

# Ministerio de Educación Superior

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa
Dr. "Antonio Núñez Jiménez"
Facultad Metalurgia – Electromecánica
Especialidad Metalurgia

# EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA DE LA REGIÓN DE CENTENO Y ARENA SÍLICE RESIDUAL PARA SU UTILIZACIÓN EN LA INDUSTRIA CERÁMICA

Trabajo de diploma en opción al título de ingeniero metalúrgico

# YORDANIS BROCARD RIVERA

Moa, 2011

"Año 53 de la Revolución"



# Ministerio de Educación Superior

# Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. "Antonio Núñez Jiménez" Facultad Metalurgia – Electromecánica Especialidad Metalurgia

# EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE ARCILLA DE LA REGIÓN DE CENTENO Y ARENA SÍLICE RESIDUAL PARA SU UTILIZACIÓN EN LA INDUSTRIA CERÁMICA

Trabajo de diploma en opción al título de ingeniero metalúrgico

**Diplomante: Yordanis Brocard Rivera** 

**Tutores: MS.c Yaritza Ramírez Cruz** 

Ing. Reilys Fuentes Guilarte

Consultante: Tec. Yoel Ochoa Mc Intosh

Moa, 2011

"Año 53 de la Revolución"

# Declaración de Autoría

Yo; autor del Trabajo de Diploma titulado: "Evaluación de mezclas de arcilla de la región de Centeno y arena sílice residual para su utilización en la industria Cerámica", declaro mi aceptación de ceder los derechos de propiedad intelectual al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa Dr. Antonio Núñez Jiménez para que disponga de su uso cuando estime conveniente.

Diplomante: Yordanis Brocard Rivera	Firma
Tutores: MS.c Yaritza Ramírez Cruz	Firma
Ing. Reilys Fuentes Guilarte	Firma
Consultante: Tec. Voel Ochoa Mc Intosh	Firma

# **DEDICATORIA**

- ♣ De manera muy especial dedico esta tesis al ser más preciado y querido que tengo en la vida, al motivo que me ha impulsado y me ha dado fuerzas para llegar hasta este punto; mi madre Elvira Rivera Pileta.
- ♣ A mis padres, quienes me educaron en la base de lo correcto, me brindaron siempre su amor, su comprensión y me aconsejaron cuando los necesité.
- ♣ A mis hijos Juan Carlos y Chyntia Kamila y a mi esposa Yuliet Jiménez Hernández.
- ♣ A mi hermano y familia en general, que estuvieron presente en cada paso de mi trayectoria por esta universidad.
- ♣ A mis profesores, a los cuales estimo como mi familia, pues han compartido los últimos años de mi vida y obsequiado lo mejor de sí.
- ♣ A todas aquellas personas que de una forma u otra, han forjado mi destino, enseñado y aportado a mi formación.
- Quiero dedicar mi tesis, a aquellas personas que un día la puedan necesitar.
- Y porque no; a mí.

# **AGRADECIMIENTOS**

- ♣ Hoy quiero agradecer a todos aquellos que de una forma u otra han contribuido para la realización de esta investigación.
- ♣ A mis tutores Yaritza Ramírez Cruz y Reilys Fuentes Guilarte quienes me acogieron como su diplomante y me brindaron su invaluable ayuda y cooperación incondicional para lograr un resultado satisfactorio en esta etapa decisiva de mi carrera.
- ♣ A mi gran amigo Yoel Ochoa Mc Intosh que me ayudo incansablemente en todo el transcurso de este trabajo.
- ♣ A mi hermano Norge Brocard, a mi familia, a los amigos y compañeros de trabajo que estuvieron siempre cuando los necesite.
- ♣ A mis compañeros de aula que me brindaron su apoyo durante estos 6 últimos años de mi vida. a mis profesores, quienes me han apoyado, aconsejado y brindado su apoyo en los momentos determinantes.
- ♣ Agradecer a la Revolución cubana, por haberme brindado la posibilidad de ser educado gratuitamente, con magníficos profesores y lograr formarme como una ciudadano a la altura de nuestros tiempos y con la convicción de servirle siempre a mi Patria Socialista.
- A todos muchas Gracias.

# RESUMEN

El presente trabajo muestra la evaluación de mezclas de arena sílice residual de la Unidad Empresarial Básica de Fundición de la EMNI de Moa y arcillas rojas de la región de Centeno, a partir del estudio de propiedades físico mecánicas a las probetas confeccionadas, para su posible utilización en la industria cerámica.

Mediante el diseño de experimentos, se estudiaron tres mezclas cerámicas con diferentes dosificaciones de arcilla roja y mezcla de arena sílice residual, así como los factores que intervienen en la correcta elaboración de las mezclas: tamaño del grano, condiciones de secado y temperatura de cocción. Los parámetros tecnológicos determinadas fueron porcentaje de contracción, porcentaje de absorción y resistencia a la compresión.

Los resultados obtenidos de forma general cumplen con los requisitos de las normas cubanas establecidas para ladrillos cerámicos con arcilla cocida, aunque la mezcla de 40 % de arcilla roja de Centeno, Moa; 57 % de mezcla de arena sílice residual y 3 % de agua, las que mejores resultados alcanzó atendiendo a las propiedades evaluadas.

Los principales resultados se muestran a través de tres capítulos, en los cuales se analizan, el marco teórico sobre el estudio de las propiedades y utilización de las arcillas y la arena sílice; los materiales y métodos utilizados para el desarrollo de la investigación, el análisis de los esultados de la determinación de las propiedades físico mecánicas de las mezclas confeccionadas y por último se analiza el efecto económico y ecológico sobre el impacto en el medio ambiente de estos materiales.

# **ABSTRAC**

The current work shows the evaluation of residual silica sands mixture from EMNI smelting enterprise Basic Unit (Unidad Básica Empresarial de la EMNI) in Moa, and red clays from Centeno region, starting from a study on the physical-mechanical properties of samples, elaborated with the purpose of their possible usage in pottery industry.

Three pottery mixtures with different red clay dosage and residual silica sands mixture were studied through experiment designs, as well as the performing factors taken into account in a right mixtures elaboration: size of grain, drying conditions and firing temperature. The established technological parameters were: contraction percent, absorption percent and compression resistance.

In broad terms, the obtained results fulfill the needed requirements of established Cuban regulations for ceramic bricks elaborated with fired clay. However, the 40% red clay mixture from Centeno, Moa; 57 % of residual silica sands mixture and 3 % of water, got the best results according to the evaluated properties.

The main results are shown in three chapters, in which the theoretical framework is analyzed on properties studies as well as clays and silica sands usage: the used materials and methods on the development of this research; the analysis of results in the establishment of samples physical-mechanical properties and finally, an economic- ecological validation is carried out about the impact of these materials on environment.

# ÍNDICE

INTRO	DDUCCIÓN	10
CAPÍT	ULO 1.REFERENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.1	Evolución histórica de la cerámica	13
1.2	Referentes teóricos sobre el estudio de las arcillas	14
1.3	Referentes teóricos sobre el estudio de la arena sílice	15
1.4	Propiedades y usos de las arcillas	16
1.5	Arcillas industriales	22
1.5.	1 Caolines y arcillas caoliníferas	22
1.5.	2 Extracción y procesado	26
1.5.	3 Aplicaciones industriales	26
1.6	Requerimientos tecnológicos de la arcilla para cerámica	31
1.6.	1 Secado de la arcilla	32
1.6.	2 Formas de facilitar el secado	32
1.6.	3 Proceso de cocción	33
1.7	Características de las arcillas de la región de centeno	35
1.7.	1 Composición química de las arcillas	35
1.7.	2 Plasticidad de la arcilla	35
1.7.	3 Características de la arena sílice	35
1.7.	4 Composición química de la arena sílice	36
1.7.	5 Composición granulométrica de la arena sílice	37
Conclu	usiones del capítulo 1	37
CAPÍT	ULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	38
2.1	Métodos de investigación utilizados	38
2.2	Metodología de experimentación	40
2.3	Diseño de experimento	41
2.3.	1 Elección de las variables de la investigación	41
2.3.	2 Criterios de selección de las variables	42
2.4	Metodología de elaboración de las mezclas y fabricación del ladrillo	44
2.5	Métodos de investigación de las propiedades físico - mecánicas de las	probetas
obteni	das	47
Conclu	usiones del capítulo 2	50

CAPÍT	ULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS. IMPACTO ECONÓMICO Y AMBIENTA	4L51
3.1	Análisis de los resultados de las pruebas de contracción a la cocción	51
3.2	Análisis de los resultados de las pruebas de absorción de agua	52
3.3	Análisis de los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión	54
3.4	Valoración económica	55
3.5	Análisis del efecto ecológico de las mezclas de arena sílice residual y las arcillas	de la
región	de Centeno, Moa	56
Conclu	usiones del capítulo 3	60
CONC	LUSIONES	61
RECO	MENDACIONES	62
BIBLIC	OGRAFÍA	63

# INTRODUCCIÓN

En el proceso productivo que tiene lugar en la Unidad Empresarial Básica (UEB) de Fundición de la EMNi de Moa, las arenas de sílice, consideradas como una de las materias primas fundamentales para la elaboración de mezclas de moldeo, constituyen más del 85 % de los moldes compactados por medios físicos y alrededor del 98 % de los moldes y machos químicos. Una vez aprovechadas son eliminadas en depósitos y se consideran como desechos sólidos.

La utilización de residuos puede ayudar a conservar los recursos naturales al reducir la demanda de materias primas convencionales. Al mismo tiempo contribuye a preservar el medio ambiente, ya que permite la reducción del vertido de residuos que, en general, causan la degradación de grandes áreas.

Este trabajo se enfoca en la evaluación de la mezcla de arena sílice residual del proceso productivo, con arcilla procedente de la región de centeno Moa, para la utilización como material cerámico.

La producción de objetos a partir de las arcillas tuvo sus orígenes, con el origen mismo del hombre, el cual las utiliza en su beneficio desde tiempos inmemoriales. En la actualidad a la arcilla se le hacen adiciones de otros productos que corrigen o mejoran sus propiedades. El desarrollo actual y futuro de los cerámicos conduce a innovaciones tecnológicas importantes y capaces de sustituir industrias clásicas, reducir la dependencia en materias primas estratégicas y abarcar sectores industriales completos, aunque deben superarse barreras como son la optimización de los procesos para obtener productos competitivos que generarían amplios mercados.

Aunque las arenas empleadas en fundición pueden ser de varios tipos, son las de cuarzo las que superan a todas las demás en cuanto a aplicación se refiere. Esto se debe a que las arenas de cuarzo constituyen un material barato, abundante y de tan buenas propiedades técnicas como los demás tipos de arenas de fundición. El componente fundamental de las arenas de cuarzo es el dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>).

Cuba posee varios yacimientos de cuarzo, algunos muy notables por su alta pureza y calidad. Los principales yacimientos en explotación para la producción de mezclas de moldeo se encuentran en la provincia de Pinar del Río (Guane, Santa Teresa, Cortés, Santa Bárbara); en

la Isla de la Juventud (Buenavista) y en el municipio de Trinidad de la provincia de Santi Spíritus (Casilda).

La mayoría de las arenas de cuarzo cubanas se caracterizan por un alto contenido de SiO<sub>2</sub> (95 %) y un contenido relativamente bajo de impurezas, por lo que encuentran aplicación como arena de moldeo en fundición. Una vez empleadas, mantiene sus propiedades, por lo que puede estudiarse la posibilidad de utilización en otros campos.

