

CARACTERIZACIÓN DE ARCILLAS Y PREPARACIÓN DE PASTAS CERÁMICAS PARA LA FABRICACIÓN DE TEJAS Y LADRILLOS EN LA REGIÓN DE BARICHARA, SANTANDER

CHARACTERIZATION OF CLAYS AND PREPARATION OF CERAMIC PASTES FOR THE MANUFACTURE OF ROOFING TILES AND BRICKS IN THE REGION OF BARICHARA, SANTANDER

JOSÉ DARÍO SANTOS AMADO

Universidad Industrial de Santander

PEDRO YESID MALAGÓN VILAFRADES

Universidad Industrial de Santander

ELCY MARÍA CÓRDOBA TUTA

Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Universidad Industrial de Santander, ecordoba@uis.edu.co

Recibido para revisar marzo 27 de 2009, aceptado junio 2 de 2009, versión final julio 15 de 2009

RESUMEN: El objetivo de este trabajo fue caracterizar química, mineralógica, granulométrica, plástica y térmicamente tres arcillas, denominadas “Cascajo” (C), “Roja” (R) y “Amarilla” (A), procedentes de Barichara, Santander. Así como obtener pastas cerámicas aptas para la fabricación de ladrillos y tejas. Para lo cual se fabricaron probetas cerámicas por prensado, las cuales se sinterizaron a 1050°C y posteriormente se caracterizaron física y mecánicamente. Los resultados demostraron que la pasta de arcilla “Roja”, con contenido de agua entre 24 y 38%, es la más adecuada para la fabricación de tejas; ya que los cerámicos presentan baja absorción de agua (8.2%) y alto módulo de ruptura (9.3 MPa). Para la obtención de ladrillos se recomienda la pasta con mezcla de arcillas de 55% “Cascajo” y 45% “Amarilla”, con contenido de agua entre 23 y 32%, obteniéndose cerámicos con absorción de agua menor al 15% y módulo de ruptura mayor a 5 MPa.

PALABRAS CLAVE: Arcilla, ladrillo, teja, caracterización, pasta cerámica.

ABSTRACT: The aim of this work was to characterize chemical, mineralogical, granulometric, plastic and thermally three clays, named “Cascajo” (C), “Roja” (R) and “Amarilla” (A), proceeding from Barichara, Santander. As well as, to obtain ceramic pastes suitable for the manufacture of bricks and roofing tiles. For which ceramic test pieces were made by pressing, which were sintered to 1050°C and later they were physical and mechanically characterized. The results demonstrated that the paste of clay “Roja”, with water content between 24 and 38%, is the most adequate for the manufacture of roofing tiles; since the ceramics present low water absorption (8.2 %) and high rupture module (9.3 MPa). To obtain bricks it is recommended the paste with clays mixture of 55% “Cascajo” and 45% “Amarilla”, with water content between 23 and 32%; so, ceramics with water absorption minor to 15 % and rupture module bigger than 5 MPa are obtained.

KEYWORDS: Clay, Brick, roofing tile, characterization, ceramic paste.

1. INTRODUCCIÓN

Las arcillas constituyen la principal materia prima para la fabricación de cerámicos de construcción. Éstas aparecen en todo tipo de formación rocosa, desde la más antigua a la más reciente, y en formaciones ígneas y sedimentarias de todo tipo [1]; como consecuencia de ello, sus características físicas, químicas y mineralógicas varían ampliamente, incluso entre las capas de un mismo depósito arcilloso. Por tanto, en cualquier industria cerámica el control de la calidad de los productos empieza por la caracterización y control de la calidad de sus arcillas.

Una de las características más importantes a evaluar en las arcillas es la composición química y mineralógica, dado que ella influye directamente en las propiedades de los cerámicos obtenidos. Por ejemplo, arcillas con alto contenido de caolinita van a permitir obtener productos cerámicos con carácter refractario, coloración clara y buena resistencia mecánica, mientras que altos contenidos de illita y montmorillonita confieren alta plasticidad a las pastas cerámicas, lo que se traduce en un fácil conformado de las piezas, pero también en una gran contracción de las mismas durante el secado y la sinterización, lo cual puede llevar a la formación de grietas [2]; en tales casos se debe agregar material desgrasante (arena) para ajustar la plasticidad de la pasta.

Por tanto, la plasticidad es otro parámetro importante a controlar; entendiéndose ésta como la propiedad que tienen las arcillas de formar una masa plástica con el agua. Uno de los métodos más sencillos para determinar tal propiedad es el de los límites de Atterberg [3], que comprenden el límite líquido (% de humedad que posee un suelo cuando se halla en el límite entre el estado líquido y estado plástico), límite plástico (el cual corresponde a la menor humedad a la cual un suelo se puede moldear) e índice de plasticidad, que es la diferencia de los dos límites anteriores e indica el intervalo de trabajabilidad de la arcilla.

La distribución granulométrica es otra variable de suma importancia, dado que de ella va a depender el grado de empaquetamiento de las partículas y, por tanto, las propiedades físico-mecánicas de los cerámicos (porosidad, absorción de agua, resistencia a la flexión, etc.). Por otro lado, la distribución granulométrica permite predecir el carácter plástico o desgrasante de la arcilla, teniendo en cuenta que el material arcilloso tiene tamaños de partículas pequeños, del orden de unas pocas micras, mientras que la fracción desgrasante o arenosa tiene un tamaño de partícula mucho mayor.

