



**MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA**

**“Dr. Antonio Núñez Jiménez”**

**FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MINERÍA**

**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**

**Trabajo de diploma en opción al título de Ingeniero Geólogo**

**Título:**

**Caracterización mineralógica y tecnológica de materiales  
arcillosos del territorio de Moa para su empleo en la Industria  
Local**

**Diplomante: Daubel Avila Méndez**

**Tutor (es): Dr Dr.C Gerardo Orozco Melgar  
Dr.C Carlos A. Leyva Rodríguez**

**Julio de 2010**

## Agradecimientos

*La realización de este trabajo y mi formación profesional ha sido posible gracias a la incondicional ayuda y colaboración de personas, que siempre han mostrado preocupación constante por mí. De ahí que, el término de esta investigación carece de sentido sin antes mostrar el agradecimiento a dichas personas:*

- Ø A mis padres y hermanos, por la confianza depositada en mí en todo momento. Por sus consejos y comprensión.*
- Ø A toda mi familia en general, por su apoyo y ayuda en los momentos difíciles.*
- Ø A mis compañeros de aula, por los incontables momentos que vivimos juntos y por su ayuda en los momentos difíciles.*
- Ø A mis amigos Mandela, Karina, Rayner, Pedro, por ser guías en todo momento de mi vida.*
- Ø A quienes quizás no he nombrado, gracias por contribuir a mi formación profesional y personal, les estaré eternamente agradecidos.*
- Ø A todos, gracias.*

### Dedicatoria

*Dicen que el amor es la razón alrededor del cual gira la vida, lo cual implica que todo lo que hagamos, por mínimo que sea, requiere de este preciado sentimiento. Es por ello que la realización de esta memoria la dedico a las personas que más quiero y aprecio en la vida.*

- Ø A mis abuelos que los tengo presente siempre en mi corazón*
- Ø A mis padres, que son la razón de mi existencia, por ayudarme ha ser quien soy, de los cuales siempre estaré orgulloso y no tendré como pagar lo que han hecho por mi.*
- Ø A mis hermanos, en especial a mi pequeño hermano Dariel Ávila Méndez (chicho).*
- Ø A toda mi familia sin excluir a nadie.*
- Ø A todos mis compañeros de aula, amistades y todo a los que contribuyeron a mi formación profesional.*
- Ø A Mandela y Karina, por estar siempre a mi lado brindándome ese cariño y amor que siempre he tenido a mi lado para seguir a delante.*

## PENSAMIENTO

*La dignidad no consiste en nuestros honores, sino en el reconocimiento del merecer lo que tenemos.*

*Daubel Avila Méndez*

## Resumen

El presente trabajo “**Caracterización mineralógica y tecnológica de materiales arcillosos del territorio de Moa para su empleo en la Industria Local**”, muestra el estudio de las principales materiales arcillosos que se emplean en la tecnología de tratamiento de las arcillas de la región de Moa para la obtención de mezclas cerámicas utilizadas en la producción de objetos cerámicos ornamentales y utilitarios.

Mediante la metodología empleada se estudiaron cuatro mezclas cerámicas con diferentes dosificaciones de arcilla roja y pardo-amarillenta y caolinita, en las mismas proporciones utilizadas tradicionalmente en el Tejar de Centeno, a las cuales se les añadió determinadas cantidades de tobas vitroclásticas para obtener mejores resultados en cuanto al peso final de la muestra obtenida, valorando mediante ensayos sencillos, los siguientes parámetros tecnológicos: % de contracción, % de absorción de agua y resistencia a la compresión y el comportamiento de cada una de las mezclas durante el secado y la cocción. Se estudió además el comportamiento de las mismas respecto a la temperatura de cocción y al tamaño de partículas. A demás se estudiaron mediante el Espectrofotómetro Infrarrojo WQF-510 FTIR, las curvas de absorción, determinándose las características de los materiales arcillosos de diferentes zonas de la región de Moa.

## **Abstract**

The present investigation “**Mineralogical and technological characterization of the clays in the territory of Moa for their use in the local industry**”, is a study of the principle clay materials that is used in the technology applied in the treatment of the clays in the region of Moa, in order to obtain ceramic mixes used in the production of ornamental ceramic objects and utilities.

Through the applied methodology, four ceramic mixes were studied with different doses of red clay, yellow-brown clay and kaolin, in the same proportions used traditionally in the Pottery in Centeno, to which was added determined quantities of vitroclastic tobas in order to obtain better results such as lighter yet hard samples to assess by means of simple tests the technological parameters, percentage of contraction, percentage of absorption of water, resistance to compression, the comportment of each sample during the drying period and the coition. Furthermore the comportment of these mixes was studied with respect to the coition temperature and the size of the particles. Moreover the absorption curves were studied using an Infrared Photo spectrometer WQF-510 FTIR in order to determine the characteristics of the clay materials in the different study zones in Moa.

## INDICE

<i>Introducción</i> .....	1
<b>CAPÍTULO I.</b> .....	7
<b>CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LA REGIÓN Y ÁREAS DE ESTUDIO.</b> .....	7
<b>I.1. Características físico-geográficas del área de estudio</b> .....	7
<b>I.2. Relieve</b> .....	7
<b>I.3. Clima</b> .....	8
<b>I.4. Red hidrográfica</b> .....	8
<b>I.5. Vegetación</b> .....	8
<b>I.6. Principales rasgos económicos de la región.</b> .....	9
<b>I.7. Marco Geológico regional.</b> .....	9
<i>I.7.1 Tectónica.</i> .....	13
<i>I.7.2 Geomorfología</i> .....	16
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA Y VOLUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS Y GENERALIDADES</b> .....	16
<b>II.1.1 Aplicaciones de los productos cerámicos</b> .....	20
<b>II.1.2 Aplicaciones futuras</b> .....	21
<b>II.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS ARCILLAS DE LA REGION DE CENTENO.</b> .....	22
<b>II.2.1 Composición química</b> .....	22
<b>II.2.2 Composición molecular de la arcilla</b> .....	25
<b>II.2.3 Forma y tamaño de las partículas</b> .....	25
<b>II.3 Propiedades de las arcillas</b> .....	26
<b>II.3.1 Plasticidad</b> .....	26
<b>II.3.2 Capacidad de absorción</b> .....	29
<b>II.3.3 Hidratación e hinchamiento</b> .....	30
<b>II.3.4 Tixotropía</b> .....	31
<b>II.4 Consideración acerca de las pastas de arcillas</b> .....	31
<b>II.4.1 Ensayos preliminares sobre depósitos de arcilla natural</b> .....	32
<b>II.4.2 Adiciones a las arcillas para hacerlas útiles</b> .....	35
<b>II.4.3 Pastas de arcillas para torneear</b> .....	36

II.4.4 Pastas de arcillas para barro cocido	37
II.4.5 Pastas de arcilla para modelar	37
II.5 Requerimientos tecnológicos de la arcilla para cerámica	38
II.5.1 Secado de la arcilla	39
II.5.2 Formas de facilitar el secado	40
II.5.3 Proceso de cocción	41
<b>Capítulo: III. Metodología de la investigación</b>	<b>42</b>
III.1 Toma de muestras	42
Preparación de las muestras.	42
Maduración.	42
Depuración de la pasta.	43
Moldeado.	43
Secado.	43
Cocción.	43
III.2 Caracterización Mineralógica	44
III.3 Características de la tecnología empleada en el tejar	45
III.4 Metodología para la realización de los ensayos.	45
III.5 Elaboración de mezclas	49
<b>CAPITULO IV. RESULTADOS OBTENIDOS Y ANALISIS E IMPACTO AMBIENTAL</b>	<b>50</b>
IV.1 Resultados del ensayo de plasticidad.	50
IV: 2.1 RESULTADOS DEL ENSAYO DE PÉRDIDA DE MASA.	52
IV.3 Resultados del ensayo de absorción.	52
IV.4 Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión	53
IV: 5 Análisis del resultado de contracción total.	54
IV: 6 Análisis del resultado de absorción de agua de la mezcla cocida.	55
IV.7 Análisis del resultado del % de Pérdida de Peso luego de la calcinación.	56
IV.8 Análisis del resultado de Resistencia a la compresión (Mpa).	57
IV.5 Impacto ambiental	59
IV.6 Problemas ambientales en las diferentes etapas del proceso.	59
<b>CONCLUSIONES:</b>	<b>66</b>
<b>RECOMENDACIONES:</b>	<b>68</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>69</b>

## **Introducción**

El municipio de Moa constituye un baluarte económico para el país por las grandes riquezas minerales que posee, las cuales son reconocidas internacionalmente. Sin embargo se conoce muy poco de las grandes posibilidades que tienen sus tierras rojas para ser empleadas, como arcillas en la industria de cerámica.

Históricamente la arcilla fue utilizada tal y como está en la naturaleza, sin hacerle muchos cambios para los fines que se perseguían. Con el desarrollo de la ciencia y la técnica el hombre ha podido descubrir que el material que resultaba tan fácil de trabajar y manipular, es, en realidad nada sencillo, pues posee algunas propiedades que aún no se han podido describir completamente.

En las industrias productoras de cerámicos, por lo general, la arcilla luego de extraída del yacimiento y trasladada a la planta es mezclada con otros productos, previamente estudiados y establecidos, y agua en cantidad suficiente para garantizar que toda ella se humedezca, para ello se emplean en maquinas mezcladoras de diferentes tipos. Luego es tamizada para lograr el tamaño de partículas requerido y eliminar algunas impurezas o materiales indeseables. La suspensión acuosa debe ser sedimentada o filtrada para eliminar el exceso de agua y obtener una pasta con una humedad que pueda ser trabajada, ya sea en un torno alfarero o para el modelado manual de los objetos que se producirán, los cuales deben ser secados completamente antes de pasar al horno donde se cuecen y obtienen su consistencia final.

Entre los minerales más abundantes de la región de Moa se encuentran las grandes reservas de arcillas de diferentes tipos en las zonas de Centeno y las márgenes del río Cayo Guam, la parte litoral norte de Moa y las inmediaciones campo de tiro; las cuales no han sido suficientemente valoradas para su utilización en la industria cerámica.

El tratamiento de estas arcillas no ha sido el adecuado pues presencia de impurezas o materiales indeseables disminuye la calidad de los objetos que se quieren producir.

Por tal razón nos dimos a la tarea de realizar una caracterización mineralógica y tecnológica de estos materiales arcillosos del territorio de Moa para su empleo en la industria local.

## **PROBLEMA**

El bajo grado de estudio de las cortezas de meteorización no niquelíferas no ha permitido integrar las investigaciones mineralógicas y tecnológicas como una vía para su caracterización y determinación de los posibles usos, lo cual constituye el problema que se aborda en el trabajo.

## **HIPÓTESIS**

Si se establece la composición mineralógica de las arcillas es posible elaborar una clasificación de las mismas y proponer las mezclas adecuadas con el fin de definir posibles usos empleando la tecnología disponible.

## **OBJETO**

Materiales arcillosos presentes en diferentes zonas de la región de Moa.

Por lo tanto se propone el siguiente:

## **OBJETIVO**

Caracterizar desde el punto de vista mineralógico las arcillas y proponer los posibles usos en la industria cerámica local.

Para dar cumplimiento al objetivo planteado se realizarán las siguientes **TAREAS:**

1. Caracterizar por medio de la espectroscopia infrarroja la composición mineralógica de las arcillas.
2. Elaborar y evaluar mezclas para la obtención de objetos experimentales (ladrillos, moldes).
3. Evaluar las condiciones tecnológicas experimentales, principalmente la temperatura de tratamiento en un horno de laboratorio.
4. Determinar la resistencia a la compresión de los productos obtenidos y otras propiedades.

## **NOVEDAD CIENTÍFICA:**

Establecer la mezcla adecuada de las arcillas y su tratamiento térmico óptimo.

## **Estado del Arte**

Inicialmente, el desarrollo de nuevos productos cerámicos se efectuó en gran parte en la industria automovilística. Uno de los productos más antiguos de la cerámica industrial es la bujía de encendido de los motores de combustión.

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 de 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.

Investigadores del territorio (Orozco, 1995; Leyva, 1996) determinaron que Moa hay de manifestaciones de arcillas caoliniticas, de las cuales una parte considerable se encuentra relacionada con cuerpos de gabros de diversas dimensiones. Algunas de ellas se describen a continuación.

**Evaluación preliminar y caracterización de la manifestación de caolinitas en la zona de Cayo Guam, Moa Marabih Fadel Luali**, se plantean algunos de los resultados obtenidos. De acuerdo con la clasificación de (Pla, 1977), mostrada en la Tabla 1; las arcillas de Cayo Guan se encuentran dentro de las arcillas plásticas. De acuerdo con este criterio si el índice de plasticidad es bajo, el suelo puede manejarse sin peligro de amasarse, y si el índice de plasticidad es alto, aumentaría el peligro de deterioro de las condiciones físicas (estructura), especialmente si el manejo se lleva a cabo con altos contenidos de humedad. Según el mismo, diferencias entre los límites superior e inferior de plasticidad mayor de 10%, indican un contenido de arcilla de alta plasticidad. Rangos de 10 a 5% indican moderada plasticidad y valores menores de 5%, identifican suelos poco plásticos

Índice de plasticidad.(%)	Tipo de plasticidad	Observaciones
Mayor de 10	alta	Muy plástica
De 5 a 10	moderada	Medianamente plástica
Menor de 5	baja	Poco plástica

Tabla 1. Valores para evaluar el índice de plasticidad según (Pla, 1977)

La plasticidad de las diferentes mezclas estudiadas fue determinada por el método más sencillo, es decir, deslizando con la mano sobre un vidrio cilindro de suelo, en el momento que se produzca su resquebrajamiento, determinar la humedad del suelo. A través de este método, que es muy utilizado en la práctica (por ser sencillo, rápido y eficaz), se determinó que la plasticidad de las seis mezclas estudiadas, una es muy plástica, tres de ellas son medianamente plásticas, mientras que las dos restantes son poco plásticas, como se muestra en la Tabla 2.

Muestras	Índice de plasticidad	Observación
CG-1	4.75	Poco plástica
CG-2	3.56	Poco plástica
CG-3	17.36	Muy plástica
CG-4	6.9	Medianamente plástica
CG-5	7.33	Medianamente plástica
CG-6	9.4	Medianamente plástica

Tabla 2. Resultados del análisis de plasticidad de las muestras de Cayo Guan.

La producción y desarrollo de cerámicas a nivel mundial están concentradas en:

- **Japón:** Invierte aproximadamente US\$ 530 millones/año en investigación y desarrollo de materiales, de los cuales US\$ 200 millones corresponden a cerámicas con una participación en el mercado mundial del 65%. Las principales compañías y organizaciones en cerámicas son: Ministerio de Industria y Comercio (MITI),

Imperial Chemical Industries, Asahi Glass Co., Toshiba, Nippon Steel Corporation, Toyota y Mitsubishi. Hay más de 170 empresas dedicadas a los cerámicos.

- **Estados Unidos:** Invierten aproximadamente US\$ 340 millones/año en investigación de materiales, cerca de US\$ 100 millones corresponden a cerámicas con una participación del 25% en el mercado mundial. Las principales empresas y organizaciones dedicadas a las cerámicas son los Departamentos de Energía, de Defensa y de Comercio, la NASA, 3M Corp, la General Motors y la Ford Co.

- **Alemania y Francia:** Se encuentran en tercer lugar en el desarrollo de cerámicas con un atraso de cerca de 5 años respecto a Japón y Estados Unidos. En Alemania se invierten US\$ 970 millones/año en materiales. Algunos centros de investigación de Alemania son el Ministerio de Investigación y Tecnología, el Instituto Max Planck, y el Ministerio de Defensa.

- **España e Italia:** La fabricación de pavimentos y revestimientos cerámicos en España ha experimentado cambios considerables. En 2000 la producción de baldosas fue alrededor de 621 millones de metros cuadrados, cifra que lo sitúa como primer país del mundo junto a volumen de producción junto con Italia. Esto ha repercutido en una mayor automatización del proceso y en una mejora de la calidad del producto.

Debido a las excelentes propiedades de los materiales cerámicos, las investigaciones se centran en superar sus grandes limitaciones como son entre otras, la fragilidad; obtención de materiales 100% puros, libre de porosidades o con elementos que sirvan de atenuadores y reguladores de las grietas; obtención de material base (polvos) más uniformes y pequeños, por métodos diferentes al tradicional de molienda, que garantiza material con una estructura más fina y uniforme; y desarrollo de uniones e interfases con otros materiales como metales y plásticos para alcanzar propiedades combinadas. Se trabaja además en llevar a procesos industriales muchos logros que se han desarrollado en el laboratorio y que necesitan ser obtenidos a gran escala y a costos razonables.

