



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

Margelis Chacón Moreira

Especialidad: Ingeniería geológica.

Instituto Superior Minero Metalúrgico (Cuba).

Resumen: Se evaluaron las mezclas de materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam y arena sílice residual desechada por la Empresa Mecánica del Níquel para su utilización en la industria cerámica. Se estudiaron tres mezclas cerámicas confeccionadas con diferentes dosificaciones de arcilla con adicción de arena sílice residual, así como los factores que intervienen en la correcta elaboración de las mezclas: tamaño del grano, condiciones de secado y temperatura de cocción. Los parámetros tecnológicos determinados fueron: porcentajes de contracción lineal, pérdida de peso, absorción de agua y la resistencia a la compresión. De acuerdo con las propiedades evaluadas, la mezcla compuesta por 70 % de arcilla con adicción de 30 % de arena sílice residual es la que mejores resultados presenta para su utilización como producto cerámico.

Palabras clave: arcilla; arena sílice; industria cerámica.

* Trabajo tutorado por el Dr. Carlos A. Leyva Rodríguez y el Ing. Sergio R. Cabo de Villa Figueiral.

Recibido: 12 abril 2015 / Aceptado: 10 febrero 2016.

Assessing blends of clayey materials from the area of Cayo Guam and residual silica sand for application in the ceramic industry

Abstract: The blends made of clayey materials from the area of Cayo Guam and the residual silica sand rejects were evaluated for application in the ceramic industry. Three ceramic blends made with different dosage of clay and residual silica sand addition were analyzed as well as the factors intervening in the adequate proportion of the blends such as grain size; drying conditions and firing temperature. The technological parameters calculated were as follows: lineal contraction percentage; weight loss; water absorption as well as compression resistance. Based on the evaluated properties, the blend with 70% clay content and 30 % residual silica sand addition produced the best results for use as a ceramic product.

Key words: clay; silica sand; ceramic industry.

Introducción

Los productos cerámicos constituyen una amplia gama de nuevos materiales que sustituyen incluso a metales y polímeros en la fabricación de componentes de motores térmicos, herramientas de corte y otros accesorios para mejorar la resistencia al desgaste y a la abrasión, a ambientes corrosivos y a altas temperaturas, debido a las excelentes propiedades mecánicas, ópticas, eléctricas, refractarias y elevada resistencia a los agentes corrosivos (Hidalgo, 2013).

En el proceso productivo que tiene lugar en la Unidad Empresarial Básica (UEB) de Fundación de la EMNi de Moa, las arenas de sílice, consideradas como una de las materias primas fundamentales para la elaboración de mezclas de moldeo, constituyen más del 85 % de los moldes compactados por medios físicos y alrededor del 98 % de los moldes y machos químicos. Una vez aprovechadas son eliminadas en depósitos y se consideran como desechos sólidos (Brocard, 2011).

La utilización de residuos puede ayudar a conservar los recursos naturales al reducir la demanda de materias primas convencionales. La mezcla de los materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam con arena sílice residual puede ser una variante en su uso para la industria cerámica, además que de esta manera se posibilitará la conservación ambiental, minimización del consumo de recursos naturales y ahorro de energía, por lo que parece claro la necesidad y conveniencia de estudiar y conocer sus características y propiedades, teniendo en cuenta que en ensayos realizados con anterioridad a la arcilla de Cayo Guam, por sí sola no resulta conveniente para su utilización como material cerámico, ya que las muestras se agrietan totalmente en la etapa de secado natural, lo que impide que se continúe el proceso. Este trabajo propone evaluar las mezclas de los materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam con la arena sílice residual, a partir de sus propiedades físico-mecánicas, con vistas a definir su posible utilización como material cerámico.

Estudios han demostrado la factibilidad de mezclar la arcilla con diversos materiales para lograr materiales de la construcción. Díaz (2015) demostró la posibilidad de mejorar la calidad de los ladrillos cerámicos y otros productos empleando las mezclas de arcillas con tobas vítreas en la Empresa Provincial de Construcción y Mantenimiento Constructivo de Granma. Lozada y Herrera (2005) analizaron las características

geológicas de las minas de arcillas utilizadas como materia prima para la producción de alfarería y cerámica.

