

EVALUACION DE LA ROCA ENCAJANTE DE LA MINA LA MANUELA PARA LA ELABORACION DE LADRILLOS CERÁMICOS

Rafael Jimenez Chappotin, Rosa Herrera de la Rosa, Rayda Crespo Castillo

*Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción
Carretera Casablanca y calle 70, Reparto Bahía, Regla, Ciudad de la Habana, Cuba. CP 11200
E-mail chapotin@ctdmc.co.cu, E-mail rosita@ctdmc.co.cu, E-mail raida@ctdmc.co.cu*

RESUMEN

Las vetas de asfaltita, existentes en la mina La Manuela, ubicada en el distrito mineral Mariel Cayajabos, tienen realizados trabajos de Prospección o de Exploración Geológica, sin embargo las rocas encajantes del yacimiento, las cuales se encuentran en una proporción de 4:1 promedio, no han sido detalladamente estudiadas.

La necesidad de encontrar una disposición para este material de destape resulta de gran importancia desde el punto de vista económico para la explotación del yacimiento.

Dadas sus características generales y algunas pruebas empíricas realizadas, se prevé pueda utilizarse como materia prima para la fabricación de ladrillos cerámicos.

Con este objetivo se procedió a realizar en el laboratorio una evaluación de las tierras arcillosas pertenecientes a la roca encajante. Este estudio tiene una gran importancia, dado que no existe ningún reporte hasta el momento sobre sus características físico- químicas, y mecánicas, ni sobre su utilidad, como material alternativo para la industria de la construcción, en el sector de la cerámica.

Se realizaron ensayos mecánicos para la determinación de los parámetros característicos de las mismas, y de acuerdo a los resultados iniciales obtenidos de las muestras evaluadas se pudo concluir que para su empleo en la elaboración de ladrillos cerámicos estos materiales no deben utilizarse de forma independiente sino combinados con otros tipos de arcillas plásticas en dependencia del uso que se le quiera dar. Además pueden ser empleados como desgrasantes en la producción de cerámica roja.

ABSTRACT

There are not any reports about the physical - chemical, and mechanical properties of matrix rocks of the asfaltita mineral deposit La Manuela in Mariel Cayajabos, to use as construction material including the ceramic sector.

The objective of this paper was to research the matrix rocks of this mineral deposit to use as raw materials in the ceramic bricks. Was realized several mechanical tests according Cuban standards for the ceramic raw materials and was showed that these materials can be used combined with different proportion of the other kind of plastic clays depending of the final use. They can be employees in the ceramic national sector.

INTRODUCCION

El Distrito mineral Mariel - Cayajabos, el cual es conocido desde principios del siglo XX, es la concentración más importante de depósitos de asfaltitas del país.

La unidad lito-estratigráfica predominante en el área es la Formación Capdevila, que es la secuencia encajante de la mineralización (área objeto de estudio). La misma se compone de un flysch de areniscas, arcillas y margas con predominio de las primeras, variando su contenido de arcilla y marga en el corte.

Dentro del mismo, los yacimientos individuales son llamados "vetas" por ser esta la forma de yacencia en que comúnmente se presenta la asfaltita, con ángulos de buzamiento abruptos. Las vetas importantes de asfaltita, conocidas hasta hoy, tienen realizados trabajos de Prospección o de

Exploración Geológica, sin embargo las rocas encajantes del yacimiento, las cuales se encuentran en una proporción de 4:1 promedio, no han sido detalladamente estudiadas.

La necesidad de encontrar una disposición para este material resulta de gran importancia desde el punto de vista económico para la explotación del yacimiento. Con este objetivo se procedió a realizar una evaluación del mismo pensando en varios frentes del sector de la construcción: como materia prima para cemento, como áridos y en la industria cerámica.

Dado las características generales de este material de destape y de algunas pruebas empíricas realizadas, se prevé pueda utilizarse como para la fabricación de ladrillos cerámicos.

Para la evaluación del yacimiento se creó un grupo de trabajo que participó en la caracterización de las muestras por análisis químicos y la ejecución de ensayos físico- mecánicos.

MATERIALES Y METODOS

De acuerdo al proyecto para la evaluación preliminar de las rocas encajantes (destape) del yacimiento asfaltita Manuela, elaborado por el Instituto de Geología y Palenteología, se realizó el muestreo a las rocas de la cubierta enclavadas en la formación Capdevila, en las áreas aledañas a la Veta Manuela y Veta Nueva.