Para evitar la fragilidad en lo posible de las cerámicas tenaces, se debe controlar perfectamente el proceso de fabricación en todas sus fases y en especial el control físico/químico de las materias primas, preparación de polvos y mezclas,

relaciones de equilibrios de fases a elevadas temperaturas y en la fase de cocción.

Para eliminar los defectos que provocan las grietas se parte de polvos finísimos de alta pureza química obtenidos por plasma o láser de alta potencia, empaquetados antes de ser sinterizados, produciéndose cerámicas con densidades próximas a las teóricas, sin huecos.

Debido a las excelentes propiedades de los materiales cerámicos, las investigaciones se centran en superar sus grandes limitaciones como son entre otras, la fragilidad; obtención de materiales 100% puros, libre de porosidades o con elementos que sirvan de atenuadores y reguladores de las grietas; obtención de material base (polvos) más uniformes y pequeños, por métodos diferentes al tradicional de molienda, que garantiza material con una estructura más fina y uniforme; y desarrollo de uniones e interfases con otros materiales como metales y plásticos para alcanzar propiedades combinadas. Se trabaja además en llevar a procesos industriales muchos logros que se han desarrollado en el laboratorio y que necesitan ser obtenidos a gran escala y a costos razonables.

Para evitar la fragilidad en lo posible de las cerámicas tenaces, se debe controlar perfectamente el proceso de fabricación en todas sus fases y en especial el control físico/químico de las materias primas, preparación de polvos y mezclas, relaciones de equilibrios de fases a elevadas temperaturas y en la fase de cocción.

Para eliminar los defectos que provocan las grietas se parte de polvos finísimos de alta pureza química obtenidos por plasma o láser de alta potencia, empaquetados antes de ser sinterizados, produciéndose cerámicas con densidades próximas a las teóricas, sin huecos

En el MIT, también ha sido desarrollado otro método para producir partículas diminutas de alta pureza química, el cual se basa en calentar un compuesto gaseoso de silicio e hidrógeno mediante un láser de dióxido de carbono de alta potencia. La breve e intensa aplicación de calor descompone el gas, liberando el silicio en forma de partículas extremadamente finas. Suspendiendo estas partículas en una solución que permita controlar su carga eléctrica, se puede conseguir empaquetarlas estrechamente en una estructura libre de defectos.

Otra vía prometedora en la que se esta empezando a investigar para reforzar la tenacidad, consiste en intercalar finas fibras cerámicas en una matriz cerámica o

vítrea; de esta manera las fibras cerámicas eliminan las grietas, impidiendo su posterior ensanchamiento y crecimiento. Los compuestos resultantes han mostrado una resistencia significativa a la rotura frágil, que no se distinguía precisamente a los materiales cerámicos monolítico.

## **CAPÍTULO I.**

### **CARACTERIZACIÓN FÍSICO-GEOGRÁFICA Y GEOLÓGICA DE LA REGIÓN Y ÁREAS DE ESTUDIO.**

#### ***1.1. Características físico-geográficas del área de estudio***

El área de estudio se encuentra enmarcada en zonas del municipio de Moa, los cuales se ubican en el noreste de la provincia de Holguín en Cuba Oriental. Figura 1.1 muestra las localidades del área de estudio.

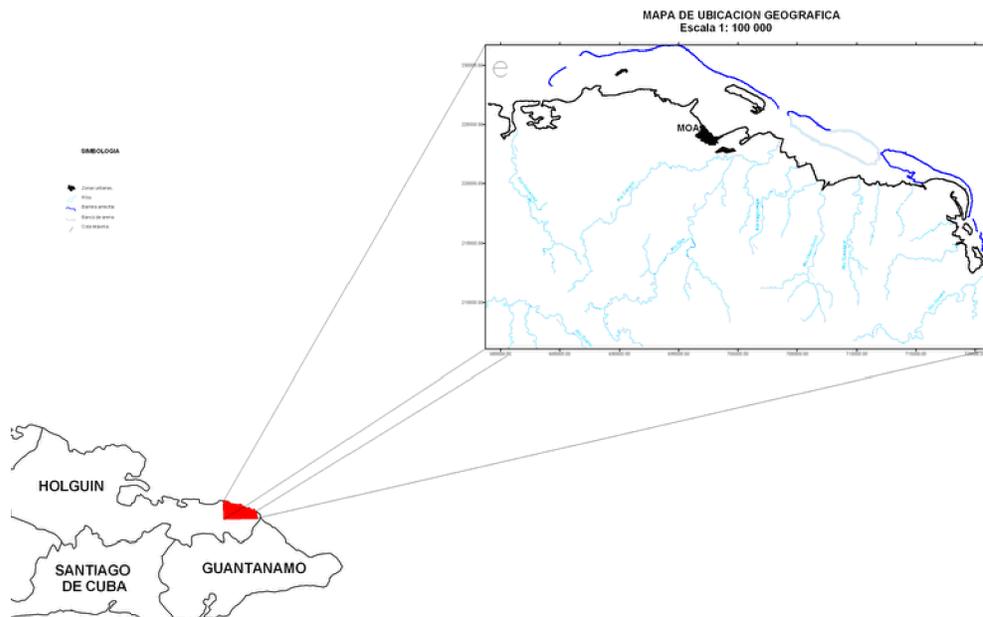


Figura: 1.1 mapa de ubicación geográfica

#### ***1.2. Relieve***

La región, dentro de la cual se enmarcan los sectores de estudio forma parte del grupo montañoso Sagua-Baracoa, con un relieve predominantemente montañoso

hacia la parte sur, debido a la presencia de la Sierra de Moa, que se extiende en dirección submeridional. El norte de la región se caracteriza por presentar un relieve más moderado, con cotas que oscilan entre 40 y 50 metros, disminuyendo gradualmente hacia la costa. Precisamente este es el relieve que caracteriza los sectores de estudio (Atlas Nacional de Cuba.1982).

### ***1.3. Clima***

El clima es tropical con abundantes precipitaciones, estando estrechamente relacionadas con el relieve montañoso que se desarrolla en el área. Las precipitaciones anuales oscilan entre 1600 - 2200 mm y la evaporación anual entre 2200 - 2400 mm (Nuevo Atlas Nacional de Cuba, 1989). La temperatura media anual oscilan entre 22.6 y 30.5 °C. Siendo los meses más calurosos desde julio hasta septiembre y los fríos enero y febrero.

### ***1.4. Red hidrográfica***

En las regiones de estudio se desarrolla una red fluvial densa y dendrítica, representada por numerosos ríos y arroyos, entre los que se encuentran los ríos 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. Los mismos desembocan en el océano Atlántico, formando deltas cubiertos de mangles.

### ***1.5. Vegetación***

La vegetación comprende el 33 % del endemismo cubano. Podemos encontrar pinares, pluvisilvas, charrasco y bosques tropicales predominando el pinus cubensis y plantas latifodias. Esta es la vegetación más importante y explotada económicamente; es muy valiosa en la biodiversidad y la ecología por constituir una flora generadora de suelo. Además se pueden observar ejemplares del bosque de pluvisilvas, típico de selvas lluviosas; es una formación vegetal de constitución vigorosa que puede alcanzar hasta 40 m 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).

### ***1.6. Principales rasgos económicos de la región.***

Económicamente la región de Moa está dentro de las más industrializadas del país; cuenta con dos plantas procesadoras de menas de níquel actualmente en producción, la Comandante Ernesto “Che Guevara” y la Comandante “Pedro Soto Alba”, Moa Ni SA, con capacidades de diseño original de 30 000 y 24 000 t de concentrado de Ni + Co al año respectivamente. Este reglón constituye el segundo rubro exportable del país. 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), así como otros centros industriales de menor tamaño, vinculados a la actividad económica del territorio.

En la zona se encuentran los yacimientos de cromo Merceditas, Amores y Los Naranjos; en Punta Gorda, a 8 km al este de la ciudad de Moa en Cayo Guan a 15 km se encuentran sendas plantas beneficiadoras de mineral cromífero de los yacimientos Merceditas y Amores.

También existen otros organismos de los cuales depende la economía de la región tales como el establecimiento de la Empresa Geólogo Minera, la Presa Nueva Mundo, el Tejar, el combinado lácteo y otros.

La agricultura tiene un peso fundamental dentro de la vida económica de la región. Existen otros sectores económicos como la explotación de recursos forestales, que son abundantes en la zona, siendo el eslabón importante de la economía y la ganadería aunque no tiene un gran peso puesto que no esta muy desarrollada.

### ***1.7. Marco Geológico regional.***

La geología de la región se caracteriza por una marcada complejidad condicionada por un variado mosaico de litologías aflorantes y los distintos eventos tectónicos ocurridos en el transcurso del tiempo geológico, lo que justifica los diferentes

estudios y clasificaciones realizadas, basadas en criterios o parámetros específicos según el objetivo de la investigación.

En la región de Moa afloran fundamentalmente las secuencias básicas y ultrabásicas pertenecientes a las ofiolitas septentrionales y las rocas del arco volcánico del Cretácico. No es objetivo de este trabajo hacer un análisis profundo de la geología regional, por tanto se expondrán aquellos elementos de la geología que más afectan la zona de estudio como se muestra en la figura: I.2

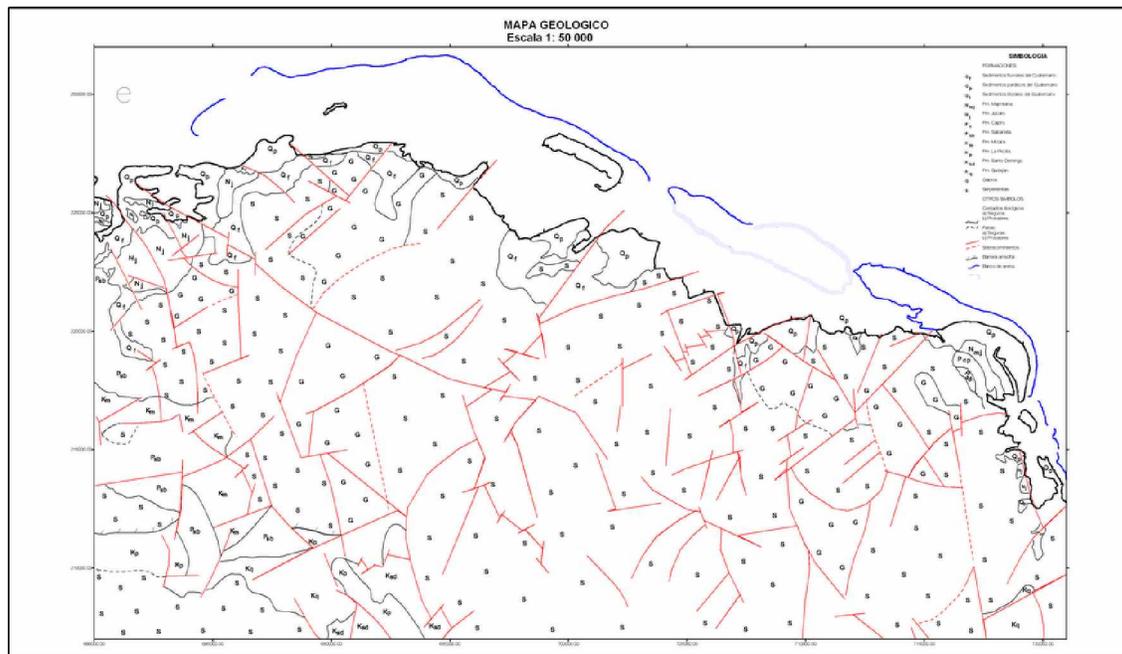


Figura: I.2 Mapa geológico.

### **Cinturón Ofiolitas septentrional cubano.**

Las rocas típicas de la secuencia ofiolítica están ampliamente representadas en toda la región y área de estudio, formando parte del Macizo Moa-Baracoa. Estas rocas constituyen los componentes esenciales del complejo máfico-ultramáfico, caracterizado desde el punto de vista petrológico por el predominio de harzburgitas y dunitas y en ocasiones dunitas plagioclásicas, wehrlitas, lherzolitas, y piroxenitas. Forman parte de este complejo los extensos cuerpos de gabros bandeados. (Ríos y Cobiella, 1984; Fonseca y otros, 1985).

El complejo volcano-sedimentario contacta tectónicamente con los demás complejos del corte ofiolítico (Proenza et al, 2006, 1997). Está representado por lavas en

almohadillas de composición basáltica con intercalaciones hialoclastitas, tobas, capas de *cherts* y calizas. Datos recientes de elementos trazas (elementos de tierras raras y elementos litófilos de grandes radios iónicos) demuestran que estas rocas se generaron en una cuenca trasera de arco o mar marginal, en una zona de expansión de fondos oceánicos.

La faja Ofiolítica Mayari-Baracoa está constituida por los diferentes términos litológicos representativos de una secuencia ofiolítica completa, aunque separados por contactos tectónicos. La secuencia estaría compuesta del piso al techo por: a) peridotitas con textura de tectonitas; b) acumulados ultramáficos; c) acumulados máficos; d) diques de diabasas; e) secuencia efusivas sedimentarias.

Las ofiolitas se encuentran cabalgando sobre las rocas vulcano-sedimentarias del arco de islas del Cretácico, estas últimas cubiertas, transgresivamente, por secuencias flyschoides y olistrostrómicas de edad Maestrichtiense a Paleógeno.

### **Arco de islas volcánicas del Cretácico.**

En la región se desarrollan ampliamente las secuencias volcánicas y vulcanógeno-sedimentaria pertenecientes al arco de islas del Cretácico. Estas secuencias están representadas por las rocas de las formaciones Santo Domingo y el Complejo Cerrajón.

La Fm. Santo Domingo (Albiano-Turoniano) está compuesta fundamentalmente por tobas y lavabrechas andesíticas, dacitas, tufitas, argilitas, lutitas volcanomícticas, lavas basálticas, liparitodacíticas, conglomerados y calizas. También aparecen pequeños cuerpos de pórfidos dioríticos, andesitas y diabasas (Iturralde-Vinent, 1996, 1998, 2006; Proenza y Carralero, 1994; Gyarmati y otros, 1990, 1998); se incluyen en esta formación las calizas pizarrosas finamente estratificadas y muy plegadas de color grisáceo, que afloran en la localidad de Centeno.

El complejo Cerrajón (Aptiano-Turoniano) está compuesto de diques subparalelos de diabasas y gabrodiabasas (Gyarmati y Leyé O'Connor, 1990; Gyarmati y otros, 1998).

La actividad volcánica se extendió desde el Aptiense al Campaniense Medio (Iturralde-Vinent, 1994, 1996c) y fue el resultado de una subducción intraoceánica. Restos de este basamento ofiolítico del arco afloran actualmente y están

representados por las anfibolitas de la Formación Güira de Jauco, al sur de la región de estudio (Millán, 1996; Iturralde-Vinent, 1996).

En la zona de contacto de estas rocas cretácicas con las ofiolitas, las mismas se encuentran deformadas, generalmente trituradas hasta brechas. En ocasiones los contactos coinciden con zonas muy fisuradas y foliadas, o con masas caóticas que contienen mezcla de bloques de ofiolitas y vulcanitas cretácicas (Iturralde-Vinent, 1996, 1998; Cobiella, 1978).

### **Cuencas de "piggy back" del Campaniense Tardío-Daniense.**

En el Campaniense medio, culminó la actividad volcánica y comenzaron los procesos de cabalgamiento de las secuencias volcánicas generadas y de las ofiolitas del mar marginal (obducción) sobre el borde meridional de la Plataforma de Las Bahamas. En estas condiciones de inestabilidad tectónica se desarrollaron una serie de cuencas, que se comportaron como cuencas de "*piggy back*" (también denominadas "cuencas superpuestas de primera generación"; Quintas, 1989). De este estadio son representativas las formaciones sedimentarias Mícara, La Picota y Gran Tierra (Cobiella, 1978; Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O'Conor, 1990).