De acuerdo con estudios precedentes (Pons & Leyva, 1996 y Orozco, 1995) las arcillas de Moa poseen un carácter semirrefractario y han sido utilizadas como morteros en los procesos de fundición de la industria del níquel y están siendo empleadas, en pequeños volúmenes, para la fabricación de materiales de la construcción. En las industrias locales del municipio se intentó utilizarlas como materia prima para la fabricación de tiestos, búcaros y otros, pero no se obtuvieron buenos resultados, ya que las piezas se agrietaban durante el secado y se rompían en la cocción.

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

Díaz, Betancourt y Martirena (2011) analizaron la influencia que ejerce la finura de molido de carbonato de calcio en las propiedades físicas-mecánicas y de durabilidad de los ladrillos de cerámica roja. Demostraron que la finura del carbonato de calcio adicionado en muy pequeñas dosis (a partir de los 150 μm) comienza a ser beneficioso para la calidad de material en pequeñas cantidades (menos del 10 % del peso de la arcilla).

Njila (2010) en su caracterización químico-mineralógica de cortezas de meteorización ferrosialíticas en el noreste de Cuba oriental refiere que las arcillas de Cayo Guam pueden ser empleadas para elementos refractarios.

Materiales y métodos

El trabajo de campo se dirigió a obtener el mayor volumen de información sobre los materiales arcillosos de la zona de Cayo Guam. La existencia de un antiguo movimiento de tierra en el área escogida facilita la selección de la muestra y su representatividad, al dejar expuesta la materia prima en grandes taludes artificiales; esto, además, posibilitará su futura extracción con un sentido más económico al no tener que hacer grandes labores de desbroce.

Toma y selección de la muestra de arcilla

La selección de las muestras se realizó buscando la mayor representatividad de la materia prima en el corte. Se abarcó toda la regularidad de la mineralización y coloración, desechando el material laterítico arrastrado por el agua que cubre la superficie.

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

Toma y selección de la muestra de arena sílice

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

Preparación y ensayos

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

Preparación de las muestras

La preparación de las muestras se realiza por un proceso de preparación mecánica para asegurar la calidad del producto final.

Secado inicial

Luego de tomada la muestra se le realiza un proceso de homogeneización y se deja al sol, para facilitar el desmenuzamiento de los terrones e impedir las aglomeraciones de partículas arcillosas. Esto favorece la descomposición de la materia orgánica que pueda estar presente, permitiendo la purificación química y biológica del material. De esta manera se obtiene un material completamente inerte con mayor estabilidad a posteriores transformaciones mecánicas o químicas.

Molienda

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

Preparación de las mezclas

Las mezclas se prepararon con diferentes dosificaciones en porcentajes en peso para realizar las probetas. Los materiales secos fueron añadidos en un recipiente donde se le agregó agua, luego se homogenizó hasta formar una pasta compacta y fácil de trabajar. Las mezclas del material arcilloso de Cayo Guam con la arena sílice residual se prepararon en tres mezclas con dosificaciones diferentes para la confección de las probetas, las cuales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Dosificación para la conformación de las mezclas (% valorado en peso)

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

Maduración y reposo

Antes de incorporar la arcilla al ciclo de producción hay que someterla a ciertos tratamientos de trituración, homogeneización, tamizado y reposo, con la finalidad de

obtener una adecuada consistencia y uniformidad de las características físicas y químicas deseadas.

El reposo tiene, en primer lugar, la finalidad de facilitar el desmenuzamiento de los terrones y la disolución de los nódulos para impedir las aglomeraciones de las partículas arcillosas. Favorece la descomposición de la materia orgánica que pueda estar presente y permite la purificación química y biológica del material. De esta manera se obtiene un material completamente inerte y poco dado a posteriores transformaciones mecánicas o químicas.

Depuración de la pasta

Antes de ser modelada, la arcilla debía someterse a diversos procesos de depuración encaminados a reducir la cantidad de elementos extraños (materia orgánica, vegetación, etc.) que se encontraban en la pasta tras su extracción. El sistema de depuración de la arcilla que se utilizó fue la limpieza a mano, la depuración por la acción de los agentes naturales y el filtrado en agua.

