Zona de montañas bajas aplanadas ligeramente diseccionadas.
- Zona de montañas bajas diseccionadas.

Conjuntamente con estas zonas geomorfológicas, aparecen en la región un conjunto de formas menores del relieve o elementos del paisaje que constituyen elementos importantes en la caracterización geomorfológica regional, son criterios de evaluación tectónica y algunas representan un peligro para el medio ambiente.

*Existen formas del relieve que han sido provocadas por la actividad antrópica, las cuales se citan a continuación.*

Áreas minadas y escombreras. Con el crecimiento de la producción niquelífera se agigantan, constituyendo sectores descubiertos y desmembrados que aceleran el proceso de acarreamiento, intensifican el arrastre de los suelos con

---

la consabida ruptura del equilibrio fluvial y provocan la acumulación anómala de sedimentos en las zonas bajas.

Presas de colas. Estas se multiplican en el paisaje moense y degradan progresivamente el medio físico.

#### **1.2.4 Magmatismo**

El magmatismo en la región está ampliamente desarrollado, siendo las rocas ultrabásicas el máximo exponente predominando las harzburgitas y de forma subordinada las dunitas, iherzolitas y piroxenitas con diferentes intensidades de serpentización todas ellas en su conjunto constituyen un enorme manto tectónico, generalmente en las proximidades de los contactos de las serpentinas con la roca subyacente aparecen bloques exóticos de metamorfitas.

Dentro del macizo ultramáfico, constituyendo grandes bloques tectónicos, se encuentran incluidos bloques de gabros normales, olivínicos y gabro diabasas que en ocasiones aparecen anfibolitizados.

Con frecuencia se puede encontrar una amplia gama de rocas magmáticas en las secuencias vulcanógenas-sedimentarias del Paleoceno al Eoceno Medio, donde predominan las rocas piroclásticas.

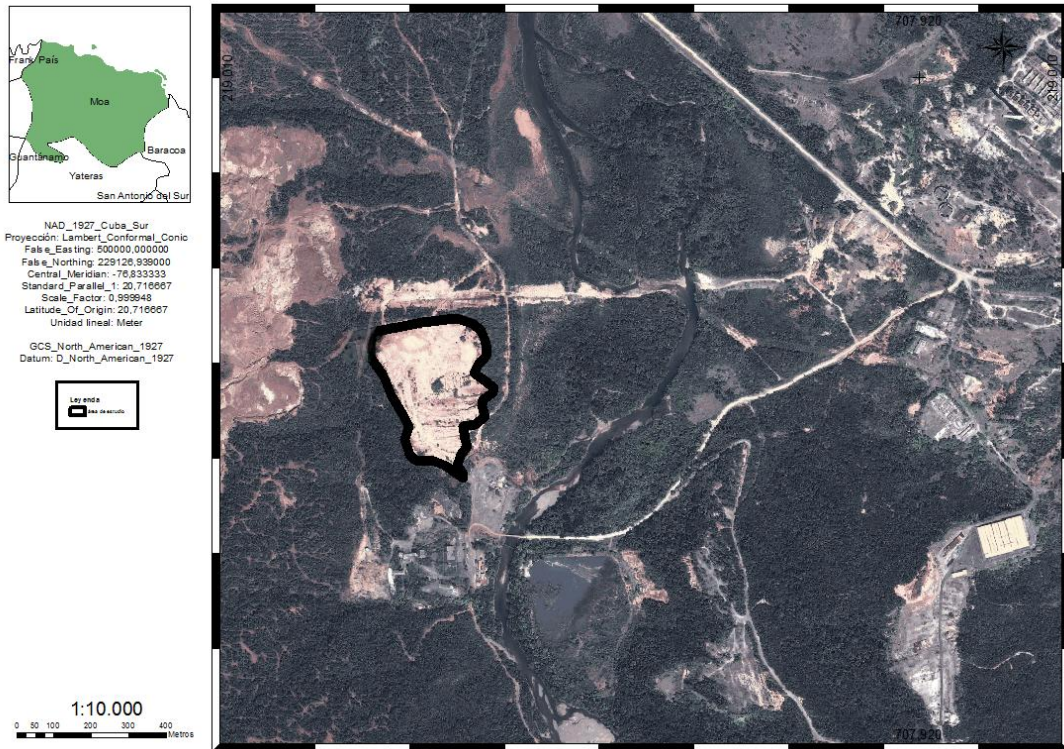
En general, podemos plantear que las rocas magmáticas de la región aparecen en dos grandes grupos. El primero lo constituyen las rocas que conforman la asociación ofiolítica y el segundo, las rocas pertenecientes al arco insular volcánico del Cretácico, representado por la Formación Santo Domingo.

### **1.3 Materiales arcillosos de Cayo Guam**

#### **1.3.1 Situación geográfica**

Depósito ubicado al sureste de la localidad de Moa, provincia de Holguín, específicamente en las márgenes del río Cayo Guam, a unos 2 km de la carretera Moa-Baracoa, a 200 m aproximadamente de la antigua planta de Beneficio de Cromo actual "Molino de piedras" perteneciente a la Empresa Constructora del Poder Popular (ECOPP), en torno a las coordenadas X: 700 000, 709 000 y Y: 206 000, 220 000 según el sistema de Lambert. El área de estudio comprende aproximadamente una extensión de más de 10 000 m<sup>2</sup>.





**Figura 1.4** Mapa de ubicación geográfica del área de estudio.

Escala 1: 10 000 (Tomado y modificado del Google)

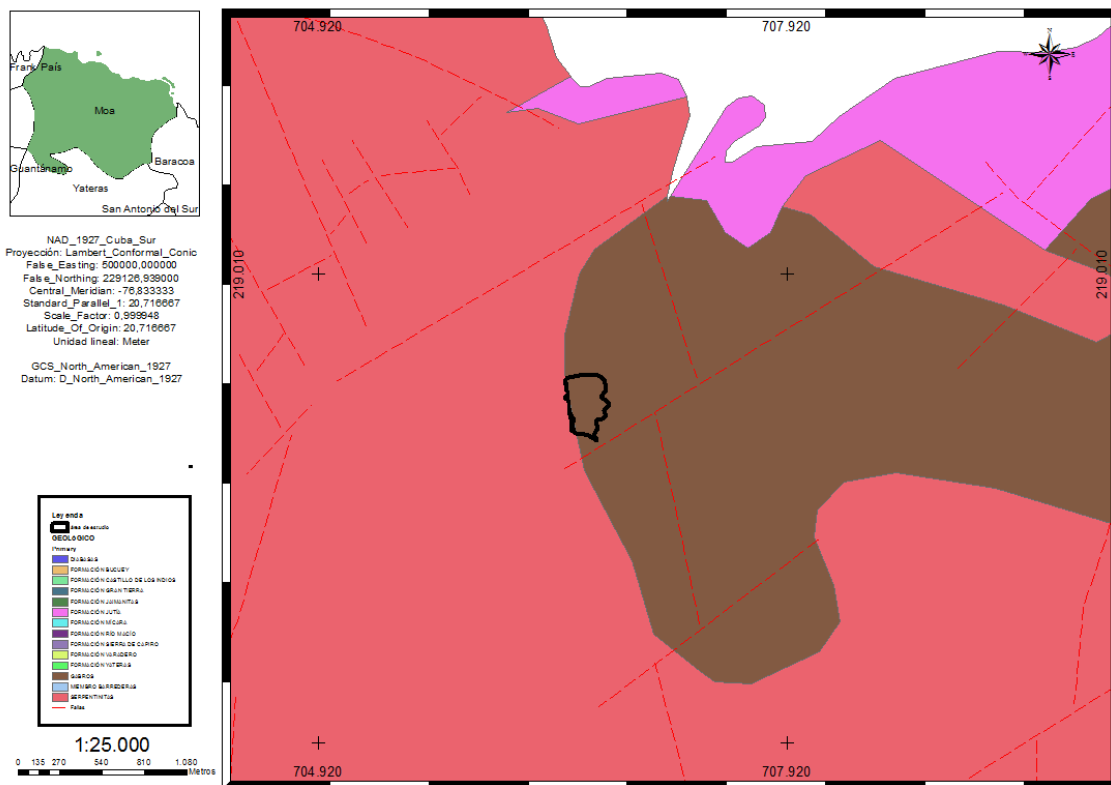
### 1.3.2 Características generales del área de estudio