### **Arco de islas volcánico del Paleógeno.**

Entre el Paleoceno-Thanetiense y el Eoceno Medio Inferior se desarrolló otro régimen geodinámico de arco de islas volcánicas en Cuba. Esta actividad volcánica estuvo restringida fundamentalmente a la parte oriental de la isla, y en nuestra zona se considera como materiales distales del vulcanismo paleogénico. Estas secuencias están compuesta por tobas vitroclásticas, litovitroclásticas, cristalovitroclásticas con intercalaciones de tufitas calcáreas, areniscas tobaceas, calizas, conglomerados tobaceos, lutitas, margas, graveritas, conglomerados volcanomícticos y algunos cuerpos de basaltos, andesitas, y andesitas-basálticas, los cuales alcanzan hasta 60 m de espesor (Formación Sabaneta) (Iturralde-Vinent, 1994, 1998; Cobiella, 1978; Proenza y Carralero, 1994)

### **Cuencas de "piggy back" del Eoceno Medio-Oligoceno.**

En el Eoceno Medio Inferior concluyó la actividad volcánica paleogénica. A partir de este momento y hasta el Oligoceno se desarrolló un segundo estadio de cuencas de *piggy back* (Quintas y Blanco, 1993) en las cuales se depositaron espesores considerables de materiales terrígenos y carbonatados. Las secuencias estratigráficas del Eoceno Medio-Oligoceno en la región de estudio están representadas por las formaciones Sierra de Capiro, Cilindro, Mucaral, y Maquey (Cobiella, 1978; Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O’Conor, 1990).

### **El "Neoautóctono" (Materiales post-Eoceno).**

El "neoautóctono" está constituido por formaciones sedimentarias depositadas en régimen de plataforma continental que yacen discordantemente sobre las unidades del "cinturón plegado". Las rocas del "neoautóctono" constituyen una secuencia terrígeno-carbonatada poco deformada que aflora en las cercanías de las costas formando una franja que cubre discordantemente los complejos más antiguos y que estructuralmente se caracterizan por su yacencia monoclinal suave u horizontal (Quintas, 1989; Iturralde-Vinent, 1994, 2006). Son representativas de esta secuencia las formaciones Cabacú, Yateras, Jagüeyes, Majimiana, Júcaro, Río Maya y Jaimanitas (Nagy y otros, 1976; Quintas, 1989; Gyarmati y Leyé O’Conor, 1990).

#### ***1.7.1 Tectónica.***

El Bloque Oriental Cubano comprendido desde la falla Cauto-Nipe hasta el extremo oriental de la isla, presenta una tectónica caracterizada por su alta complejidad, dado por la ocurrencia de eventos de diferentes índoles que se han superpuesto en el tiempo y que han generado estructuras que se manifiestan con variada intensidad e indicios en la superficie).

Este bloque se caracteriza por el amplio desarrollo de la tectónica de cabalgamiento que afecta las secuencias más antiguas (Campos, 1983).

Localmente esta complejidad en la región de estudio se pone de manifiesto a través de estructuras fundamentalmente de tipo disyuntivas con dirección noreste y noroeste, que se cortan y desplazan entre sí, formando un enrejado de bloques y microbloques con movimientos verticales diferenciales, que se desplazan también

en la componente horizontal y en ocasiones llegan a rotar por acción de las fuerzas tangenciales que los afecta como resultado de la compresión (Campos, 1983). También se observan dislocaciones de plegamientos complejos, sobre todo en la cercanía de los contactos tectónicos (Campos, 1983),

En las secuencias más antiguas (rocas metamórficas y volcánicas), de edad mesozoica, existen tres direcciones fundamentales de plegamientos: noreste-suroeste; noroeste-sureste y norte-sur, esta última, característica para las vulcanitas de la parte central del área. Las deformaciones más complejas se observan en las rocas metamórficas, en la cual en algunas zonas aparecen fases superpuestas de plegamientos (Campos, 1983).

A fines del Campaniano Superior Maestrichtiano ocurre la extinción del arco volcánico cretácico cubano, iniciándose la compresión de sur a norte que origina, a través de un proceso de acreción, el emplazamiento del complejo ofiolítico según un sistema de escamas de sobrecorrimiento con mantos tectónicos altamente dislocados de espesor y composición variable. Los movimientos de compresión hacia el norte culminaron con la probable colisión y obducción de las paleounidades tectónicas del Bloque Oriental Cubano sobre el borde pasivo de la Plataforma de Bahamas.

En las rocas paleogénicas y eocénicas la dirección de plegamiento es este-oeste, mientras que las secuencias del Neógeno poseen yacencia monoclinas u horizontales (Campos, 1983).

Los movimientos verticales son los responsables de la formación del sistema de Horts y Grabens que caracterizan los movimientos tectónicos recientes, pero hay que tener en cuenta la influencia que tienen sobre Cuba Oriental los desplazamientos horizontales que ocurren a través de la falla Oriente (Bartlett-Caimán) desde el Eoceno Medio-Superior que limita la Placa Norteamericana con la Placa del Caribe, generándose un campo de esfuerzos de empuje con componentes fundamentales en las direcciones norte y noreste (Rodríguez, 1999), que a su vez provocan desplazamientos horizontales de reajuste en todo el Bloque Oriental Cubano. Figura: I.3 y I.4

### MAPA DE BLOQUES MORFOTECTONICOS Escala 1: 100 000

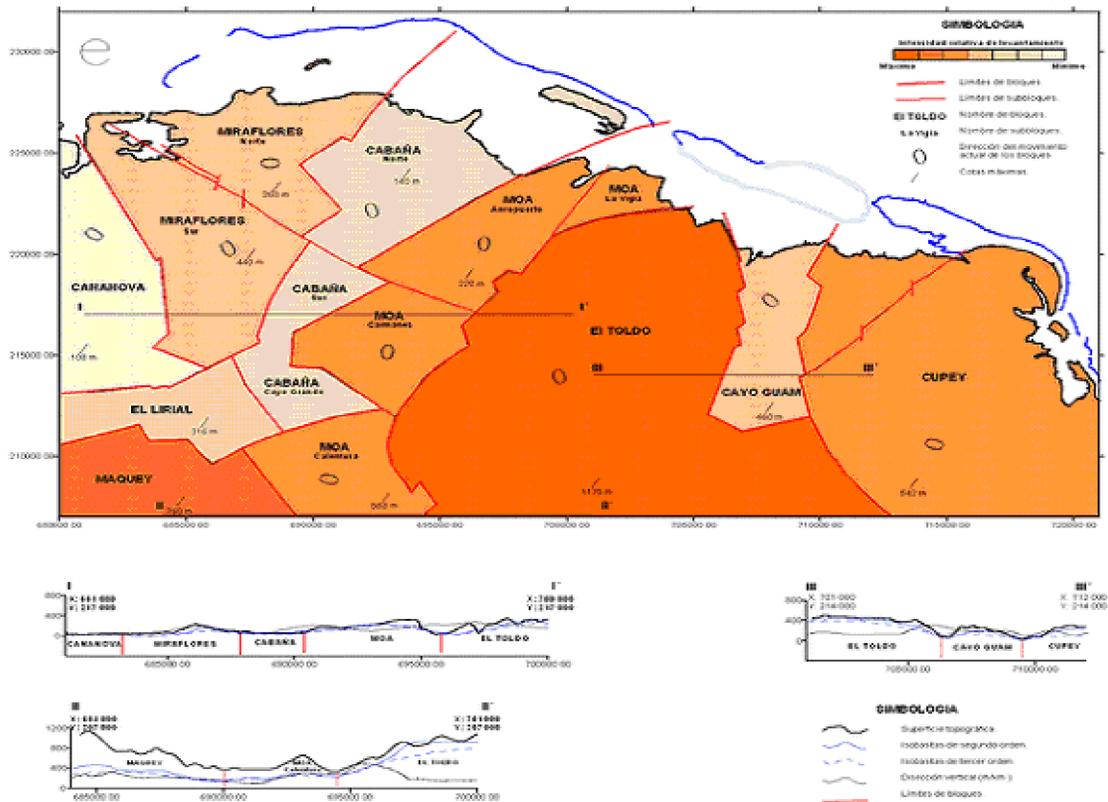


Figura: I.3 Mapa de bloques Morfotectónico

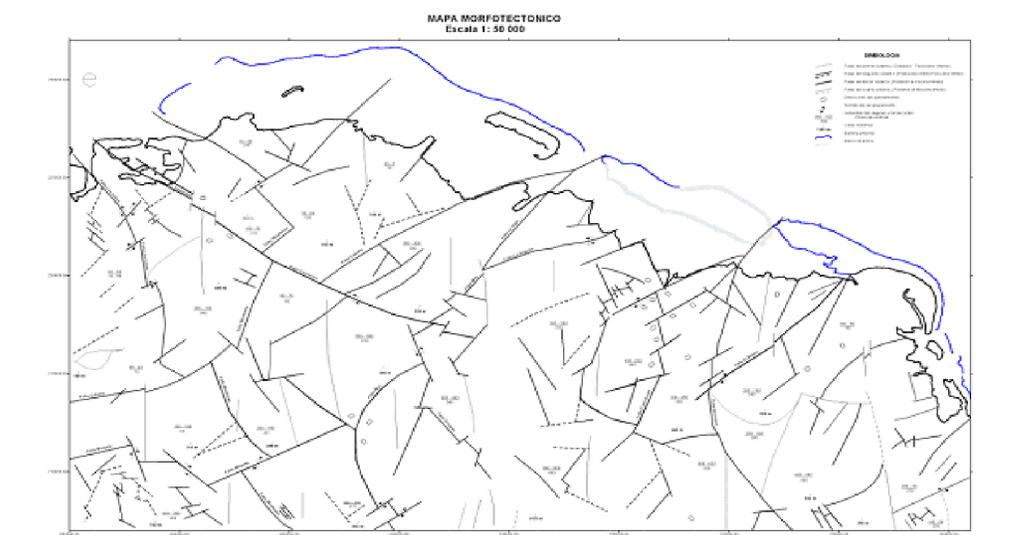


Figura: I.4 Mapa Morfotectónico



rió de Centeno hacia el sur del área del Tejar se localiza una arcilla de color pardo amarillenta que también es utilizada como materia prima.



Figura: II.1 Material arcilloso de color rojo de Centeno, la composición básica es caolinita.

X: 20.38.44N

Y: 74.59.31W

X: 691887,3640

Y: 222345,5973

Figura: II.2 Material arcilloso pardo-amarillento, con inclusiones de material carbonatado, placer aluvial río Centeno.

X: 20.38.00N

Y: 74.59.07W

X: 692597,4912

Y: 221000,5828

### **Manifestaciones de Cayo Guan:**

En las márgenes del río Cayo Guan, a unos 4 km de la carretera Moa Baracoa y a un lado del molino de piedras de la planta de beneficio de la Empresa Cromo Moa, se localiza, a 200 m aproximadamente, un afloramiento con grandes taludes donde se pueden diferenciar sectores con variedad de tonalidades, desde blanco-amarillentas, amarillo- pardo y otras.

Estos afloramientos tiene mas de 100m de extensión y un espesor promedio de 200 m. Orozco (1995), escogiendo un corte muy bien expuesto de este yacimiento, concluyó que en la base del corte afloran gabros muy intemperizados alterados a un material de color blanco y aspecto terroso- arcillosos, muy deleznable y con una alta plasticidad.

Hacia la parte superior existe una transición gradual a materiales parecidos a los de la base del corte formando una corteza de meteorización de colores variables desde el rosado hasta el rojo intenso, lo que indica un incremento en el contenido de hierro.

A través de un análisis por difracción de RX, expuesta en el trabajo de. **Evaluación preliminar y caracterización de la manifestación de caolinitas en la zona de Cayo Guam, Moa Marabih Fadel Luali**, se llegó a la conclusión de que la muestra era una caolinita desordenada, o sea una caolinita tipo fireclay mineral y el análisis químico arrojó que durante el proceso de alteración hubo un incremento 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.

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

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

A partir de estos estudios se corrobora que las arcillas presentes en los principales yacimientos del municipio poseen las características desde el punto de vista químico físico y mineralógico que permite utilizarlas, con previos estudios, como material refractario en las industrias de la región y como materia prima para la obtención de objetos cerámicos.

Actualmente los grandes yacimientos de arcillas de las márgenes del río Cayo Guan no están siendo explotados, no ocurriendo lo mismo con las de Centeno, con las cuales se producen materiales para la construcción.

Todos los trabajos realizados hasta el momento sobre las arcillas del territorio han contribuido a enriquecer el conocimiento de las características de un material que está siendo poco aprovechado, sin embargo, ninguno de estos autores se han referido a las propiedades físico químicas, mecánicas y mineralógicas que pueden ser la base para la producción de objetos cerámicos, así como otras aplicaciones industriales de este versátil material. (Figura: II.3).

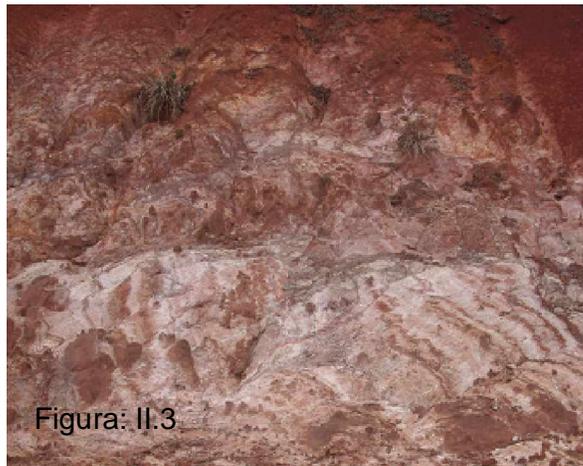


Figura: II.3

Figura: II. 3 Material arcilloso (Caolinita).

X: 21.79.40N

Y: 70.66.00W

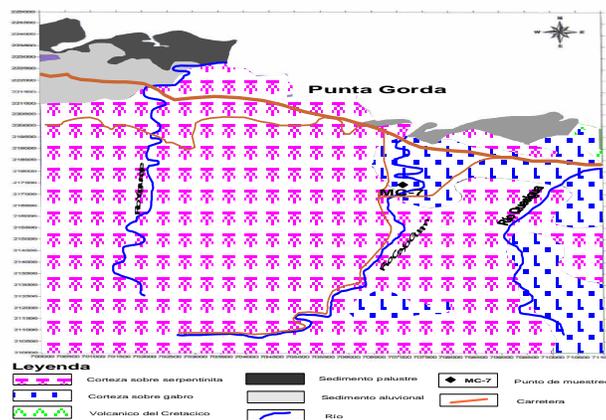


Figura II.3.1. Esquema geológico del sector Cayo Guan, escala 1:25 000.

### ***II.1.1 Aplicaciones de los productos cerámicos***

Los grandes avances en los procesos y técnicas para la obtención de materiales cerámicos y sus aplicaciones, han conllevado al desarrollo de un grupo de cerámicas denominadas técnicas o tenaces.

Por sus excelentes propiedades mecánicas, ópticas, eléctricas, refractariedad y elevada resistencia a los agentes corrosivos, constituyen uno de los nuevos materiales que, a pesar de sus inconvenientes (fragilidad, dificultad de obtención de piezas complejas, difícil reproductibilidad, dificultad en unión de piezas, etc.), más se están desarrollando durante los últimos años, comenzando a sustituir a polímeros y metales en algunas aplicaciones.

Los materiales cerámicos han adquirido gran importancia en una variedad de aplicaciones industriales. Se destaca, por ejemplo su aplicación en el campo de los sensores o en el campo de la medicina, también como protectores de calor y aislantes eléctricos, imanes de ferrita para núcleos magnéticos de memoria, fibras ópticas de sílice para sistemas de telecomunicación, como combustible nuclear y para implantación de huesos.

Entre las aplicaciones más importantes que se han introducido últimamente están las siguientes:

- Recubrimientos cerámicos para mejorar la resistencia al desgaste y a la abrasión. En general, los procesos de adhesividad termoquímica producen recubrimientos cerámicos que mejoran no solamente la resistencia al desgaste y a la abrasión, sino también, a la corrosión y a las altas temperaturas de la mayoría de los substratos inorgánicos (material al que se le hace el recubrimiento). Este proceso puede aplicarse a la mayoría de los metales.

- Cerámicas reforzadas.

Aptas para utilizarse en herramientas de corte, componentes de motores térmicos y para componentes de procesos industriales en los que se haya presente, desgastes, ambientes corrosivos y altas temperaturas. Estas cerámicas se obtienen adicionando fibras largas o cortas para que bloqueen el crecimiento de grietas, aumentando su tenacidad.

- Compuesto cerámico electroconductor resistente al calor.

Los cerámicos electroconductores se han desarrollado con el objetivo de reemplazar las aleaciones metálicas en sus aplicaciones como elementos de calor.

Pueden soportar 30.000 ciclos, desde la temperatura ambiente hasta 1200 °C, con un promedio de velocidad de crecimiento de la temperatura de 1000 °C/s., con menos del 3% de variación de la resistencia eléctrica.

- Materiales cerámicos con nuevas estructuras.

Actualmente se están desarrollando una nueva clase de cerámicas estructurales de baja densidad, con alta porosidad y de malla continua que originan una amplia área superficial.