Moldeado

Se obtuvo una masa más compacta vertiendo la mezcla en los moldes, obteniéndose una humedad más uniforme y una masa más compacta para lograr igualdad en las superficies de las muestras. Este proceso se realizó a mano con agua para obtener una mezcla homogénea; seguidamente se colocó este material en un molde, el cual presenta dimensiones de 25,0 cm de largo, 12,0 cm de ancho y 6,0 cm de altura.

Secado final

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

Cocción

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

El cambio ocurre 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.

Metodología para la realización de los ensayos

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

Ensayo de la contracción total

Se analizó este parámetro a temperatura constante, debido al interés de analizar solamente la influencia de las diferentes dosificaciones de las mezclas elaboradas.

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

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

Donde:

LP----- Longitud en plástico (cm);

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

Ensayo de pérdida de peso

Se pesaron las muestras una vez concluido el proceso de secado natural; luego de la cocción se pesaron nuevamente para obtener el porcentaje de pérdida de peso a partir de la ecuación (2).

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

Donde:

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

PC----- Peso cocido (g).

Ensayo de absorción de agua de las mezclas cocidas

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

Este parámetro fue determinado mediante los siguientes pasos:

1. Se pesaron cuidadosamente los ladrillos cocidos.
2. Luego fueron introducidos en un recipiente con agua durante 24 h.
3. Transcurridas 24 h se secó la superficie de los ladrillos y se pesó nuevamente.
4. Luego se calculó el porcentaje de absorción de agua utilizando la ecuación (3).

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

Donde:

PS----- Peso seco (g);

PH----- Peso saturado (g).

Ensayo de resistencia a la compresión

Las muestras que son sometidas a carga tienen forma cúbica y una relación similar entre largo, ancho y alto. Se sometió cada elemento, que constituye la muestra del ensayo, a una carga de compresión perpendicular a las caras mayores del ladrillo y se determinó la carga en el momento de ruptura. El ensayo de resistencia mecánica a la

compresión se realizó en el laboratorio de muestreo de la empresa ECI-3 en una prensa hidráulica, a cada una de las muestras, una vez preparadas.

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

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

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

Donde:

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

A_i -----Área de la cara del ladrillo expuesta a la carga (cm²);

f -----factor de conversión (de kgf/cm² a MPa).

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

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

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

Equipos empleados en la investigación

Para la realización de esta investigación fueron utilizados equipos como: molino de bolas de 19,5 cm de diámetro interior y 24 cm de longitud, horno eléctrico J.P Selecta 2000 367. También se utilizaron dos balanzas, una para pesar el material para mezclar y la otra para pesar las muestras una vez confeccionadas. Además, se utilizó una prensa hidráulica para la determinación de la resistencia a la compresión de cada probeta elaborada a partir de las mezclas.

Análisis de los resultados de contracción total

El parámetro tecnológico contracción total ofrece una medida de la compactación de la arcilla. Mediante la evaluación de este parámetro se puede lograr productos cerámicos

más o menos densos para cada una de las mezclas. El secado de las piezas debe ser uniforme, de lo contrario puede provocar diferencias en el modo de contraerse cada una, así como agrietamiento y ruptura de las mismas. Para el análisis de este parámetro se han tenido en cuenta los datos que se muestran en la Tabla 2, los porcentajes de contracción lineal se determinaron aplicando la ecuación (1).

Tabla 2. Resultado de los análisis de contracción total en las mezclas evaluadas

Longitud de plástico (cm)			
Muestras	M-1	M-2	M-3
1	24,0	24,5	24,7
2	23,9	24,6	24,6
3	24,0	24,5	24,3
Longitud cocida (cm)			
Muestras	M-1	M-2	M-3
1	23,0	23,6	23,9
2	22,9	23,7	23,8
3	23,0	23,6	23,5
Contracción lineal (%)			
Muestras	M-1	M-2	M-3
1	4,17	3,67	3,23
2	4,18	3,66	3,25
3	4,17	3,67	3,29
Promedio	4,17	3,67	3,26

Donde:

M-1-----70 % de arcilla y 30 % de adicción de arena sílice residual

M-2-----60 % de arcilla y 40 % de adicción de arena sílice residual

M-3-----50 % de arcilla y 50 % de adicción de arena sílice residual.