La mezcla de arena sílice con arcilla puede ser una de estas variantes y su uso para la industria cerámica, posibilitará la conservación ambiental, minimización del consumo de recursos naturales y ahorro de energía, por lo que parece claro la necesidad y conveniencia de estudiar y conocer su característica y propiedades.

Teniendo en cuenta los aspectos antes mencionados consideramos como **Situación Problémica:** Los volúmenes acumulados de mezcla de arena sílice residual (más de 40 toneladas al mes), generadas en la Unidad Empresarial Básica de Fundición en el municipio de Moa, con suficiente propiedades que mezclada con arcilla de la región de Centeno, posibiliten valorar su utilización en la industria cerámica.

El Problema a investigar lo constituye: El insuficiente conocimiento de las propiedades físico mecánicas de la mezcla de arena sílice residual con arcilla roja de la región de Centeno, que limita su posible utilización en la industria cerámica.

#### Como Objeto de estudio de la investigación se plantea:

La mezcla de arena sílice residual obtenida en la UEB de Fundición de la EMNi de Moa, con arcilla roja de la región de Centeno.

#### El Campo de acción donde se desarrolla la investigación es:

Las propiedades físico-mecánicas de la mezcla de arena sílice residual con arcilla roja de la región de Centeno.

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente **Hipótesis**: Si se determinan las propiedades físico-mecánicas de la mezcla de arena sílice residual con arcilla roja de la región de Centeno, se podrá evaluar su posible utilización en la industria cerámica.

En correspondencia con la hipótesis planteada se define como **Objetivo General del trabajo:** Evaluar la mezcla de arena sílice residual con arcilla roja de la región de Centeno Moa, a partir

de sus propiedades físico-mecánicas, con vistas a definir su posible utilización como material cerámico.

# Objetivos Específicos

- Determinar las propiedades físico-mecánicas de las probetas elaboradas, a partir de la mezcla de arena sílice residual y la arcilla roja de la región de centeno, para su posible utilización como material cerámico.
- 2. Realizar una breve valoración económica sobre el costo de la investigación, y una valoración ambiental sobre el impacto del desecho de la mezcla de arene sílice residual y la utilización de las arcillas, en el medio ambiente de Moa.

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

## Tareas del Trabajo

- 1. Selección y preparación de las muestras a utilizar en la investigación.
- 2. Análisis de las características química y física de la arena sílice y la arcilla de la región de Centeno Moa.
- 3. Elaboración de la mezcla cerámica con arcilla roja de la región de Centeno y mezcla de arena sílice residual.
- 4. Determinación de ensayos físicos-mecánicos a las probetas obtenidas.
- 5. Análisis de los resultados obtenidos.
- 6. Realización de una breve evaluación económica y ambiental.

# CAPÍTULO 1.REFERENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Evolución histórica de la cerámica

La aparición de la cerámica fue durante el período neolítico, alrededor del año 6400 antes de nuestra era, las piezas eran muy rudimentarias y hechas a mano. Durante la edad de los metales aparecen los cuencos y ollas ovoides y campaniformes; su decoración consistía en las huellas de los dedos durante su confección y es también en esta época cuando se descubrió que el barro perdía su plasticidad cuando se sometía al fuego; en la decoración se utilizaban tierras coloreadas y su temática eran elementos geométricos, vegetales, formas de ave, etc.

Por otro lado, en Mesopotamia se tiene que los caldeos-asirios usaron el barro, para la construcción de vasijas y fabricación de ladrillos con los que construyeron edificios tanto de tipo civil como religioso. En ocasiones estos ladrillos se decoraron a partir de una pasta silícea coloreada que producía un esmalte vítreo; en occidente todavía no se conocía el esmalte. Se tiene constancia que los babilonios conocían el torno. Los elementos ornamentales de la cerámica son de formas geométricos utilizando colores pardos sobre fondo blanco.

En cuanto a Grecia se tiene que Rodas y Corintio se distinguieron en la producción de cerámica arcaica, teniendo en el siglo V la máxima expresión en la cerámica ática, decorada con figuras rojas sobre fondo negro. Las piezas elaboradas eran vasijas con distintas funciones. La decoración se hacía aplicando una pasta coloreada la cual se aplicaba sobre la pieza en proceso de secado, después se serigrafiaban las figuras con un punzón dejando descubierta la arcilla original.

La cultura romana se caracterizó porque no se preocuparon por embellecer la cerámica, ya que ésta tenía un fin práctico, además su técnica fue perfecta. Las legiones de Augusto difundieron por todo el imperio la cerámica sigillata por su utilidad en la mesa. Las formas más comunes de las piezas eran tazas, ollas con tapadera, ánforas alargadas de cuello alto y con dos asas laterales.

La porcelana inventada por los chinos en la época Tang (618-907), fue importada en grandes cantidades por los portugueses. Se intentó imitar su blancura y su translucidez. En Francia se inició la producción de porcelana blanda y promovieron las manufacturadas. En Sajonia se fabricó en 1759 la primera porcelana dura parecida a la china. El arte del gres descubierto en China hacia el siglo III a. J.C., en Europa se inició en los países nórdicos.

En Cuba la industria cerámica ha tenido un amplio desarrollo a partir de 1959. Existen en la actualidad 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.

### 1.2 Referentes teóricos sobre el estudio de las arcillas

El término arcilla encierra un significado bastante ambiguo que requiere varias acepciones para su comprensión (tamaño de partículas, mineralogía, petrografía, propiedades físicas, etc.

Las arcillas son fruto de los agentes de meteorización físico-químicos actuantes sobre la roca madre original y se las puede considerar como acumulaciones naturales, de tamaño de grano fino, y constituidas por varios minerales arcillosos y otros minerales acompañantes como el cuarzo, los feldespatos, los carbonatos etc, además poseen un comportamiento físico muy peculiar frente al agua el cual es la plasticidad, e incluso endurecen cuando son secadas o sometidas a tratamientos térmicos a altas temperaturas. (Besoain 1985).

El concepto de "arcilla cerámica" converge hacia la aplicación industrial más habitual y de mayor raigambre dentro de la historia de la Humanidad: la utilización del barro para la confección de los primeros recipientes u otros utensilios, tanto crudos como cocidos, empleados por nuestros antepasados.

La Historia Geológica de la Tierra, desde los albores arcaicos hasta el cenozoico, procuró a los primigenios pobladores un conjunto de sedimentos con unos variados afloramientos de materiales arcillosos. Así, estos hombres primitivos pudieron tener a su disposición una serie de materias primas arcillosas para comenzar el desarrollo de la actividad cerámica, cuya expansión fue totalmente paralela al de su capacidad intelectual.

En investigaciones realizadas por Orozco y Leyva (1995), se determina el origen geológico de las arcillas en Moa, dado por la existencia de manifestaciones de arcillas caoliníticas de las cuales una parte considerable se encuentra relacionada con cuerpos de gabros de diversas dimensiones.

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, como revestimiento de cazuelas 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. Lo anteriormente planteado fue corroborado por las investigaciones de (Ortiz 1998).

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

La valoración de mezclas de arcillas de la región de Centeno y las tobas vítreas de Sagua de Tánamo, a partir de las propiedades físico -mecánicas, para su utilización en la industria de Materiales Locales, (Cabo de Villa 2010), obtuvo resultados positivos en relación a los parámetros estudiados, que permitió proponer la medida del cribado inicial de la materia prima y priorizar las mezclas con adiciones de tobas vítreas.

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

Las características fundamentales de las arenas de moldeo más utilizadas en la industria de la fundición (sílice, cromita, circonio, olivino), se describen en el trabajo realizado por Larrañaga y Armazabal, (2000); se realizan comparaciones entre sus principales propiedades (dureza, densidad, temperatura de fusión y dilatación lineal) y se analizan además las características de los materiales auxiliares para preparar las mezclas de moldeo. (Oliveros 2002), caracteriza desde el punto de vista físico – mecánico las arenas sílice, olivino y cromita, y determina los parámetros y propiedades de las mezclas autofraguantes.

Evalúa la factibilidad económica del uso de estas mezclas con la utilización de las arenas cubanas.

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

Del análisis de los trabajos relacionados con la temática, se derivan las siguientes conclusiones:

- Los aportes científicos de los diferentes autores permitieron caracterizar las arcillas de la región de Centeno y la posibilidad de su uso como material cerámico.
- Constituye una deficiencia la poca información que se publica sobre la temática.
- Existen trabajos dedicados a la caracterización de las arenas sílice para el empleo en mezclas de moldeo.
- No se tienen reportes de estudios realizados a mezclas de arena sílice con arcillas para utilizarlas como material cerámico.

Los elementos antes expuestos fundamentan el desarrollo de la presente investigación que evalúa a partir de las propiedades física mecánicas, la mezcla de arena sílice residual con arcilla de la región de centeno para definir sus posibles aplicaciones, de ahí su importancia.

#### 1.4 Propiedades y usos de las arcillas

Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 2 µm).

Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas. Para un sedimentólogo, arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 2 µm.

Para un ceramista una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica. Desde el punto de vista económico las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas y con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones (Duantes 1994).

Por tanto, el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 2  $\mu m$ . Según esto todos los filosilicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.) pueden ser considerados partículas arcillosas cuando están incluidos en un sedimento arcilloso y sus tamaños no superan las 2  $\mu m$ .

#### Estructura de los filosilicatos

Las propiedades de las arcillas son consecuencia de sus características estructurales, por ello es imprescindible conocer la estructura de los filosilicatos para poder comprender sus propiedades. Las arcillas, al igual que el resto de los filosilicatos, presentan una estructura basada en el apilamiento de planos de iones oxígeno e hidroxilos. Los grupos tetraédricos  $(SiO)^{44-}$  se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con otros vecinos formando capas, de extensión infinita fórmula  $(Si_2O_5)^{2-}$ , que constituyen la unidad fundamental de los filosilicatos.

En ellas los tetraedros se distribuyen formando hexágonos. El silicio tetraédrico puede estar, en parte, sustituido por Al<sup>3+</sup> o Fe<sup>3+</sup>. Estas capas tetraédricas se unen a otras octaédricas de tipo gibbsita o brucita. En ellas algunos Al<sup>3+</sup> o Mg<sup>2+</sup>, pueden estar sustituidos por Fe<sup>2+</sup> o Fe<sup>3+</sup> y más raramente por litio, cromo, magnesio, niquel, cobre y zinc.

El plano de unión entre ambas capas está formado por los oxígenos de los tetraedros que se encontraban sin compartir con otros tetraedros (oxígenos apicales), y por grupos (OH)<sup>-</sup> de la capa brucítica o gibsítica, de forma que, en este plano, quede un (OH)<sup>-</sup> en el centro de cada hexágono formado por 6 oxígenos apicales. El resto de los (OH)<sup>-</sup> son reemplazados por los oxígenos de los tetraedros.

En algunos filosilicatos (esmectitas, vermiculitas, micas...) las láminas no son eléctricamente neutras debido a las sustituciones de unos cationes por otros de distinta carga. El balance de carga se mantiene por la presencia, en el espacio interlaminar, o espacio existente entre dos láminas consecutivas, de cationes (como por ejemplo en el grupo de las micas), cationes hidratados (como en las vermiculitas y esmectitas) o grupos hidroxilo coordinados octaédricamente, similares a las capas octaédricas, como sucede en las cloritas. La unidad formada por una lámina más la interlámina es la unidad estructural. Los cationes interlaminares más frecuentes son alcalinos Sodio y potasio o alcalinotérreos magnesio y calcio.