Estos materiales pueden utilizarse como filtros de alta temperatura para aleaciones fundidas y líquidos corrosivos.

### ***II.1.2 Aplicaciones futuras***

El desarrollo en centros de investigación y empresas norteamericanas, alemanas, inglesas, japonesas y francesas, países con un gran desarrollo en esta temática, permitirá obtener resultados favorables en los siguientes aspectos: o Material compuesto (sandwich). Buscando un procedimiento de reducción del peso de las cerámicas sin sacrificar su resistencia, se está investigando sobre un material compuesto (sandwich) constituido por un núcleo de alúmina porosa y dos "placas" de alúmina densificada (compacta). Las aplicaciones del material "sandwich" de alúmina serían: en aeronáutica, aislador de la radiación de alta frecuencia; implantaciones dentales y óseas, duras exteriormente y porosas interiormente; cerámicas muy porosas como filtros, o Cerámica para alta temperatura. Se están llevando a cabo estudios sobre una cerámica tenaz transformada que resulta lo suficientemente estable a elevadas temperaturas, para aplicarse en el desarrollo y construcción de cilindros para motores

Diesel ligero, camisas de cilindros, cabezas de pistón, turbinas de gas adiabático y recuperador e intercambiador de calor. Una cerámica con estas características ha sido ensayada a 1200 °C durante 300 horas sin mostrar degradación alguna, y al parecer podría mantenerse a la misma temperatura durante 600 horas, o Cerámicas superplásticas. Al igual que ciertas aleaciones metálicas, ciertas cerámicas pueden

conformarse y forjarse obteniéndose cerámicas estructurales con mejores propiedades mecánicas que las obtenidas por métodos convencionales.

Se obtienen productos prácticamente sin defectos, de elevada densidad y con buenos acabados superficiales, aumentando especialmente la resistencia a la fatiga del material.

Se están comenzando a ensayar ciertos materiales cerámicos constituidos por carbonatos fundidos, que se piensan comercializar para la producción de las interesantes "células de combustible" (sistema de generación masiva de electricidad a partir de combustibles fósiles, por un nuevo concepto electroquímico que evita el paso térmico intermedio de los sistemas convencionales). Hasta el presente, la vida de los carbonatos es de unas 20.000 horas de operación y se busca ampliarla hasta 40.000 horas de funcionamiento para que el sistema sea rentable, o Cerámicas con conductividades metálicas. Se está experimentando una cerámica con base de titania ( $TiO_2$ ) con una conductividad eléctrica aproximada a la de un metal, y que podría utilizarse en aplicaciones electroquímicas. Esta cerámica resiste bien a las altas temperaturas y a la corrosión química y electrolítica. Puede fundirse, extraerse y ser moldeada por inyección, o Obtención de carburo de silicio ( $SiC$ ) esponjoso con porosidad del 97%.

Recientemente se ha experimentado esta esponja que resiste altas temperaturas e impacto.

## ***II.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS ARCILLAS DE LA REGIÓN DE CENTENO.***

### ***II.2.1 Composición química***

La arcilla, que constituye la materia prima fundamental de la obtención de productos cerámicos en Moa, tiene su origen en los procesos geológicos que tienen lugar en la superficie de la Tierra y debido a que estos procesos son continuos y se producen en todas partes, la arcilla es un material bastante abundante en la naturaleza.

Con frecuencia puede encontrarse en la tierra ya suavizada por la humedad y lista para ser trabajada.

Las arcillas difieren de otros tipos de minerales formadores de rocas, tanto por sus propiedades físicas como por su constitución química. Algunas arcillas tales como el caolín tienen un porcentaje relativamente bajo de hierro y otras impurezas. Debido a que las arcillas están constituidas predominantemente por alúmina y sílice, todos los otros óxidos presentes pueden considerarse impurezas.

La composición química de la arcilla es muy similar a la composición química promedio de la superficie de la tierra como conjunto. Haciendo una comparación entre la composición de una arcilla roja común con los porcentajes aproximados de óxidos en la superficie de la tierra como un todo.

Compuestos Químicos.	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	H <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>
Tierra como un todo (%)	59.14	15.34	06.88	03.49	05.08	03.84	03.13	01.15	01.05
Arcilla roja Común (%)	57.02	19.15	06.70	03.08	04.26	02.38	02.03	03.45	00.91

**Tabla II.1 Promedio de la composición química de la corteza continental según por investigadores del ISMM (Orozco, 1995; Pons y Leyva,)**

A pesar de que han sido poco estudiadas, la composición química de las arcillas de Moa, muy similar a la de una arcilla roja común (Tabla II.1), ha sido determinada por investigadores del ISMM (Orozco, 1995; Pons y Leyva, 1996), con la finalidad de establecer su origen geológico y su posible utilización en las industrias niquelíferas del territorio.

Los grandes yacimientos de arcillas rojas y pardo-amarillentas de la región de Centeno, descritas en la introducción de este trabajo, presentan la siguiente composición química.

COMPUESTOS	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	PPI
Arcilla Roja (%)	31.65	28.87	13.86	0.50	-	No	0.18	0.31	17
Arcilla Amarilla (%)	39.03	29.50	7.46	0.56	2.08	No	0.18	0.25	15

**Tabla II.2 Composición química de las arcillas roja y amarilla de la región de Centeno**

Otros estudios realizados posteriormente con arcillas rojas de esa misma región, con vistas a su utilización como material refractario, arrojaron resultados muy similares:

Compuestos	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
(%)	35.65	29.50	10.25	0.55	2.0	-	0.18	0.28

**Tabla II.3 Composición química de la arcilla roja de Centeno determinada en otras Investigaciones. (Orozco, 1995 y Pons, 1996)**

De la composición química mostrada en las tablas anteriores se infiere que estas arcillas están enriquecidas de sílice y alúmina lo que les da un carácter semirrefractario. Respecto a la arcilla roja común (Tabla II.1), las arcillas de Moa (Tablas II.2 y II.3) presentan un contenido de alúmina mucho mayor y de sílice mucho menor. Además un alto contenido de hierro, el cual es considerado como una impureza, debido al tipo de roca madre sobre la que fueron formadas las arcillas. Además se destaca el bajo contenido de óxidos alcalinos y alcalinotérreos. Sin embargo se ha demostrado el carácter refractario (Orozco, 1995 y Pons, 1996) que poseen y que son perfectamente utilizables en la producción de objetos cerámicos decorativos, siempre que pueda ser establecido el método de tratamiento mas conveniente con vistas a eliminar los problemas que se presentan durante la producción y que se deben fundamentalmente a las propiedades que le imprimen su composición química y mineralógica.

### ***II.2.2 Composición molecular de la arcilla***

Como mineral la arcilla tiene la siguiente fórmula química:



En esta fórmula las cantidades relativas de los óxidos presentes se establecen como relación molecular más que en porcentaje de peso. En la arcilla una molécula de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  está asociada a dos moléculas de  $\text{SiO}_2$  y dos moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$ . Esta fórmula, que es típica en la caolinita, prescinde de la compleja disposición de otros compuestos siempre presentes en las muestras reales.

Los minerales arcillosos se clasifican por su estructura en:

- laminares

El grupo laminar comprende los subgrupos de la caolinita, la montmorillonita y micas, cuyas estructuras están formadas por un gran número de planos paralelos idénticos entre sí, formando gran cantidad de columnas agrupadas.

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

Muchas arcillas tienen un gran porcentaje de partículas por debajo de  $1 \mu\text{m}$  de diámetro, las cuales pueden considerarse como cristales simples de arcilla.

### ***II.2.3 Forma y tamaño de las partículas***

A través del examen en el microscopio electrónico se ha podido determinar que las partículas de arcilla tienen forma plana, alargada en dos dimensiones y delgada en la otra dimensión, como se muestra en la figura II.2.3



**Figura II.2.3 Hojuela de arcilla ampliada 15 000 veces**

### ***II.3 Propiedades de las arcillas***

La gran variedad de usos y aplicaciones de las arcillas se deben fundamentalmente a sus propiedades, de las cuales, algunas no han podido ser explicadas por el hombre.

Entre otras, las arcillas poseen las siguientes propiedades:

#### ***II.3.1 Plasticidad***

Cuando se humedece con la cantidad adecuada de agua, tienden a mantener cualquier forma que se le de. Esta propiedad se conoce como plasticidad y es una de las principales cualidades que hace posible la fabricación de la infinita variedad de figuras de los objetos cerámicos.

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

### Limite inferior de plasticidad

El límite inferior de plasticidad marca la transición entre la consistencia plástica y la disgregable y es el contenido máximo de humedad en el cual el suelo puede manejarse sin deteriorar sus propiedades físicas de plasticidad.

Procedimiento:

Tamice de 15-20g de suelo por un tamiz de 2mm de apertura. Amase y forme cilindros de suelo, de 3mm de diámetro, aproximadamente. Deslice con la mano sobre un vidrio el cilindro de suelo. En el momento que se produzca su resquebrajamiento, determine la humedad del suelo. Este valor representa el límite inferior de plasticidad. Equipos y materiales

- Lamina de vidrio
- Balanza
- Estufa
- Cápsula de metal
- Tamiz de 2mm

### Cálculos

$$LIP = (PSH - PSS) / PSS \times 100$$

Donde: LIP: límite inferior de plasticidad

PSH: masa del suelo húmedo (g)

PSS: masa del suelo seco (g)

Forma de expresión de los resultados

Se expresa como porcentaje del contenido de humedad, de forma gravimétrica. Límite superior de plasticidad: es el contenido de humedad en el cual el suelo comienza a fluir bajo la acción de la fuerza aplicada.

Procedimiento:

Tamice de 150-200 g de suelo y colóquelo en un vaso de precipitación, agréguele agua hasta obtener una masa fácilmente moldeable, removiendo constantemente la mezcla con un cuchillo. Posteriormente, coloque en el fondo de la copa del aparejo "**Casa Grande**" una porción de la pasta de suelo, hasta que alcance un espesor de

aproximadamente 1cm, al mismo tiempo que se va aislando con el cuchillo la superficie de la muestra. Con el ranurador y en sentido longitudinal se corta en dos partes iguales la pasta de suelo, de tal manera que queden separadas aproximadamente 2 mm en el fondo de la copa.

Dé vuelta a la manilla del aparejo a una velocidad aproximada de dos revoluciones por segundo (golpes), hasta lograr que las dos porciones se unan.

Si esto se logra después de un número de golpes (12-38), se procede a recoger el suelo y colocarlo en el recipiente metálico, se pesa y se traslada a la estufa (**110 °C**) hasta obtener el porcentaje de humedad del suelo. Repita el proceso hasta tener al menos uno o dos valores por debajo de 25 golpes. Si la muestra se une antes de los 12 golpes, se toma y se coloca nuevamente en el vaso de precipitado agregándole suelo. Si se une después de los 31 golpes se agrega agua.

Equipos y materiales:

- Tamiz de 2mm
- Cuchillo
- Aparejo mecánico "**Casa Grande**"
- Ranurador
- Cápsula de metal
- Balanza
- Estufa
- Vaso precipitado

### **Cálculos:**

$$LPS = (PSH25 - PSS25) / PSS25$$

Donde: LIP: límite inferior de plasticidad

PSH25: masa del suelo húmedo (g) a 25 golpes

PSS25: masa del suelo seco (g) a 25 golpes

### **Índice de plasticidad**

#### **Concepto**

El índice de plasticidad es el porcentaje de agua gravimétrica en el suelo entre el límite superior e inferior de plasticidad.

Cálculos:

$$IP = LPS - LIP$$

Donde: IP: índice de plasticidad

LSP: límite superior de plasticidad

LIP: límite inferior de plasticidad

El índice de plasticidad de cada una de las arcillas ensayadas, se determinó por el método de Casagrande, en el laboratorio de mecánica de suelos de la Facultad de Geología del ISMM y se muestra en la Tabla IV.6.1

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

**Tabla II.4 Clasificación de las arcillas según su plasticidad**

### ***II.3.2 Capacidad de absorción***

La capacidad de absorción de agua está determinada por la mayor o menor facilidad de humectación que produce el esponjamiento de las partículas de arcilla, que impiden el paso del agua en mayor cantidad cuando la arcilla es grasa y facilitarán paso a aquella cuando es magra. Al secarse, la arcilla cede el agua, primero la higroscópica, eliminándose a través de los poros de la superficie seca. Las arcillas magras secan con mas facilidad y mejor que las grasas.

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).

La capacidad de adsorción se expresa en porcentaje de adsorbado 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.

Arcillas	Cocida al cono 010		Cocida al cono 06		Cocida al cono 4	
	%C	%A	%C	%A	%C	%A
Roja de Ohio	11.5	3.9	12.5	0	Hinchada	
Roja	11.0	9.7	15.0	3.4	15.0	0
De loza	9.0	12.2	10.5	8.4	12.0	3.2
De loza	6.5	16.8	8.5	11.6	10.5	5.3
Plástica inglesa	14.0	16.0	18.0	15.0	18.0	2.0
Refractaria	8.0	11.7	10.0	8.9	11.0	6.3
Caolín de Florida	12.5	25.2	16.5	12.7	18.5	6.5
Caolín de Georgia	8.0	29.6	9.0	26.9	12.0	22.9

**Tabla II.5 Contracción total y Absorción de agua a diferentes temperaturas para algunos materiales arcillosos.**

### ***II.3.3 Hidratación e hinchamiento***

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmectitas, y su importancia es crucial en los diferentes usos industriales.

Aunque la hidratación y deshidratación ocurren con independencia del tipo de catión de cambio presente, el grado de hidratación está unido a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina.

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

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

### ***II.3.4 Tixotropía***

Al añadir una pequeña proporción de arcilla al agua, ésta permanece flotando sobre el líquido, 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 base 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.

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

### ***II.4 Consideración acerca de las pastas de arcillas***

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

Una pasta de arcilla no es más que una mezcla de arcillas, o arcilla y otras sustancias minerales terrosas, que se mezclan para lograr una finalidad cerámica determinada.

Las arcillas empleadas en la cerámica no pertenecen a una especie mineral única, estando formadas por la asociación de varias, que unen sus propiedades y características.

Para conseguir mejores resultados en la producción de objetos cerámicos, las arcillas son beneficiadas de acuerdo con las técnicas de producción a emplear y el fin que se persiga. Así la producción se diversifica ampliamente en la actualidad.

Muchas arcillas se pueden utilizar sin dificultades tal y como se encuentran en la naturaleza. En la fabricación de ladrillos, por ejemplo, sería antieconómico tener que hacer demasiadas mezclas de materias primas. De hecho la arcilla que puede utilizarse para la fabricación de ladrillos corrientes se encuentra en muchos lugares. Igualmente muchas arcillas como la caolinita se pueden extraerse del suelo, amasarse con la cantidad adecuada de agua y transformarse en objetos sin hacer ninguna adición.

#### ***II.4.1 Ensayos preliminares sobre depósitos de arcilla natural***

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

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

##### ***I) Inspección visual y de textura***

El color de la arcilla natural no es un indicador de su comportamiento luego de la cochura.

No todas las arcillas conservan su color después de cocidas.

El color no define directamente el uso de una arcilla, pues aunque los objetos finos son predominantemente blancos, muchos bellos artículos de arte tienen un color rojo intenso; de modo semejante, aunque los productos de arcilla pesados se

fabrican generalmente a partir de arcillas rojas o amarillas tras la cochura, los refractarios son a menudo de color muy claro.

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



Figura: 4.1

Maduración de la arcilla



Figura: 4.2

*Inspección visual*

## **II) Tamizado**

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



Figura: 4.3

Juego de tamiz

### III) *Plasticidad*

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

### IV) *Ensayos químicos*

1. Determinación de carbonatos.
2. Determinación de hierro.
3. Alúmina libre
4. Ensayo de impurezas solubles

### V) *Ensayos físicos*

1. Ensayo para determinar las posibles zonas de temperaturas de cocción del material y su color de cocción.



Figura: 4.4      Horno eléctrico

2. Ensayo de la contracción y absorción en muestras cocidas a distintas temperaturas.

### ***II.4.2 Adiciones a las arcillas para hacerlas útiles***

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

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

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

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

- Plásticos (arcilla)
- Relleno o desengrasantes, que son materiales no plásticos, tales como el pedernal, la chamota o arcilla calcinada
- Fundente, tales como el feldespato o las fritas

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

La arcilla se puede cambiar de las siguientes maneras:

- 1)- Cambios de color o textura: puede desearse modificar el color de cocción de la arcilla para hacerlo más claro o de tono más oscuro, aumentar o disminuir su rugosidad granular o textura.
- 2)- Cambios de la plasticidad: puede desearse hacer la arcilla más plástica o menos plástica.
- 3)- Cambios para disminuir la contracción o mejorar el secado y cocción, con el mínimo de deformación o agrietamiento.