Obtenidos los porcentajes de la contracción lineal para cada una de las mezclas se grafican los datos (Figura 1). La mezcla M-1, compuesta por un 70 % de arcilla y 30 % de adicción de arena sílice residual, presenta los mayores porcentajes de contracción lineal, atribuidos al mayor contenido de arcilla, lo que ha permitido que a medida que la muestra se va secando las partículas de arcilla se compactan mejor, liberando el espacio ocupado por el agua. La mezcla M-3 es la que más contenido de arena sílice residual presenta, en un 50 %, por lo que se contrae en menor proporción, ya que esta no presenta la misma capacidad de absorción que la arcilla. De manera general, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango permisible por las normas para productos cerámicos, donde la contracción para arcillas plástica es menor del 6 %.

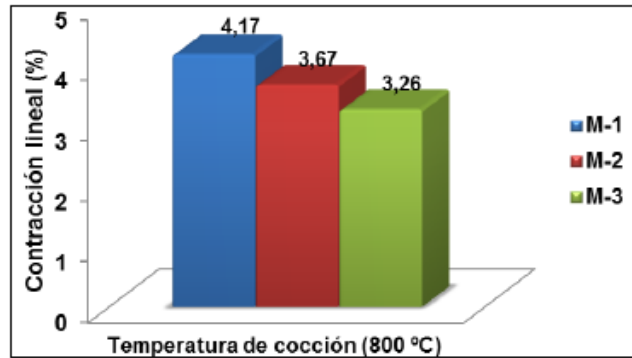


Figura 1. Contracción lineal en las mezclas evaluadas a una temperatura de cocción de 800 °C.

Análisis de los resultados de pérdida de peso

Para el análisis de este parámetro se han tenido en cuenta los datos expuestos en la Tabla 3, de acuerdo al peso de las muestras antes y después del proceso de cocción. Los porcentajes de pérdida de peso para cada una de las mezclas se obtuvieron a partir de la ecuación (2).

Tabla 3. Resultado de los análisis de pérdida de peso en las mezclas evaluadas

Peso seco (g)			
Muestras	M-1	M-2	M-3
1	980,0	940,0	840,0
2	978,0	1 025,0	1 018,0
3	935,0	1 040,0	1 023,1
4	952,0	900,0	840,2
Peso cocido (g)			
Muestras	M-1	M-2	M-3
1	820,0	800,1	723,5
2	822,1	870,3	879,0
3	780,0	889,0	882,0
4	794,0	760,0	725,0
Pérdida de peso (%)			
Muestras	M-1	M-2	M-3
1	19,51	17,5	16,10
2	18,96	17,76	15,81
3	19,87	16,99	16,0
4	19,02	17,76	15,89
Promedio	19,34	17,50	15,95

Donde:

M-1-----70 % de arcilla y 30 % de adicción de arena sílice residual

M-2-----60 % de arcilla y 40 % de adicción de arena sílice residual

M-3-----50 % de arcilla y 50 % de adicción de arena sílice residual.

Partiendo de los cálculos realizados para la pérdida de peso de las diferentes mezclas analizadas se obtuvieron resultados diferentes pero las diferencias no son significativas. En la Figura 2 esto está representado y se muestra claramente que es la mezcla M-1, compuesta por un 70 % de arcilla y un 30 % de arena sílice residual, la que presenta mayor pérdida de peso. Al evaluar estos datos resalta que esta sería la mezcla de mejores resultados ya que se facilitaría el manejo de los ladrillos para la construcción por su peso. La mezcla M-3 es la que menor porcentaje presenta de pérdida de peso, debido al contenido de arena sílice residual y su mayor masa volumétrica en comparación con la arcilla; mientras mayor sea la adicción de arena en la mezcla menor será la pérdida de peso, una vez cocida la muestra.

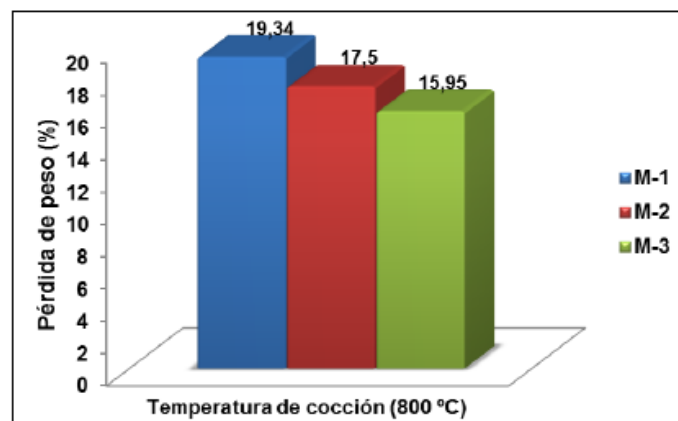


Figura 2. Pérdida de peso en las mezclas evaluadas a una temperatura de cocción de 800 °C.