Las fuerzas que unen las diferentes unidades estructurales son más débiles que las existentes entre los iones de una misma lámina, por ese motivo los filosilicatos tienen una clara dirección de exfoliación, paralela a las láminas. También pertenecen a este grupo de minerales la Sepiolita y la Paligorskita, a pesar de presentar diferencias estructurales con el resto de los filosilicatos. Estructuralmente están formadas por láminas discontinuas de tipo mica. A diferencia del resto de los filosilicatos, que son laminares, éstos tienen hábito fibroso, ya que

la capa basal de oxígenos es continua, pero los oxígenos apicales sufren una inversión periódica cada 8 posiciones octaédricas (Sepiolita) o cada 5 posiciones (Paligorskita). Esta inversión da lugar a la interrupción de la capa octaédrica que es discontinua.

#### Clasificación

Los filosilicatos se clasifican atendiendo a que son bilaminares o ilaminares y dioctaédricos o trioctaédricos, a estos pertenecen grupos de minerales importantes como las micas y las arcillas.

# Propiedades físico-químicas

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- ✓ Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2 μm).
- ✓ Su morfología laminar (filosilicatos).

Las sustituciones isomórficas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Como consecuencia de estos factores, presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y, a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con enlaces no saturados. Por ello pueden interaccionar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hinchar, con el desarrollo de propiedades reológicas en suspensiones acuosas.

Por otra parte, la existencia de carga en las láminas se compensa, como ya se ha citado, con la entrada en el espacio interlaminar de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes, a esta propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico y es también la base de multitud de aplicaciones industriales (González 2004).

### Superficie específica

La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en  $m^2/g$ .

Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad.

A continuación se muestran algunos ejemplos de superficies específicas de arcillas:

- Caolinita de elevada cristalinidad hasta 15 m²/g
- Caolinita de baja cristalinidad hasta 50 m²/g
- Halloisita hasta 60 m<sup>2</sup>/g
- Illita hasta 50 m<sup>2</sup>/g
- Montmorillonita 80-300 m<sup>2</sup>/g
- Sepiolita 100-240 m²/g
- Paligorskita 100-200 m<sup>2</sup>/g

# Capacidad de Intercambio catiónico

Es una propiedad fundamental de las esmectitas. Son capaces de cambiar, fácilmente, los iones fijados en la superficie exterior de sus cristales, en los espacios interlaminares, o en otros espacios interiores de las estructuras, por otros existentes en las soluciones acuosas envolventes.

La capacidad de intercambio catiónico (CEC) se puede definir como la suma de todos los cationes de cambio que un mineral puede adsorber a un determinado pH. Es equivalente a la medida del total de cargas negativas del mineral. Estas cargas negativas pueden ser generadas de tres formas diferentes:

- Sustituciones isomórficas dentro de la estructura.
- Enlaces insaturados en los bordes y superficies externas.
- Disociación de los grupos hidroxilos accesibles.

El primer tipo es conocido como carga permanente y supone un 80 % de la carga neta de la partícula; además es independiente de las condiciones de pH y actividad iónica del medio. Los dos últimos tipos de origen varían en función del pH y de la actividad iónica.

Corresponden a bordes cristalinos, químicamente activos y representan el 20 % de la carga total de la lámina.

A continuación se muestran algunos ejemplos de capacidad de intercambio catiónico (en meg/100 g):

Caolinita: 3-5

Halloisita: 10-40

Illita: 10-50

Clorita: 10-50

Vermiculita: 100-200

Montmorillonita: 80-200

Sepiolita-paligorskita: 20-35

#### Capacidad de absorción

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

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

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

#### Hidratación e Hinchamiento

La hidratación y deshidratación del espacio interlaminar son propiedades características de las esmectitas, y cuya 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 sí está ligado a la naturaleza del catión interlaminar y a la carga de la lámina.

La absorción de agua en el espacio interlaminar tiene como consecuencia la separación de las

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

Cuando el catión interlaminar es el sodio, las esmectitas tienen una gran capacidad de inchamiento, 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 ropiedades coloidales. Si por el contrario, tienen calcio o magnesio como cationes de cambio su capacidad de hinchamiento será mucho más reducida.

#### **Plasticidad**

Las arcillas son eminentemente plásticas. Esta propiedad se debe a que el agua forma una envuelta sobre las partículas laminares produciendo un efecto lubricante que facilita el deslizamiento de unas partículas sobre otras cuando se ejerce un esfuerzo sobre ellas. La elevada plasticidad de las arcillas es consecuencia, nuevamente, de su morfología laminar, tamaño de partícula extremadamente pequeño (elevada área superficial) y alta capacidad de hinchamiento. Generalmente, esta plasticidad puede ser cuantificada mediante la determinación de los índices de Atterberg (Límite Líquido, Límite Plástico y Límite de Retracción).

Estos límites marcan una separación arbitraria entre los cuatro estados o modos de comportamiento de un suelo sólido, semisólido, plástico y semilíquido o viscoso (Fonseca 1999). La relación existente entre el límite líquido y el índice de plasticidad ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla.

Existe una gran variación entre los límites de Atterberg de diferentes minerales de la arcilla, e incluso para un mismo mineral arcilloso, en función del catión de cambio. En gran parte, esta variación se debe a la diferencia en el tamaño de partícula y al grado de perfección del cristal.

En general, cuanto más pequeñas son las partículas y más imperfecta su estructura, más plástico es el material.

#### **Tixotropía**

La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide,

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

#### 1.5 Arcillas industriales

Hoy en día las arcillas comerciales, aquellas que sirven como materia prima industrial figuran entre los recursos minerales más importantes, tanto por el volumen explotado como por el valor de la producción. Un 90 % de la producción se dedica, preferentemente a la fabricación de materiales de construcción y agregados. Sólo un 10 % se dedica a otras industrias (fabricación de papel, caucho, pinturas, absorbentes, decolorantes, arenas de moldeo, productos químicos y farmacéuticos, agricultura, etc.)

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

Al segundo tipo se las denomina **arcillas especiales**, son arcillas constituidas fundamentalmente por un sólo tipo de mineral de la arcilla, y sus propiedades dependen esencialmente de las características de ese mineral. Estas, a pesar de ser mucho menos importantes en volumen, suponen más del 70 % del valor de las arcillas comerciales, y son objeto de comercio internacional. Las arcillas especiales se pueden dividir en caolines y arcillas caoliníferas, y bentonitas, sepiolita y paligorskita.

#### 1.5.1 Caolines y arcillas caoliníferas

Un caolín es una roca que contiene una cierta proporción de minerales del grupo de caolín, que puede ser económicamente extraída y concentrada. Se trata, generalmente, de una arcosa o arena caolínifera, granito o gneis caolinitizado, que es necesario procesar para enriquecer en minerales del grupo del caolín.

La arcilla caolinífera es también un caolín en sentido amplio. Igualmente, se trata de una arcilla compuesta, fundamentalmente, de minerales del grupo del caolín. Esta no se procesa, se usa

tal cual, e inicialmente los porcentajes en minerales del grupo del caolín son más altos que en el caolín (>50 %). Cuando el caolín se usa para cerámica blanca recibe la denominación de China Clay, (Jiménez 1975).

El caolín, tal como se obtiene en una explotación mineral (caolín bruto/todo uno) posee un contenido variable de caolinita y/o halloysita que, a veces no llega al 20 %, además suele tener cuarzo, feldespatos, micas, y, dependiendo de la roca madre otro tipo de minerales accesorios.

Para concentrar el mineral es preciso someterlo a diferentes procesos que eleven el contenido en filosilicatos por encima del 80 %. El producto final, generalmente, recibe el nombre de caolín lavado.

Como la caolinita tiene un tamaño de partícula muy pequeño, el lavado de las fracciones groseras conduce a un material con alto contenido en caolinita. Es evidente que cuanto mayor sea el contenido en fracciones finas del caolín bruto, mayor será también el porcentaje en caolinita. Un caolín comercial de alta calidad apenas deberá tener partículas superiores a las 20 µm, lo que garantizaría una riqueza en caolinita superior al 80 %.

Otro término utilizado para arcillas especiales, con un indudable significado industrial, es el de arcillas refractarias: Arcillas caoliníferas utilizadas para la fabricación de materiales cerámicos refractarios.

Dentro de este grupo pueden incluirse las denominadas ball-clays, o arcillas caoliníferas plásticas y dispersables en agua, que son grises o negras pero que cuecen blanco. Son los materiales más interesantes para la fabricación de cerámica blanca de gran calidad. Las fireclays o arcillas refractarias propiamente dichas, suelen tener óxidos de hierro, lo que hace que no cuezan blanco. Las flint-clays o arcillas caoliníferas duras, carentes de plasticidad se utilizan fundamentalmente para la fabricación de refractarios silicoaluminosos.

Por último las Tonsteins (Underclays), son muy similares a las flint-clays, son niveles volcánicos.

#### Bentonitas

Una bentonita es una roca compuesta esencialmente por minerales del grupo de las esmectitas, independientemente de cualquier connotación genética.

Los criterios de clasificación utilizados por la industria se basan en su comportamiento y propiedades fisico-químicas; así la clasificación industrial más aceptada establece tipos de bentonitas en función de su capacidad de hinchamiento en agua:

Bentonitas altamente hinchables o sódicas.

- ✓ Bentonitas poco hinchables o cálcicas.
- ✓ Bentonitas moderadamente hinchables o intermedias

El término *fuller'earth*, también conocidas en español como tierras de batán, los ingleses lo usan para denominar a arcillas constituidas fundamentalmente por montmorillonita con calcio como catión de cambio, mientras que los americanos se lo dan a arcillas paligorskíticas. A las bentonitas cálcicas que los ingleses denominan fuller'earth los americanos las llaman bentonitas no hinchables.

Otras clasificaciones se basan en criterios distintos, así, por ejemplo, en USA se utiliza el término "Bentonitas del Sur" (Southern Bentonites) como equivalentes de bentonitas cálcicas, ya que la mayor parte de la bentonita cálcica norteamericana se explota cerca del Golfo de México, denominándose "bentonita tipo Wyoming" a las bentonitas sódicas.

#### Tratamientos destinados a mejorar la calidad de las bentonitas

En ocasiones se procede a someter a las bentonitas a procesos físicos y químicos que tienen por objeto potenciar algunas de sus propiedades para determinadas aplicaciones industriales. Desde el punto de vista industrial tienen gran importancia los procesos destinados bien a modificar las propiedades de superficie del mineral mediante tratamientos de distinta natualeza (tratamiento ácido, térmico, o de pilarización) o bien a modificar el quimismo del espacio interlaminar.

El tratamiento ácido produce la destrucción del mineral por disolución de la capa octaédrica, generando silice amorfa procedente de la capa tetraédrica lo cuan conlleva un considerable incremento de la superficie específica. Así mismo, aumentan la capacidad de intercambio iónico y la actividad catalítica. Las variaciones en el tipo de arcilla (granulometría y mineralogía) y en el tipo y grado de acidulación (tipo de ácido, temperatura, tiempo de contacto, proporción de arcilla, etc.) darán lugar a diferentes productos con diversas propiedades.

Igualmente, se puede efectuar una activación sódica, sobre bentonitas cálcicas, tratándolas con carbonato cálcico, para obtener bentonitas sódicas. Norteamérica, Europa y Japón son los principales productores de bentonitas activadas.