#### ***II.4.3 Pastas de arcillas para tornear***

La arcilla para tornear debe ser extremadamente plástica; que no absorba agua fácilmente mientras se trabaja y mantenga su forma, incluso, cuando esté blanda y tenga secciones delgadas, además debe ser densa. Es aceptable que las arcillas para torneado posean una contracción alta y cierta tendencia a la deformación, además las piezas deben ser tratadas cuidadosamente en el secado y la cocción.

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

Como regla general las pastas para tornear se deben hacer con el porcentaje más pequeño posible de sustancias no plásticas en ellas, tales como el pedernal y el feldespató. Los desengrasantes como el talco o frita pueden disminuir significativamente la plasticidad.

Para hacer formas grandes o altas y especialmente las que tienen más de 30 cm de altura es necesaria una arcilla con algún material que mejore la cohesión entre las partículas. Se ha comprobado que la chamota, con la granulometría adecuada, o la arcilla gruesa les dan la necesaria estructura para el torneado. A las pastas de

tornear en lugar de la chamota o además de ésta, puede añadirse una arcilla refractaria gruesa o arcilla cuarzosa. En general un 8% a 10% de material granular puede mejorar el comportamiento de las arcillas de tornear.

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

#### ***II.4.4 Pastas de arcillas para barro cocido***

Para formular pastas para barro cocido, con las cuales se pueden obtener ladrillos, piezas de alfarería, tiestos, etc. La variante más económica es utilizar una arcilla natural. La mayoría de las arcillas rojas comunes se cuecen a un estado bastante denso y duro en la zona de temperatura 750 a 1000 °C.

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

#### ***II.4.5 Pastas de arcilla para modelar***

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

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

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

### **II.5 Requerimientos tecnológicos de la arcilla para cerámica**

El control de los parámetros que caracterizan las diferentes producciones de arcillas, permiten conocer la calidad de las mismas y si cumplen los requisitos para su uso y consumo. Los diferentes tipos de arcillas poseen requerimientos tecnológicos de acuerdo con sus características y con el posible uso.

• Arcillas de bajo punto de fusión	1100 – 1150°C
ü Temperatura de cochura	800 – 900°C
ü Absorción	Menor o igual a 25%
ü Contracción al secado	Menor o igual a 6%
ü Pérdida por ignición	Menor o igual a 10%
• Margas calizas arcillosas	
ü Arcillas	Mayor o igual a 10%
ü Carbonato de Calcio	Menor o igual a 60%
ü Temperatura de cochura	600 – 700°C
ü Contracción al secado	Menor 5%
ü Pérdida por ignición	Menor 15%
ü Contracción a la quema	1%
ü Humedad para introducirla al horno	11%

**La Tabla II.5 muestra algunos de los requerimientos tecnológicos para las arcillas de alto contenido de hierro o de bajo punto de fusión y para arcillas un poco más puras.**

Las arcillas ricas en silicatos de aluminio y pobres en Fe, Ca y Mg son consideradas, arcillas de alto punto de fusión, y presentan algunas de las características mostradas en la Tabla II.7.

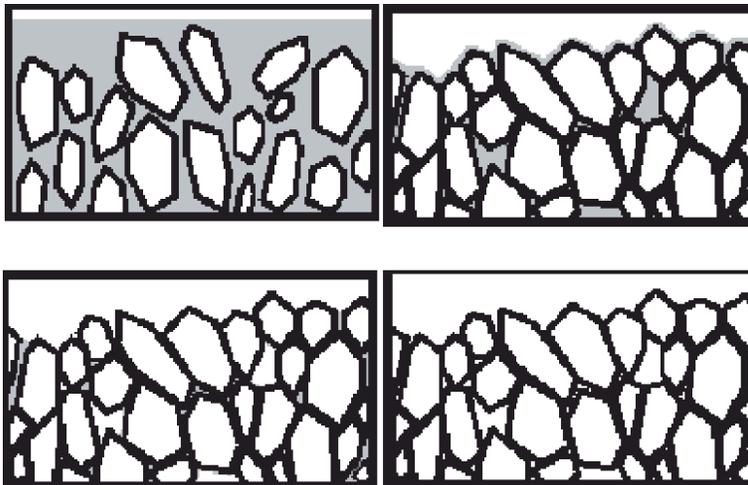
ü $\text{Al}_2\text{O}_3$	36 – 42 %
ü $\text{SiO}_2$	50 – 57 %
ü $\text{CaO}$ y $\text{MgO}$	Menos de 0,5 %
ü $\text{FeO}$	2 %

**Tabla II.7 Cerámica que emplea arcilla de alto punto de fusión**

### **II.5.1 Secado de la arcilla**

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

A medida que se desarrolla el proceso de secado, el agua superficial eliminada se reemplaza por el agua proveniente del interior de la pieza, debido a ello, las partículas se van acercando y unas con otras, alcanzándose la contracción máxima, cuando todas las partículas se hallan en contacto, como se muestra en la Figura II.5.1.



**Figura II.5.1 Mecanismo de la contracción de secado**

La contracción, aunque se desarrolle lentamente, provoca dificultades durante el secado. A medida que la película de agua entre los granos de arcilla se pierde por evaporación, las partículas se acercan más entre si, cerrando el espacio interlaminar. Cuando la superficie de la masa de arcilla está ligeramente seca, el agua del interior sale por atracción capilar.

El secado se produce uniformemente, a menos que la masa sea muy gruesa.

El efecto acumulativo de cada partícula acercándose unas a otras es la contracción de toda la masa.

La contracción y el secado están relacionados generalmente con la estructura del grano de la arcilla y por tanto con la plasticidad. Las arcillas de tamaño de grano muy fino se contraen más debido a la presencia de mayor cantidad de intersticios llenos de agua que se cierran. Cuando toda el agua se ha evaporado y las partículas están en contacto, ha concluido el secado, a pesar de que ellas pueden estar húmedas y el secado no esté completo, hasta que se elimine por evaporación. El secado más rápido de una parte del objeto que otra, provoca la contracción desigual entre las mismas trayendo como consecuencia el curvado o agrietamiento. Para evitar los indeseados procesos de alabeo, agrietamiento o deformación, es necesario un secado lento y uniforme.

### ***II.5.2 Formas de facilitar el secado***

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

Las partículas no arcillosas, especialmente las de tamaños relativamente grandes tienen gran uso cuando los objetos deben hacerse con paredes gruesas como esculturas o terracotas.

Otros materiales que también pueden disminuir la contracción y favorecer el secado rápido son el cuarzo y el feldespato.

Se debe tener en cuenta que cuando se necesita de una arcilla muy plástica, por ejemplo en el torneado, los materiales no plásticos deben mantenerse al mínimo.

Las pastas de arcillas varían considerablemente su resistencia en seco. Un objeto hecho de arcilla plástica puede ser 6 ó 7 veces más resistente que uno hecho de caolín. La propiedad de resistencia en seco está directamente relacionada con el tamaño de las partículas y en consecuencia con la plasticidad.

### ***II.5.3 Proceso de cocción***

Al cocerse, las arcillas montmorillonita, caolinita e illita, que son materiales plásticos y fáciles de conformar, se transforman en sustancias dura permanentemente.

Durante la cocción se producen profundos cambios en las arcillas. Las arcillas cocidas son completamente diferentes tanto física como químicamente.

Después de cocida, las arcillas, que eran blandas y fácilmente desintegrables, plásticas y sin resistencia, se convierten en materiales duros, semejantes a una roca e impermeables al agua.

El primer cambio que sufre durante la cocción es la terminación de su secado, el cual debe llevarse a cabo lentamente, pues la formación de vapor de agua en la pasta de arcilla puede provocar su estallido.

El siguiente cambio ocurre aproximadamente a los 350°C, donde el agua combinada químicamente comienza a eliminarse. En este punto debe darse a la cocción suficiente tiempo para evitar el desarrollo repentino de vapor de agua y la posible rotura del objeto.

A los 500 °C las arcillas montmorillonita, caolinita e illita se han deshidratado completamente y no se ablandarán o desintegrarán en el agua. También habrán perdido su plasticidad, teniendo lugar un cambio químico irreversible, que no está acompañado de contracción.

Otro cambio importante que se produce durante las primeras etapas de la cocción es la oxidación o descomposición de todos aquellos elementos de la arcilla que no están ya en forma de óxidos, los cuales pueden ser materia orgánica como el carbón, e inorgánicas como los carbonatos o sulfatos, lo cual se completa a los 900 °C aproximadamente.

Al aumentar la temperatura, el cuarzo, asociado a las arcillas como un mineral accesorio, se reordena en una forma ligeramente diferente. Cuando se alcanzan los 573°C los cristales de cuarzo cambian de cuarzo alfa a cuarzo beta, el cual va acompañada de un ligero ( $\pm 2\%$ ) aumento de volumen, que es reversible, cuando se enfría el cuarzo cambia de beta a alfa volviendo a tomar su forma cristalina y tamaños originales. Este cambio de volumen en el cuarzo de una pasta cerámica debe realizarse lentamente para evitar daños en las piezas.

Gran parte de la cerámica que sale del horno agrietada está dañada o bien por un calentamiento o un enfriamiento demasiado rápido a esta temperatura crítica

## **Capítulo: III. Metodología de la investigación**

### ***III.1 Toma de muestras***

Las muestras fueron tomadas de la cantera de arcilla roja que constituye la fuente de materias primas del Tejar, y que se encuentra localizada aproximadamente a 100 m del mismo, en la zona de Centeno, a un lado de la carretera Moa-Sagua, que tiene 10 m de largo y aproximadamente 7 m de ancho. Con el objetivo de que la muestra fuera lo más representativa posible se tomaron porciones de varios puntos a lo largo y ancho del yacimiento. La cantidad de muestra se determinó de acuerdo con la cantidad de ensayos que se realizarían. Luego de su traslado, se sometieron a una limpieza con el objetivo de eliminar restos de materia orgánica, piedras, y alguna que otra sustancia propia de la cantera. Se homogenizaron a través del método de paleo y se tomaron las cantidades necesarias para los ensayos. En general, se tiene que el proceso de fabricación artesanal de cerámicas sigue las siguientes etapas

#### **Preparación de las muestras.**

- Maduración y reposo
- Depuración de la pasta
- Moldeado
- Secado
- Cocción

#### **Maduración.**

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

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

que pueda estar presente y permite la purificación química y biológica del material. De esta manera se obtiene un material completamente inerte y poco dado a posteriores transformaciones mecánicas o químicas.

### **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 (piedras, vegetación) que se encontraban en la pasta tras su extracción.

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

### **Moldeado.**

El moldeado consiste en obtener una masa más compacta, se puede utilizar las manos u otros equipos, debe de obtenerse una humedad más uniforme y una masa más compacta.

### **Secado.**

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

### **Cocción.**

La cocción de las muestras se realizó en un horno eléctrico a temperatura de 750<sup>0</sup>C, durante la cocción se produce la sinterización, de manera que la cocción resulta una de las instancias cruciales del proceso en lo que a la resistencia del ladrillo respecta.

### **III.2 Caracterización Mineralógica**

En el trabajo caracterizamos mineralógicamente los materiales arcillosos donde después de la toma de muestra empleamos la granulometría adecuada para los ensayos correspondientes (-1.6 y -1.18 mm).

#### **Separación granulométrica**

Para realizar este trabajo se tomaron 10 g de cada muestra que fueron secadas en la estufa a 110°C durante una hora. Posteriormente las muestras fueron colocadas en un erlenmeyer con agua destilada y se les colocó en un agitador tipo THYS 2 durante 12 horas. Luego se realizó el tamizado por vía húmeda con los siguientes tamices: 0,063 y 0,18 mm, obteniéndose tres fracciones por cada muestra: +0,149 mm; -0,149 +0,071 mm. Las fracciones obtenidas fueron secadas a temperatura ambiente y finalmente se pesó cada fracción.

Las muestras más finas obtenidas con estas granulometrías pasan por un análisis más detallado en el espectrómetro infrarrojo (SPECTROMETER) modelo WQF-510, como se muestra en la figura: III.2 y en los anexos (1, 2, 3, 4,).

Se analizan tanto la fracción arcillosa como la no arcillosa. Generalmente, en el principio se examina la muestra en su estado natural y si se estima necesario para los propósitos finales, se separan las fracciones por suspensión en agua pura o alcalina y asentamiento. La fracción pesada es de interés por su mineralogía, forma de gránulos y cristales, tamaño, etc., y es normalmente estudiada por la microscopía simple, en menor grado la microscopía electrónica. Dado que las arcillas son sumamente sensibles a cambios en su ambiente, la ideal es aquella en que son examinadas en las condiciones más cercanas a su estado natural. De aquí que cualquier tratamiento que se haga debe ser considerado en la interpretación final.

Se analizaron las fracciones granulométricas y se determinó que en estos materiales arcillosos se presentan una gran cantidad de perdigones (óxidos de hierro).

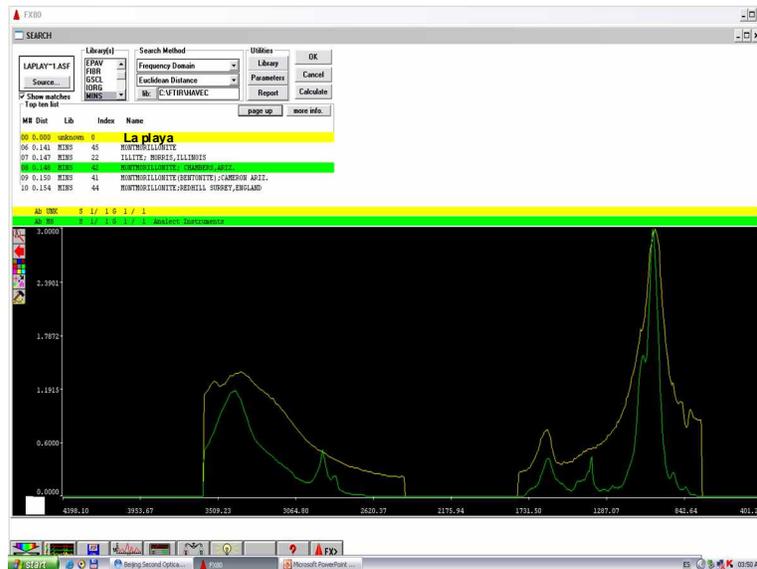


Figura: III.1 Registro del espectrómetro infrarrojo (La playa) arcilla que predomina montmorillonita.

### III.3 Características de la tecnología empleada en el tejar

La mezcla de arcillas que se utiliza en el Tejar de Centeno, donde se fabrican ladrillos, conexiones, entre otros materiales para la construcción, está compuesta por dos partes de arcilla roja (66%), del yacimiento que se encuentra, en la carretera Sagua- Moa, y una parte de arcilla pardo-amarillenta (33%) extraída de las márgenes del río Centeno a pocos metros del propio tejar, sin adicionar otro tipo de material. Estas arcillas se utilizan de forma natural, es decir tal y como son extraídas de la cantera, sin recibir tratamiento de molienda o cribado alguno, solamente adicionando agua hasta obtener una pasta moldeable. Con la pasta confeccionada de esta manera no se han obtenido buenos resultados en la fabricación de objetos cerámicos decorativos u ornamentales de alta demanda popular pues se agrietan durante el secado, se rompen durante y después de la cocción y no tienen una buena textura, ni el acabado adecuado.

### III.4 Metodología para la realización de los ensayos.

Para el estudio de los diferentes factores que intervienen en el tratamiento correcto de los materiales arcillosos, que constituyen las mezclas de arcillas roja, parda-

amarillenta, caolinitas y el agregado tobas vitrioclásticas; se analizará cómo influyen algunos de ellos en la obtención de resultados satisfactorios en el producto final.

El tamaño del grano, la composición de la pasta, las condiciones de secado y la temperatura de cocción, son los factores que mayor influencia presentan de acuerdo con la experiencia y la literatura consultada, por lo cual serán los que se tendrán en cuenta en el presente trabajo.

- **Tamaño del grano:**

Mediante la utilización del tamiz se aprecian granos más grandes que 0.002 y . Muchas arcillas presentan un porcentaje sustancial de partículas por debajo de 1 $\mu$ m de diámetro.