La caracterización de las arcillas también debe comprender su análisis térmico, como termogravimetría (TG), análisis térmico diferencial (ATD) y calorimetría diferencial de barrido (DSC). La gran importancia de estos análisis radica en que gracias a ellos se pueden predecir diversos fenómenos térmicos que tienen lugar durante la cocción de las arcillas, tales como cristalización de fases, reacciones en estado sólido, deshidratación, fusión, oxidación, etc.

Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente trabajo se presentan los resultados de un estudio de caracterización de tres de las principales arcillas de la vereda Guayabal del municipio de Barichara, Santander; así como de la selección de las más aptas para la fabricación de productos cerámicos (específicamente tejas y ladrillos). Para finalmente establecer las mejores condiciones operacionales para la preparación de las pastas cerámicas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización de las arcillas

Las arcillas estudiadas en el presente trabajo provienen de un yacimiento ubicado en la vereda Guayabal en jurisdicción del municipio de Barichara del departamento de Santander; ocupando un área de 397.86 hectáreas, con reservas mineras de

29'714.587 de toneladas, las cuales son explotadas por la Asociación de Artesanos y Alfareros de la Vereda Guayabal "ASOGUAYABAL". Estas arcillas constituyen la formación geológica Simití, correspondiente al Cretáceo Inferior. Las arcillas varían de color desde amarillas abigarradas, rojizas, grises hasta verdosas, su espesor supera los 15 metros y se encuentran conformadas principalmente por granos de tamaño arcilla con presencia de limos y muy ocasionalmente arenisca muy fina [4].

Para el desarrollo de la investigación se recolectaron cerca de 100 Kg de cada tipo de arcilla desde diversos puntos de los frentes de explotación del yacimiento arcilloso. Luego del secado al ambiente de tales muestras, éstas se disgregaron con ayuda de una porra y, finalmente, se obtuvieron muestras de aproximadamente 5 Kg mediante roleos y cuarteos sucesivos.

Las arcillas estudiadas son conocidas en la vereda Guayabal como "Cascajo", "Roja" y "Amarilla", las cuales se denominarán a lo largo de todo el trabajo como C, R y A, respectivamente. Se caracterizaron mineralógicamente por DRX, químicamente por FRX, granulométricamente por tamizaje y fotosedimentación, previa estabilización de las pulpas arcillosas usando pirofosfato de sodio como dispersante (la estabilización de las pulpas fue controlada a través de la medida del potencial zeta a diferentes valores de pH; para lo cual se usó el equipo Zetameter System 3.0+).

Las arcillas también fueron caracterizadas térmicamente por ATD-TG; finalmente se determinó su plasticidad por el método de Atterberg [1], con ayuda de la cazuela de Casagrande y siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D4318-05 [3].

2.2 Preparación y evaluación de las pastas cerámicas

Las pastas fueron preparadas con las arcillas puras y con diferentes mezclas de las arcillas, buscando obtener las características adecuadas para la producción de tejas y ladrillos de buena calidad. Todas las pastas cerámicas fueron preparadas, conformadas, secadas, sinterizadas y caracterizadas conforme se describe a continuación:

2.2.1 Mezclado

Las arcillas se disgregaron manualmente y se elaboraron las mezclas respectivas. Se agregó agua, en

cantidad de 5 puntos por encima del límite plástico, se amasó manualmente hasta conseguir una consistencia uniforme. Posteriormente, las pastas se sometieron a un proceso de maduración durante 24 horas para garantizar la máxima plasticidad de las mismas.

2.2.2 Conformado

Se fabricaron probetas por prensado de las pastas a 20 Psi, en dos tamaños: 2cm x 5cm x 10cm, para determinar la densidad aparente y la absorción de agua, según norma ASTM C20-00 [5] y de 4in x 1in x 0.5 in, para los ensayos mecánicos, teniendo en cuenta las recomendaciones de la norma ASTM C674-88 [6] para la determinación del módulo de ruptura.

2.2.3 Secado

Se realizó de manera mixta en tres etapas: al ambiente, en estufa a 50°C y en estufa a 105°C, con un tiempo de permanencia de 24 horas para cada una de ellas. Esto, con miras a evitar agrietamientos durante la cocción, por la eliminación brusca del agua.

2.2.4 Cocción

Se llevó a cabo en una mufla, marca TERRÍGENO modelo 08 serie 2094. Las condiciones operacionales para esta etapa fueron seleccionadas de acuerdo a la literatura [7 y 8]. La temperatura de sinterización fue de 1050°C, debido a que a ella se garantiza que se ha iniciado la formación de mullita; velocidad de calentamiento de 2°C/min, que es suficientemente baja para evitar cambios bruscos de temperatura durante la cocción, tiempo de permanencia de dos horas para asegurar que se den las transformaciones en la arcilla.

Finalmente, los cerámicos obtenidos con las diferentes pastas se caracterizaron física y mecánicamente, mediante la determinación de la absorción de agua y la densidad aparente (norma ASTM C20-00 [5]). Así como mediante la determinación del módulo de ruptura (norma ASTM C674-88 [6]).