Análisis del resultado de absorción de agua de la mezcla cocida

El análisis de este parámetro se ha realizado a partir de los resultados obtenidos que se muestran en la Tabla 4, para cada una de las mezclas después de la cocción. La capacidad de absorción de agua de cada muestra se presenta en porcentaje; este se determinó a partir de la ecuación (3) y se ilustra en la Figura 3, ratificando que a mayor porcentaje de arena sílice residual en la mezcla se irá incrementando la absorción de agua, debido a la presencia de mayor volumen de poros libres, que permite absorber con mayor facilidad el agua.

Tabla 4. Resultados de la absorción de agua en las mezclas evaluadas

Peso seco (g)			
Muestras	M-1	M-2	M-3
1	780,0	760,0	723,0
2	776,0	750,5	742,0
Peso saturado (g)			
Muestras	M-1	M-2	M-3
1	1 000,0	980,0	933,4
2	995,0	964,5	958,5
Absorción de agua (%)			
Muestras	M-1	M-2	M-3
1	28,21	28,95	29,1
2	28,22	28,51	29,18
Promedio	28,215	28,73	29,095

Donde:

M-1-----70 % de arcilla y 30 % de adicción de arena sílice residual

M-2-----60 % de arcilla y 40 % de adicción de arena sílice residual

M-3-----50 % de arcilla y 50 % de adicción de arena sílice residual

Para el análisis se compararon los resultados según lo establecido en las normas cubanas (NC 360:2005) para ladrillos cerámicos de arcilla cocida. La absorción de agua se encuentra por encima del rango permisible para productos cerámicos elaborados con 30 %, 40 % y 50 % de adicción de arena sílice residual a la arcilla, ya que las exigencias de esta propiedad para los ladrillos cerámicos están en el rango de absorción de agua de 8 % a 18 %. La mezcla que más absorbe el agua es la M-3, compuesta por 50 % de arcilla y 50 % de arena sílice residual, dado esto por la porosidad que le da a la muestra la arena empleada, lo que indica que a mayor proporción de arena sílice residual, mayor es la absorción de agua, aunque la diferencia no es considerable.

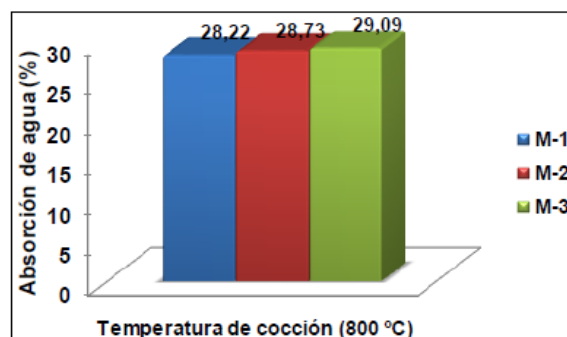


Figura 3. Absorción de agua en las mezclas evaluadas a una temperatura de cocción de 800 °C.

Análisis de los resultados de la resistencia a la compresión

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

Tabla 5. Resultados de la resistencia a la compresión en las mezclas evaluadas

Resistencia a la compresión (MPa)			
Muestras	M-1	M-2	M-3
1	12,92	9,86	7,89
2	13,14	9,97	7,67
3	12,92	9,31	7,67
Promedio	12,99	9,71	7,74

Donde:

M-1-----70 % de arcilla y 30 % de adicción de arena sílice residual

M-2-----60 % de arcilla y 40 % de adicción de arena sílice residual

M-3-----50 % de arcilla y 50 % de adicción de arena sílice residual

Los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión resultan de gran importancia y casi determinantes en la Industria Cerámica y de Materiales de la Construcción. Los adquiridos en este trabajo (Figura 4) establecen que de las tres mezclas analizadas es la M-1 con proporciones en 70 % de arcilla y 30 % de adicción de arena sílice residual la que mayor resistencia a la compresión presenta, en un valor promedio de 12,99 (MPa); se encuentra, además, en el rango permisible por las normas cubanas.