El depósito tiene grandes taludes donde se pueden diferenciar sectores con variedad de tonalidades, estas pueden ser blanco- amarillentas, amarillo- pardo y otras, donde las rocas del basamento a partir de las que se originaron las potentes cortezas de intemperismo están representadas por cúmulos máficos y en menor grado cúmulos ultramáficos. Posee una potencia promedio de 10 m. Es un yacimiento desarrollado sobre gabros (corteza sobre gabros). Se considera un yacimiento "residual" que es el tipo genético de las lateritas níquelíferas que están a su alrededor, diferenciados por la roca madre. En la base del depósito afloran gabros muy intemperizados alterados a un material de color blanco y aspecto terroso-arcillosos, muy deleznable y con alta plasticidad. Hacia la parte superior existe una transición gradual a materiales similares a los de la base del corte formando una corteza de meteorización de colores variables desde el rosado hasta el rojo intenso, a partir de análisis químicos se ha demostrado un incremento en el contenido de hierro y que durante el proceso de alteración hubo un aumento considerable de alúmina y la consecuente migración



del Fe, Ca y Mg 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, (Orozco, 1995).

Presenta relieve variado, vegetación no muy predominante, pero se manifiestan charrascales e hicacos. En los alrededores se encuentran algunas cañadas que son más abundantes en tiempo de lluvia, éstas a su vez desembocan en el río Cayo Guam.



**Figura 1.5** Esquema geológico de Cayo Guam. (Adaptado del esquema Geológico del Municipio Moa. Modificado de IGP 2001 a escala 1: 250 000).

### Composición mineralógica de las arcillas de Cayo Guam

Las principales fases minerales identificadas por DRX en la arcilla de Cayo Guam son la caolinita  $[Al_2(Si_2O_5)(OH)_4]$ , la hematita  $[Fe_2O_3]$  y la gibbsita  $[Al(OH)_3]$  (Tomado de Rodríguez, 2013).

**Tabla 1.1** Lista de picos y posibles minerales identificados en el análisis de difracción de rayos X (Rodríguez, 2013).

Posición del pico [°2Th.]	Altura [cm]	Amplitud [°2Th.]	d-espacio [Å]	Posibles Minerales
12,1758	2771,25	0,4684	7,26927	Caolinita
19,8688	2826,79	0,1338	4,46866	Gibbsita
20,3331	2530,41	0,2007	4,36766	Gibbsita
21,3337	2082,02	0,4015	4,16502	Caolinita
24,9403	2892,56	0,2676	3,57030	Caolinita
33,2333	336,56	0,4684	2,69589	Hematita
35,0058	1451,11	0,2676	2,56335	Caolinita
35,6728	1697,32	0,2342	2,51694	Caolinita
38,4728	1609,65	0,2676	2,33996	Caolinita
41,0072	286,72	0,8029	2,20100	Hematita
45,5075	311,06	0,5353	1,99326	Gibbsita
49,4644	192,29	0,5353	1,84268	Gibbsita
54,3229	634,30	0,4684	1,68880	Hematita
55,2309	590,07	0,6691	1,66317	Caolinita
62,3731	1331,75	0,5304	1,48756	Hematita

### Caracterización química de las arcillas de Cayo Guam

**Tabla 1.2** Composición química de la arcilla Cayo Guam. (Rodríguez, 2013).

Compuestos	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>
Contenido (%)	40,19	24,32	8,07	0,20	0,05	0,11	0,02	0,2

La tabla 1.2 muestra los compuestos que aparecen como constituyentes de la arcilla en estudio representada en mayores cantidades de óxido de silicio, óxido de aluminio, y óxido de hierro y en menores cantidades óxidos de calcio, sodio, magnesio y potasio. La composición promedio de las muestras de arcillas estudiadas se corresponde con los resultados obtenidos por investigadores como Orozco, 1995 y Njila, 2011, los cuales obtuvieron composiciones similares (Rodríguez, 2013).

## CAPITULO II. MATERIALES Y MÉTODOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

### Introducción

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 describir los principales materiales a utilizar y los métodos empleados para la realización del trabajo.

### 2.1 Metodología de la Investigación

En el presente capítulo se hace una descripción detallada de la metodología empleada durante la evaluación de mezclas de materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam y arena sílice residual para su utilización en la industria cerámica. La investigación desarrollada contempló una metodología basada en 4 etapas de investigación, las que se sintetizan en una etapa preliminar, trabajos de campo, preparación y ensayos además de los trabajos de gabinete, las cuales son esquematizadas a continuación.



**Figura 2.1** Organigrama que resume las etapas de la investigación.

---

Esta metodología consta de varias etapas que contribuyeron de forma exitosa a la realización de este trabajo, entre las que se encuentran las siguientes:

- Etapa I: Preliminar.
- Etapa II: Trabajos de campo.
- Etapa III: Preparación y ensayos.
- Etapa IV: Trabajo de gabinete.

Para dar cumplimiento a estas cuatro etapas se trazaron diferentes objetivos en cada una de ellas.

### **2.1.1 Preliminar**

Consistió principalmente en la recopilación de información, que no son más que las revisiones en trabajos de diplomas que abordan el tema, artículos publicados en Internet u otros sitios Web de interés como la EcuRed, en revistas publicadas, referencias bibliográficas, etc. Todas estas informaciones permitieron un buen desarrollo del presente trabajo.

### **2.1.2 Trabajos de campo**

El desarrollo del trabajo de campo se dirigió fundamentalmente a obtener el mayor volumen de información sobre los materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam, que en este caso son los materiales que se están estudiando y analizando. Además se realizó un recorrido por el área donde se encuentran estos materiales, de esta manera se ha seleccionado el sitio más favorable para la toma de muestras así como para su futura extracción, ya que la existencia de un movimiento de tierra antiguo en esa área permite facilitar la selección de la muestra y su representatividad, al dejar expuesta la materia prima en grandes taludes artificiales prácticamente al descubierto, lo que facilitará su futura extracción con un sentido más económico al no tener que hacer grandes labores de desbroce.