Si los cationes de cambio inorgánicos de una esmectita son sustituidos por cationes orgánicos de cadena larga tipo compuestos tetraamonio o alkilamina, a esta arcilla se la denomina arcilla organofílica. Las arcillas naturales son organofóbicas; sin embargo, cuando son modificadas orgánicamente presentan afinidad por las moléculas orgánicas; por ello tienen importantes aplicaciones como adsorbentes de residuos orgánicos. Además son hidrofóbicas, adecuadas para su empleo en la fabricación de pinturas, como gelificantes de líquidos orgánicos, en lubricantes, etc.

El uso de la hectorita como base para las arcillas organofílicas está muy extendido, ya que esta esmectita da un producto de alto poder gelificante en sistemas altamente polarizados.

# Paligorskita-Sepiolita

Las sepiolitas y paligorskitas son arcillas con un contenido en dichos minerales superior al 50 % . Son minerales con hábito fibroso con una enorme área superficial debida tanto al pequeño tamaño de partícula como la porosidad estructural que presenta su estructura. La superficie específica teórica se calcula alrededor de los 900 m²/g , aunque la superficie accesible es muy inferior.

Su peculiar estructura les confiere una serie de propiedades, entre ellas las de formar suspensiones poco afectadas por la concentración iónica y una enorme capacidad sorcitiva, por lo que son poderosos decolorantes y absorbentes. También tienen propiedades reológicas, son capaces de formar geles y suspensiones estables de alta viscosidad a bajas concentraciones de sólido. Al igual que las esmectitas, son susceptibles de ser activadas mediante tratamientos térmicos y ácidos (Galán 1990).

#### Otros tipos de arcillas especiales

También pueden considerarse arcillas especiales las halloysitas, compuestas fundamentalmente por halloysita, mineral del grupo del caolín y las hectoritas, compuestas por hectorita (una esmectita). Las arcillas halloysíticas también pueden considerarse caolines, y las hectoritas un tipo de bentonitas. Ambos tipos son muy escasos en el mundo. (Odom 1984).

Recientemente el termino arcilla especial ha sido restringido aún más por algunos autores y lo reservan para arcillas raras como la sepiolita o hectorita, poco abundantes, o como la paligorskita y bentonitas blancas. También lo usan para arcillas modificadas químicamente como las bentonitas activadas con tratamientos ácidos o organofílicas, quedando fuera de la

denominación de arcillas especiales los caolines, bentonitas y, por supuesto las arcillas comunes.

#### 1.5.2 Extracción y procesado

La explotación, normalmente, se efectúa a cielo abierto, utilizando medios mecánicos convencionales. La potencia del recubrimiento a remover varía de unos yacimientos a otros, pero, generalmente, en la mayor parte de las explotaciones son inferiores a los 15 m. El procesado industrial del producto de cantera viene fijado por la naturaleza y uso a que se destine. Generalmente es sencillo, reduciéndose a un machaqueo previo y eliminación de la humedad y finalmente, a una molienda hasta los tamaños de partícula deseados. La temperatura de secado depende de la utilización posterior de la arcilla.

#### 1.5.3 Aplicaciones industriales

Desde el punto de vista industrial, la mayor parte de las aplicaciones no requieren especificaciones estrictas en cuanto a composición química (composición de las capas tetraédrica y octaédrica). Sin embargo, en el caso de las bentonitas si tiene importancia el quimismo del espacio interlaminar y sus propiedades físico-químicas.

El principal uso de estos materiales arcillosos se da en el campo de la cerámica de construcción (tejas, ladrillos, tubos, baldosas), alfarería tradicional, lozas, azulejos y gres.(Doval 1991).Uso al que se destinan desde los comienzos de la humanidad. Prácticamente todas las arcillas son aptas para estos usos, primando las consideraciones económicas. Son así mismo son utilizadas en la manufactura de cementos, como fuente de alúmina y sílice, y en la producción de áridos ligeros (arcillas expandidas).

Además se utilizan caolines, en menores proporciones, en otras industrias como carga más económica sustituyendo a las resinas en pinturas, aislantes, caucho. También como carga de abonos, pesticidas y alimentos de animales.

La industria química consume cantidades importantes de caolín en la fabricación de sulfato, fosfato y cloruro de aluminio, así como para la fabricación de ceolitas sintéticas. A partir del caolín calcinado se obtienen catalizadores y fibras de vidrio. La industria farmacéutica utiliza caolín como elemento inerte en cosméticos y como elemento activo en absorbentes estomacales.

#### Arcillas comunes

El principal uso de estos materiales arcillosos se da en el campo de la cerámica de construcción (tejas, ladrillos, tubos, baldosas), alfarería tradicional, lozas, azulejos y gres. Uso al que se destinan desde los comienzos de la humanidad.

Prácticamente todas las arcillas son aptas para estos usos, primando las consideraciones económicas. Son así mismo utilizadas en la manufactura de cementos, como fuente de alúmina y sílice, y en la producción de áridos ligeros (arcillas expandidas).

#### Caolín

Se trata de un mineral muy importante desde el punto de vista industrial. Ha sido utilizando desde antiguo para numerosos usos. En el siglo XVI adquirió gran fama entre la nobleza la porcelana fabricada a base de pastas cerámicas ricas en caolín. Los principales usos a los que se destina en la actualidad son:

# Fabricación de papel

El principal consumidor de caolín es la industria papelera, utilizando más del 50 % de la producción. En esta industria se usa tanto como carga, como para proporcionarle al papel el acabado superficial o estucado. Para que pueda ser destinado a este uso las especificaciones de calidad requeridas son muy estrictas, tanto en pureza como en color o tamaño de grano.

#### Cerámica y refractarios

También es importante el uso del caolín en la fabricación de materiales cerámicos (porcelana, gres, loza sanitaria o de mesa, electrocerámica) y de refractarios (aislantes térmicos y cementos). Al igual que en el caso del papel las especificaciones requeridas para el uso de caolines en cerámica y refractarios son estrictas en cuanto a pureza y tamaño de grano.

#### Otros usos

Además se utilizan caolines, en menores proporciones, en otras industrias: como carga más económica sustituyendo a las resinas en pinturas, aislantes, caucho. También como carga de abonos, pesticidas y alimentos de animales. La industria química consume cantidades importantes de caolín en la fabricación de sulfato, fosfato y cloruro de Al, así como para la fabricación de zeolitas sintéticas. A partir del caolín calcinado se obtienen catalizadores y fibras de vidrio. La industria farmacéutica utiliza caolín como elemento inerte en cosméticos y como elemento activo en absorbentes estomacales.

#### Bentonitas

Son muy numerosos los usos industriales de las bentonitas, tanto que resulta difícil enumerarlos todos. Los más importantes son:

#### Arenas de moldeo

A pesar de que la industria ha evolucionado considerablemente en las últimas décadas y ha ido sustituyendo a las bentonitas por otros productos en la fabricación de moldes para fundición, éste sigue siendo su uso principal.

Las arenas de moldeo están compuestas por arena y arcilla, generalmente bentonita, que proporciona cohesión y plasticidad a la mezcla, facilitando su moldeo y dándole resistencia suficiente para mantener la forma adquirida después de retirar el moldeo y mientras se vierte el material fundido.

La proporción de las bentonitas en la mezcla varía entre el 5 y el 10 %, pudiendo ser ésta tanto sódica como cálcica, según el uso a que se destine el molde. La bentonita sódica se usa en fundiciones de mayor temperatura que la cálcica por ser más estable a altas temperaturas, suelen utilizarse en fundición de acero, hierro dúctil y maleable y en menor medida en la gama de los metales no férreos. Por otro lado la bentonita cálcica facilita la producción de moldes con más complicados detalles y se utiliza, principalmente, en fundición de metales no férreos.

El aumento de los costes de las materias primas está forzando a las fundiciones a recuperar las mayores cantidades posibles de mezclas de arenas para ser usadas de nuevo, si bien generalmente esto no afecta de forma sensible al consumo de bentonita. El reciclado, en la mayoría de los casos, no es posible, pues la mezcla alcanza temperaturas superiores a los 6501°C, y a esas temperaturas la arcilla pierde parte de su agua de constitución, proceso que es irreversible, y pierde con ello sus propiedades, no pudiendo ser recuperada.

#### Lodos de perforación

A pesar de los importantes cambios que van sufriendo con el tiempo las formulaciones de los lodos de perforación, (comenzó a utilizarse a principios del siglo XX) este sigue siendo uno de los mercados más importantes de las bentonitas.

Las funciones que debe cumplir el lodo son:

- ✓ Extracción del ripio y limpieza del fondo del pozo.
- ✓ Enfriamiento de la herramienta de perforación.

- ✓ Control de presiones de formación y estabilización de las paredes.
- ✓ Mantenimiento en suspensión del ripio.
- ✓ Transmisión de potencia hidráulica al tricono.
- ✓ Soportar parte del peso de la sarta de perforación.
- ✓ Permitir la adición de agentes densificantes.
- ✓ Las bentonitas de Wyoming son las más utilizadas para la preparación de lodos de perforación.

#### Peletización

La bentonita se ha venido usando desde los años 50 como agente aglutinante en la producción de pelets del material previamente pulverizado durante las tareas de separación y concentración. La proporción de bentonita añadida es del 0,5 %, en la mayor parte de los casos.

Aunque no existen especificaciones estandarizadas para este uso, se emplean bentonitas sódicas, naturales o activadas, puesto que son las únicas que forman buenos pelets con las resistencias en verde y en seco requeridas, así como una resistencia mecánica elevada tras la calcinación.

#### Absorbentes

La elevada superficie específica de la bentonita, le confiere una gran capacidad tanto de absorción como de adsorción. Debido a esto se emplea en decoloración y clarificación de aceites, vinos, sidras, cervezas, etc. Tienen gran importancia en los procesos industriales de purificación de aguas que contengan diferentes tipos de aceites industriales y contaminantes orgánicos.

Se utiliza además como soporte de productos químicos, como por ejemplo herbicidas, pesticidas e insecticidas, posibilitando una distribución homogénea del producto tóxico.

# Ingeniería Civil

Las bentonitas se empezaron a utilizar para este fin en Europa en los años 50, y se desarrolló más tarde en Estados Unidos. Se utiliza para cementar fisuras y grietas de rocas, absorbiendo la humedad para impedir que esta produzca derrumbamiento de túneles o excavaciones, para impermeabilizar trincheras, estabilización de charcas, etc.

Para que puedan ser utilizadas han de estar dotadas de un marcado carácter tixotrópico, viscosidad, alta capacidad de hinchamiento y buena dispersabilidad. Las bentonitas sódicas o cálcicas activadas son las que presentan las mejores propiedades para este uso.

#### • Alimentación animal

Una aplicación de las bentonitas que está cobrando importancia en los últimos tiempos es su utilización como ligante en la fabricación de alimentos pelletizados para animales. Se emplea en la alimentación de pollos, cerdos, pavos, cabras, corderos, y ganado vacuno, fundamentalmente. Actúa como ligante y sirve de soporte de vitaminas, sales minerales, antibióticos y de otros aditivos.

En 1992 se empezó a fabricar con bentonitas un innovador producto comestible denominado "Repotentiated Bentonite (RB)". Según estudios del "Poultry Research Institute" el aporte de pequeñas cantidades de bentonitas (1 %) a la alimentación de aves de corral reporta importantes beneficios: se incrementa la producción de huevos en un 15 %, su tamaño en un 10 % y la cáscara se hace más dura. La bentonita tiene una doble misión: actúa como promotor del crecimiento y como atrapador de toxinas.