2.3 Selección de las pastas más adecuadas para elaborar tejas y ladrillos

Teniendo en cuenta que las tejas y los ladrillos cumplen diferentes funciones, y por tanto tienen diferentes requisitos de calidad, se utilizó el cumplimiento de las normas NTC 2086 [9] y NTC 4205 [10] como criterio para la selección de las pastas más adecuadas para la fabricación de tejas y ladrillos, respectivamente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Caracterización de las arcillas

3.1.1 Composición mineralógica y química mediante Difracción y Fluorescencia de Rayos X

En la figura 1 se presentan los difractogramas de las tres arcillas de estudio: “Cascajo” (C), “Roja” (R) y “Amarilla” (A). Todas las arcillas presentaron en común las especies mineralógicas: Cuarzo, Caolinita e Illita, siendo estos dos últimos los minerales arcillosos que confieren propiedades plásticas a las pastas. No obstante, es evidente que la arcilla A está compuesta principalmente por cuarzo, es decir que realmente es un material arenoso, que podría utilizarse como material desgrasante para la preparación de las pastas. Las arcillas C y R presentan anatasa y hematita, minerales que confieren color rojo en la cocción a las pastas cerámicas.

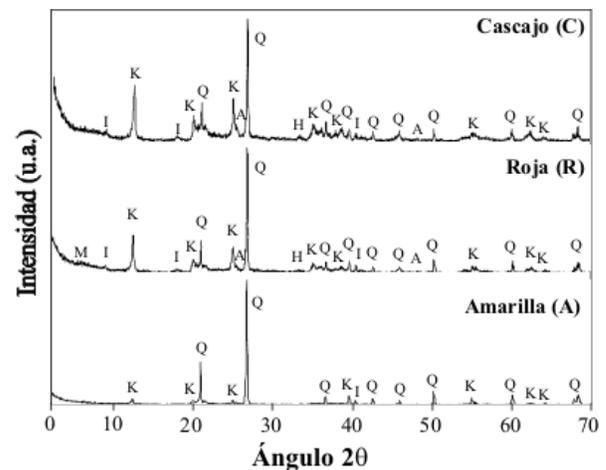


Figura 1. Difractogramas de las arcillas (Q: cuarzo, K: caolinita, I: illita, H: hematita, A: anatasa, M: montmorillonita)

Figure 1. Difractograms of the clays (Q: quartz, K: kaolinite, I: illite, H: hematite, A: anatase, M: montmorillonite)

Los análisis químicos elementales de las tres arcillas se presentan en la tabla 1. Teniendo en cuenta que una arcilla apta para la fabricación de cerámicos de construcción debe tener un contenido de SiO₂ entre 50 y 60%, así como entre 20 y 30 % de Al₂O₃ [11], las arcillas A y C, por sí solas, no son las más apropiadas para la fabricación de este tipo de cerámicos. La arcilla A porque excede el nivel de SiO₂ y no alcanza el nivel de Al₂O₃ requerido, y la arcilla C por no alcanzar los niveles de sílice especificados.

Tabla 1. Análisis químico de las arcillas por FRX

Table 1. Chemical analysis of the clays by FRX

Analito	Contenido en las arcillas (%)		
	C	R	A
SiO ₂	46.017	52.912	65.629
Al ₂ O ₃	29.576	26.706	19.444
Fe ₂ O ₃	7.472	6.993	4.590
K ₂ O	2.027	1.428	0.567
SO ₃	1.337	1.129	1.169
TiO ₂	1.158	0.945	0.732
MgO	0.302	0.543	0.056
V ₂ O ₅	0.067	0.000	0.000
P ₂ O ₅	0.053	0.021	0.740
CaO	0.034	0.543	0.022
ZrO	0.019	0.030	0.053
SrO	0.015	0.017	0.008
MnO	0.010	0.004	0.000
ZnO	0.006	0.014	0.010
CO	9.400	6.470	6.200
H ₂ O	2.500	2.500	1.430
Na ₂ O	< 0.1	< 0.1	< 0.1

No obstante, la composición de estas dos arcillas no se aleja mucho del rango óptimo, además dicha composición puede alcanzarse fácilmente con la mezcla de tales arcillas. Por su parte, la arcilla R, por su composición química, podría utilizarse sin mezclarla con otras.

Por su alto contenido de Al₂O₃, cercano al 30%, la arcilla C podría llegar a ser usada para la elaboración de ladrillos refractarios, esto siempre y cuando responda positivamente a procesos de beneficio que permitan eliminar en gran medida las impurezas (como Fe y Ti), dado que los óxidos de estos metales bajan el punto de fusión de los refractarios [12]. En tales procesos de beneficio, también se tendría que eliminar parte de la sílice presente, de tal manera que el cerámico producido tenga un alto contenido de mullita (3Al₂O₃.2SiO₂), teniendo en cuenta que esta fase le concede las mejores propiedades refractarias y de resistencia mecánica a los refractarios silico aluminosos [13].

3.1.2 Estabilidad de las pulpas arcillosas

Las curvas de potencial zeta vs. pH se presentan en la figura 2, en ausencia y presencia de dispersante (pirofosfato de sodio al 0.5% p/p). Sin adición de dispersante se observa, para todos los casos, que el potencial zeta aumenta con el aumento del pH, lo cual implica una mayor estabilidad de las pulpas. No obstante, la estabilidad de la arcilla R sólo alcanza a considerarse como moderada [14], con valores de potencial zeta entre 31 y 40 mV. Por tanto es evidente la necesidad de usar un dispersante. La adición de pirofosfato de sodio aumenta el potencial zeta, alcanzándose una buena estabilidad, con valores entre 41 a 50 mV en todos los casos.