#### **2.1.2.1 Toma de muestras**

- **Toma y selección de la muestra de arcilla**

La selección de las muestras se realizó buscando la mayor representatividad de la materia prima en el corte. Se abarcó toda la regularidad de la mineralización y

---

coloración, desechando el material laterítico arrastrado por el agua, que cubre la superficie.

Para la selección de la materia prima se escogió un corte del afloramiento con el objetivo de obtener una muestra representativa a todo lo largo de los perfiles de meteorización. El tipo de muestreo empleado fue el muestreo por surcos, desde la base hasta la superficie, ya que a partir de este tipo de muestreo se abarca toda la potencia del afloramiento. Se aplicaron cinco surcos, las muestras de éstos fueron mezcladas para constituir una muestra compuesta homogénea. El total de muestras acumuladas se trasladó hasta el laboratorio de beneficio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa para ser preparada para los posteriores ensayos previstos.

- **Toma y selección de la muestra de arena sílice**

En el caso de la arena sílice residual, fue tomada del área de almacenamiento ubicada en el taller de Fundición de la Empresa Mecánica del Níquel. En este taller se cuenta con dos tipos; arena seca y arena húmeda, para nuestro trabajo empleamos del primer tipo. Para la obtención de la cantidad a necesitar se empleó una pala que se introdujo horizontalmente dentro de la pila de materia prima. Se separó la capa superior de la pila y se tomaron varias muestras. Todo el material que se logró recopilar fue enviado al laboratorio de beneficio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa para ser homogenizado y normalizado.

### **2.1.3 Preparación y ensayos**

En este caso la etapa de preparación y ensayos se llevó a cabo mediante la selección y preparación de las muestras. Una vez colectada en el yacimiento la materia prima, esta fue mezclada, y homogeneizada y sometida a una primera inspección. Luego se sometieron a una limpieza preliminar con el objetivo de eliminar restos de materia orgánica, perdigones y algunos que otros materiales propios de la cantera.

#### **Materiales a utilizar en la investigación**

- Material arcilloso de Cayo Guam.
- Arena sílice residual de la Unidad Empresarial Básica de Fundición de la EMNi de Moa.

### 2.1.3.1 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 una secuencia de procesos los cuales se muestran en el esquema de la figura 2.2.



Figura 2.2 Esquema del proceso de preparación de las muestras.

- **Secado inicial**

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.

- **Molienda**

Se realizó en un molino de bolas para desmenuzar el material y eliminar los terrones más 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.

- **Preparación de las mezclas**

Las mezclas se prepararon con diferentes dosificaciones en porcentajes en peso para realizar las probetas. Los materiales secos son añadidos en un recipiente donde se le agrega agua, luego se homogeniza hasta formar una pasta compacta y fácil de trabajar. Las mezclas del material arcilloso de Cayo Guam con la arena sílice residual se prepararon en tres mezclas con dosificaciones diferentes para la confección de las probetas, las cuales se muestran en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Dosificación para la conformación de las mezclas  
(% valorado en peso).

Materiales	Dosificación de las mezclas		
	M-1	M-2	M-3
Arcilla	70%	60%	50%
Arena sílice residual	30%	40%	50%

- **Maduración y reposo**

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 a 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.

- **Depuración de la pasta**

Antes de ser modelada, la arcilla debía someterse a diversos procesos de depuración encaminados a reducir la cantidad de elementos extraños (materia orgánica, vegetación, etc.) 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.

- **Moldeado**

El moldeado consiste en obtener una masa más compacta vertiendo la mezcla en los moldes, se puede utilizar las manos u otros equipos para realizar un trabajo de apisonado evitando se formen cavidades que provoquen futuras rupturas, debe de obtenerse una humedad más uniforme y una masa más compacta para lograr igualdad en las superficies de las muestras. Este proceso se realizó a mano con agua, para obtener una mezcla homogénea, seguidamente se colocó este material en un molde; el cual presenta dimensiones de 25.0 cm de largo, 12.0 cm de ancho y 6.0 cm de altura.

- **Secado final**

El secado es una de las fases más delicadas del proceso de producción. De esta etapa depende, en gran parte, el buen resultado y calidad del material, más que nada en lo que respecta a la ausencia de fisuras. El secado tiene la finalidad de eliminar el agua agregada en la fase de moldeado para, de esta manera, poder pasar a la fase de cocción. El secado al aire libre tiene una importancia extraordinaria para lograr el objetivo de la investigación, en este caso luego de ser retirados del molde se dejaron secar al aire libre por un plazo de 10 días, el mismo puede durar de unos 7 a 15 días para lograr que el agua salga de forma lenta hacia la superficie de la misma, para evitar el agrietamiento de los ladrillos, antes del proceso de calcinación. Durante este proceso el material se contrae y un mal secado trae consigo que el material se fisure, dañando el producto final.

- **Cocción**

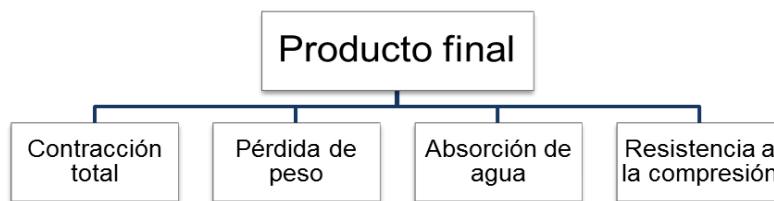
La cocción se realiza en un horno de mufla, donde se fue aumentando gradualmente la temperatura hasta alcanzar 800 °C, y se mantuvo esta temperatura por 1 h, aquí se pretende lograr la sinterización. Por lo tanto, se puede decir que este es un proceso crucial en la producción, y de mucho cuidado y control, ya que de este depende la calidad del producto final. Durante la cocción se producen profundos cambios en la arcilla. El primer cambio es la terminación de su secado, el cual debe efectuarse lentamente de lo contrario la formación de vapor en la pasta puede provocar su estallido.



El siguiente cambio ocurre aproximadamente a 140 °C, cuando el agua combinada químicamente comienza a eliminarse. A partir de los 500 °C estará completamente deshidratada y la pieza no se ablanda ni se desintegra en el agua y ha perdido su plasticidad. (Remitirse al epígrafe "Transición durante la cochura al estado pétreo" en el Marco Teórico Conceptual).

**2.1.3.2 Metodología para la realización de los ensayos**

Una vez obtenido el producto final, en este caso el ladrillo, se procede a la determinación de las propiedades físico-mecánicas a partir de diferentes métodos, los cuales se muestran a continuación.



**Figura 2.3** Esquema de la metodología para la realización de los ensayos.

• **Ensayo de la contracción total**

Corrientemente la contracción de cocción se determina en muestras sometidas a distintas temperaturas. Esto da una idea de la cohesión progresiva de la arcilla con el avance de la temperatura. Sin embargo en la investigación se analizó este parámetro a temperatura constante, debido al interés solamente de analizar la influencia de las diferentes dosificaciones de las mezclas elaboradas.