Esto se debe a que el alimento mezclado con bentonita, debido a su gran capacidad de adsorción, permanece más tiempo en la zona intestinal, la arcilla adsorbe el exceso de agua, y hace que los nutrientes permanezcan más tiempo en el estómago, siendo mayor su rendimiento (mayor producción). Por otro lado adsorben toxinas, no pudiendo éstas, por tanto, atravesar las paredes intestinales. La mayor adsorción de agua de los nutrientes, además, hace que los excrementos sean menos húmedos, así los lechos permanecen más tiempo limpios y se reduce la probabilidad de epidemias y la proliferación de moscas y parásitos. Las aves que comen este tipo de alimentos excretan un 26 % más de toxinas y adsorben un 42 % más de proteínas.

#### Catálisis

El uso de aluminosilicatos en diferentes campos de la catálisis es tan antiguo como el propio concepto de catálisis. Son muchas las aplicaciones de las arcillas como catalizadores o soporte de catalizadores en diferentes procesos químicos. Así, son utilizadas en reacciones de desulfuración de gasolina, isomerización de terpenos, polimerización de olefinas, cracking de pertroleo, etc.

Las propiedades catalíticas de las bentonitas son resultado directo de su elevada superficie específica y tipo de centros activos.

La pilarización consiste en introducir, en el espacio interlaminar de una esmectita, un policatión muy voluminoso que, tras calcinación, da lugar a un oxido estable que determina una porosidad fija y permanente de tamaño controlado (tamices moleculares).

#### Industria farmacéutica

Desde hace tiempo las arcillas se vienen usando como excipiente por la industria farmacéutica. Debido a que no son tóxicas, ni irritantes, y a que no pueden ser absorbidas por el cuerpo humano se utilizan para la elaboración de preparaciones tanto de uso tópico como oral. Se utiliza como adsorbente, estabilizante, espesante, agente suspensor y como modificador de la viscosidad.

Su principal uso es la preparación de suspensiones tópicas, geles y soluciones. Cuando se usa como parte de una preparación oral, su naturaleza adsorbente puede enmascarar el sabor de otros ingredientes, o puede relentizar la liberación de ciertos fármacos catiónicos (la hectorita y la saponita se utilizan como fármacos o drogas retardantes).

Como en el resto de los excipientes, las cantidades que se requieren son pequeñas. Generalmente las concentraciones de bentonita como agente de soporte es del 0,5-5 % y del 1-2 % cuando se usa como adsorbente.

# 1.6 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.

La Tabla 1 muestra algunos de los requerimientos tecnológicos para las arcillas puras y de alto contenido de hierro o de bajo punto de fusión.

Tabla 1. Cerámica que emplea arcillas de bajo punto de fusión

Arcillas de bajo punto de fusión	1100 – 1150 °C
Temperatura de cochura	800 – 900 °C
Absorción	Menor o igual a 25 %
Contracción al secado	Menor o igual a 6 %
Pérdida por ignición	Menor o igual a 10 %
Arcillas	Mayor o igual a 10 %
Carbonato de Calcio	Menor o igual a 60 %
Temperatura de cochura	600 – 700 °C

Contracción al secado	Menor 5 %
Pérdida por ignición	Menor 15 %
Contracción a la quema	1 %
Humedad para introducirla al horno	11 %

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

#### 1.6.1 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.

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

El secado se produce uniformemente, a menos que la masa sea muy gruesa. El efecto acumulativo de cada partícula acercándose unas a otras es la contracción de toda la masa.

La contracción y el secado están relacionados generalmente con la estructura del grano de la arcilla y por tanto con la plasticidad.

Las arcillas de tamaño de grano muy fino se contraen más debido a la presencia de mayor cantidad de intersticios llenos de agua que se cierran. Cuando toda el agua se ha evaporado y las partículas están en contacto ha concluido el secado, a pesar de que ellas pueden estar húmedas y el secado no está 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.

#### 1.6.2 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. En este caso se utiliza comúnmente la chamota, que no sufre contracción posterior y disminuye la contracción total.

Otros materiales que también pueden disminuir la contracción y favorecer el secado rápido son el cuarzo y el feldespato. Se debe tener en cuenta que cuando se necesita de una arcilla muy plástica, por ejemplo en el torneado, los materiales no plásticos deben mantenerse al mínimo.

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

#### 1.6.3 Proceso de cocción

Al cocerse, la arcilla, que es un material plástico y fácil de conformar, se transforma en una sustancia dura y permanente. Durante la cocción se producen profundos cambios en la arcilla. La arcilla cocida es completamente diferente tanto física como químicamente. Después de cocida, la arcilla, que era blanda, fácilmente desintegrable, plástica y sin resistencia, se convierte en un material duro, semejante a una roca e impermeable 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 la arcilla se ha deshidratado completamente y no se ablandará o desintegrará en el agua.

También habrá 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, la cual se completa a los 900 °C aproximadamente.

Al aumentar la temperatura, el cuarzo, asociado a la arcilla 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 (± 2 %) aumento de volumen, que es reversible, cuando se enfría el cuarzo cambia de beta a alfa volviendo a tomar su forma cristalina y tamaño 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.

#### 1.7 Características de las arcillas de la región de centeno

# 1.7.1 Composición química de las arcillas

En la formación del suelo es la génesis de los minerales más característicos del mismo los que participan y con ello la formación de los minerales de la arcilla. La composición química de las arcillas es muy similar a la composición de la superficie de la tierra. A pesar de que han sido poco estudiadas, la composición química de las arcillas de Moa es muy similar a la arcilla roja común (Tabla 2), determinada por diferentes investigadores (Orozco, 1995; Pons y Leyva, 1996), con la finalidad de establecer su origen geológico y su posible utilización.

Tabla 2. Composición química de la arcilla roja de Centeno, Moa.

Compuestos químico									
(%)	SiO <sub>2</sub>	$Al_2O_3$	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na₂O	K <sub>2</sub> O	$SO_2$	PPI
Arcilla roja	31,65	28,87	13,86	0,50	-	0,18	-	0,31	17

#### 1.7.2 Plasticidad de la arcilla

La plasticidad de la arcilla (13,52) fue asumida por las investigaciones desarrolladas en este campo (Cabo de Villa 2010). De acuerdo con los resultados las arcillas de Moa se encuentran dentro de la clasificación de arcillas plásticas.

#### 1.7.3 Características de la arena sílice

Bajo el punto de vista estructural la sílice está formada por la reunión de tetraedros de caras equiláteras, con  $O_2$  en cada vértice y  $S_i$  en el centro, por consiguiente, de fórmula  $S_iO_4$ , pero ellos están enlazados conforme una arista y todos los  $O_2$  son comunes a 2 tetraedros, lo que se transforma en la fórmula  $S_iO_2$ .

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

- ✓ La sílice es el material más utilizado en la fundición por las siguientes razones:
- ✓ Existe en abundancia en numerosos lugares.
- ✓ Es relativamente bajo el costo de producción.
- ✓ Está disponible en cualquier tamaño y distribución del grano.
- ✓ Posee alta dureza y suficiente resistencia a la abrasión.

- ✓ Posee alta compactación con todos los tipos de aglutinantes y aglomerantes empleados en la fundición.
- ✓ Consistencia en la pureza, propiedades y conducta en la fundición.
- ✓ Alta resistencia al calor y generalmente adecuada resistencia al acero fundido.
- ✓ Resultados satisfactorios cuando se producen piezas de hierro laminar, nodular e incluso muchos tipos de piezas fundidas de acero.

# Requerimientos técnicos y propiedades de la arena de sílice

- ✓ Alta pureza.
- ✓ Refractariedad.
- ✓ Permeabilidad.
- ✓ Acabado superficial.
- ✓ Expansión.
- ✓ El proceso de apretado sobre las propiedades de la arena.
- ✓ Características mecánicas.
- ✓ Consumo de aglomerantes y aglutinantes.
- ✓ Tendencia a la degeneración.

# 1.7.4 Composición química de la arena sílice

La arena sílice está compuesta principalmente por oxido de silicio, además contiene impurezas como óxidos de hierro, feldespatos, micas, carbonatos entre otros, su temperatura de fusión es de 1750 °C y durante el calentamiento experimenta diferentes variaciones alotrópicas, las cuales se caracterizan por cambios de coloración y de volumen. Estas transformaciones juegan un papel importante en el comportamiento de las mezclas de moldeo durante el vertido del metal. En la Tabla 3 se muestra su composición química.

**Tabla 3.** La composición química (%) de la arena sílice utilizada en la producción de piezas por fundición en la UEB de Moa.

Compuesto	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$Al_2O_3$	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	P.C
Contenido %	95,0-98,0	0,20-0,50	0,40-0,70	0,07	0,001	0,10-0,40	0,50-0,70

#### 1.7.5 Composición Granulométrica de la Arena Sílice

El análisis de la distribución granulométrica (Tabla 4) de la arena procedente del yacimiento Guane, alcanza un 75,3 % de granos retenidos en los tamices 0,6; 0,425 y 0,3 mm, mostrando uniformidad en los granos, (Finalé 2010).

**Tabla 4.** Característica granulométrica de la arena sílice del yacimiento Guane.

	Grado de uniformidad de los granos, %						
Yacimiento	niento Tamiz %		Total retenido en tamices consecutivos (%)	N° de finura	Coeficiente de angulosidad		
Guane,	0,6	21,9	75,3	33	1,2		
Pinar del	0,425	32,1					
Rio	0,3	21,3					

## Conclusiones del Capítulo 1

- El desarrollo del marco teórico de la investigación permitió conocer aspectos generales de las arcillas, así como las características y utilización en el mundo, entre otros, en la industria cerámica.
- Se expusieron algunas propiedades químicas y físicas de las arenas sílice del yacimiento Guane, utilizadas para el desarrollo de mezclas de moldeo., en la Unidad Empresarial de Base de Fundición de la EMNI ubicada en el municipio de Moa.
- A partir de la bibliografía consultada se considera insuficiente el conocimiento sobre el estudio de las propiedades físico-mecánica de mezcla de arena sílice y arcilla, para su uso en la industria cerámica.

### CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

#### 2.1 Métodos de investigación utilizados

Los métodos de investigación pueden dividirse para su estudio en dos grupos: los métodos lógicos y los métodos empíricos. Los primeros son todos aquellos que se basan en la utilización del pensamiento en sus funciones de deducción, análisis y síntesis, mientras que los métodos empíricos, se aproximan al conocimiento del objeto mediante su conocimiento directo y el uso de la experiencia, entre ellos se encuentran la observación y la experimentación.

#### Los métodos de investigación empleados en el trabajo son los siguientes:

- 1. Método histórico-lógico para la sistematización del conjunto de conocimientos y teorías relacionadas con el objeto de estudio.
- 2. Método inductivo-deductivo en la caracterización y utilización de mezcla de arena sílice residual y arcilla de la región de centeno, Moa.
- 3. Método de investigación experimental para describir y caracterizar el objeto estudiado.
- 4. Técnicas computacionales para el procesamiento de los datos experimentales.

#### 2.2 Selección y preparación de las muestras

#### Los materiales a utilizar en la investigación son:

- Arcilla roja de la región de Centeno Moa.
- Mezcla de arena sílice residual de la Unidad Empresarial Básica de Fundición de la EMNI de Moa.

La arcilla roja, tomada de los depósitos que se encuentran en el patio y en los afloramientos del Tejar de Centeno, Moa (Figura 1), constituye una de las fuentes primarias para la producción de ladrillos y tuberías de barro. Se encuentra localizada aproximadamente a 100 m del mismo, al lateral de la carretera Moa-Sagua, con una extensión de 50 m de longitud y 7 m de espesor.