Debido a la forma y tamaño extremadamente pequeño de sus partículas, tiene un área superficial muy grande por unidad de volumen. La plasticidad de la arcilla, así como su contracción y absorción de agua, se le atribuye a la forma y el tamaño del grano

- **Condiciones de secado:**

El proceso de secado consistió en evaporar el agua que se añadió, para poder conformar los objetos, que osciló entre el 15 y 25 %. El proceso de secado va siempre acompañado de contracción. A medida que el agua se evapora, las partículas de arcilla se acercan más entre sí cerrando el espacio que había sido ocupado por el agua. Esta humedad está localizada tanto en el interior como en la superficie de la pieza. Si el proceso de secado se lleva a cabo muy bruscamente la pieza se puede agrietar debido a que la parte exterior se seca casi completamente y se contrae, mientras que el interior queda húmedo. Se ha observado que las contracciones tiene un avance poco significativo.

Linealmente con el tiempo, casi el 25 % de la contracción ocurre durante un tiempo muy corto en el comienzo del secado, continuando después muy suavemente. Si se quiere eliminar la deformación o el agrietamiento los objetos cerámicos deben secarse lentamente y uniformemente, es decir hay que tener sumo cuidado durante el secado y sobre todo en la fase primaria, utilizándose así la Estufa del laboratorio químico del ISMM.

- **Temperatura de cocción:**

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 350°C, cuando el agua combinada químicamente comienza a eliminarse.

Alrededor de los 500 °C estará completamente deshidratada y la pieza no se ablanda ni se desintegra en el agua y ha perdido su plasticidad.

- **Composición de la pasta:**

Raramente las arcillas pueden ser utilizadas tal y como están en la naturaleza, por lo que hay que añadir otros materiales tales como fundentes, desgrasantes u otros tipos de arcillas para mejorar sus propiedades. De hecho existen diferentes formas de preparar las arcillas de acuerdo con el fin que se persiga. Ha quedado demostrado que las mezclas tal y como son elaboradas en el tejar de Centeno, no pueden ser utilizadas para cerámica decorativa y utilitaria, por las exigencias de calidad del acabado de las mismas y los problemas de roturas que presentan, por lo cual se proponen cambios en su composición.

Las determinaciones de la Contracción y de la Absorción de agua se realizaron mediante sencillos métodos que se describen a continuación:

- **Ensayo de la contracción total**

Corrientemente la contracción de cocción se determina en muestras que se cuecen a distintas temperaturas. Esto permite tener una idea de la cohesión progresiva de la arcilla con el avance de la temperatura.

1. De una masa de arcilla bien amasada, de una consistencia promedio para modelar, hacer un cierto número de probetas con las dimensiones que se quieran trabajar.
2. Dejar que las barretas se sequen, volteándolas frecuentemente para evitar la deformación.

3. Cocer las probetas secas a diferentes temperaturas.
4. Medir la longitud de las probetas cocidas.
5. Calcular la contracción total por la fórmula:

$$\text{Contracción lineal} = 100. \frac{\text{Longitud en plástico} - \text{Longitud cocida}}{\text{Longitud en plástico}} \dots (1)$$

Donde:

Longitud en plástico: L.P (cm)

Longitud después de cocida: L.C (cm)

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

El grado de absorción de agua es una medida de la maduración de la mezcla de arcilla cocida. A medida que la mezcla de arcilla se acerca a la vitrificación su absorción se acerca a cero.

1. Pesar cuidadosamente las probetas cocidas del experimento anterior.
2. Hervir en agua las probetas cocidas durante dos horas.
3. Secar la superficie de las probetas con una toalla y pesarlas otra vez.
4. Calcular la absorción utilizando la fórmula:

$$\text{Absorción de agua} = 100. \frac{\text{Peso saturado} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \dots (2)$$

Peso saturado: P.H (g)

Peso seco: P.S (g)

- **Ensayo de resistencia a la compresión**

$$R_c = \frac{\text{Máx. Q}}{A}$$

Donde:

A: Área de la sección transversal de la probeta (cm<sup>2</sup>).

Q máx.: Carga máxima sobre la muestra en el momento de su destrucción (kgf).

Rc: Resistencia a la compresión (kgf/cm<sup>2</sup>)

### ***III.5 Elaboración de mezclas***

Las pastas cerámicas cuyas composiciones fueron obtenidas de acuerdo con los experimentos, se confeccionaron tomando 24kg de arcilla roja y 12kg de arcilla pardo-amarillenta para un total de 36kg de mezcla como base, y de aquí se calcularon los demás componentes para cada uno de los experimentos, se le añadió a las mezclas como adición, el cual esta representado por las tobas vitroclásticas con una cantidad de 0.580kg. Las arcillas se secaron en la estufa del laboratorio de mecánica de suelos y luego se molieron en el molino de bolas en el laboratorio de Beneficio de Minerales del ISMM durante una hora. Posteriormente, con la cantidad de agua adecuada (suficiente para que se mojen todas las partículas), se confeccionaron las probetas con las diferentes mezclas y se procedió a realizar los ensayos correspondientes en cada experimento.

La determinación de las variables Absorción de agua y Contracción total se realizaron mediante técnicas operatorias ya descritas, efectuadas en el laboratorio de Beneficio de Minerales y de Química General del ISMM. Para ello se confeccionaron cinco probetas rectangulares, con cada una de las mezclas resultantes del experimento.

Otro parámetro importante, mediante el cual se evaluaron las pastas (mezclas) obtenidas es la resistencia a la compresión. Para la determinación de este parámetro se confeccionaron los ladrillos, los cuales se secaron y cocieron en las mismas condiciones de las muestras anteriores y se determinó la carga máxima en la Prensa Hidráulica figura: III.5 y en el laboratorio de rocas del ISMM. Para estos ensayos se realizaron tres replicas, de acuerdo con las exigencias del equipo de medición y de la técnica operatoria.



Ensayos de resistencia (Compresión)

**Figura: III.2 ensayos de resistencia (compresión)**

## **CAPITULO IV. RESULTADOS OBTENIDOS Y ANALISIS E IMPACTO AMBIENTAL**

### **Mezclas Empleadas**

<b>Experimentos</b>	<b>Mezclas</b>
<b>1</b>	Pardo-amarillento (60%)+Caolinita (30%)+tobas vitroclásticas (10%)
<b>2</b>	Roja (66%)+Pardo –amarillenta (33%)
<b>3</b>	Roja (60%)+Gris (30%)+tobas vitroclásticas (10%)

**Tabla: IV de mezclas**

### **IV.1 Resultados del ensayo de plasticidad.**

<b>Arcillas</b>	<b>Limite de plasticidad</b>
Roja de Centeno	14.52
Gris de Bayamo	11.40
Caolinita Cayo Guam	13.66
Amarilla (capo de tiro)	16.64
Pardo-Amarilla Centeno	16.60

**Tabla IV.1 Índice de plasticidad de los materiales arcillosos.**

De acuerdo con la clasificación de Priklnski, las arcillas de Moa se encuentran dentro de las arcillas plásticas. La plasticidad de las diferentes mezclas estudiadas

fue determinada por el método mas sencillo, es decir doblando o roscando un cilindro fino, en el cual no deben aparecer grietas (en caso de agrietarse la masa, la plasticidad es baja). A través de este método, que es muy utilizado en la práctica (por ser sencillo, rápido y eficaz), se determinó que la plasticidad de las mezclas estudiadas, es buena.

Exper.(arcilla)	Plasticidad
Pardo-amarillenta	Muy buena
Caolinita	Buena
Roja	Buena
Gris	Buena
Amarilla	Muy buena

**Tabla: IV.2 Plasticidad de las muestras.**

#### **IV: 2 RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONTRACCION TOTAL**

Longitud en plástico. Contracción Inicial (mm)				
Mezclas	Replica 1	Replica 2	Replica 3	
1:	10,3	10,2	10,5	
2	9,3	9,4	9,1	
3	10,3	16,6	8,5	
Longitud cocida. Contracción Final (mm)				
Mezclas	Replica 1	Replica 2	Replica 3	
1:	9	9,2	9,4	
2	8,9	7,8	8,6	
3	9,5	15,6	7,8	
Cálculo de la Contracción (%)				Promedio
1	12,62	9,80	10,48	10,97
2	4,30	17,02	5,49	8,94
3	7,77	6,02	8,24	7,34

**Tabla IV.3 Resultado de los análisis para el cálculo del % de Contracción total a 750 °C.**

#### IV: 2.1 RESULTADOS DEL ENSAYO DE PÉRDIDA DE MASA.

Peso Inicial gr				
Mezclas	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
1	515,3	800,6	752	
2	820	720,3	130	
3	863	405	177	
Peso final				
1	510	700,5	653,4	
2	700	715,4	115,2	
3	726	358,6	158,5	
Cálculo de la pérdida de masa				Promedio
1	1,03	12,50	13,11	8,88
2	18,89	0,68	10,45	10,01
3	15,87	11,46	10,45	12,59

Tabla: IV.3.1 ensayos de perdida de masa.

#### IV.3 Resultados del ensayo de absorción.

Peso húmedo				
Mezclas	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	
1	726	590,9	184,1	
2	893,9	880,3	842,4	
3	217	901,5	1004,2	
Peso seco a 750 °C				
Mezclas	Replica 1	Replica 2	Replica 3	
1	648,1	529	158,5	
2	773	745	726	
3	177	759	798	
Cálculo de absorción				Promedio
1	10,73	10,48	13,91	11,70
2	13,53	15,37	13,82	14,24
3	18,43	15,81	20,53	18,26

Tabla: IV.4 Ensayo Absorción de agua a 750 °C (%)

#### IV.4 Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión

Experimento	N\mm <sup>2</sup>	Mpa	Promedio
I	9999	0.368	<b>4999.684</b>
II	4696	4.552	<b>2350.276</b>
III	42204	5.320	<b>5.32</b>
IV	8000	3.234	<b>8000</b>

Tabla: IV. 5 Resistencia a la compresión a 750 °C (N/mm<sup>2</sup>) y (mpa)

Es necesario aclarar que esta prueba no estuvo completa debido a la rotura del equipo, por lo que se empleó un ensayo con el **Martillo Schmiht Hammer**, que se muestra a continuación:



Experimento	Mpa	Promedio
I Pardo-amarillento(60%)+Caolinita (30%)+tobas vitroclásticas (10%)	10- 20-25-20-30-30-25-30	<b>23.75</b>
II Roja (66%)+Pardo –amarillenta (33%)	12-20-18-20-15-18-20-25-24	<b>19.1</b>
III Roja (66%)+gris (33%)	10-18-12-15-20-18-12-10	<b>14.3</b>
IV Pardo-amarillenta (60%)+caolinita (30%)	10-15-25-20-30-25-25-30	<b>22.5</b>
V Caolinita(60%)+Roja(30%)+tobas vítreas (10%)	10-15-20-18-25-28-25-25	<b>20.75</b>

Tabla: IV. 6 Resultados obtenidos con el uso del Martillo Schmiht Hammer (Mpa)

1. Podemos afirmar que la mezcla producida por el tejar de centeno tiene un bajo promedio al impacto del martillo Schmiht (14.3 y 19.1) tabla IV.8 ya que el impacto produce la presencia grietas y roturas en la misma.
2. las mezclas de gran impacto fueron I, IV, V.

#### ***IV: 5 Análisis del resultado de contracción total.***

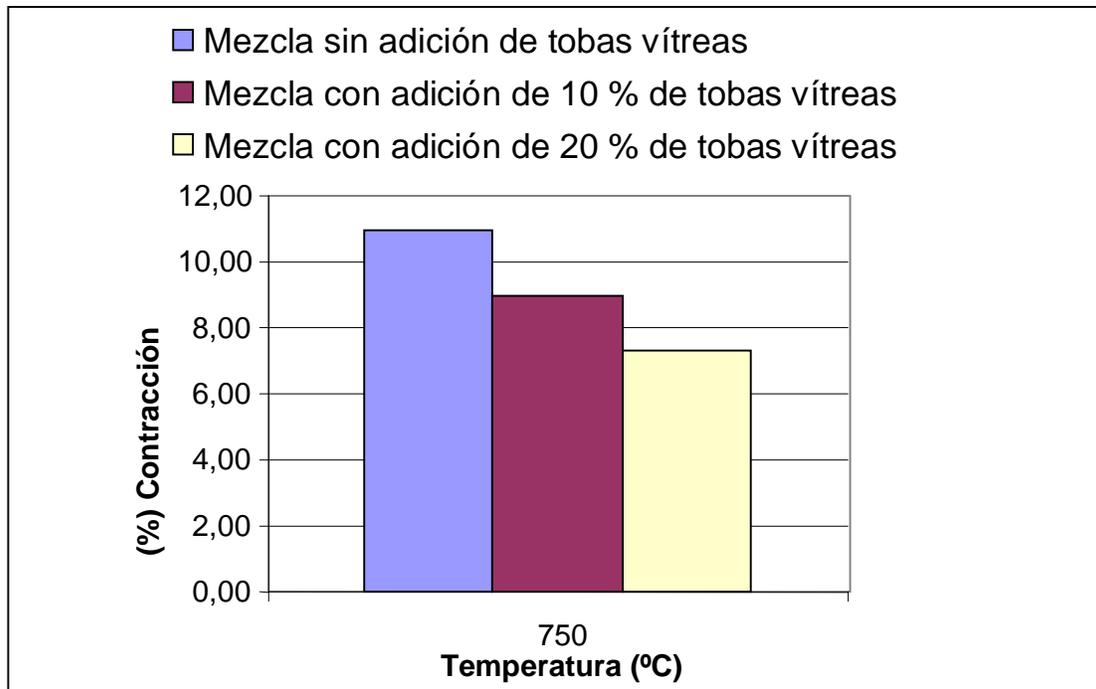
Los valores de la contracción (Tabla IV.2), calculados mediante la ecuación (1) para las tres mezclas estudiadas, se encuentran dentro del rango para productos cerámicos utilitarios.

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

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 desigual de las partes de una pieza puede provocar diferencias en el modo de contraerse cada una de ellas, provocando rajaduras, alabeos y roturas de las mismas.

Debido al alto contenido de Hierro que presentan, las arcillas estudiadas se contraen más durante el secado y la cocción que otras más puras o con mayor contenido de caolínita.

En el siguiente gráfico de Contracción contra Temperatura, observamos que la línea nos indica que a medida que la temperatura va aumentando, se incrementa también la contracción de las piezas, aclarando que a temperaturas mayores de los 800 °C las piezas comienzan a agrietarse por el contenido de caolínita



**Gráfico IV.1 Contracción total vs Temperatura 750 °C**

La barra número 1 que se representa con el color azul, representa la mezcla de arcilla roja (66 %) y arcilla gris (33 %) y nos denota que tiene mayor % de contracción que la 2 que representa una mezcla con adición de toba vítrea de 10 %. Esto se explica por las propiedades que poseen las tobas vítreas de comportarse de manera más estable ante los cambios de Temperatura, al existir menos efectos de cambios de contracción hasta estos límites. Este efecto se acrecienta en la mezcla con 20 % de toba vítrea, donde se manifiesta mayor decrecimiento aun en la contracción y lograr mayor estabilidad en el tamaño de las piezas cocidas comparadas con el original, sin realizar la preparación térmica.

#### ***IV: 6 Análisis del resultado de absorción de agua de la mezcla cocida.***

El análisis de este parámetro se obtuvo a partir de los resultados obtenidos en la tabla IV.3 que nos dice para cada una de las diferentes mezclas después de la cocción en que % son capaces de absorber cada una de ellas, y como se puede observar en la gráfica que a continuación mostramos, ella nos ratifica que a mayor % de tobas vítreas en la mezcla se irá incrementando la absorción por tener mayor volumen de poros, que permite absorber con mayor facilidad el agua.