1. Se confeccionó una masa de arcilla bien amasada, de una consistencia promedio para moldear, hacer un cierto número de ladrillos con las dimensiones correspondientes, recordar que estas mediciones pueden variar.
2. Se dejaron secar las probetas, volteándolas frecuentemente para evitar la deformación.
3. Se cocieron los ladrillos a la temperatura establecida (800 °C).
4. Se midió la longitud de los ladrillos cocidos.
5. Se calcula la contracción total por la ecuación (1).

$$\text{Contracción lineal} = 100 \frac{LP - LC}{LP} \quad (\%) \dots\dots\dots(1)$$

Donde:

LP----- Longitud en plástico (cm)

LC----- Longitud después de cocida (cm)

• **Ensayo de pérdida de peso**

Para la realización de este ensayo se pesaron las muestras una vez concluido el proceso de secado natural, luego de la cocción se pesaron nuevamente para obtener de esta manera el % de pérdida de peso a partir de la ecuación (2).

$$\text{Pérdida de peso} = 100 \frac{PS - PC}{PC} \quad (\%) \quad \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

PS-----Peso en seco (g)

PC----- Peso cocido (g)

• **Ensayo de absorción de agua de las mezclas cocidas**

El grado de absorción de agua es una medida de la maduración de la mezcla de arcilla cocida, en este caso con adición de arena sílice residual. A medida que la mezcla de arcilla se acerca a la vitrificación su absorción se acerca a cero.

Este parámetro fue determinado mediante los siguientes pasos

1. Se pesaron cuidadosamente los ladrillos cocidos.
2. Luego fueron introducidos en un recipiente con agua durante 24 horas.
3. Una vez transcurridas las 24 h se secó la superficie de los ladrillos con una toalla y se pesó nuevamente.
4. Luego se procedió al cálculo del % de absorción de agua utilizando la ecuación (3).

$$\text{Absorción de agua} = 100 \frac{PS - PH}{PS} \quad (\%) \quad \dots\dots\dots(3)$$

Donde:

PS----- Peso seco (g)

PH----- Peso saturado (g)

- **Ensayo de resistencia a la compresión**

Para este ensayo, las muestras que son sometidas a carga tienen forma cercana a la cúbica y una relación entre largo, ancho y alto bastante similar. Se somete cada elemento, que constituye la muestra del ensayo, a una carga de compresión perpendicular a las caras mayores del ladrillo y se determina la carga en el momento de ruptura. El ensayo de resistencia mecánica a la compresión se realizó en el laboratorio de muestreo de la empresa ECI-3 en una Prensa Hidráulica a cada una de las muestras, una vez preparadas.

Mediante este ensayo se conoce la resistencia del ladrillo a la compresión, para ello se debe seguir el siguiente procedimiento

1. Medir el área de las probetas.
2. Pesado.
3. Ubicar la probeta en el equipo.
4. Asegurarse de que esté bien ubicada para evitar valores erróneos.
5. Calcular la resistencia por la ecuación (4).

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{F_i}{A_i} \times f \text{ (MPa)} \dots\dots\dots(4)$$

Donde:

$F_i$ -----Carga de rotura del elemento (kgf)

$A_i$ -----Área de la cara del ladrillo expuesta a la carga (cm<sup>2</sup>)

$f$  -----factor de conversión de kgf/cm<sup>2</sup> a MPa

NOTA Si la máquina de ensayos a la compresión indicara la carga  $F_i$  en N entonces:

$$\text{Resistencia a la compresión} = \frac{F_i \times 100}{A_i} \dots\dots\dots(5)$$

Para la conversión de unidades a Mpa se debe dividir el valor de la resistencia a la compresión entre 10.

#### 2.1.4 Trabajos de gabinete

Se realizaron las interpretaciones necesarias de los resultados obtenidos ayudando así a la confección de diferentes tablas y gráficos que muestren con mayor claridad los resultados correspondientes a los trabajos de laboratorio ejecutados con las diferentes mezclas elaboradas. Para el desarrollo de esta etapa investigativa, o sea para las interpretaciones, se han tenido en cuenta las Normas Cubanas correspondientes al tema.

#### 2.2 Equipos empleados en la investigación

Para la realización de esta investigación fueron utilizados diferentes equipos tales como; molino de bolas de 19,5 cm de diámetro interior y 24 cm de longitud (Figura 2.4), Horno eléctrico J.P Selecta 2000 367 (Figura 2.5). También se utilizaron 2 balanzas (Figura 2.6), una para pesar el material para mezclar y la otra para pesar las muestras una vez confeccionadas. Además se utilizó una prensa hidráulica para la determinación de la resistencia a la compresión de cada probeta elaborada a partir de las mezclas (Figura 2.7).



Figura 2.4 Molino de bolas



**Figura 2.5** Horno eléctrico Selecta 2000 367



**Figura 2.6** Balanza (500 kg)



**Figura 2.7** Prensa Hidráulica

---

## **CAPITULO III: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS E IMPACTO MEDIOAMBIENTAL**

### **Introducción**

Luego de los ensayos realizados para determinar las propiedades físico-mecánicas de las mezclas confeccionadas a partir de las diferentes dosificaciones en % valoradas en peso de arcilla de Cayo Guam con adicción de arena sílice residual, se evaluaron los resultados obtenidos de los mismos. Se exponen las características y comportamiento físico-mecánico de las mezclas analizadas, así como el impacto medioambiental que trae consigo la extracción de los materiales arcillosos.

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

#### **3.1.1 Análisis de los resultados de contracción total**

El parámetro tecnológico contracción total da una medida de la compactación de la arcilla. La evaluación de este parámetro es de vital importancia debido a que, mediante su control, se puede lograr productos cerámicos más o menos densos para cada una de las mezclas. La contracción es una consecuencia del secado y el horneado de las piezas, por lo que se requiere que estos procesos sean bien controlados y se realicen con el mayor cuidado. El secado de las piezas debe ser uniforme, de lo contrario puede provocar diferencias en el modo de contraerse cada una de ellas, así como agrietamiento y ruptura de las mismas. Para el análisis de este parámetro se han tenido en cuenta los datos que se muestran en la tabla 3.1, los porcentajes de contracción lineal se determinaron aplicando la ecuación (1).