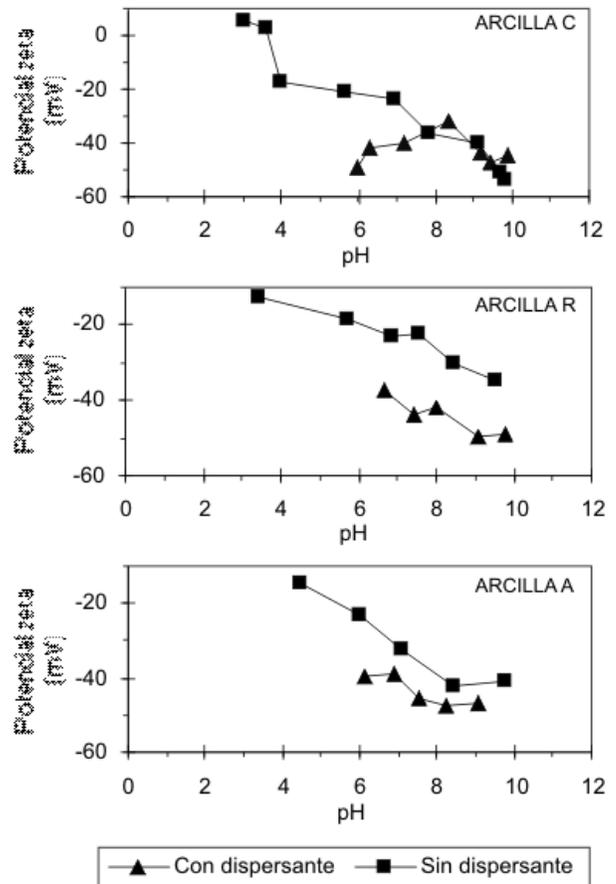


Figura 2. Potencial zeta de las arcillas
Figure 2. Zeta potential of the clays

De estos resultados se infiere que los valores de pH adecuados para estabilizar las pulpas, en presencia de pirofosfato de sodio, son 9.5, 9.8 y 8.5 para las arcillas C, R y A respectivamente.

3.1.3 Análisis Granulométrico

En la figura 3 se presentan las curvas de distribución de tamaño de partículas de las arcillas, obtenidas por tamizaje en húmedo y fotosedimentación de pulpas estabilizadas bajo las condiciones establecidas anteriormente.

Considerando la fracción arenosa de un suelo como aquella parte del material que posee un tamaño de partícula mayor o igual a 20 micrómetros [15], se puede deducir que las fracciones arenosas de las arcillas son: 12% para C, 20% para R y 100% para A. Estos resultados ponen de manifiesto el carácter desgrasante de la arcilla Amarilla, así como la mayor presencia de material arcilloso en la arcilla Cascajo.

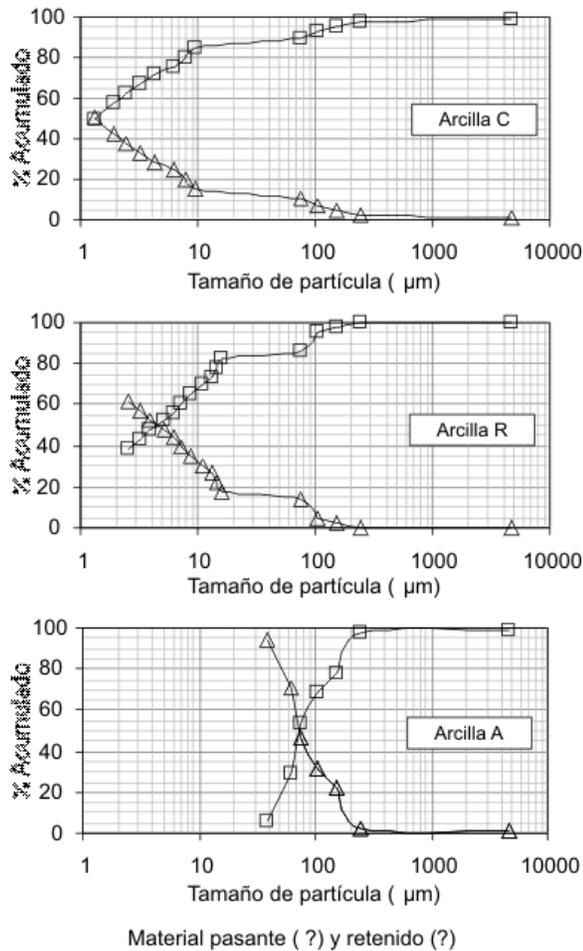


Figura 3. Distribución granulométrica de las arcillas
Figure 3. Granulometric distribution of the clays

3.1.4 Análisis Térmicos

Los resultados de los análisis TG y ATD se presentan en la figura 4, en ellos se evidencian picos similares en las tres arcillas. En los ATD se observa un primer pico endotérmico (I), común a todas las arcillas, entre los 40 y 50°C, y un segundo pico endotérmico (II) en la arcilla R a la temperatura de 160°C. Ambos picos son producto de la pérdida de agua higroscópica, no constitucional o libre [15]. Esta pérdida de agua se refleja también en las curvas termogravimétricas, por la marcada pérdida de peso a estas bajas temperaturas.