La toma de muestra se realizó del frente de extracción de las arcillas rojas del Tejar de Centeno, se conformó una muestra compósito de 20 kg, a partir de pilas formadas en diferentes puntos de la zona de estudio. 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 y se tomaron las cantidades necesarias para los ensayo



Figura 1. Arcilla roja de la región de Centeno Moa.

Las muestras de mezcla de arena sílice residual fueron tomadas de los depósitos para las mezclas de moldeo ubicados en Unidad Empresarial Básica de Fundición de la EMNi de Moa.

Está compuesta por un 90 % de arena sílice, 6 % de bentonita y de 3-4 % de agua. De igual manera se confeccionó una muestra compósito de 20 kg. Ambos materiales fueron sometidos a proceso de limpieza y homogeneización, para su utilización posterior.



Figura 2. Tolva de descarga de las arenas de moldeo residual de la EMNI de Moa.

#### 2.2 Metodología de Experimentación

El estudio de los diferentes factores que intervienen en el tratamiento correcto de las materias primas, que constituyen las mezclas de arcilla roja con mezcla de arena sílice residual; son analizados para 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 factores a considerar según la experiencia y la literatura consultada.

#### Tamaño del grano

En los inicios se consideró que la arcilla poseía una estructura física coloidal, pero estudios posteriores indicaron que el tamaño extremadamente pequeño de los granos implican la mayoría de sus propiedades físicas. Muchas arcillas presentan un porcentaje sustancial de partículas por debajo de 1µm de diámetro, las cuales pueden ser consideradas como cristales simples de arcilla.

Estudios microestructurales por (Dorronsoro 2001) han revelado que las partículas de arcilla tienen forma plana, alargada en dos dimensiones y delgada en la otra dimensión. 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 consiste en evaporar el agua que se añadió, para poder conformar los objetos, que oscila 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 no avanzan 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 el alabeo, la deformación o el agrietamiento, los objetos cerámicos deben secarse lenta y uniformemente, es decir hay que

tener sumo cuidado durante el secado y sobre todo en la fase primaria.

#### 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 140 °C, cuando el agua combinada químicamente comienza a eliminarse.

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

#### 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 (Rhodes 1995). De hecho existen diferentes formas de preparar las arcillas de acuerdo con el fin que se persiga

#### 2.3 Diseño de experimento

Se escogió para el desarrollo de la investigación el diseño de mezclas Mc. Lean Anderson, lo que permite, haciendo una comparación entre la composición de varias mezclas, seleccionar cuál de ellas ofrece mejores resultados respecto a las variables de salida. Se eligió, además una temperatura de cocción de 900 °C y un tamaño de partículas de +0,27mm para la arcilla y 0,40 mm para la arena sílice.

#### 2.3.1 Elección de las variables de la investigación

#### Variables de entrada (X):

#### Rango de variación

Composición de la mezcla (%)

■ X<sub>1</sub> - arcilla roja (47-67)

■ X<sub>2</sub> – Mezcla de arena sílice residual (30-50)

 $X_3$  -Agua (a) 3

• Temperatura de cocción

- Tamaño de partículas
- Condiciones de secado y cocción

#### Variables de salida (Y):

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

Estos experimentos se cocieron en una mufla a intervalos de tiempo y temperaturas que fueron seleccionados en base a la bibliografía y experimentaciones previas, la fase de horneado propuesta se basó en que la mezcla alcanzara su maduración al finalizar el proceso.

**Tabla 5.** Procesos desarrollados en la cocción de las probetas.

°C	T(min)	Procesos
70	60	Secado
140	60	Desprendimiento del agua unida a la arcilla
400	90	Oxidación del material orgánico
700	90	Reacción en fase líquida
900	90	Formación de fases cristalinas

#### 2.3.2 Criterios de selección de las variables

Para establecer los diferentes niveles de composición de las mezcla, se tuvo en cuenta la experiencia del Tejar de Centeno y los trabajos realizados en la elaboración de mezclas para la industria de materiales locales. Estos niveles quedaron establecidos como se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Valores de los niveles mínimos, medio y máximo de las variables de entrada.

Materiales	Nivel mínimo	Nivel medio	Nivel máximo
Arcilla roja	47	57	67
Arena sílice	30	40	50

El número de experimento a realizar fue calculado por la ecuación 1.

$$N = q \cdot 2^{(q-1)} \tag{1}$$

#### Donde

q: es el número de variables de entrada.

Por tanto, el número de experimentos es: N = 12

Con el número de experimentos se confeccionó la matriz y se determinó la cantidad de experimentos a realizar, basados en el cumplimiento de la condición de normalidad, o sea, la suma de los componentes de la mezcla debe tener un contenido de 100 %.

## Se utilizaron los códigos:

I – nivel mínimo

m- nivel medio

u – nivel máximo

La matriz de experimentos con los códigos seleccionados que se muestran en la Tabla 7

**Tabla 7.** Matriz de los experimentos codificada.

Experimentos	X1	X2	X3
1	I1	I2	а
2	I1	m2	а
3	I1	u2	а
4	m1	12	а
5	m1	m2	а
6	m1	u2	а
7	u1	l2	а
8	u1	m2	а
9	u1	u2	а
10	u1	l2	-
11	u1	m2	-
12	u1	u2	-

Sustituyendo los niveles por sus correspondientes valores se obtuvo la matriz definitiva según la Tabla 8.

Tabla 8. Matriz de Experimentos descodificada

Experimentos	X <sub>1</sub> (%)	X <sub>2</sub> (%)	X <sub>3</sub> (%)
1	47	30	3
2	47	40	3
3	47	50	3
4	57	30	3
5	57	40	3
6	57	50	3
7	67	30	3
8	67	40	3
9	67	50	3
10	67	50	-
11	67	40	-
12	67	30	-

Los experimentos resultantes fueron los números 3; 5; y 7. (A partir de aquí y en lo adelante se denominarán experimentos 1, 2 y 3 ó mezclas 1, 2 y 3), debido a que estos son los que cumplen con la condición de normalidad.

#### 2.4 Metodología de elaboración de las mezclas y fabricación del ladrillo

Las pastas cerámicas cuyas composiciones fueron obtenidas de acuerdo con el diseño de experimentos (Tabla 8) se confeccionaron tomando 20 kg de mezcla de arena sílice residual y 20 kg de arcilla roja, para un total de 40 kg de mezcla cerámica.

Sometidas a un proceso de homogeneización, maduración, reposo y se procedió a la realización de la confección de las probetas a diferentes normas de proporción y se determinó el peso y la longitud de cada una de ellas en plástico. Luego fueron cocidas en una mufla a la temperatura de 900 °C y por último se evaluaron las propiedades físico-mecánicas.

#### Las operaciones efectuadas se describen a continuación:

#### Mezclado

La operación de mezclar los ingredientes para la fórmula de los materiales es uno de los pasos más importante en el proceso de fabricación de los mismos.

De ello depende primero, la correcta homogeneización del producto, y segundo, el aprovechamiento de todo el material preparado para la mezcla.

La correcta mezcla de la arena, arcilla, agua y otros materiales es de gran importancia a la hora de desarrollar propiedades aglutinantes. El trabajo se realizó en una mezcladora Sabod Rusa # 10 modelo 018 M2, ubicado en el laboratorio de ensayo de la UEB de Fundición de la Empresa Mecánica del Níquel. (figura 2)



Figura 2. Mezcladora utilizada para la confección de las probetas.

El mezclado es una operación simple que se realiza rápidamente en los mezcladores. Un mezclador tiene dos funciones:

- Mezclar uniformemente la arena, arcilla, agua y otros materiales.
- Revestir la arcilla de agua para que ejerza sus propiedades aglutinantes.

#### Moldeado

Este proceso también reviste gran importancia y de él depende el correcto llenado de la cavidad de cada molde y el acabado superficial superior de las probetas.

En nuestro trabajo se elaboraron probetas rectangulares. Las probetas rectangulares tienen una dimensión de 250 x 120 x 65 mm.

Se comprobó además el buen estado de los moldes, se verificó su correcto ensamble, cada una de las piezas fueron lavadas, secadas, y ajustadas. La mezcla vertida en los moldes, fue compactada con vibraciones producidas por el equipo. Los ladrillos elaborados alcanzaron buena consistencia y solidez, los cuales se muestran a continuación en la Figura 3.



Figura 3. Muestras de los ladrillos confeccionados

#### Secado

Esta es una etapa delicada ya que puede ocasionar agrietamientos en el producto. Las piezas moldeadas se dejaron en reposo a temperatura ambiente durante quince días.

#### Horneado

Este es el proceso básico, en el cual la arcilla cambia su estructura a cerámica debido a las altas temperaturas a la que es sometida. Los tiempos y las temperaturas son de gran importancia y tienen un efecto en las propiedades finales del producto. Los ladrillos se cocieron en la estufa a una temperatura de 900 °C durante 8 horas.

El equipo marca ESNOL IR.20, es una mufla de laboratorio 1.6.2, 5.1, se encuentra también ubicado en el laboratorio de ensayo de la UEB de Fundición de la Empresa Mecánica del Níquel en Moa. (Figura 4)



Figura 4. Estufa utilizada en el horneado de las probetas.

## 2.5 Métodos de investigación de las propiedades físico – mecánicas de las probetas obtenidas

Estos estudios se realizaron en el laboratorio de la Empresa de Construcción y Reparación del Níquel (ECRIN), en Moa, con el objetivo de evaluar las principales propiedades físico – mecánicas de las probetas cerámicas elaboradas, para ello se determinaron las siguientes propiedades:

#### Ensayo de la contracción total

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

- Se realizo una masa de arcilla bien amasada, de una consistencia promedio para moldear, hacer un cierto número ladrillos con las dimensiones correspondientes, recordar que estas mediciones pueden variar.
- 2. Se dejo que las probetas se secaran, volteándolas frecuentemente para evitar la deformación.
- 3. Se cuecen los ladrillos a la temperatura establecida. (900 °C)
- 4. Se midio la longitud de los ladrillos cocidos.

5. Se calcula la contracción total por la ecuación 2

% de contracción lineal =100 X — (2)

#### Longitud en plástico

Donde:

L.P, Longitud en plástico (cm)

L.C Longitud después de cocida:(cm)

X, Porciento de absorción

El grado de absorción de agua es una medida de la maduración de la mezcla de arcilla cocida.

Este parámetro fue determinado mediante los siguientes pasos:

- 1. Se peso cuidadosamente los ladrillos cocidos.
- 2. Se introdujo en una piscina de agua los ladrillos cocidos durante dos horas.
- 3. Se seco la superficie de los ladrillos con una toalla y se peso otra vez.
- 4. Se calculo la absorción utilizando la ecuación 3:

Donde:

A: porcentaje de absorción de la probeta (%)

PH: Peso saturado (g)

PS: Peso seco (g)



**Figura 5**. Piscina de agua de la empresa Constructora y Reparadora de la Industria del Níquel utilizada para el ensayo del porcentaje de absorción.

#### Resistencia a la compresión en frío

Esta es una de las propiedades más importante, ya que la función del ladrillo básicamente es la de soportar esfuerzo de compresión en la construcción. Las probetas se sometieron a una fuerza de compresión que se incrementó de manera constante, en una prensa hidráulica a temperatura ambiente hasta que se produjo su rotura; luego se seca a 110 °C, en un horno de ventilación forzada, se deja enfriar a temperatura ambiente y se calcula el área de las caras de soporte con una precisión de ± 0,1 mm.