**Tabla 3.1** Resultado de los análisis de contracción total en las mezclas evaluadas.

<b>Longitud en plástico (cm)</b>			
<b>Muestras</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
<b>1</b>	24.0	24.5	24.7
<b>2</b>	23.9	24.6	24.6
<b>3</b>	24.0	24.5	24.3
<b>Longitud cocida (cm)</b>			
<b>Muestras</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
<b>1</b>	23.0	23.6	23.9
<b>2</b>	22.9	23.7	23.8
<b>3</b>	23.0	23.6	23.5
<b>Contracción lineal (%)</b>			
<b>Muestras</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
<b>1</b>	4.17	3.67	3.23
<b>2</b>	4.18	3.66	3.25
<b>3</b>	4.17	3.67	3.29
<b>Promedio</b>	<b>4.17</b>	<b>3.67</b>	<b>3.26</b>

Donde:

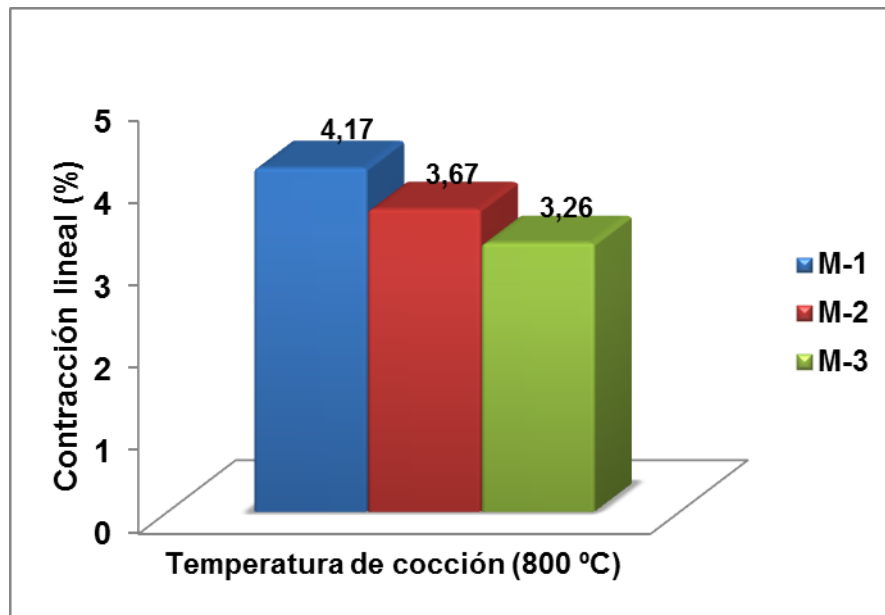
**M-1**-----70% de Arcilla y 30% de adicción de Arena sílice residual

**M-2**-----60% de Arcilla y 40% de adicción de Arena sílice residual

**M-3**-----50% de Arcilla y 50% de adicción de Arena sílice residual

Una vez obtenidos los porcentajes de la contracción lineal para cada una de las mezclas analizadas se han graficado los datos, los cuales se encuentran representados en la figura 3.1. La mezcla M-1 compuesta por un 70% de arcilla y 30% de adicción de arena sílice residual presenta los mayores porcentajes de contracción lineal, representado por un valor de 4.17%, estos atribuidos al mayor contenido de arcilla, lo que ha permitido que a medida que la muestra se va secando las partículas de arcilla se acercan más entre sí, o sea se compactan mejor, liberando el espacio ocupado por el agua. La mezcla M-3 es la que más contenido de arena sílice residual presenta, en un 50%, siendo esta la razón por la que se contrae en menor proporción, ya que esta no presenta la misma capacidad de absorción que la arcilla. De manera general los valores obtenidos,

se encuentran dentro del rango permisible por las normas para productos cerámicos, donde la contracción para arcillas plástica es menor del 6 %.



**Figura 3.1** Contracción lineal en las mezclas evaluadas a una temperatura de cocción de 800 °C.

### 3.1.2 Análisis de los resultados de pérdida de peso

Para el análisis de este parámetro se han tenido en cuenta los datos expuestos en la tabla 3.2 de acuerdo al peso de las muestras antes del proceso de cocción y luego de este. Los porcentajes de pérdida de peso para cada una de las mezclas se obtuvieron a partir de la ecuación (2).



**Tabla 3.2** Resultado de los análisis de pérdida de peso en las mezclas evaluadas.

<b>Peso seco (g)</b>			
<b>Muestras</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
<b>1</b>	980.0	940.0	840.0
<b>2</b>	978.0	1025.0	1018.0
<b>3</b>	935.0	1040.0	1023.1
<b>4</b>	952.0	900.0	840.2
<b>Peso cocido (g)</b>			
<b>Muestras</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
<b>1</b>	820.0	800.1	723.5
<b>2</b>	822.1	870.3	879.0
<b>3</b>	780.0	889.0	882.0
<b>4</b>	794.0	760.0	725.0
<b>Pérdida de peso (%)</b>			
<b>Muestras</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
<b>1</b>	19.51	17.5	16.10
<b>2</b>	18.96	17.76	15.81
<b>3</b>	19.87	16.99	16.0
<b>4</b>	19.02	17.76	15.89
<b>Promedio</b>	<b>19.34</b>	<b>17.50</b>	<b>15.95</b>

Donde:

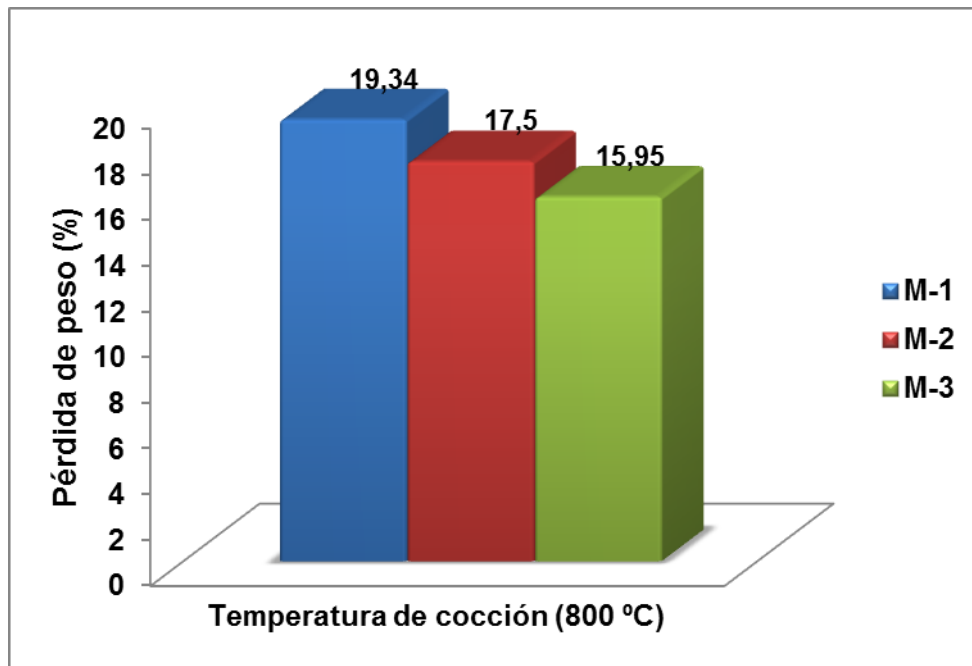
**M-1**-----70% de Arcilla y 30% de adicción de Arena sílice residual

**M-2**-----60% de Arcilla y 40% de adicción de Arena sílice residual

**M-3**-----50% de Arcilla y 50% de adicción de Arena sílice residual

Partiendo de los cálculos realizados para la pérdida de peso de las diferentes mezclas analizadas, se obtuvieron resultados diferentes pero las diferencias no son significativas, estos representados en la figura 3.2, donde se muestra claramente que es la mezcla M-1 compuesta por un 70% de arcilla y un 30% de arena sílice residual la que presenta mayor pérdida de peso representado por un 19.34%, evaluando estos datos sería esta la mezcla de mejores resultados ya que se facilitaría el manejo de los ladrillos para la construcción por su peso. En el caso de la mezcla M-3, comparada con las otras mezclas es la que menor porcentaje presenta de pérdida de peso, esto debido al contenido de arena sílice residual y su mayor masa volumétrica en comparación con la arcilla, mientras

mayor sea la adición de arena en la mezcla menor será la pérdida de peso, una vez cocida la muestra.