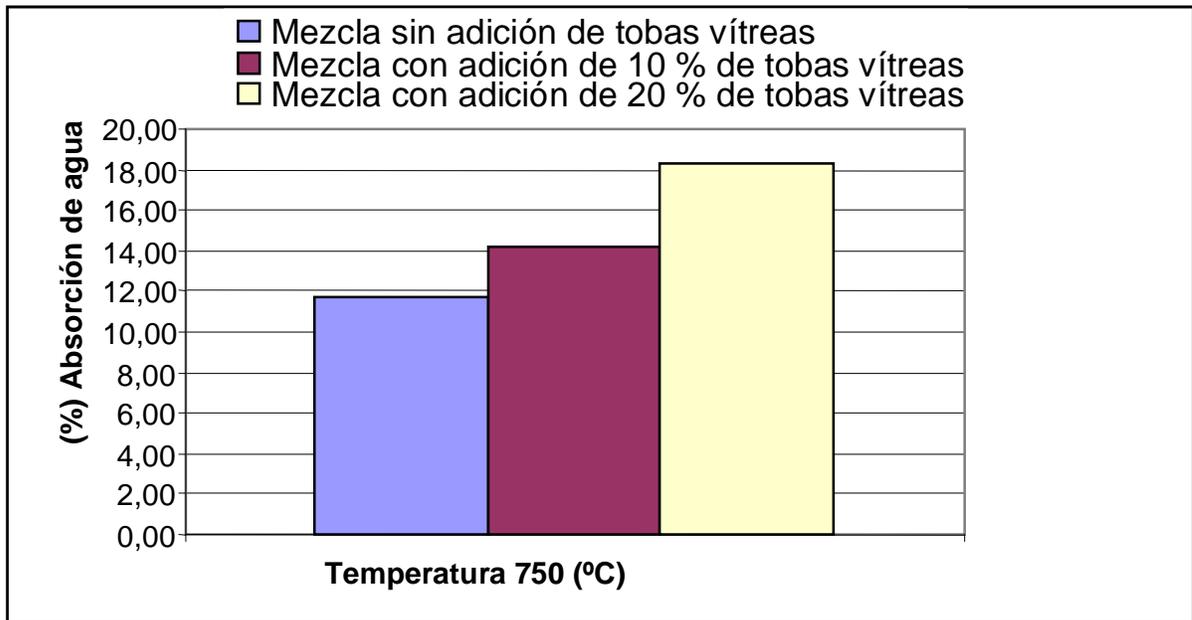


Gráfico IV.2 Absorción de agua vs Temperatura 750 °C

#### ***IV.7 Análisis del resultado del % de Pérdida de Peso luego de la calcinación.***

En relación a esta propiedad se comprueba que las mezclas con adición de tobas vítreas pierden mayor cantidad de peso luego de ser cocidas en proporción a su incremento de este producto. Esta propiedad es importante pues los ladrillos u otras piezas resultarían más ligeros y de mayor facilidad de colocación, a la vez que incrementan las propiedades de mayor aislamiento térmico y acústico. Por otra parte disminuye el peso de esa estructura. Ej de una pared.

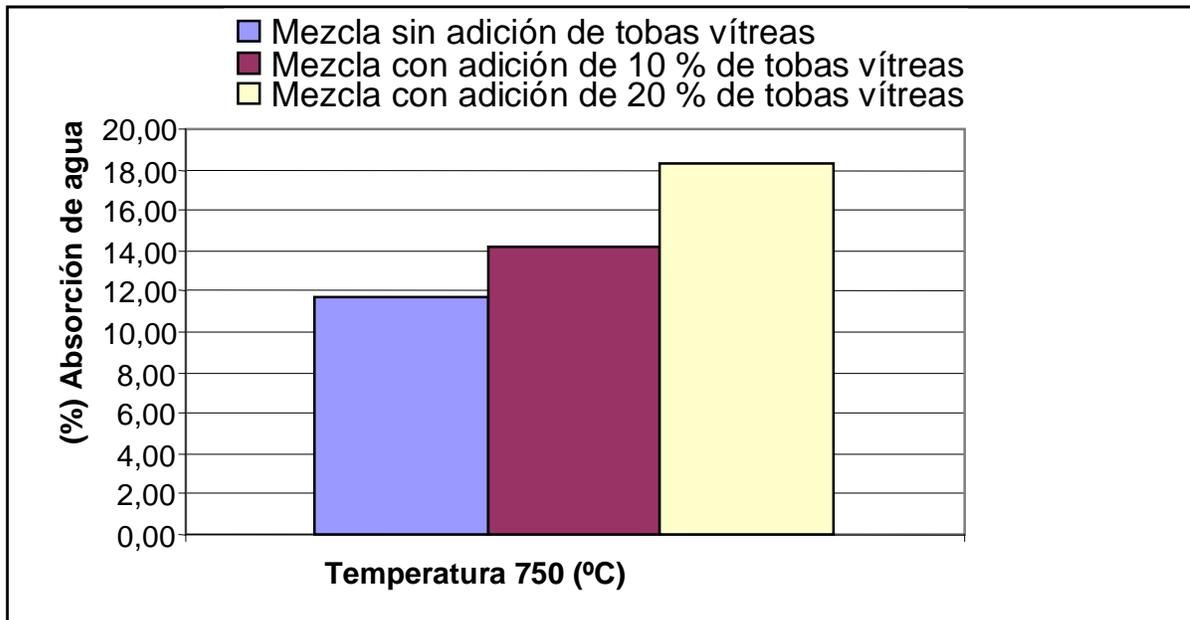


Gráfico IV.3 % Perdida de peso vs Temperatura 750 °C

#### ***IV.8 Análisis del resultado de Resistencia a la compresión (Mpa).***

Los resultados obtenidos de la Resistencia a la compresión resultan de gran importancia y casi definitorios en esta industria. Los obtenidos por nosotros establecen que las mezclas con tobas vítreas son capaces de lograr resultados mejores de resistencia. En este caso la explicación de este resultado debe continuar estudiándose, posibles causas pueden ser que estas tobas poseen hasta 30 % de arcillas monmorilloníticas que también ayudan a la cocción. Otro aspecto que pudiera influir es que las tobas vítreas realicen un efecto puzolánico, al menos incipiente y que contribuyan al inicio de un efecto de vitrificación.

Si comparamos los resultados obtenidos con la exigencia establecida a los ladrillos cerámicos en cuanto a la resistencia a la compresión, estos resultados están en correspondencia a los ladrillos de calidad A, que solicitan Resistencias mínimas de 18 Mpa.

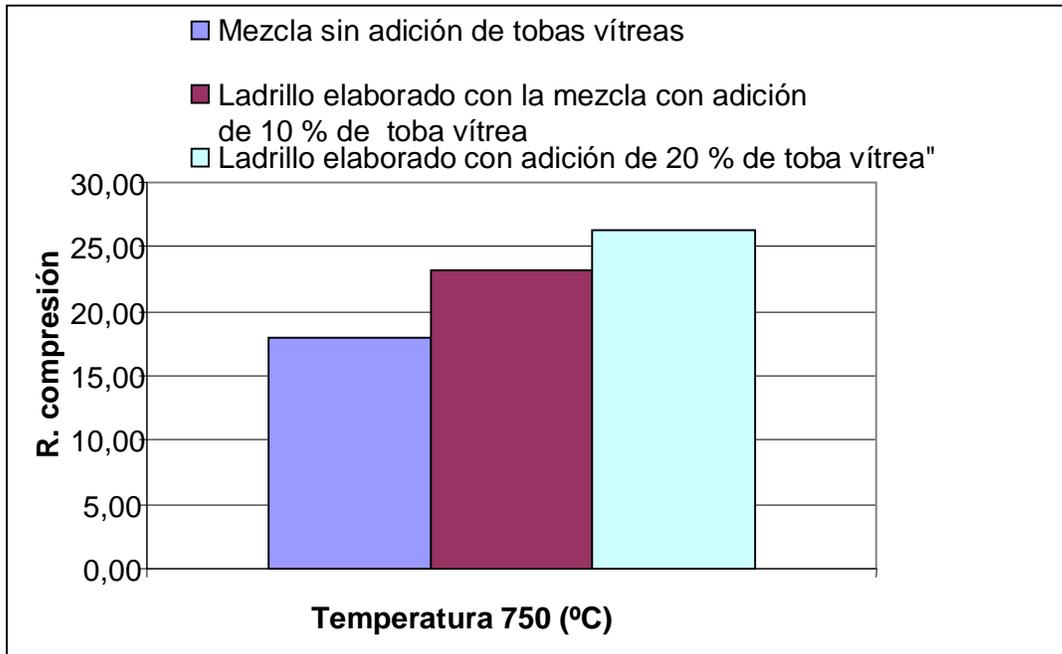


Gráfico IV.4 Resistencia a la compresión (Mpa) a Temperatura 750 °C

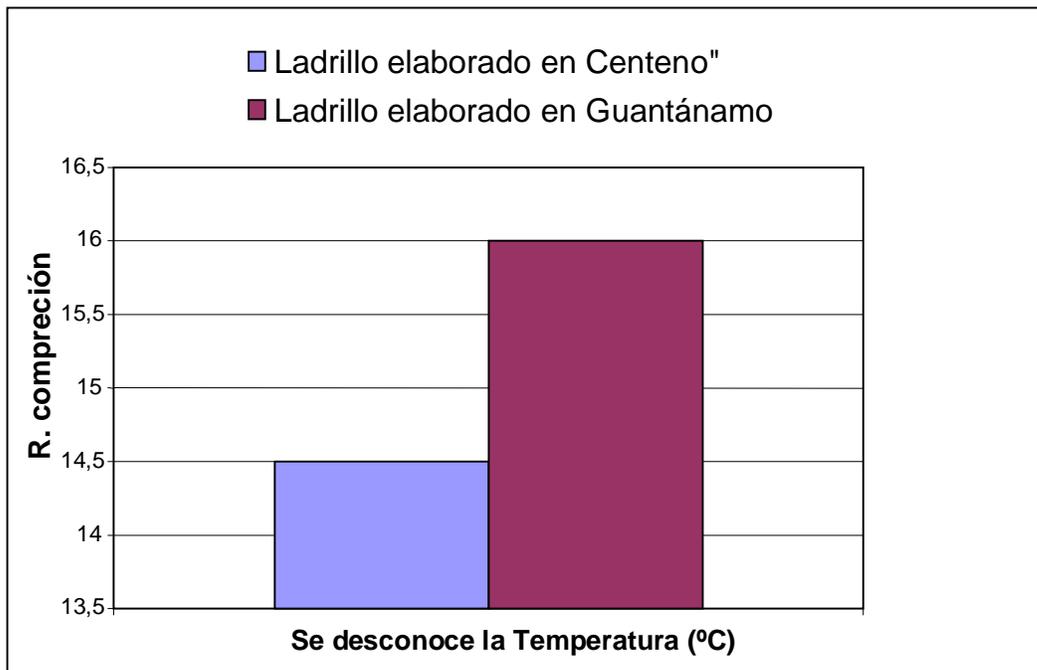


Gráfico IV. 5 Resistencia a la compresión (Mpa)

#### ***IV.5 Impacto ambiental***

El desarrollo de la industria cerámica en el municipio de Moa, requiere tanto del estudio detallado y minucioso de las grandes reservas de minerales arcillosos con que cuenta la región, como del análisis del impacto al medio que provocaría su explotación en gran escala. El estudio de los problemas ambientales debe abarcar desde la prospección de la materia prima (minería de las arcillas), como primera actividad contaminadora, hasta el vertimiento de los desechos propios del proceso productivo (conformación y procesamiento de los objetos cerámicos).

La fabricación de objetos cerámicos comprende las siguientes etapas:

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

La extracción de las arcillas, la cual por lo general se encuentra debajo de la capa vegetal, trae consigo problemas a los suelos, provocando su erosión y afectando desde la vegetación hasta la fauna típica de la zona de minado, así como la emisión de polvo a la atmósfera.

#### ***IV.6 Problemas ambientales en las diferentes etapas del proceso.***

##### **PRIMERA ETAPA: Minería de las arcillas**

La minería de la materia prima comprende:

- La extracción de las arcillas del yacimiento.
- La transportación desde la cantera hasta la fábrica.

La arcilla es uno de los minerales que con más frecuencia encontramos en la tierra, y constituye gran parte de nuestro suelo, que es un recurso natural que corresponde a la capa superior de la corteza terrestre. Debido a que este mineral se encuentra a poca profundidad de la superficie, debajo de la capa vegetal, su extracción se realiza a cielo abierto, y por vía seca y su impacto depende siempre de la extensión y la ubicación del terreno sobre todo lo que respecta a condiciones climáticas, regionales y de infraestructura. Se caracteriza por la producción de grandes

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

En la Ley No. 81 DEL MEDIO AMBIENTE del 11 de Julio de 1997 en su Título VI, Capítulo V, sección primer (Suelos) y Capítulo VIII Recursos minerales, quedan establecidas todas las regulaciones que se deben observar en cuanto al medio ambiente durante la investigación, prospección y extracción de estos recursos. Estos procesos de pérdida y degradación del suelo son originados por la falta de planificación y el descuido del hombre. Las causas más comunes de dichos procesos están relacionadas con la erosión que se corresponde al arrastre de las partículas y las formas de vida que conforman el suelo.

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

- ¾ La erosión de los suelos.
- ¾ Destrucción de la flora y fauna del lugar.
- ¾ Emisiones de polvo a la atmósfera.
- ¾ Problemas propios de contaminación por el uso de medios de transportación y extracción mecanizada.
- ¾ Desestabilización de pendientes.

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

- Guardar la parte orgánica del suelo (humus) en forma apropiada para luego usarla en la fase de cierre y rehabilitación.
- Efectuar regularmente el mantenimiento correspondiente a todos los equipos, verificando fuga de combustibles y lubricantes.
- El uso de equipos dotados de motor eléctrico disminuye el efecto de contaminación por derrame de combustibles y lubricantes.

## **SEGUNDA ETAPA: Beneficio de las materias primas.**

La segunda etapa comprende los siguientes procesos:

1. Mezclado de las materias primas
2. Clasificación
3. Filtración

Entre los equipos que intervienen en el beneficio de las arcillas encontramos:

- Mezclador
- Molino de bolas
- Zaranda vibradora
- Filtro prensa

Entre las diferentes materias primas tenemos además de las arcillas y el agua: el feldespató, el caolín y el silicato de sodio. El feldespató y el caolín, son materiales que presentan una granulometría muy fina (en forma de polvos) y su manipulación y empleo resultan muy peligrosos ya que pueden ser inhalados por los operarios y el personal de la fábrica. El contacto con materiales cáusticos como el silicato de sodio (conocido como vidrio líquido) puede causar daños a la piel y las articulaciones, entre otras.

### **Daños por el uso de las diferentes materias primas.**

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

- a) De los componentes de las arcillas.
- b) De los componentes de los barnices.
- c) De las emisiones del horno de cocción.

Los riesgos asociados a la utilización de arcillas, barnices y pinturas, vienen expresados en la siguiente Tabla IV.1.

<b>SUSTANCIAS</b>	<b>MANIFESTACIONES CLÍNICAS</b>
Aluminio	Enf. de Shaver (fibrosis pulmonar)
Caolín	Caolinosis
Carbonato de Bario	Alteraciones neurológicas, baritosis
Tierra Diatomeas	Silicosis
Ácido Bórico	Depresor del S.N.C., irritante
Berilio	Beriliosis
Cobalto	Dermatitis, asma, fibrosis pulmonar
Plomo	Saturnismo

**Tabla: IV.1 diferentes sustancias.**

### **Daños por el uso de equipos.**

Durante el Beneficio de las materias primas aparece otro contaminante por la utilización de equipos como molino de bolas, zaranda vibradora y mezclador en el proceso tecnológico, los cuales provocan un alto nivel de ruido. Diariamente estos equipos operan alrededor de 4 a 5 horas es decir más de la mitad de la jornada laboral. Además se encuentran instalados en locales muy próximos a los demás puestos de trabajo. El ruido presenta grandes diferencias con respecto a otros contaminantes:

- Es el contaminante más barato de producir y necesita muy poca energía para ser emitido.
- Es complejo de medir y cuantificar.
- No deja residuos, no tiene un efecto acumulativo en el medio, pero si puede tener un efecto acumulativo en sus efectos en el hombre.
- Tiene un radio de acción mucho menor que otros contaminantes, vale decir, es localizado.
- No se traslada a través de los sistemas naturales, como el aire contaminado movido por el viento, por ejemplo.

- Se percibe sólo por un sentido: el oído, lo cual hace subestimar su efecto.

Esto no sucede con el agua, por ejemplo, donde la contaminación se puede percibir por su aspecto, olor y sabor.

Los efectos nocivos del ruido comienzan por encima de los 85 decibelios. Solo el molino de bolas produce 100 dB(A), lo cual nos da una idea la magnitud del fenómeno.

### **Efectos nocivos que el ruido produce en el hombre.**

Está dada tanto por las características físicas del mismo (frecuencia, intensidad, duración, etc) como por factores constitucionales personales. El oído sometido a ruidos con valores superiores a 85 dB (A) durante un tiempo suficiente sufre daños irreparables, conocido por sordera profesional, industrial u ocupacional. Es tipo de daño aparece como respuesta para la salud del hombre. Con el objetivo de disminuir el efecto, tanto del uso de las referidas materias primas como los trastornos provocados por el ruido, debemos observar las siguientes medidas:

- Establecer el uso obligatorio de protectores auditivos y garantizar la existencia y el modelo apropiado.
- Advertir con señales visibles los niveles de ruido a que será sometido aquel que trabaje en una zona determinada.
- Realizar exámenes audiométricos, como mínimo dos veces al año, al personal que labora en las áreas de mayor riesgo.
- Trabajar en la educación y motivación de los trabajadores.
- Aislamiento de equipos y aparatos que provoquen altos niveles de ruido.