La resistencia a la compresión en frío se determinó según la ecuación.4:

$$S_C = \frac{F}{A}$$
 Ecuación (4)

Donde:

Sc: Resistencia a la compresión en frío ( N/cm²).

F: Fuerza que se le aplicó a la probeta durante el ensayo y a la cual ocurre la falla (N).

A: Área de la probeta (cm²).



Figura 6. Prensa hidráulica utilizada en el ensayo de Resistencia a la compresión en frío.

## Conclusiones del Capítulo 2

- Las muestras de mezcla de arena sílice residual y arcilla roja seleccionadas para ser estudiadas se consideran representativas de los volúmenes donde se encuentran ubicadas.
- 2. Las técnicas experimentales utilizadas reúnen los requisitos según las normas cubanas y fueron aplicados en las mezclas preparadas para el desarrollo de la investigación.
- Se tomaron como referencia para las variables evaluadas, los trabajos relacionados con la valoración de las arcillas rojas de Centeno para su utilización en la industria de materiales locales.

# CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS. IMPACTO ECONÓMICO Y AMBIENTAL

#### 3.1 Análisis de los resultados de las pruebas de contracción a la cocción

El parámetro tecnológico contracción total da una medida de la compactación de la arcilla, así como lo propenso que es la mezcla a formar grietas en el horneado. 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.

A partir de los ensayos, se obtuvieron los datos de contracción total para las tres mezclas analizadas. Se realizaron tres réplicas, cuyos valores se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Resultados de los análisis de contracción total a 900 °C.

Mezclas	Longitud en plástico (cr	n)		
IVIEZCIAS	Ensayo 1	Réplica 2	Réplica 3	
1	2,5	2,5	2,5	
2	2,49	2,5	2,5	
3	2,5	2,49	2,49	
	Longitud cocida			
Mezclas	Ensayo 1	Réplica 2	Réplica 3	
1	2,42	2,44	2,4	
2	2,36	2,43	2,48	
3	2,4	2,3	2,3	
Mezclas	Cálculo de la Contracción	(%)		Promedio
1	3,2	2,4	2,8	2,8
2	5,2	2,8	2,3	3,4
3	4	4	4	4

Graficando los datos, obtenemos la Figura 8, donde se relaciona el porcentaje de contracción para las tres mezclas de estudio. Las diferencias no son significativas. La mezcla 3 con proporciones de 67 % de arcilla roja, 30 % de mezcla de arena sílice y 3 % de agua, fue la de mayor porcentaje de contracción, atribuidos al mayor contenido de arcilla, lo que permite que a medida que se va secando, las partículas de arcillas se acercan más entre sí, liberando el

espacio ocupado por el agua. La mezcla 1 al ser la que más contenido de sílice presenta es la que menos contrae, la sílice no presenta la misma capacidad de absorción de la arcilla, por lo tanto su influencia en la mezcla considerando esta propiedad es secundaria, además de que al tener una temperatura tan elevada de fusión, a los 900 °C no se producen ninguna transformación cristalina que pueda provocar una pérdida de masa en el material, lo que sugiere que la arcilla es la que sufre la modificación, debido probablemente a la materia orgánica presente.

Al comparar estos resultados con los de otras investigaciones, sobre mezclas de arcilla de la región de Centeno, Moa (Daris 2003; Cabo de Villa 2010), se obtienen menores valores, por lo que la utilización de la arena sílice en la mezcla cerámica puede mejorar la capacidad de contracción de las mezclas. De forma general los valores, se encuentran dentro del rango permisible por las normas para productos cerámicos, donde la tolerancia admitida sobre el valor nominal es menor de 3 mm y la contracción para arcillas plástica es menor del 6 %. Considerando todo los aspectos antes mencionados, la mezcla 2 es la de mejor resultados.

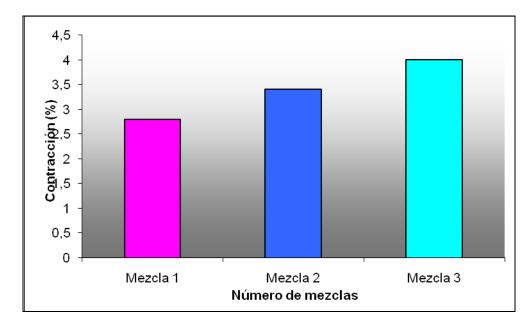


Figura 7. Valores de la contracción (%) de las probetas cocidas a 900 °C.

#### 3.2 Análisis de los resultados de las pruebas de absorción de agua

El grado de absorción de agua es una medida de la maduración de la arcilla cocida. Entre menos sea la absorción, mayor será su vitrificación. Los resultados de esta propiedad se muestran en la tabla 10.

	Peso seco (g)			
Mezclas	Ensayo 1	Réplica 2	Réplica 3	
1	2532	2528	2561	
2	2587	2540	2511	
3	2590	2566	2554	
	Peso húmedo			
Mezclas	Ensayo 1	Réplica 2	Réplica 3	
1	2408	2333	2375	
2	2483	2514	2509	
3	2582	2629	2586	
	Cálculo de absorción			Promedio
1	9,3	9,1	9,3	9,2
2	9,6	9,9	9,8	9,7
3	10,6	10,4	10,1	10,2

Tabla 10. Resultados de los análisis del cálculo del % de absorción a 900 °C

El porcentaje de agua absorbido por cada mezcla se representa en la Figura 9. Al igual que la contracción total, se encuentra en el rango permisible para productos cerámicos y la mezcla 2 es la de mejor resultado, a pesar de no ser la de menor absorción. Las exigencias de esta propiedad para los ladrillos según normas, está en el rango desde 8 hasta 18 %. Estos resultados de forma general son semejantes a los obtenidos en las investigaciones citadas con anterioridad.

Esto significa que cualquier mezcla de composición similar a las estudiadas debe proporcionar valores de absorción muy equivalentes a los obtenidos en la investigación realizada.

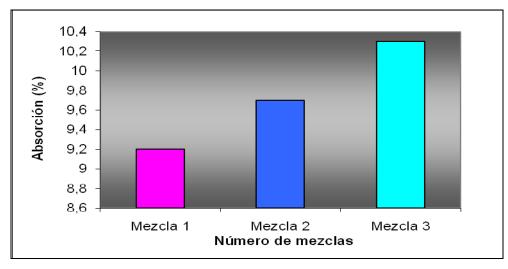


Figura 8. Resultado de la absorción de las mezclas cocidas a 900 °C.

#### 3.3 Análisis de los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión

La resistencia mecánica caracteriza la capacidad de los objetos cerámicos de resistir golpes y cargas sin sufrir roturas durante su uso y manipulación Los datos obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión se representan en la Tabla 11. Los resultados obtenidos por la máquina de ensayo estaban en la unidad N/cm² y fueron convertidos a la unidad normada.

Experimento	Ensayo 1	Réplica 2	Réplica 3	Promedio
1	10,1	10,3	10,2	10,2
2	11,4	11,5	11,3	11,5
3	9,3	9,2	9,3	9,3

Tabla 11. Resistencia a la compresión (MPa)

La mezcla 2 con proporciones de 57 % de arcilla roja, 40 % de arena sílice y 3 % de agua, resultó ser evaluando los parámetros estudiados, la de mejores propiedades mecánicas con valor de 11,5 MPa. La Figura 10 muestra los valores de este parámetro para las tres mezclas en estudio. Se encuentra además del resto de las propiedades físicas evaluadas, en el rango permisible por las normas cubanas.

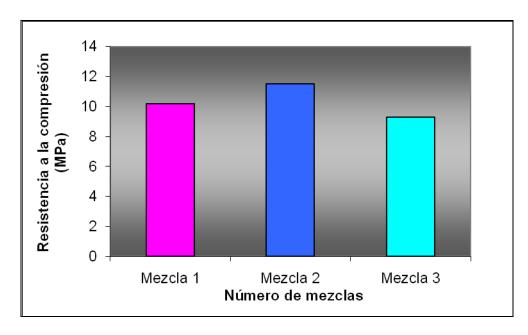


Figura 10. Resultado de la resistencia a la compresión de mezclas cocidas a 900 °C.

Los resultados comparativos de las propiedades físico - mecánicas de las probetas elaboradas y los rangos establecidos según las normas cubana NC 360:2005 para ladrillos cerámicos de

arcilla cocida y NC 259:2005 para ladrillos y bloques cerámicos de arcilla cocida - método de ensayo, se resumen en la Tabla 12.

Tabla 12. Rango de variación de las propiedades físico – mecánicas estudiadas según la norma NC 360:2005 y NC 259:2005.

Propiedades físico - mecánicas	Unidades	Rango establecido	Rango de valores obtenidos
Porciento de Absorción	(%)	8 - 18	9,2 – 10,3
Contracción	(%)	6	2,8- 4
Resistencia a la compresión	(MPa).	10	9,3-11,5

Los valores obtenidos se consideran favorables, y permiten avalar la posibilidad de utilización de la mezcla de arena sílice residual y arcilla de la región de Centeno, Moa en la industria cerámica,.

#### 3.4 Valoración Económica

La valoración económica de la presente investigación estuvo dirigida a proporcionar información financiera sobre el costo total de la evaluación de las mezclas de arena sílice residual y arcilla de la región de Centeno, Moa. Para ello se dividió el estudio en determinar en primer lugar, el costo del consumo de corriente en los procesos de mezclado y cocción, en segundo lugar el costo de los ensayos físico mecánicos determinados a las probetas realizadas.

Costo del consumo de corriente en los procesos de mezclado y horneado de las probetas El consumo de corriente para las tres mezclas y sus réplicas, se representa en la tabla 13.

Tabla 13. Consumo de corriente eléctrico para los problemas desarrollado en la industria

Denominación	N° Exp	Tiempo (horas)	Mezclado (kW)	Secado y Sinterizado (kW)	Tarifa por hora del técnico (\$/h)
47 % Arcilla	1	10	0.83	24	2.99
50 % Arena Sílice	2	10	0.83	24	2.99
	3	10	0.83	24	2.99
57 % de Arcilla	1	10	0.83	24	2.99
40 % Arena Sílice	2	10	0.83	24	2.99
	3	10	0.83	24	2.99
67 % de Arcilla	1	10	0.83	24	2.99
30 % Arena Sílice	2	10	0.83	24	2.99
	3	10	0.83	24	2.99

Total	9	90	7.47	216	26.91

En cada experimento y para cada proceso, hubo el mismo consumo de corriente. En la Tabla 13 se detalla también el precio de la tarifa por hora del técnico. Teniendo en cuenta que 1 kW equivale aproximadamente a \$0,17, el precio del proceso de mezclado fue de 1,27 pesos, del proceso de horneados \$36,72 y el salario del técnico es de \$269 con \$10. El consumo total por concepto de energía eléctrica en estos procesos es de 223,47 kW y el precio total es de \$37, 99

#### Costo de los ensayos Físicos mecánico

Los costos de los ensayos determinados en la investigación fueron los siguientes:

Ensayos Precio

Ensayo de Contracción 18 pesos

Ensayo de Absorción 28 pesos

Resistencia a la compresión 18 pesos

El costo fue de \$64 para estos análisis y el costo total de la investigación es de \$101,99. Considerando además que el precio del ladrillo es de \$0,26, el costo de la investigación fue factible.

# 3.5 Análisis del efecto ecológico de las mezclas de arena sílice residual y las arcillas de la región de Centeno, Moa

La actividad humana, en su devenir histórico ha alcanzado grandes niveles de desarrollo tecnológico, como resultado de grandes niveles productivos, lo que se ha realizado de una forma irracional y derrochadora, provocando grandes afectaciones al medio ambiente. Es por eso, que en estos momentos la lucha por la preservación del medio ambiente se ha tornado impostergable, convirtiéndose en un problema para la humanidad.