**Figura 3.2.** Pérdida de peso en las mezclas evaluadas a una temperatura de cocción de 800 °C.

### 3.1.3 Análisis del resultado de absorción de agua de la mezcla cocida

El análisis de este parámetro se ha realizado a partir de los resultados obtenidos que se muestran en la tabla 3.3, para cada una de las mezclas después de la cocción. La capacidad de absorción de agua de cada muestra se presenta en porcentaje, este se determinó a partir de la ecuación (3) y se ilustra en la figura 3.3, ratificando que a mayor porcentaje de arena sílice residual en la mezcla se irá incrementando la absorción de agua, debido a la presencia de mayor volumen de poros libres, que permite absorber con mayor facilidad el agua.

**Tabla 3.3** Resultados de la absorción de agua en las mezclas evaluadas.

<b>Peso seco (g)</b>			
<b>Muestras</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
1	780.0	760.0	723.5
2	776.0	750.5	742.0
<b>Peso saturado (g)</b>			
<b>Muestras</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
1	1000.0	980.0	933.4
2	995.0	964.5	958.5
<b>Absorción de agua (%)</b>			
<b>Muestras</b>	<b>M-1</b>	<b>M-2</b>	<b>M-3</b>
1	28.21	28.95	29,01
2	28.22	28.51	29.18
<b>Promedio</b>	<b>28.215</b>	<b>28.73</b>	<b>29.095</b>

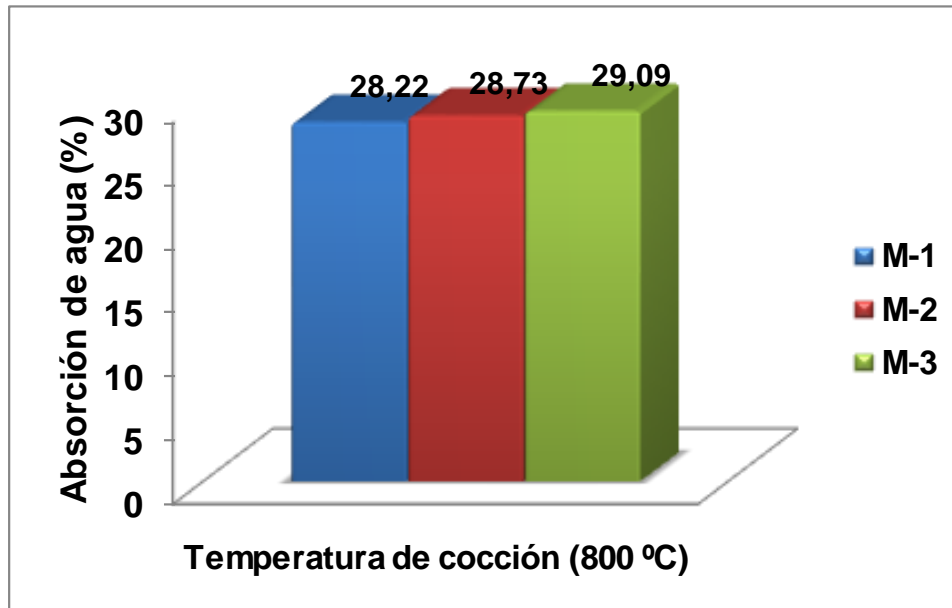
Donde:

**M-1**-----70% de Arcilla y 30% de adicción de Arena sílice residual

**M-2**-----60% de Arcilla y 40% de adicción de Arena sílice residual

**M-3**-----50% de Arcilla y 50% de adicción de Arena sílice residual

Para el análisis se compararon los resultados según lo establecido en las normas cubanas (NC 360:2005) para ladrillos cerámicos de arcilla cocida. 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 arena sílice residual a la arcilla, ya que las exigencias de esta propiedad para los ladrillos cerámicos, está en el rango de absorción de agua de 8 a 18 %. La mezcla que más absorbe el agua es la M-3 compuesta por 50 % de arcilla y 50% de arena sílice residual, dado esto por la porosidad que le da a la muestra la arena empleada, lo que indica que a mayor proporción de arena sílice residual, mayor es la absorción de agua, aunque la diferencia no es considerable.



**Figura 3.3** Absorción de agua en las mezclas evaluadas a una temperatura de cocción de 800 °C.

### 3.1.4 Análisis de los resultados de la resistencia a la compresión

La resistencia mecánica determina la capacidad de los objetos cerámicos de resistir golpes y cargas sin sufrir roturas durante su uso y manipulación. Los datos obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión se representan en la tabla 3.4, los cuales se obtuvieron a partir de la ecuación (5).

**Tabla 3.4** Resultados de la resistencia a la compresión en las mezclas evaluadas.

Resistencia a la compresión (Mpa)			
Muestras	M-1	M-2	M-3
1	12.92	9.86	7.89
2	13.14	9.97	7.67
3	12.92	9.31	7.67
<b>Promedio</b>	<b>12.99</b>	<b>9.71</b>	<b>7.74</b>

Donde:

**M-1**-----70% de Arcilla y 30% de adicción de Arena sílice residual

**M-2**-----60% de Arcilla y 40% de adicción de Arena sílice residual

**M-3**-----50% de Arcilla y 50% de adicción de Arena sílice residual

Los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión resultan de gran importancia y casi determinantes en la Industria Cerámica y de Materiales de la Construcción. Los adquiridos en este trabajo, mostrados en la figura 3.4 establecen que de las tres mezclas analizadas es la M-1 con proporciones en 70% de arcilla y 30% de adición de arena sílice residual la que mayor resistencia a la compresión presenta en un valor promedio de 12.99 (MPa), se encuentra además en el rango permisible por las normas cubanas.