Se tomaron un volumen de 15 muestras de surco continuo para análisis químico y 13 muestras para propiedades físico mecánicas, en afloramientos, taludes de canteras y en trincheras naturales tratando de abarcar la totalidad del área objeto de estudio. De estas últimas se seleccionaron un número de 5 muestras, para ser caracterizadas y evaluadas para su posible utilización en la industria de cerámica roja. Las muestras seleccionadas se corresponden a la identificación siguiente: 9FM; 10FM; 11FM; 12FM; 13FM.

Evaluación de la roca encajante para la elaboración de ladrillos cerámicos.

El material para ser empleado en producciones cerámicas debe tener determinadas características, entre las que se contemplan la composición mineralógica (son silicatos de alúmina hidratados con elementos alcalinos y alcalinos térreos), cuyas propiedades físico químicas dependen de su estructura, (partículas planas y conductoras de agua), el tamaño de grano inferior a los 2 mm, que adquieran plasticidad al ser mezclados con agua y sonoridad y dureza al ser expuestos a altas temperaturas (mayor de 750 °C).

- **Humedad**

La primera determinación realizada para evaluar las características de las muestras fue la medición del por ciento de humedad, siguiendo el procedimiento de ensayo recogido en la NC - 54- 185. Arcilla. Determinación de humedad

Este ensayo tiene como objetivo determinar el contenido de humedad de una muestra para explicar el comportamiento de este material ante cambios de volumen, cohesión, y de estabilidad mecánica.

Para la ejecución del ensayo las muestras son colocadas en estufa a 110 °C hasta peso constante, aproximadamente 24 horas.

La fórmula para determinar el por ciento de humedad es la siguiente:

$$W = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

W- Humedad, %

Wi- Humedad inicial, g

Wf- Humedad final, g

Tabla I.- Contenido de humedad de las muestras ensayadas.

Muestras	Humedad (%)
9 FM	5
10 FM	6,5
11 FM	6
12 FM	6
13 FM	4,5

- **Ensayo de Granulometría por vía húmeda.**

El ensayo de granulometría enfocado en la evaluación como materia prima para la cerámica roja se realiza siguiendo el procedimiento establecido en la NC 54 314 Materias primas para cerámica. Determinación de la granulometría, y tiene como objetivo la clasificación del material por cada tamaño de malla, en % retenido, así como la evaluación de estos, y en específico del porcentaje de partículas por debajo de la fracción menor de 2 mm de diámetro, que podría ser clasificada como arcilla natural.

La forma y el tamaño pequeño de los granos influyen en propiedades como la plasticidad de la arcilla, su contracción y la absorción de agua.

Con el objetivo de reducir los granos gruesos, las muestras una vez secas se pasan por un molino de masa lisos, separándose por cuarteo mecánico 200 gramos, a los cuales se somete a un lavado progresivo por los diferentes tamaños de malla que establece la especificación normativa.

Como se observa en los resultados de la tabla, la muestra 13 FM es la que presenta mayores retenidos en todos los tamaños de malla (fracciones correspondientes a los materiales desgrasantes), y menores en la fracción menor de 0.063mm (fracción arcillosa), lo que afecta sus propiedades plásticas al amasarla con agua. A mayor tamaño de partícula en la granulometría menor plasticidad.

Tabla II.- Granulometría por vía húmeda de las muestras ensayadas.

Tamiz, (mm)	Muestras, (% de retenido)				
	9 FM	10 FM	11 FM	12 FM	13 FM
2	0.09	0.12	0.37	0.10	14.4
1	0.38	0.32	2,44	0.79	2,92
0,5	3.30	0.75	3.99	4.88	14.74
0,063	31.50	31.57	23.89	42.40	52.17
Fondo	64.73	67.22	69.30	51.86	15.77

Características de los retenidos

En general, para todas la muestras, se aprecia un material fino con abundante materia orgánica, con presencia de pequeñas piedras blancas de carbonato, y además pequeños puntos brillantes que pudieran corresponder con la presencia de minerales como el cuarzo (forma cristalina de la sílice), y cristales de plagioclasas, que poseen brillo metálico.

Las muestras presentan un porcentaje sustancial de partículas por debajo de 1m m de diámetro, las cuales pudieran ser consideradas como material arcilloso, esto se relaciona con altos valores de área superficial, la plasticidad del material, su contracción y absorción de agua.