La aparición del pico II en el termograma de la arcilla R está relacionada con la presencia de montmorillonita; considerándose que en el rango de temperatura entre los 150 y 260°C ocurre la evolución del agua ubicada entre las capas de dicho mineral, así como la del agua de hidratación de los iones adsorbidos [1].

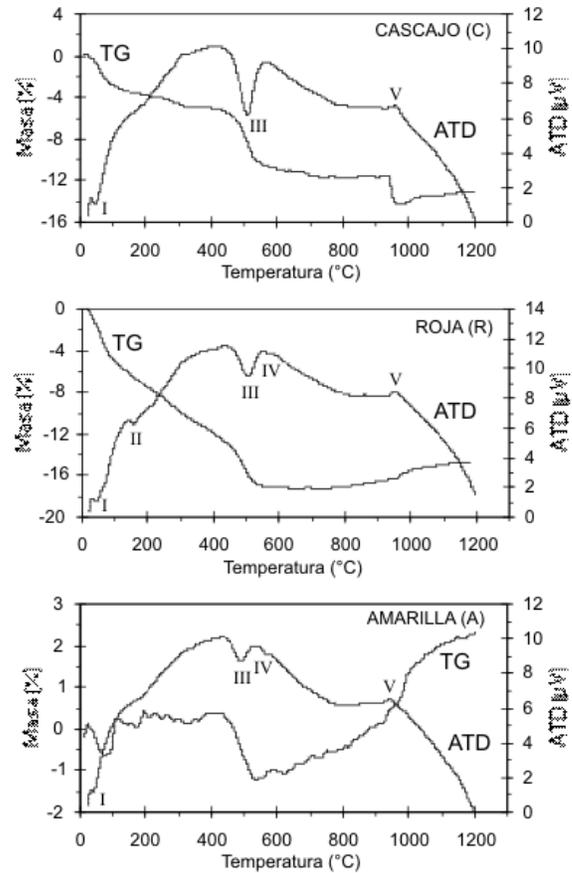


Figura 4. Curvas ATD y TG de las arcillas
Figure 4. ATD and TG curves of the clays

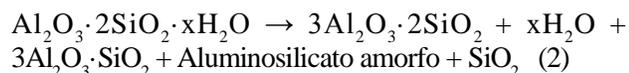
Entre las temperaturas de 450 y 550°C se observa en los ATD un tercer pico endotérmico (III) y en los TG pérdida de peso. Esto se debe a que los iones OH⁻ son liberados de la red cristalina en forma de vapor de agua, generando, en el caso de la caolinita, el rompimiento de la estructura cristalina, para dar paso a una fase amorfa llamada metacaolín (Al₂Si₂O₇) [1]:



El cuarto pico endotérmico (IV) se observa a los 570°C en las arcillas R y A, el cual es debido a la transformación del cuarzo α a cuarzo β, la cual teóricamente ocurre a los 573°C [16]. En la arcilla C no se alcanza a desarrollar este pico, por su menor contenido de cuarzo.

La mullita (3Al₂O₃·2SiO₂), una de las fases más importantes en los materiales cerámicos, debido a las propiedades que le infiere al material, normalmente se empieza a formar a 980°C por medio de una reacción exotérmica. Si se observan las curvas ATD,

la formación de dicha fase estaría representada en el pico (V), entre las temperaturas de 950 y 970°C, donde ocurre la siguiente reacción [13]:



La formación de mullita por encima de los 950°C fue confirmada por difracción de rayos X, tal como se observa en el difractograma de la figura 5 (correspondiente al cerámico obtenido con la arcilla Roja luego de su cocción a 1050°C).

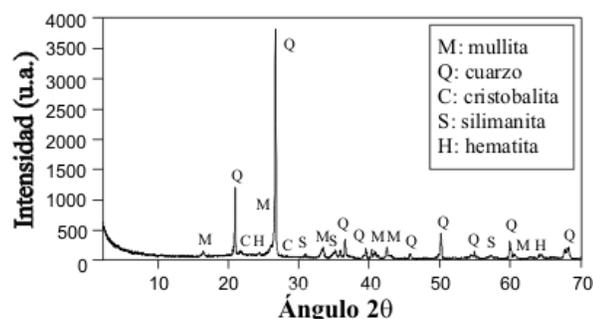


Figura 5. Difractograma de la arcilla Roja cocida a 1050°C
 Figure 5. Difractogram of the clay Roja fired at 1050°C

Por tanto, se concluye de esta etapa de caracterización que las arcillas presentan un comportamiento típico durante su calentamiento hasta 1200°C. Siendo las principales transformaciones las siguientes: pérdida de agua higroscópica, formación de metacaolín, transformación del cuarzo α a cuarzo β y formación de mullita.

3.15 Plasticidad

Los límites de Atterberg: Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de las arcillas, se presentan en la tabla 2. Con estos parámetros se puede conocer si la plasticidad de cada arcilla es baja, media o alta, ubicándolos sobre el diagrama de Casagrande [17], como se observa en la figura 6.