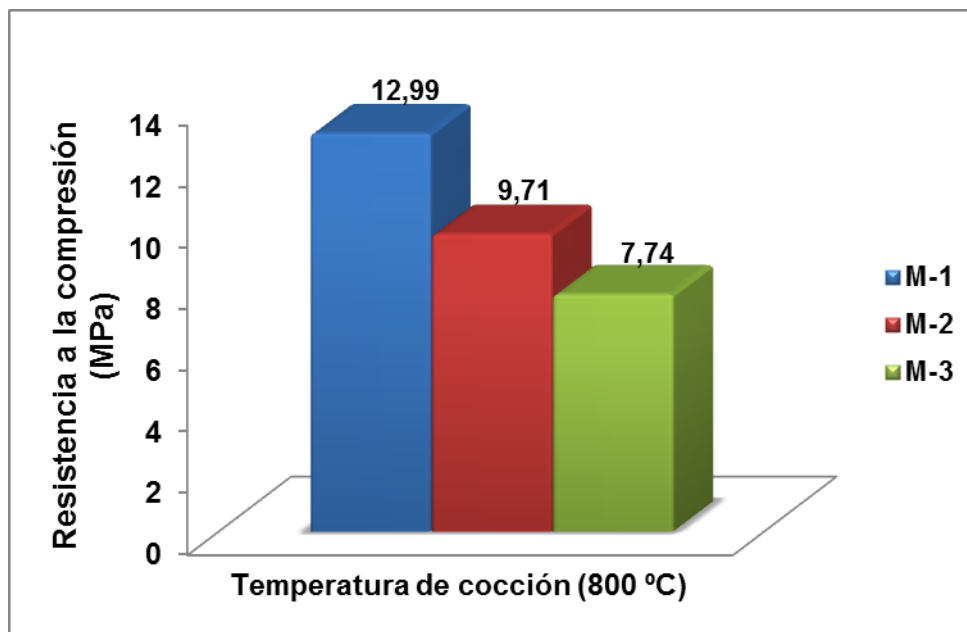


Figura 3.4 Resistencia a la compresión en las mezclas evaluadas a una temperatura de cocción 800 °C.

## 3.2 Problemas ambientales en las diferentes etapas del proceso de extracción de arcillas

### 3.2.1 Extracción de arcillas

La minería de la materia prima comprende

- La extracción de las arcillas del yacimiento

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 esta materia prima 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.

- Impactos producidos al medio circundante

La explotación de minerales a cielo abierto conlleva a serias alteraciones medio ambientales. La intensidad de las mismas depende de varios factores entre los que se reconocen la situación y morfología del yacimiento y las características del entorno.

Las influencias medioambientales de las operaciones mineras se relacionan fundamentalmente con la extracción de materiales de la construcción e introducción de desechos mineros, por lo que se originan cambios en la circulación de sustancias y energía en el entorno.

Estas influencias van transformando el paisaje originan el desarrollo de procesos dañinos o degradantes. En general, las mismas, se consideran como impactos ambientales, y su significado y carácter se estudian mediante el esclarecimiento de su origen, temporalidad, dinámica y distribución espacial, de forma que el territorio queda evaluado en función de la concentración de las mismas.

---

### 3.2.2 Impactos ambientales derivados del desarrollo de la explotación de canteras de materiales de construcción

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

La legislación ambiental cubana comprende una serie de regulaciones jurídicas ambientales de diferentes jerarquías: Leyes, Decretos - Leyes, Decretos, Resoluciones, Resoluciones Conjuntas, Acuerdos y Normas. El cumplimiento de las mismas tiene un carácter obligatorio para las personas naturales y jurídicas; las actuaciones que por acción u omisión violen los preceptos que en ellas se establecen y ocasionen daños al medio ambiente conllevan a la aplicación de sanciones que pueden ser procesadas por las vías civil o administrativa si no constituyen delito, o por la vía penal si son constitutivas de delito.

### 3.2.3 Medidas específicas según la actividad a realizar

Por las razones antes expuestas se hace necesario tener en cuenta una serie de medidas durante la explotación y cierre de las canteras con el fin de mantener un equilibrio en el Medio Ambiente circundante, dentro de las cuales podemos citar

---

### **Movimiento de Tierra**

- Los operadores de maquinaria de movimiento de tierra y de manipulación de materiales deben haber alcanzado la edad mínima prescrita, gozar de buena salud y haber recibido la formación apropiada.
- Los equipos utilizados en el movimiento de tierra estarán en condiciones técnicas adecuadas de acuerdo a sus parámetros de explotación, de forma tal que no provoquen incendios, accidentes, derrames de grasas, aceites y combustible, ni ocasionen ruidos excesivos.
- El operador tendrá especial cuidado al realizar operaciones en marcha atrás, observando en todo momento que nadie permanezca ni transite por el lugar hacia donde se dirige el equipo.
- Se disminuirá al máximo los movimientos de la maquinaria cuando existan condiciones de excesiva humedad en el terreno, minimizando así el deterioro del suelo.
- Al afectar la cobertura del suelo durante los trabajos de movimiento de tierra, de existir capa fértil, esta debe ser retirada a un lugar seguro y de fácil conservación, evitando las mezclas con contaminantes y otros materiales.
- En aquellos casos cuando la capa fértil no puede ser utilizada inmediatamente, esta será almacenada en pilas, cuya altura y forma excluirán la pérdida de la fertilidad a consecuencia de los procesos erosivos, de lixiviación y otros. La superficie de la pila y sus costados se mantendrá con hierbas u otras formas de protección.

### **Preparación del yacimiento**

- Se prohibirá el acceso a la cantera a las personas ajenas a la actividad minera.
- El uso de los medios de protección personal y el entrenamiento a la fuerza de trabajo en la manipulación del equipamiento minero será de cumplimiento obligatorio.



- 
- Disminuir los impactos visuales innecesarios que pudieran producirse por la actividad minera.
  - Se instalarán cuantas señales de seguridad oriente el Departamento de Seguridad del Trabajo de la Empresa.
  - Utilizar solo las vías de acceso autorizadas.
  - Siempre que sea posible, lograr el acceso a los puntos deseados sin la creación de nuevos caminos, pues la creación de los mismos implica el aumento de los procesos erosivos y el gasto innecesario de combustible.

#### **Medidas para la fase de explotación**

- La entidad constructora limitará su perímetro a las áreas definidas por proyecto.
- Los desbroces se efectuarán de acuerdo a las necesidades de cumplimiento de los planes de producción y que se establecen en los planes de minería.
- Garantizar la utilización racional del suelo, incrementando en lo posible el coeficiente de utilización del terreno.
- Aprovechar las características físico geográficas del lugar, tales como pendientes, drenaje natural, vegetación, evitando las modificaciones del entorno físico.
- Lograr que las nuevas plataformas que se construyan garanticen el escurrimiento superficial del área.
- Construir y preservar un sistema de drenaje, evitando inundaciones.
- Realizar guardarrayas que delimiten las áreas de trabajo en el yacimiento, evitando la propagación de incendios.

#### **Medidas para la etapa de cierre**

- Se propone para la etapa de cierre, la siembra en los alrededores de las canteras de árboles, principalmente maderables y frutales propios del territorio.

- En el Plan de Rehabilitación debe incluirse la recuperación del ecosistema que existía antes de comenzar la explotación del yacimiento, tanto la flora como la fauna.
- Eliminación de caminos no necesarios para la rehabilitación.