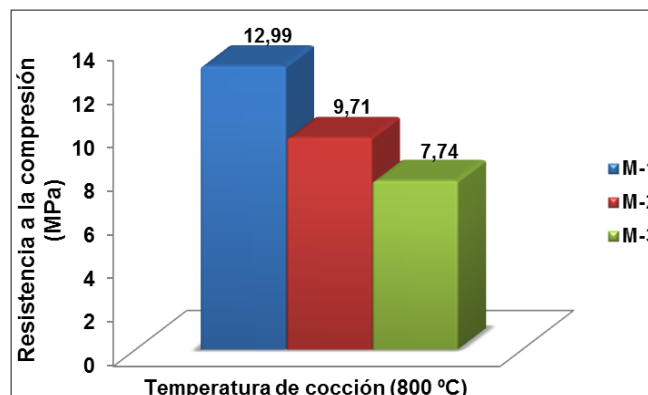


Figura 4. Resistencia a la compresión en las mezclas evaluadas a una temperatura de cocción 800 °C.

Conclusiones

Se determinaron las propiedades físico-mecánicas de las probetas elaboradas a partir de las mezclas de arcilla extracción de Cayo Guam con adicción de arena sílice residual.

Se demostró que los valores obtenidos de contracción lineal se encuentran dentro del rango permisible por las normas cubanas para productos cerámicos.

La mezcla M-1, compuesta por un 70 % de arcilla y 30 % de adicción de arena sílice residual, es la que presenta mayor pérdida de peso, representada por un valor de 19,34 %.

Los valores obtenidos de absorción de agua se encuentran por encima del rango permisible para productos cerámicos.

La mezclas M-1, compuesta por un 70 % de arcilla y 30 % de adicción de arena sílice residual, es la que mayor resistencia a la compresión presenta, en un valor promedio de 12,99 (MPa), encontrándose dentro del rango permisible para productos cerámicos.

La mezcla M-1 es la más adecuada para su posible utilización en la industria cerámica teniendo en cuenta sus propiedades físico-mecánicas.

Referencias bibliográficas

BROCARD, Y. 2011: *Evaluación de mezclas de arcilla de la región de Centeno y arena sílice residual para su utilización en la industria cerámica*. Tesis de grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico.

DÍAZ, A. 2015: Evaluación de mezclas de arcillas con adicción de tobas vítreas para la fabricación de ladrillos cerámicos en Bayamo. *Ciencia & Futuro* 5(1): 20-35.

DÍAZ, Y.; BETANCOURT, D. & MARTIRENA, F. 2011: Influencia de la finura de molido del carbonato de calcio en las propiedades físico mecánicas y de durabilidad de los ladrillos de cerámica roja. *Revista ingeniería de construcción* 26(3): 269-283.

- HIDALGO, Y. 2013: *Evaluación de mezclas de arcillas de la región de Granma con adición de tobas vítreas para su utilización en la Industria de Materiales de la Construcción*. Tesis de grado. Instituto Superior Minero Metalúrgico.
- LOZADA, S. & HERRERA, N. 2005: *Investigación de las características geológicas de las minas de arcillas utilizadas como materia prima para la producción de alfarería y cerámica*. Editorial Bogotá: Artesanías de Colombia, Biblioteca Digital de Artesanías de Colombia . A. Informes. AC. Informes Técnicos. [en línea]. Consulta: 10 nov 2012. Disponible en: <http://repositorio.artesantiasdecolombia.com.co/handle/001/800>
- NJILA, T. 2010: Evaluación mineralógica semi-cuantitativa de las cortezas de meteorización no níquelíferas en la región nororiental de Cuba. *Minería & Geología* 26(4): 1-15.
- OFICINA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. NC 360. 2005: Ladrillos de arcilla cocida. Requisitos.
- OROZCO, G. 1995: Caracterización de las arcillas de Cayo Guam. Informe técnico. ISMM.
- PONS, J. & LEYVA, C. 1996: Empleo de las arcillas ferrocaoliníticas-gibbsíticas de la región de Moa en los talleres de fundición. *Minería & Geología* 13(3): 93.