Tabla 2. Límites de Atterberg para las arcillas puras
 Table 2. Atterberg's limits for the pure clays

	Arcillas		
	C	R	A
Límite plástico (LP)	25.0	23.5	17.1
Límite líquido (LL)	41.3	38.2	-
Índice de plasticidad (Ip)	16.3	14.7	-

El límite líquido de la arcilla A no aparece registrado en la tabla 2 ni en el diagrama de Casagrande (figura 6), porque al contener gran cantidad de sílice, esta no

absorbe el agua suficiente para que la arcilla adquiriera la plasticidad necesaria para realizar el ensayo, lo que la convierte en una materia prima desgrasante (no plástica). Las otras dos arcillas se ubicaron en el rango de arcillas inorgánicas de mediana plasticidad, con índice de plasticidad superior a 10%, por lo cual se pueden considerar como apropiadas para la fabricación de cerámicos de construcción [2].

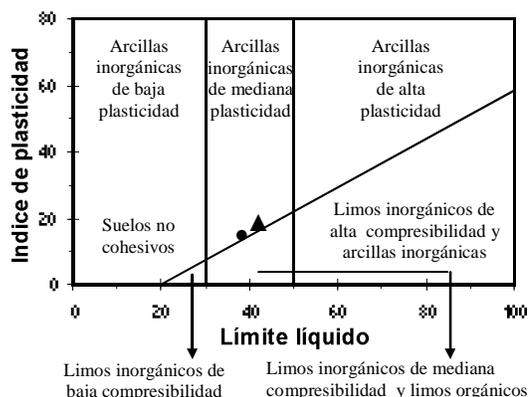


Figura 6. Diagrama de Casagrande (C (▲) y R (●))
 Figure 6. Casagrande's Diagram (C (▲) and R (●))

Estos resultados están en perfecta concordancia con los análisis granulométricos de las arcillas (figura 3), cumpliéndose que un mayor contenido de partículas finas implica mayor contenido de material arcilloso y mayor área superficial [18], y por ende mayor plasticidad de las mismas (tal es el caso de la arcilla C). Por el contrario, un mayor tamaño de partícula está relacionado con mayor contenido de material desgrasante y por tanto, menor plasticidad (caso de la arcilla A).

3.2 Selección de arcillas para la elaboración de pastas cerámicas

Tal como se concluyó en el apartado 3.1.1, por su composición, la arcilla pura más adecuada para la fabricación de cerámicos de construcción sería la R. También es posible obtener buenos cerámicos con una mezcla de las arcillas C y A, dado que la primera está enriquecida en Al₂O₃ y la segunda en SiO₂, y su mezcla cumpliría con los requisitos químicos para la fabricación de cerámicos de alta calidad [11].

Ahora bien, por su distribución granulométrica e índice de plasticidad, las arcillas C y R tienen la plasticidad adecuada para su conformado. Por lo que se decidió llevar a cabo el estudio de preparación de

pastas cerámicas con las arcillas R y C puras y la mezcla C-A en varias proporciones.

3.3 Preparación y evaluación de las pastas cerámicas

Se prepararon pastas de 100% R (R), 100% C (C) y varias mezclas entre C y A (expresadas como porcentajes en peso). Teniendo en cuenta que en la vereda Guayabal (Barichara) los artesanos utilizan proporciones de 50%C-50%A, se decidió hacer un barrido cercano a esta proporción tomando valores inferiores, tal como 40% C-60% A (40C) y superiores, tal como 55% C-45% A (55C) y 60% C-40% A (60C) para elaborar las pastas cerámicas.

3.3.1 Obtención de pastas con las arcillas puras R y C

Las pastas elaboradas a partir de una sola arcilla, presentan comportamientos distintos. La arcilla R tiene buena trabajabilidad y las piezas presentan buena calidad de la superficie después del moldeo y la cocción, es decir no presentan grietas ni fisuras (figura 7); además los cerámicos obtenidos con esta pasta son de color rojo oscuro. El valor de absorción de agua fue 8.2% (figura 8a), el cual cumple con los requerimientos para la elaboración de tejas, que según la norma NTC 2086 debe ser menor de 10%. El módulo de ruptura para estos cerámicos fue de 9.3 MPa (figura 8b), por lo que también cumplen con los requerimientos de resistencia mecánica, es decir módulo de ruptura superior a 5 MPa [19, 20 y 21].

Por su parte, la arcilla C también se pudo moldear bien y las pastas resistieron todo el proceso de elaboración de las probetas, las cuales no presentaron fisuras, ni grietas. Sin embargo, el color de los cerámicos es muy claro (figura 7), color característico de las arcillas ricas en caolinita.

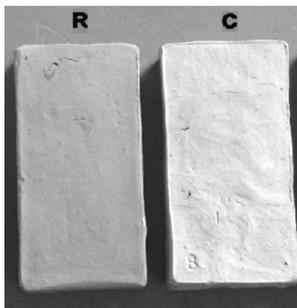


Figura 7. Cerámicos obtenidos con arcillas puras
Figure 7. Ceramics obtained with pure clays

La pálida coloración de éstos cerámicos constituye una desventaja para la fabricación de tejas, teniendo en

cuenta que éstas cumplen un importante papel estético en las construcciones, tanto así que es frecuente, en el comercio, el rechazo de tejas que no tengan el típico color terracota. No obstante, la absorción de agua de 10.9% (figura 8a) cumple los requerimientos para la elaboración de ladrillos, que de acuerdo a la norma NTC 4205 debe ser menor de 15%. El módulo de ruptura fue de 9.2 MPa (figura 8b), cumpliendo ampliamente con el requisito mínimo de 5 MPa.