- **Ensayo de plasticidad**

La determinación del ensayo de plasticidad del material fue realizada siguiendo los procedimientos establecidos en la NC 54:315: 85, y están basados en la determinación del límite plástico, límite líquido e índice de plasticidad de los materiales arcillosos al mezclarse con agua, este método no indica cual es el agua óptima de amasado, pero si señala los límites entre los que se debe buscar.

EL límite líquido (LL) se realizó utilizando el equipo Casagrande y el límite plástico (LP) fue determinado por el sencillo método de doblar o enroscar un cilindro fino, de 20 cm. de longitud en el cual no deben aparecer grietas.

La relación existente entre el límite líquido y el límite plástico ofrece una gran información sobre la composición granulométrica, comportamiento, naturaleza y calidad de la arcilla.

El índice plástico corresponde al cálculo:

$$IP = LL - LP$$

IP- Índice de plasticidad

LL- Límite líquido

LP- Límite plástico

La clasificación de las características plásticas del material se realiza en dependencia del valor del índice de plasticidad calculado. Se consideran arcilla poco plásticas o magras cuando los valores del índice de plasticidad se encuentran en el rango de 0-30, arcillas de mediana plasticidad, si el índice de plasticidad se encuentra en el rango 30-50 y arcillas de alta plasticidad o grasas si el índice plástico supera los valores de 50.

Tabla III.- Determinación de la plasticidad de las muestras ensayadas

	UM	Muestras				
		9 FM	10 FM	11 FM	12 FM	13 FM
Límite Líquido	(%)	31,9	42,7	37,4	32,88	27,67
Límite Plástico	(%)	20,0	26,1	23,3	22,32	20,59
Índice Plasticidad	-	11,9	16,6	14,1	10,56	7,68

Los resultados del índice plástico, en todas las muestras ensayadas, se corresponden con valores menores de 30, comportándose como materiales poco plásticos o arenosos. Cabe destacar que las muestras 10 FM y 11 FM se mostraron más laborables que las restantes.

• Conformación de las probetas.

El objetivo principal de la conformación de probetas es preparar a escala de laboratorio una masa consistente que represente las dosificaciones empleadas en las plantas de producción, y que asegure una uniformidad en los resultados de los ensayos posteriores, logrando una mejora de las propiedades mecánicas.

El proceso de elaboración de las probetas presentó problemas, pues las muestras se comportaron como materiales magros o desengrasantes (sustancias comunes, no plásticas, que se incluyen en las arcillas, como por ejemplo el cuarzo, feldespatos potásicos, rocas graníticas, arenas, chamota, etc, lo que conllevó a que se empleara mas agua en su conformación.

Con dificultades, y manteniendo un gran cuidado para el cumplimiento de las exigencias técnicas se elaboraron todas las probetas. Las cuales se aprecian en la foto 1.



Figura 1.- Probetas confeccionadas con cada tipo de muestra.

El secado es una fase fundamental en el proceso cerámico, consiste en evaporar el agua que se añadió, para poder conformar los objetos, controlando además las contracciones que se producen, nos permite trabajar una pieza en el tiempo, manteniendo su forma sin roturas, ni deformaciones, y sin que se agriete al perder la humedad.

Inicialmente las probetas se secaron de forma natural, es decir al aire, normalmente este proceso dura de 3 a 4 días lo suficiente para evitar problemas a la hora de hornear.

Este tiempo de duración de secado esta condicionado a que a medida que el agua se evapora, en su fase primaria, las partículas de arcilla se acercan más entre sí cerrando el espacio que estuvo 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, deformar o sufrir alabeos debido a que la parte exterior se seca casi completamente y se contrae, mientras que el interior queda húmedo.

Se efectuaron mediciones de las longitudes y los pesos de las probetas, los cuales fueron empleados en el cálculo del coeficiente de sensibilidad.

$$K_c = \frac{AP - AC}{AC}$$

El coeficiente de sensibilidad (K_c), depende de la plasticidad de la arcilla.

$K_c < 1$ Material arcilloso poco plástico y poco sensible al secado

$K_c = 1-1,8$ Material semiplástico y medianamente sensible al secado

$K_c = 1,8- 2,5$ Material plástico y sensible al secado

$K_c > 2,5$ Material muy plástico y muy sensible al secado

Todas las muestras presentaron un $K_c < 1$, correspondientes a materiales poco plásticos y poco sensibles al secado.