La industria metalúrgica es una de las ramas más antiguas de la producción de bienes materiales y de las fundamentales para la economía mundial, pero al mismo tiempo es una de las más agresivas al entorno por la cantidad y tipos de residuales contaminantes que genera. La necesidad y preocupación por preservar los recursos naturales y controlar la contaminación ambiental son algunas de las motivaciones que han impulsado la investigación y desarrollo para la recuperación y reutilización de recursos industriales, en particular los desechos de la industria metalúrgica.

Uno de los desechos que se obtienen en procesos metalúrgicos son las mezclas de arena sílice utilizadas en los laboratorios de fundición para mezclas de moldeo. Aunque el impacto que produce sobre el medio ambiente este material, aun no se ha estudiado, ha llevado a desarrollar investigaciones para su reaprovechamiento, por lo que su uso sería de gran utilidad desde el punto de vista ecológico y permitiría un paso importante en la conversión de los talleres de fundición en industrias limpias.

El vertimiento de los volúmenes de mezclas de arena sílice residual en los depósitos destinados, están ubicados en la zona postrera de la Empresa Comunales del Municipio de Moa (Figura 11), aunque su efecto no es tan significativo, afecta el ecosistema de la región de Moa.

La posibilidad de su utilización, constituye un impacto desde el punto de vista tecnológico y económico pues está enmarcada en el tratamiento y utilización de residuales sólidos de las industrias metalúrgicas, con lo cual se podrán procesar los volúmenes que serán acumulados en los depósitos destinados para ello, conteniendo importantes propiedades mecánico físicas utilizables en diversos fines.

Si lo anterior constituye un beneficio económico dado por la utilización de residuos no destinados a utilizarse, la posibilidad que tendrá el municipio de Moa de contar con un material existente en la región que puede sustituir, en gran medida, las importaciones de material de construcción, lo que constituye el principal aporte económico de esta investigación.

Esta solución requiere bajos costos de operación, en inversión para la remodelación del Tejar de Centeno, Moa, que comprendería equipos y maquinarias, pero el costo de producción sería casi nulo, puesto que son el resultado del proceso de fundición, y la planta de tratamiento de la arcilla, quedará en el mismo terreno de los yacimientos.

Esta solución implica la creación de nuevas fuentes de empleo para la población, lo cual constituye un impacto social positivo. Las instalaciones son de baja complejidad, es decir, una planta de preparación mecánica, pero aún así, será necesaria la apertura de nuevos puestos de trabajo.



Figura 11. Depósito de la mezcla de arena sílice de moldeo.

Respecto a la utilización de la arcilla roja de la región de Centeno, Moa, en la elaboración de mezclas cerámicas, se puede plantear que el desarrollo de la industria cerámica en el municipio, requiere también del estudio detallado y minucioso de las grandes reservas de minerales arcillosos con que cuenta la región, como del análisis del impacto que provocaría su explotación en gran escala, al medio ambiente.

El estudio de los problemas ambientales debe abarcar desde la prospección de la materia prima (minería de las arcillas), como primera actividad contaminadora, hasta el vertimiento de los desechos propios del proceso productivo (conformación y procesamiento de los objetos cerámicos) (Lagreda 1996).

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. Teniendo en cuenta solo lo referente al proceso de extracción de la arcilla podemos abordar lo siguiente:

#### Extracción de las arcillas del yacimiento

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

Debido a que 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 Titulo VI, capitulo V, sección primera (Suelos) y Capítulo VIII Recursos minerales, quedan establecidas todas las regulaciones que se deben observar en cuanto al medio ambiente durante la investigación, prospección y extracción de estos recursos.

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

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

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

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

- Guardar la parte orgánica del suelo (humus) en forma apropiada para luego usarla en la fase de cierre y rehabilitación.
- Evitar los deslizamientos de pendientes a la hora de su extracción.

- Evitar la destrucción de la flora y la fauna en los lugares donde se va a extraer el material.
- Plantar árboles para evitar la erosión de los suelos y conserven su entorno.

Hay que considerar además, que los límites de los recursos naturales sugieren tres reglas básicas en relación con los ritmos de desarrollo sostenibles:

- Ningún recurso renovable deberá utilizarse a un ritmo superior al de su generación.
- Ningún recurso no renovable deberá aprovecharse a mayor velocidad de la necesaria para sustituirlo por un recurso renovable utilizado de manera sostenible.
- Ningún contaminante deberá producirse a un ritmo superior al que pueda ser reciclado, neutralizado o absorbido por el medio ambiente.

Cumpliendo con las tres reglas básicas anteriores lo hacemos también con estrategia ambiental para el desarrollo sostenible en nuestro municipio, en aras de revertir complejas situaciones relacionadas con la degradación de los suelos, afectaciones a la cobertura forestal, contaminación, pérdida de la diversidad biológica, y carencia de agua.

Estrategia que caracteriza los principales problemas ambientales de la nación y propone las vías e instrumentos para prevenirlos, solucionarlos o minimizarlos, con el objetivo de mejorar la protección del entorno y el uso racional de los recursos naturales, a fin de alcanzar las metas de un desarrollo económico y social sostenible, sustentable o perdurable. Por lo que la utilización de las mezclas de arena sílice residual y arcilla de la región de Centeno, Moa como material cerámico, aportará una disminución apreciable del impacto sobre el medio ambiente.

## Conclusiones del Capítulo 3

- ✓ Los mejores resultados de las variables estudiadas: por ciento de contracción, por ciento de absorción y resistencia a la compresión lo obtuvo la mezcla 2 con proporciones de 40 % de mezcla de arena sílice residual , 57 % de arcillas roja y 3 % de agua.
- ✓ Los valores promedios obtenidos de las propiedades físico- mecánicas estudiadas, se encuentran en el rango establecido según las normas cubanas para ladrillos cerámicos de arcilla cocida: porcentaje de absorción 9,7 %; contracción 3,4 % y resistencia a la compresión 11,5 Mpa y el costo total de la investigación fue de \$101,99

#### **CONCLUSIONES**

Después de realizado todo el trabajo de experimentación y análisis de los resultados que conforman el objetivo fundamental de esta investigación podemos concluir:

Las mezclas de arena sílice residual proveniente de la Unidad Empresarial Básica de Fundición de la EMNi de Moa y arcilla roja de Centeno, presentan propiedades físico mecánicas requeridas por las normas cubanas para estos materiales, entre las que no existen diferencias significativas, destacándose la mezcla 2, por ser la de mayor resistencia a la compresión con valor de 11,5 MPa, lo que abre la posibilidad su utilización en la industria cerámica.

#### De la misma se revela además:

El uso de la arena sílice residual para la obtención de mezclas cerámicas, constituye un paso importante para el aprovechamiento de los volúmenes de este material que se generan, y permitirá disminuir el efecto negativo que sobre el ecosistema tiene su vertimiento, además de que puede generar nuevos empleos e ingresos a la economía del país.

## **RECOMENDACIONES**

 Profundizar el estudio de las mezclas de arcilla de la región de centeno y arena sílice residual a partir de la determinación de otras propiedades químicas y físicas mecánica para su utilización en la industria cerámica.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Besoain, E. (1985). Mineralogía de Arcillas de Suelos. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José de Costa Rica.
- 2. Baschini, M. Minerales Arcillosos: Un Enfoque Químico.[en línea] http://www.monografias.com/trabajos7/miar/miar.shtml. [Consulta 9 de Abril 2011].
- 3. Cabo de Villa, S. (2010). Valoración de mezclas de arcilla de la región de centeno para su utilización en la industria de materiales locales. Rodríguez L. C.A, Mazart Beyris, P.(Tutor). Trabajo de Diploma. ISMM.47 p
- 4. Colectivo de autores. Características de las arcillas. [en línea] http://www.mycoad.com/mycoad/spa\_5\_14.htm. [Consulta 15 de Abril 2011]
- 5. Doval, M. M y García, R. E (1991). "Arcillas industriales: yacimientos y aplicaciones". En: yacimientos minerales. Editorial centro de estudios Ramón Areces, S. A. Madrid. p 582.
- 6. Duantes, G. L. (1994). Las arcillas. Clasificación, identificación, usos y especificaciones industriales. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo XXVII, 2, 49-92, México.
- 7. Dorronsoro, C. Granulometría de las arcillas [en línea] http://edafologia.ugr.es/introeda/tema04/text.htm. [Consulta 15 de Abril 2011]
- 8. Fonseca, D (1999). Determinación de los índices de plasticidad de las arcillas de Centeno. Informe técnico. Industrias Locales.
- Fonseca, R. D.(2003). Evaluación de mezclas de arcillas de la región de centeno,
   Moa.Pons Herrera, J.(Tutor). Tesis de Maestría. ISMM.72 p
- 10. Galan H, E. (1990). "Palygorskita y sepiolita". Recursos Minerales de España. Vol X. No 3. p71-94.
- 11. Guerrero, D. (2008). Evaluación de la arena sílice en el moldeo autofraguante para la obtención de piezas de acero al manganeso.
- 12. Gonzalez, G. C.(2004). Caracterización físico química de las arcillas y su aplicación industrial. Revista Ingenierías. Vol VII. No 2.

- 13. José Pons, H y Leyva, C. (1996). Empleo de las arcillas ferrocaoliniticas gibbsíticas de la región de Moa en los talleres de fundición. Revista Minería y Geología. Vol. XIII. No.3. ISMM Moa, p. 93.
- 14. Jimenez, J. A., De Justo, A. L. (1975). "Geotecnica y Cimientos". Vol. I. "Propiedades de los Suelos y de las Rocas.", 2 da Edición. Editorial Rueda, 466 pp.
- 15. Lagreda, M. D.; Buckingham, P. L.; Evans, J. C.(1996). "Gestión de Residuos tóxicos. Tratamiento, Eliminación y Recuperación de suelos". Mc. Graw. Hill. 1316 p
- Larrañaga, A y Armazabal, P. (2002). Características físico químicas de las arenas de moldeo utilizadas en la fundición. Memorias del Evento Internacional de Metánica.
- 17. Ochoa, M. R. (2002). Geología de los yacimientos de arcillas para la cerámica. Quinta Conferencia Científico Técnica de la Construcción, Jornada Iberoamericana, La Habana. Editorial SOFTCAL, IR 824-831.
- 18. Orozco, G y Leyva, C. (1995). Caracterización de las arcillas de Moa. Informe técnico. ISMM.
- 19. Oliveros, E. (2002). Evaluación de mezclas autofraguantes para la btención de piezas fundidas en la empresa mecánica del níquel. ISMM. Moa.
- 20. Odom, I. E. (1984). "Smectite Clay Minerals: Properties and Uses". Phil Trans. R. Elsevier Science Publishers B. A311, pp. 391-409.
- 21. 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, 1998.
- 22. Salcedo, A y Herrera, F. Los materiales cerámicos.[en línea] www2.gratisweb.com/wilben/cap07.html, [Consulta 20 de enero 2010].
- 23. SALCINES, C. M. (1985). Tecnología de fundición. Tomo I, Ciudad Habana: Editorial. Pueblo y Educación. Cuba.
- 24. Norma Cubana NC 359:2005. Ladrillos y Bloques cerámicos de arcilla cocida. Método de ensayo.
- 25. Norma Cubana NC 360:2005. Ladrillos cerámicos de arcilla cocida. Requisitos.