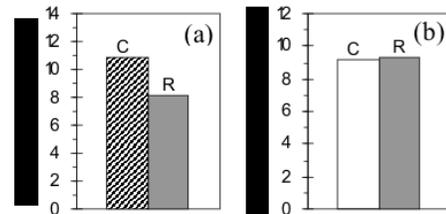


Figura 8. Caracterización físico-mecánica de los cerámicos obtenidos con arcillas puras
Figure 8. Physical-mechanical characterization of the ceramics obtained with pure clays

3.3.2 Obtención de pastas con las mezclas de arcillas C y A

En primer lugar, se determinó la plasticidad de cada una de las mezclas propuestas, los resultados se presentan en la tabla 3, donde se comparan con los resultados de plasticidad de la arcilla C pura.

Tabla 3. Plasticidad de las mezclas de arcillas C y A
Table 3. Plasticity of the mixtures of clays C and A

Mezclas	Límite líquido	Límite plástico	Índice de plasticidad
40% Cascajo (40C)	31.4	21.5	9.1
50% Cascajo (50C)	32.7	23.5	9.2
55% Cascajo (55C)	32.1	22.7	9.4
60% Cascajo (60C)	36.9	23.6	13.3
100% Cascajo (C)	41.3	25.0	16.3

Como era de esperarse, la plasticidad de la pasta disminuye notablemente al aumentar el contenido de arcilla A, la cual tiene un carácter netamente desgrasante. El índice de plasticidad pasa de 16.3 para la arcilla C pura a 9.1 para la mezcla 40% C y 60% A.

También se observa (figura 9a) que la absorción de agua disminuye al aumentar la cantidad de arcilla C, obteniéndose valores de absorción de agua superiores al 15% cuando el contenido de arcilla C es menor o

igual al 50%. Es decir, que tan solo las mezclas 55C y 60C cumplen con el requisito de absorción de agua para la fabricación de ladrillos.

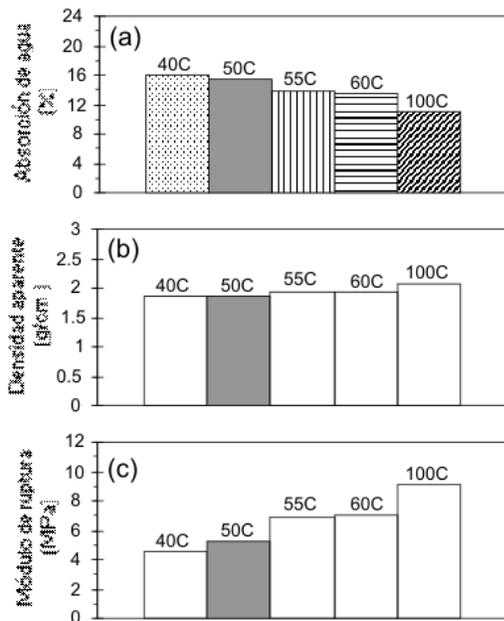


Figura 9. Caracterización físico-mecánica de los cerámicos obtenidos con las mezclas de arcillas C y A
Figure 9. Physical-mechanical characterization of ceramics obtained with mixtures of the clays C and A

Los resultados también señalan una mayor densificación de los cerámicos al aumentar el contenido de arcilla C en la pasta (figura 9b), lo cual es debido a la gran presencia de partículas gruesas en la arcilla A, que dificulta la adecuada compactación de las partículas durante el conformado.

En cuanto a la resistencia mecánica (figura 9c), es evidente que ésta aumenta con el incremento del contenido de arcilla Cascajo. Para cumplir el requerimiento mínimo de 5 MPa en el módulo de ruptura, el contenido máximo de arcilla Amarilla en la mezcla debe ser de 50%.

3.4 Selección de las pastas cerámicas más adecuadas para la fabricación de tejas y ladrillos

Los cerámicos de arcilla R poseen buena textura y color, además su absorción de agua (8.2%) y módulo de ruptura (9.3 MPa) cumplieron con los estándares exigidos para la fabricación de tejas, por tanto la arcilla Roja es la más adecuada para la elaboración de tales productos.

Teniendo en cuenta que tan sólo las pastas 55C (55% Cascajo - 45% arcilla Amarilla) y 60C (60% Cascajo - 40% arcilla Amarilla) cumplen con los estándares de calidad para la fabricación de ladrillos (absorción de agua inferior al 15% y módulo de ruptura superior a 5 MPa), dichas pastas son las recomendadas para la fabricación de ladrillos en la vereda Guayabal.

4. CONCLUSIONES

Según el diagrama de Casagrande, las arcillas Cascajo y Roja se clasifican como arcillas inorgánicas de mediana plasticidad, mientras que la arcilla Amarilla es arenosa o desgrasante.

La arcilla “Amarilla” por sí sola no tiene la plasticidad necesaria para la elaboración de pastas cerámicas, sin embargo al mezclarse con la arcilla “Cascajo” en proporción de 55%C-45%A se puede usar para la fabricación de cerámicos de construcción.