- **Contracción a la seca**

Después de secadas al aire, las probetas fueron colocadas en la estufa a la temperatura de 110°C , durante 24 horas, y posteriormente fueron pesadas nuevamente.

Las muestras 9FM, 12 FM y 13FM presentaron una superficie muy arenosa, siendo esta última la de peor textura superficial. En las muestras 10FM y 11FM no se observó agrietamiento en la superficie de las probetas, ni deformidades en sus lados.

La contracción a la seca se determina por:

$$Cs = \frac{Li - Lfs}{Li} \times 100\%$$

Cs – Contracción a la seca

Li – Longitud inicial de la marca con el pie de rey (5 cm.) antes de entrar en la estufa, mm

Lfs - Longitud final de la marca con el pie de rey después del secado en la estufa, mm

Tabla IV.- Resultados del ensayo de contracción a la seca de las muestras estudiadas.

Mediciones	UM	Identificación de las muestras				
		9FM	10 FM	11FM	12 FM	13 FM
Contracción a la seca	(%)	3,2	8,7	6,4	5,3	1,6

A excepción de la muestra 10FM que obtuvo valores dentro de los límites requeridos para la contracción a la seca en materiales cerámicos, el resto de las muestras presentan valores inferiores que no afectan las propiedades de la pasta cerámica en relación al secado.

• Contracción a la quema

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

De acuerdo a las temperaturas de quema se definirá el posible uso y el elemento cerámico que se fabrique en cada caso.

$$Cq = \frac{Lfs - Lfq}{Lfs} \times 100\%$$

Cq – Contracción a la quema, %

Lfs – Longitud final de la marca con el pie de rey después del secado en la estufa, mm

Lfq - Longitud de la marca con el pie de rey después del secado en la estufa, mm

Teniendo en cuenta las dificultades para elaborar las briquetas y que a la vista mostraban un acabado muy arenoso y poroso se estableció la temperatura inicial del horno desde los 600 °C, para evitar el posible desmoronamiento de las mismas.

Sin embargo las muestras adquirieron gran dureza al ser sometidas a las siguientes temperaturas de cocción 600°C, 650°C, y 700°C.

Tabla V.- Resultados del ensayo de contracción a la quema.

Muestras	Contracción a la quema / Temperatura (°C)		
	600	650	700
9FM	0.26	0.20	0.20
10FM	0.26	0.26	0.26
11FM	0.23	0.23	0.20
12FM	0.26	0.23	0.20
13FM	0.23	0.23	0.20

Después de la cocción el enfriamiento se realizó lenta y progresivamente para no producir agrietamientos ni tensiones internas, todas mantuvieron su forma, y mostraron un color carmelita claro, siendo mas tenue en la muestra 11FM y más intenso en la 13 FM, en la que además se observaron pequeñas grietas superficiales.



Figura 2.- Probetas confeccionadas con cada tipo de muestra y sometidas a la quema (700°C), obsérvese la coloración adquirida.

Los valores de contracción a la quema son bajos, lo cual es positivo. Esto pudiera explicarse porque en el caso de algunos materiales arcillosos que en su composición contienen arenas como impurezas se retiene la contracción porque sus partículas son poliédricas, y no son conductoras de agua. Lo cual no sucede así en los materiales cuyo comportamiento es cercano al de las arcillas puras, donde la contracción es alta, porque sus partículas son planas y son conductoras de agua.

• Absorción

Con este ensayo se determina la cantidad de agua que absorbe el elemento cerámico después de horneado, nos da una idea de la porosidad de la pieza.

La capacidad de absorción está directamente relacionada con características como la superficie específica y la porosidad. La absorción de agua se calcula con la siguiente formula:

$$A = \frac{P_i - P_h}{P_h} \times 100$$

A- Absorción de agua, %

P_i-Peso de la briqueta saturada en agua, g

P_h- Peso de la briqueta horneada, g

El % de absorción de agua para cada una de las muestras se muestra en la tabla siguiente.

Tabla VI.- Resultados del ensayo de absorción de las muestras estudiadas.

Muestras	Absorción / Temperatura (°C)		
	600	650	700
9FM	16.4	22.2	22.6
10FM	21.3	23.5	22.6
11FM	21.3	21.1	21.3
12FM	20.3	19.6	20.0
13FM	20.4	19.5	20.8

En el comportamiento normal de una arcilla, a medida que la pasta se acerca a la vitrificación con el aumento de la temperatura, su absorción debe disminuir. En el caso de las muestras ensayadas tienden a aumentar con la temperatura (9 y 10) o a mantener el valor de absorción (11, 12,13) con el incremento de la misma.