En esta etapa, además se realiza la eliminación del agua de la mezcla por filtración o por sedimentación trayendo consigo el vertimiento de desechos líquidos. En el caso que nos ocupa podemos plantear que el agua que se utiliza en el mezclado de las arcillas no es un gran problema ya que la misma se recircula, es decir retorna al proceso, es vertida a los alcantarillados cercanos o regresa al ciclo de la atmósfera por evaporación en los sedimentadores. En ella no se disuelve ningún tipo de

sustancia toxica que pudiera contaminar el medio u ocasionar daño o perjuicios ni a los suelos, animales, y/o la salud de los trabajadores. El agua residual producto del consumo humano, también es vertida al alcantarillado municipal.

### **TERCERA ETAPA: Conformación y acabado**

La conformación de las piezas se puede realizar manualmente, en el torno del alfarero o por la técnica del colado o vaciado en moldes de yeso confeccionados para tales fines. Por su parte el acabado constituye el paso final y comprende el barnizado o esmaltado de las piezas para lo cual se utilizan productos químicos muy peligrosos cuyos efectos para la salud humana se muestran en la Tabla III.1.

Luego de conformada la pieza se somete al proceso de secado y de ahí se bizcocha (se hornea hasta 9500 C aproximadamente) y está lista para ser comercializada, si no se le quiere imprimir un mejor acabado a través del vitrificado o barnizado o la aplicación de alguna pintura.

Equipos que se utilizan en esta etapa:

- Torno del alfarero.
- Horno de diferentes diseños y combustibles (de carbón, de leña, eléctrico, etc).

En esta etapa del proceso se producen desechos sólidos y gaseosos fundamentalmente, debidos al proceso de horneado y a los restos de materiales después de la elaboración de las piezas.

#### **Desechos gaseosos**

Debido al propio proceso de cochura en los hornos se generan gases tóxicos, los cuales enrarecen el ambiente laboral y contaminan directamente el aire.

En la fábrica, el combustible utilizado es el carbón mineral o la leña, cuya combustión produce gases de diferentes tipos, entre ellos: Compuestos de azufre, los óxidos de carbono (entre los cuales se encuentran el monóxido de carbono que se produce por la combustión incompleta de combustibles orgánicos y el dióxido de

carbono gas que se encuentra normalmente en la atmósfera ya que se produce durante la espiración de los seres vivos).

En el caso de la leña, se desprenden grandes volúmenes de humo, además del excesivo calor a que están expuestos el hornero y su ayudante que no cuentan con los medios de protección establecidos para tales labores. Estos humos que provienen de procesos de combustión, arrastran gran cantidad de cenizas y microgotas de combustible sin quemar.

Efectos nocivos de los gases de combustión:

- Sobre la atmósfera: además de cambios climáticos ya analizados, se produce una reducción de la visibilidad y la destrucción total de la vegetación debido a la lluvia ácida.

- Daños directos sobre el hombre:

- Enfermedades agudas susceptibles de causar la muerte: intoxicaciones o irritaciones.

El monóxido de carbono se combina con la hemoglobina de la sangre formando un complejo estable e irreversible disminuyéndose así la capacidad de transporte de oxígeno.

- Enfermedades crónicas: Muy diversas sustancias producen bronquitis, asma, tos crónica, enfisema, neumonía, obstrucciones broncopulmonares, y cáncer.

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

- Monitoreo y análisis permanente del aire mediante la instrumentación adecuada.

- Cambios de las materias primas o los procesos para evitar la generación de contaminantes, puede afectarse la rentabilidad.

- Separación de los contaminantes después de su generación y antes de su dispersión

Estas sustancias pueden ser recicladas aprovechándolas en algún otro proceso.

## CONCLUSIONES:

- El comportamiento de la pasta alfarera para el tamaño de grano mas fino que se estudió (1.6 y 1.18mm), y para la temperatura escogida 750 C°, demuestra que a medida que aumenta la temperatura, aumenta la contracción, es decir que las partículas se encuentran mas unidas entre sí. Sin embargo la absorción disminuye, lo que se explica ya que al estar más cohesionadas las partículas, y poseer tamaño tan fino, el espacio entre ellas es menor por lo tanto absorben una menor cantidad de agua, ofreciendo una idea del grado de maduración de la mezcla.
- Los mejores resultados se obtienen cuando la mezcla es cocida a una temperatura de 750 °C. esto queda demostrado en las mezclas Pardo-amarillento (60%)+Caolinita (30%)+tobas vitroclásticas (10%).
- Se confeccionaron con una granulometría de 1.6 y 1.18mm, con un control de los procesos de secado y cocción.
- La toba vitroclastica como agregado nos permitió obtener ladrillos con más ligeros y de mayor resistencia como la mezcla Pardo-amarillento (60%)+Caolinita (30%)+tobas vitroclásticas (10%), disminuyendo su peso a un 20% comparado con la mezcla tradicional del tejar de centeno.
- La composición de las mezclas de arcilla de Centeno, Cayo Guan, La playa, y en la zona del Campo de tiro estudiadas presentan propiedades físicas, químicas y mecánicas requeridas para la producción de cerámicos, destacándose la arcilla pardo-amarillenta por ser la de mayor resistencia al golpeo por el martillo **Schmih** con (23.75 Mpa) y mejor plasticidad (16.60%).
- Se concluye entonces que, todo estudio de materiales arcillosos, independientemente de sus fines, requieren análisis complejos para determinar la naturaleza de la arcilla y conocimiento avanzados, más que los aquí indicados, para estimar su origen, uso y modificaciones posibles.

- Se determino mediante espectrómetro infrarrojo (SPECTROMETER) modelo WQF-510 que la composición mineralogía presente es la illita y la montmorillonita.
- Se puede establecer que la mezcla empleada en el tejar de Centeno, roja (66%) + pardo-amarillenta (33%) pueden dar resultados satisfactorios en dependencia del tratamiento adecuado que se le de a estos materiales arcillosos.
- Los materiales arcilloso empleados en este trabajo han cumplido con las exigencias del trabajo planteado, ya que los resultados no dan una información convincente de la utilidad del mismo, dándole significado a la arcilla( montmorillonita y illita ) del campo de tiro al norte del reparto Miraflores.

## **RECOMENDACIONES:**

### **Modificaciones a realizar a las mezclas tradicionales**

Después del estudio bibliográfico y de acuerdo con la experiencia práctica, se llegó a la conclusión de que la mezcla del Tejar debía ser objeto de investigación. Para ello se propuso realiza modificaciones a las mezclas y cambios en la tecnología del tratamiento. Por lo que se decidió:

- Añadir a la mezcla un material que no disminuya su plasticidad y a la vez mejore la contracción durante el secado, no provocando roturas por este concepto y que además no influya demasiado en la temperatura de fusión de las arcillas, que por contener un alto porcentaje de hierro, es baja.
- Someterla a molienda para disminuir el tamaño de las partículas y mejorar la calidad de la pasta en cuanto a textura del producto final.
- Mejorar las condiciones de secado, garantizando que sea lo más uniforme posible.
- Realizar el proceso de cocción manteniendo un control estricto de la temperatura, cuyos cambios no deben ser bruscos ya que pueden provocar la rotura de las piezas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- . Práctica de Laboratorio de Mecánica de rocas.
- . Caracterización de las arcillas refractarias de la zona de Cayo Guam y su empleo en la fundición. Revista Minería y geología XIV (3), p. 19 1996.
- Andreiev, S. E y Perov V. A. Trituración, desmenuzamiento y cribado de minerales. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1987.
- Arduino, Teresa Glosario de términos cerámicos. Cerámica contemporánea de México. <http://www.ceramica.info/glosario.htm>, 2002.
- Ariosa Iznaga, José. Curso de yacimientos minerales no metálicos. Capítulo 21: Arcillas y Caolín, 1998.
- Aspectos Geológicos de Protección Ambiental. Instituto Tecnológico Geo-minero. Madrid. España. 1991.
- Baschini, Miria. Minerales Arcillosos: Un Enfoque Químico. <http://www.monografias.com/trabajos7/miar/miar.shtml>, 2002.
- Blanco Torrens, Roberto. Mecánica de rocas. Santiago de Cuba: Editorial Oriente, 1981.
- Cardenas Garnier, Miguel A. Evaluación y pruebas de los automóviles. La Habana: Editorial ISPJAE, 1986. 229p.
- Colectivo de Autores. Probabilidad y Estadística para ingenieros. Tomo II. Cuarta Edición. 624p, 1992.
- Colectivo de Autores. Características de las arcillas. [http://www.mycoad.com/mycoad/spa\\_5\\_14.htm](http://www.mycoad.com/mycoad/spa_5_14.htm), 2002.
- Coria, S. "Análisis fisicoquímico y mineralógico de las arcillas del valle de México". Tesis, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN, México, 1976.

Cruz Crespo, Amado. Obtención, mediante fusión, de un fundente fundido del sistema MnO-SiO<sub>2</sub> para la soldadura por arco sumergido. Tesis doctoral. Santa Clara, 2001.

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

Dorronsoro, Carlos. Granulometría de las arcillas

Doval Montoya, M y García Romero, E. (1991). "Arcillas Industriales: Yacimientos y Aplicaciones". En: Yacimientos Minerales. Editorial Centro de Estudios Ramon Areces, S. A. Madrid. pgs 582-60, 2000.

En: <http://tenoch.pquim.unam.mx/academico/qa/arcillas.htm>, 2001.

Fomenko, T. G. Procesos de enriquecimiento de minerales por gravitación. Moscú: Editorial MIR, 1980.

Fonseca Navarro, Daris. Determinación de los índices de plasticidad de las arcillas de Centeno. Informe técnico. Industrias Locales, 1999.

Fundición. Revista Minería y Geología XIII (3), p. 93 1996.

Galan Huertos, E. (1990). "Palygorskita y sepiolita" Textos Universitarios (C.S.I.C.) 15. pp 71-94, 2000.

García Ariño, C. La industria del vidrio.

García Guinea, J y Martínez Frias J. Textos Universitarios (C.S.I.C.) 15. pp 96-112. 1996.

Gonzalez Garza, Cesar Roberto Caracterización de las arcillas y su aplicación industrial.

Gonzalez, I. "Arcillas comunes". Recursos Minerales de España. Textos Universitarios (C.S.I.C.) 15. pp 96-112, 1990.

<http://www.viasalus.com/vs/B2P/cn/toxi/pages/t/09/t0912.jsp>, 2000.

<http://edafologia.ugr.es/introeda/tema04/text.htm>, 2001.

<http://www.medioambiente.cu/legislacion/leyes/L-76.htm>.

Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE). "Libro Blanco de la Minería de la Comunidad de Madrid". 285 pp. 1995.

Kasatkin, A .G. Operaciones Básicas y aparatos en la tecnología Química. La Habana: Editorial Pueblo y educación 740p, 1971.

Ley de Minas. Portal del Medio ambiente cubano, 21-12-1994.

Ley del Medio Ambiente. Portal del Medio ambiente cubano, 11-07-1997.

<http://www.medioambiente.cu/legislacion/leyes/L-81.htm>.

McCabe, Warren L. Operaciones Básicas de Ingeniería Química / Warren L. McCabe, Julian C Smith. La Habana: Editorial Pueblo y educación, 1987.

Mitrofanov, S. I. Investigación de la capacidad de enriquecimiento de los minerales. Moscú: Editorial MIR, 1982.

Ochoa Mayo, Ignacio R. Geología de los yacimientos de arcillas para la cerámica. Quinta Conferencia Científico Técnica de la Construcción, Jornada Iberoamericana, La Habana 2002: Editorial SOFTCAL, 2002. IR 824-831.

Orozco, Gerardo Caracterización de las arcillas de Cayo Guan. Informe técnico. ISMM, 1995.

Ortíz Ramírez, Teresa. Recopilación bibliográfica y estudio preliminar de las materias primas de la región de Moa con posibilidades en la cerámica refractaria. Informe técnico. ISMM, 1992.

Pons Herrera, Jose A y Leyva, Carlos. Empleo de las arcillas ferrocaoliniticas – gibbsíticas de la región de Moa en los talleres de

Razumov, K. A y V. A. Perov. Proyecto de fábricas de preparación de minerales. Moscú: Editorial MIR, 1985.

Revista Técnica Popular. Vol. VII Año 1987.

Rhodes, Daniel. Arcilla y vidriado para el ceramista: EdicionesCEAC. España.

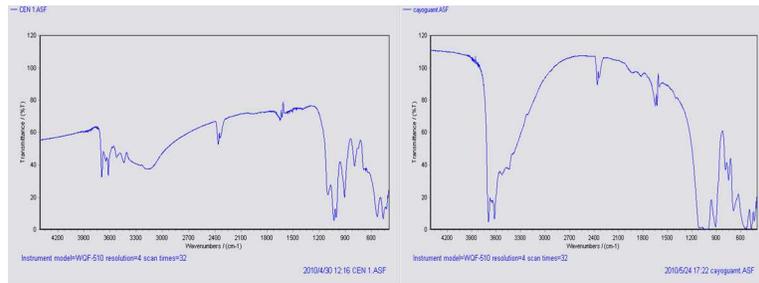
Rodriguez Ripolles, Rafael. Ferro España. Controles de laboratorio para gres porcelánico. <http://www.ceramicaycristal.com.ar/Investigacion.html>, 2000.

Rudenko, K. G y M. M. Shemajanov. Eliminación de la humedad y el polvo. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1984.

Rudenko, K. G y M. M. Shemajanov. Eliminación de la humedad y el polvo La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1984.

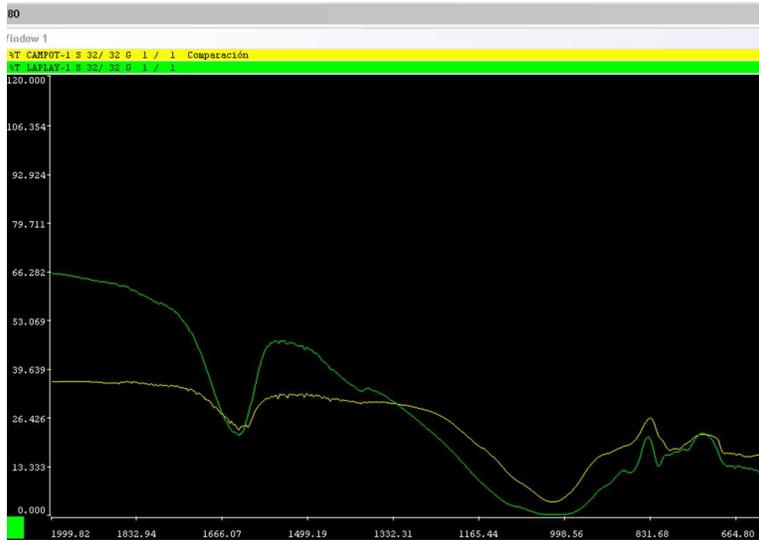
# ANEXOS

## Anexo: 1

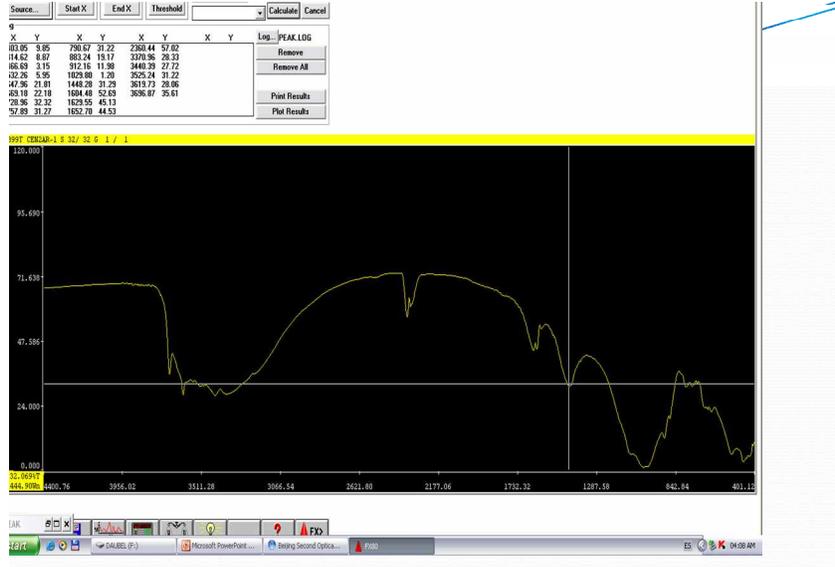


Resultado de la espectroscopia infrarroja de Centeno y Cayo Guam

## Anexo: 2



### Anexo: 3



### Anexo: 4