La arcilla “Roja” por su color, textura, absorción de agua y resistencia mecánica es la mejor opción para la fabricación de tejas. Mientras que la mezcla de 55% arcilla Cascajo y 45% de arcilla Amarilla puede ser usada para la fabricación de ladrillos de construcción.

La pasta de 55% “Cascajo” y 45% “Amarilla”, debe ser elaborada con una adición de agua entre 22.5% (límite plástico) y 32.1% (límite líquido). Mientras que la pasta de arcilla Roja requiere de mayor contenido de agua, entre 23.5% (límite plástico) y 38.2% (límite líquido), para alcanzar las condiciones de plasticidad adecuadas para su conformado.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la Universidad Industrial de Santander por la financiación de esta investigación, a través del proyecto 5426: “Diseño de un procedimiento sistematizado para la fabricación de tejas y ladrillos con las arcillas de la vereda Guayabal del municipio de Barichara”.

REFERENCIAS

- [1] BARBA, A., BELTRÁN, V., FELIU, C., GRACIA, J., GINES, F., SÁNCHEZ, E. Y SANZ, V. Materias primas para la fabricación de soportes de baldosas cerámicas. Instituto de Tecnología Cerámica, Castellón, España, 1997.

- [2] VIEIRA, C.M.F., SÁNCHEZ, R. and MONTEIRO, S.N. Characteristics of clays and properties of building ceramics in the state of Rio de Janeiro, Brazil, *Construction and Building Materials*, 22, 781-787, 2008.
- [3] NORMA ASTM D 4318-05, Standard Test Methods for Liquid limit, Plastic Limit, and Plasticity index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2005.
- [4] FUENTES, E.D., ACESIO, I. Diseño del método de explotación a cielo abierto para el yacimiento de arcilla de la Asociación de Artesanos y Alfareros de la Vereda Guayabal "Asoguayabal" municipio de Barichara, Santander [Trabajo de Grado]. Sogamoso: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2008.
- [5] NORMA ASTM C20-00, Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shape for Boling Water, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2000.
- [6] NORMA ASTM C674. Standard Test Methods for Flexural Properties of Ceramic Whiteware Materials. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 1988.
- [7] SAHNOUNE, F., CHEGAAR, M., SAHEB, N., GOEURIOT, P. AND VALDIVIESO, F. Algerian kaolinite used for mullite formation, *Applied Clay Science*, 38, 304-310, 2008.
- [8] CULTRONE, G., SEBASTIÁN, E., ELERT, K., DE LA TORRE, M. J., CAZALLA, O. AND RODRIGUEZ-NAVARRO, C. Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks, *Journal of the European Ceramic Society* 24, 547-564, 2004.
- [9] NORMA NTC 2086, Tejas de arcilla, Normas Técnicas Colombianas (ICONTEC), Bogotá, 2008.
- [10] NORMA NTC 4205, Ladrillos y bloques cerámicos, Normas Técnicas Colombianas (ICONTEC), Bogotá, 2000.
- [11] ELÍAS, X., Curso de optimización de procesos cerámicos industriales, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, 2001.
- [12] MAHMOUDI, S., SRASRA, E. AND ZARGOUNI, F. The use of Tunisian Barremian clay in the traditional ceramic industry: Optimization of ceramic properties *Applied Clay Science*, 42, Issues 1-2, 125-129, 2008.
- [13] MORALES, J. Tecnología de los materiales cerámicos. Ediciones Díaz de Santos. Madrid, España, 2005.
- [14] RIDDICK, T. M. Control of Colloid Stability Through Zeta Potential, Zeta-Meter. Inc., New York, 1981.
- [15] VIEIRA, C.M.F., SÁNCHEZ, R. AND MONTEIRO, S.N. Characteristics of clays and properties of building ceramics in the state of Rio de Janeiro, Brazil, *Construction and Building Materials*, 22, Issue 5, 781-787, 2008.
- [16] RICHEERSON, D.W. Modern Ceramic Engineering. Taylors & Francis Group. Boca Ratón, USA, 2006.
- [17] DUITAMA, L., ESPITIA, C., MOJICA, J., QUINTERO, J. Y ROMERO, F. Composición mineralógica y química de las arcillas empleadas para cerámica roja en las zonas de Medellín, Itagüí y Amagá, *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 28, 555-564, 2004.
- [18] MODESTO, C., BERNARDIN, A.M. Determination of clay plasticity. Indentation method versus Pfefferkorn method, *Applied Clay Science*, 40, 15-19, 2008.
- [19] BARZAGHI, L., SALGE, A. Resistência a Flexão e Moldagem de Argilas, *Cerâmica*, 28, 15-17, 1982.
- [20] MENEZES, R.R., DE ALMEIDA, R.R., SANTANA, L.N.L., FERREIRA, H.S., NEVES, G.A., FERREIRA, H.C. Utilização do Resíduo do Beneficiamento do Caulim na Produção de Blocos e Telhas Cerâmicos, *Matéria*, 12, 1, 226-236, 2007.
- [21] MACEDO, R.S., MENEZES, R.R., NEVES, G.A., FERREIRA, H.C. Estudo de argilas usadas em cerâmica vermelha, *Cerâmica*, 54, 411-417, 2008.