Esto pudiera asociarse a una falta de cohesión de las partículas, indicando que alguna fase mineralógica presente en las mezclas no se ha completado, debido a una cocción insuficiente de las

mismas, aspecto que puede influir en la porosidad, la absorción y la resistencia mecánica del producto acabado.

• Resistencias mecánicas

La resistencia mecánica caracteriza la capacidad de los objetos cerámicos de resistir golpes y cargas sin sufrir roturas durante su uso y manipulación, depende de modo directo del porcentaje del componente arcilla y granulometría.

La resistencia a la compresión para cada una de las muestras se expone a continuación:

Tabla VII.- Resultados de la resistencia a compresión de las muestras estudiadas.

Muestras	Resistencia a Compresión (Mpa) / temperatura (°C)		
	600	650	700
9FM	1,26	2,02	1,82
10FM	4,88	6,82	7,14
11FM	7,47	11,0	11,46
12FM	5,19	5,46	5,49
13FM	1,99	1,95	2,04

De forma general los valores de la resistencia no cumplen con las exigencias básicas que se especifican en la NC 54-160 para la resistencia a la compresión de 10-18 MPa para ladrillos grado B. Solo en el caso de la muestra 11 FM se cumplen estas especificaciones con valores muy discretos a las temperaturas de 650°C y 700°C.

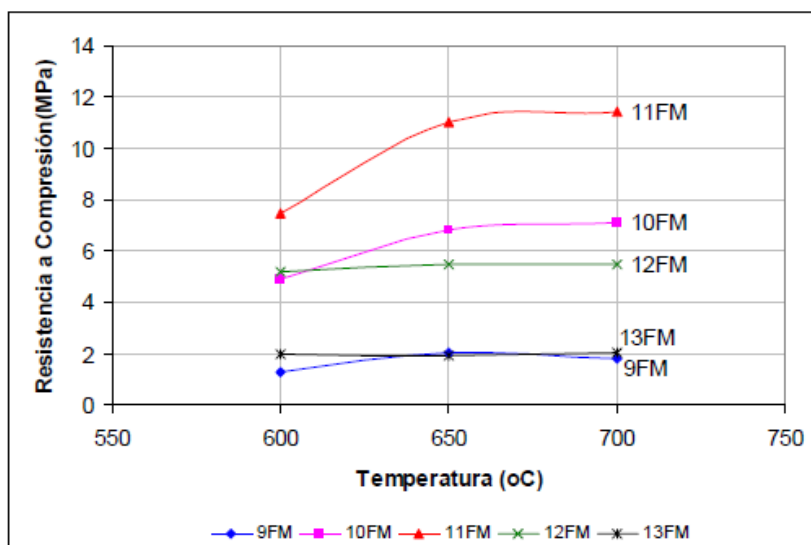


Figura 3.- Representación de la resistencia a compresión con la temperatura de quema en las muestras estudiadas.

Tabla VIII.- Resultados de la resistencia a flexión de las muestras estudiadas

Muestras	Resistencia a Flexión (Mpa) / Temperatura (°C)		
	600	650	700
11FM	2,11	1,78	2,29
12FM	1,17	1,15	1,15
9FM	0,43	0,39	0,37
10FM	1,65	1,28	1,54

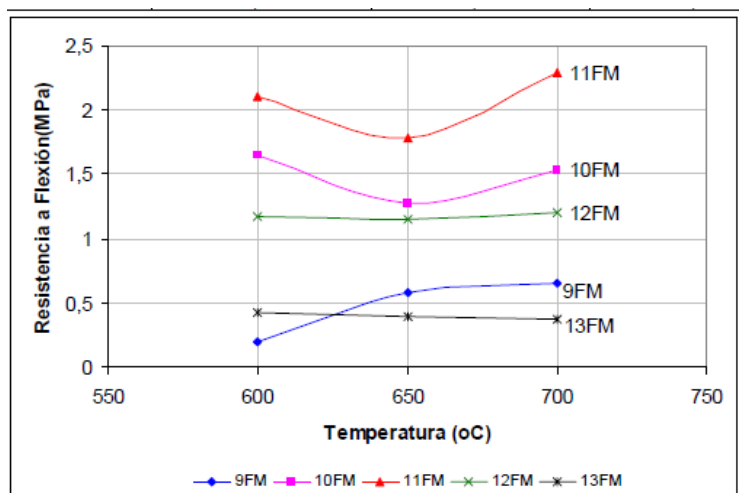


Figura 4.- Representación de la resistencia a flexión con la temperatura de quema en las muestras estudiadas.