---

## CONCLUSIONES

- El sector más favorable que garantiza la calidad esperada para la extracción de arcillas de Cayo Guam se encuentra ubicado en torno a las coordenadas X: 700 000, 709 000 y Y: 206 000, 220 000 según el sistema cónico de Lambert.
- Se determinaron las propiedades físico-mecánicas de las probetas elaboradas a partir de las mezclas de arcilla con adicción de arena sílice residual, donde:
  - Se demostró que los valores obtenidos de contracción lineal se encuentran dentro del rango permisible por las normas cubanas para productos cerámicos.
  - Se comprobó que es la mezcla M-1 compuesta por un 70% de arcilla y 30% de adicción de arena sílice residual la que presenta mayor pérdida de peso, representado por un valor de 19.34%.
  - Los valores obtenidos de absorción de agua se encuentran por encima del rango permisible para productos cerámicos.
  - Quedó demostrado que de las tres mezclas analizadas es la M-1 compuesta por un 70% de arcilla y 30% de adicción de arena sílice residual la que mayor resistencia a la compresión presenta en un valor promedio de 12.99 (MPa), encontrándose dentro del rango permisible para productos cerámicos.
- Luego de evaluar las propiedades físico-mecánicas de las mezclas se concluye que la mezcla M-1 compuesta por 70% de arcilla y 30% de adicción de arena sílice residual es la más adecuada para su posible utilización en la industria cerámica teniendo en cuenta sus propiedades físico-mecánicas.
- 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, además permitirá disminuir el efecto negativo que provoca al ecosistema su vertimiento, su utilización puede generar nuevos empleos e ingresos a la economía del país.

---

## RECOMENDACIONES

- Cumplir con el tiempo establecido para el secado natural al aire libre, de los productos cerámicos que comprende un período de 7 a 15 días, donde no intervenga la acción del hombre.
- Supervisar y controlar la temperatura del proceso tecnológico de cocción de los productos cerámicos en el horno.
- Es importante evaluar las propiedades físico-mecánicas de las mezclas a diferentes temperaturas y si es posible mayores de 800<sup>0</sup>C.
- Teniendo en cuenta los resultados de este trabajo, se debe valorar el análisis de las propiedades físico-mecánicas con menores dosificaciones de arena sílice residual manteniendo la arcilla como material principal, para su utilización en la industria cerámica.

---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. "Arcilla." Retrieved <http://www.ecured.cu/index.php/>.
2. "Arcilla roja." Retrieved <http://www.ecured.cu/index.php/>.
3. "Arena Sílice." Retrieved <http://www.ecured.cu/index.php/>.
4. "Caolín." Retrieved <http://www.ecured.cu/index.php/>.
5. "Cerámica." Retrieved <http://www.ecured.cu/index.php/>.
6. Ladrillos de arcilla cocida. Requisitos. N. C. 360.
7. Ladrillos y Bloques Cerámicos. Métodos de ensayo. N. C. 359.
8. Ley No. 81 del Medio Ambiente.
9. "Materiales refractarios aislantes." Retrieved <http://www.ecured.cu/index.php/>.
10. Materiales y Productos de la Construcción. Ladrillos estándar. Especificaciones de calidad. N. C. 54-224.
11. "Minerales de arcilla." Retrieved <http://www.ecured.cu/index.php/>.
12. "Municipio Moa." Retrieved <http://www.ecured.cu/index.php/>
13. "Proceso industrial para la arena sílice o cuarzosa." Retrieved <http://www.ecured.cu/index.php/>.
14. "Yacimiento de arena cuarzosa." Retrieved <http://www.ecured.cu/index.php/>.
15. ALVAREZ VIDAL, A. (2013). Activación Térmica de Arcillas de la Región de Cayo Guam para su Aprovechamiento como Material Puzolánico., Instituto Superior Minero Metalúrgico.
16. ARIOSIA IZNAGA, J. (1998). Curso de yacimientos minerales no metálicos. Capítulo 21: Arcillas y Caolín
17. AUTORES, C. D. Manual Técnico de Ladrillos.
18. ÁVILA MÉNDEZ, D. (2010). Caracterización mineralógica y tecnológica de materiales arcillosos del territorio de Moa para su empleo en la Industria Local., Instituto Superior Minero Metalúrgico.

19. BRITO FERNÁNDEZ, M. (2012). Mezclas de arcillas y residuos sólidos de construcción para su utilización en la industria de materiales., Instituto Superior Minero Metalúrgico.
20. BROCARD RIVERA, Y. (2011). Evaluación de mezclas de arcilla de la región de Centeno y arena sílice residual para su utilización en la industria cerámica., Instituto Superior Minero Metalúrgico.
21. CABO DE VILLA FIGUEIRAL, S. R. (2010). Valoración de mezclas de arcillas de la región de Centeno para su utilización en la Industria de Materiales Locales., Instituto Superior Minero Metalúrgico.
22. DÍAZ ÁLVAREZ, A. (2014). Evaluación de mezclas de arcillas con adición de tobas vítreas para la fabricación de ladrillos cerámicos. Bayamo. Prov. Granma., Instituto Superior Minero Metalúrgico.
23. DÍAZ CÁRDENAS, Y. (2011). Evaluación del uso del carbonato de calcio como aditivo fundente en la producción de ladrillos de cerámica roja. Investigación y desarrollo., Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.
24. FADEL LUALI, M. (2005). Evaluación preliminar y caracterización de la manifestación de caolinitas en la zona de Cayo Guam, Moa., Instituto Superior Minero Metalúrgico.
25. GONZALEZ GARZA, C. R. " Caracterización de las arcillas y su aplicación industrial." Retrieved <http://tenoch.pquim.unam.mx/academic/ga/arcillas.htm>.
26. HIDALGO SÁNCHEZ, Y. (2013). Evaluación de mezclas de arcillas de la región de Granma con adición de tobas vítreas para su utilización en la Industria de Materiales de la Construcción., Instituto Superior Minero Metalúrgico.
27. MELLA STAPPUMG, A. (2004). Caracterización y evaluación de puzolanas locales en la masa cerámica del ladrillo., Universidad del Bio Bio.
28. NJILA, T. (2011). Caracterización químico-mineralógica de cortezas de meteorización ferrosialíticas en el noreste de Cuba oriental., Instituto Superior Minero Metalúrgico.

29. OROZCO, GERARDO. (1995). Caracterización de las arcillas de Cayo Guam. Informe técnico., Instituto Superior Minero Metalúrgico.
30. PITANO ÁLVAREZ, Y. (2003). Caracterización preliminar de las arcillas de Cayo Guam, con vistas a su utilización en la industria cerámica., Instituto Superior Minero Metalúrgico.
31. RAMÍREZ, Y. R. (2014). Caracterización de la actividad puzolánica de arcillas de la región de Cayo Guam para su utilización como material cementicio suplementario., Instituto Superior Minero Metalúrgico.
32. RAMOS QUINTERO, M. (2002). Caracterización físico mecánica de las arcillas de Moa para su utilización en la industria de cerámicas., Instituto Superior Minero Metalúrgico.
33. RODRÍGUEZ INFANTE, A. (1998). Estudio morfotectónico de Moa y áreas adyacentes para la evaluación de riesgos de génesis tectónica., Instituto Superior Minero Metalúrgico.
34. RODRÍGUEZ REYES, I. (2013). Caracterización de materiales arcillosos del depósito Cayo Guam para su posible empleo como material cementicio suplementario., Instituto Superior Minero Metalúrgico.



## ANEXOS

### Anexo 1. Arcilla de Cayo Guam







**Anexo 2. Arcilla molida en molino de bolas**



**Anexo 3. Arena sílice residual**





**Anexo 4. Proceso de absorción de agua**



**Anexo 5. Proceso de secado natural de las muestras**



**Anexo 6. Muestras cocidas a 800 °C**