DISCUSION DE RESULTADOS

Las cinco muestras evaluadas del yacimiento Mariel mostraron bajos por cientos de humedad, y presentan características semejantes a la de los materiales magros y de poca plasticidad. Aunque las muestras finalmente se conformaron con una terminación aceptable de forma general, se observó en las muestras 9 FM, 12 FM y 13 FM una superficie más arenosa con algunas grietas superficiales.

La muestra 13 FM presentó mayores retenidos en las fracciones granulométricas correspondientes a los materiales desgrasantes, no así con los retenidos de la fracción arcillosa, lo que afecta en gran medida sus propiedades plásticas.

El índice de plasticidad en todos los casos se comportó con valores por debajo de 30, típico de arcillas poco plásticas o magras, no obstante las muestras 10FM, y 11FM mostraron mejores resultados.

Todas las muestras presentaron un coeficiente de sensibilidad $K_C < 1$, correspondiente a materiales poco plásticos y poco sensibles al secado, es decir que industrialmente no sufren grandes cambios al secar. Para los materiales cerámicos el valor de la contracción a la seca oscila entre 8 -10 %, y se relaciona con humedad de formado y la plasticidad. Contracciones más elevadas pueden provocar grandes tensiones durante el secado.

El parámetro de la contracción a la quema solo lo cumple la muestra 10 FM, aunque no es un parámetro definitorio, para la utilización de las arcillas.

En las muestras restantes se comportó con valores relativamente bajos, siendo la muestra 13FM la de peor resultado.

Los valores de absorción obtenidos se corresponden con el rango permisible para la producción de ladrillos macizos (18- 25 %).

Las resistencias mecánicas no cumplen en todos los casos con las especificaciones de la norma cubana, solo la muestra 11FM obtuvo valores discretos de cumplimiento de este valor.

Las muestras mostraron colores de la gama del carmelita, resaltado en el caso de la muestra 13 FM que la coloración resultó más intensa propiciada por los contenidos de hierro y aluminio.

CONCLUSIONES

1. Para su empleo en la industria cerámica, estos materiales del yacimiento "La Manuela", no deben utilizarse de forma independiente, sino combinadas o mezcladas con distintos tipos de arcillas plásticas, fundentes, y otros materiales dependiendo del uso que se le quiera dar a la mezcla.
2. De manera general de acuerdo a sus características estos materiales pueden ser usados como desgrasantes en la producción de cerámica roja, para dotar a la pasta de una mejor resistencia en crudo, ayudar a soportar mejor los cambios de temperatura, mejorar la retracción al secarse la pasta, bajar el punto de fusión de algunas arcillas plásticas, para reducir su excesiva plasticidad, para aumentar la porosidad, y facilitar el secado del objeto, y por tanto la permeabilidad de la pieza.

RECOMENDACIONES

Se recomienda, completar los estudios de estos materiales realizando dosificaciones con arcillas plásticas, y ampliando el intervalo de temperaturas de quemas con las muestras ensayadas para validar su comportamiento por encima de 700°C.

BIBLIOGRAFIA.

- Compendio de Normas Cubanas. Oficina Nacional de Normalización. La Habana.
- Mazza y otros. "Principios Generales de la Cerámica", Italia, 1980.
- Pérez Mayo, H., M.A García, J. Cabrera, 2009. Proyecto para la evaluación preliminar de las rocas encajantes (destape) del yacimiento asphaltita Manuela. Informe de resultado. Instituto de Geología y Palenteología. La Habana
- Pérez Mayo, H., M. A. García, 2010. Informe final del proyecto evaluación preliminar de las rocas encajantes del yacimiento de asphaltita Manuela. Informe de resultado. Instituto de Geología y Palenteología. La Habana
- Singer F y Singer S. "Cerámica Industrial", Tomos 8, 9,10, Edición Olmo, España, 1971.
- UNE-EN 933-8:2000. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Evaluación de los finos. Ensayo de equivalente de arena. AENOR, España. 18p.