

ELABORACIÓN DE BALDOSAS CON COLORES NATURALES PARA APLICACIONES EN LA CONSTRUCCIÓN CIVIL

⁽¹⁾ T. G. Machado, ⁽¹⁾ U. U. Gomes, ⁽²⁾ F. M. Monteiro,
⁽²⁾ G. G. da Silva, ⁽²⁾ E. Harima

⁽¹⁾ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN/PPGCEM,
Natal/Brasil

⁽²⁾ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN, IFRN
Natal/Brasil

RESUMEN

En el estado de Rio Grande do Norte - Brasil, la producción de cerámicas ocupa una posición de relevancia en la industria de bienes de equipo, contribuyendo al desarrollo de la economía local, que básicamente se centra en la fabricación de baldosas, ladrillos y pavimentos de cerámica roja. Según el mapa geológico más reciente de Rio Grande do Norte, existen más de 2.000 puntos que producen algún tipo de mineral. En este respecto la región de Rio Grande do Norte se caracteriza por la presencia de arcillas de colores naturales, que incorporan diferentes óxidos, los que a su vez son los elementos que producen la variedad de colores (blanco, beige, púrpura y anaranjado, entre otros), principalmente en la región costera. La variedad de tonos en las arcillas se debe a la presencia de óxidos como el titanio. En función del tiempo y de la temperatura de cocción, es posible conseguir diferentes colores, sin que exista la necesidad de añadir otros óxidos, pigmentos o colorantes cerámicos para el acabado de las piezas. El objetivo de este estudio

consiste en analizar la elaboración de baldosas utilizando soportes cerámicos de arcillas caoliníticas mezcladas con colores naturales. De este modo, hemos elaborado cuatro grupos de muestras con porcentajes de 20, 30, 40 y 50% de arcillas de colores naturales. Las muestras fueron sometidas a un proceso de sinterización a temperaturas de 900°C, 1000°C y 1100°C. Posteriormente se realizaron ensayos de colorimetría, porosidad, plasticidad, análisis térmico y microscopía óptica para los productos finales obtenidos. Los productos obtenidos se utilizarán para aplicaciones en ambientes interiores de Construcción Ecológica.

1. INTRODUCCIÓN

En sus procesos químicos, la industria cerámica utiliza materias primas (arcilla, caolín, cuarzo, feldespato, etc.), las cuales se procesan siguiendo una secuencia operacional. Las arcillas utilizadas para la elaboración de cerámicas se generan a partir de la descomposición (a lo largo de millones de años), de rocas y otras sustancias. Las características feldespáticas de dicha descomposición hacen que estos materiales sean muy abundantes en la corteza terrestre. Las arcillas son materiales naturales, cuyas partículas tienen diámetros generalmente inferiores a 2 μm y que se forman a partir de silicatos de aluminio, hierro y magnesio hidratados. Se componen de partículas cristalinas extremadamente pequeñas de un número limitado de minerales conocidos como minerales arcillosos. Cualquier material arcilloso puede estar compuesto de una única arcilla o de una combinación de varias de ellas. Además, las arcillas pueden contener materiales orgánicos, sales solubles, partículas de cuarzo, pirita, calcita, aguas minerales y otros minerales amorfos [1].

El caolín está compuesto principalmente de caolinita, la cual es generalmente blanca o blanquecina, debido a su bajo contenido de hierro. En general, es posible encontrar otras sustancias en forma de impurezas en trazas que varían entre el 40-50% en volumen, y que por lo general contienen arena, cuarzo, partículas de mica, feldespato, óxidos de hierro y titanio. La fórmula química del grupo mineralógico de la caolinita es $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, donde m varía de 1 a 3 y n de 2 a 4. Se trata de uno de los minerales más importantes y probablemente de uno de los seis más abundantes en la corteza superior (profundidad de hasta 10m). Las reservas mundiales son bastante abundantes y están muy repartidas. No obstante, sólo cuatro países contienen aproximadamente el 95,0% de un total aproximado de 14,2 mil millones de toneladas: Estados Unidos (53,0%), Brasil (28,0%), Ucrania (7,0%) e India (7,0%). El caolín tiene numerosas aplicaciones industriales y continuamente se investigan y desarrollan nuevos usos y aplicaciones para este material. Se trata de un mineral industrial de características especiales ya que es químicamente inerte en un intervalo de pH, y tiene un gran potencial cuando se utiliza como revestimiento o como medio de aplicación de pigmento en diferentes aplicaciones. Su aspecto superficial es suave y no abrasivo, tiene una baja conductividad de calor y electricidad, y su coste es relativamente bajo en comparación

con otros materiales alternativos. Actualmente su principal aplicación en la industria es la elaboración de cerámicas. [2]

El estado de Rio Grande do Norte tiene una amplia variedad de arcillas coloreadas utilizadas por los artesanos locales para la elaboración de productos artesanales quienes cuentan con un método frecuentemente utilizado para el esmaltado de cerámicas [3]. Las arcillas se caracterizan por presentar colores naturales sin la agregación de óxidos o colorantes: blancas, rojas, púrpuras y beige, las cuales se encuentran fácilmente en las playas y acantilados de las costas del estado. Según Mello, los principales factores que controlan las propiedades de las arcillas son la composición mineralógica de los materiales y minerales arcillosos, la distribución del tamaño de partículas, la naturaleza, el contenido de características orgánicas y texturales de las arcillas [4]. El objetivo de este trabajo consiste en analizar la elaboración de baldosas cerámicas utilizando arcillas caoliníticas para el soporte cerámico mezcladas con colores naturales. Para esto, hemos preparado cuatro grupos de muestras con porcentajes de 20, 30, 40 y 50% de arcillas de colores naturales. Las muestras fueron sinterizadas a 900°C, 1000°C y 1100°C. Se realizaron ensayos de colorimetría, porosidad, plasticidad, análisis térmico y microscopía óptica sobre el producto final. Dichos productos se utilizarán para la preparación de ambientes interiores en la industria de la construcción.

2. EXPERIMENTAL Y MATERIALES

Preparación de las muestras. Para este trabajo hemos utilizado arcillas caoliníticas para los soportes cerámicos provenientes de City Parelhas - RN, arcillas de colores naturales provenientes de los acantilados de Praia de Cutuvelo, en la localidad de Parnamirim-RN. La pasta cerámica fue triturada y tamizada para obtener tamaños de partículas equivalentes a una malla de tamiz 65. Las arcillas coloreadas fueron sometidas a un proceso de lavado y compactación, eliminando el exceso de sales presentes que podrían interferir en el proceso de sinterización. Posteriormente fueron trituradas y tamizadas, obteniéndose una granulometría compatible con la de las masas cerámicas. Después de la etapa de tamizado, las arcillas coloreadas fueron calcinadas en un horno a una temperatura de alrededor de 500°C durante 1 hora, eliminando la totalidad del material orgánico presente. En este estudio hemos trabajado con arcilla, amarilla, roja y púrpura.

Hemos estudiado cinco porcentajes diferentes analizando la influencia de las pastas cerámicas de arcilla coloreada en la caolinita, donde el Grupo A contiene únicamente masa cerámica – compuesta en un 50% por arcilla grasa (plástica) + 50% de arcilla magra (poco plástica) – mientras que los demás grupos están compuestos por masas cerámicas y arcillas coloreadas según los porcentajes indicados en la tabla 1.

Grupo	Porcentaje de masa cerámica	Porcentaje de arcillas coloreadas
A	100%	0%
B	80%	20%
C	70%	30%
D	60%	40%
E	50%	50%

Tabla 1. Composición de las muestras.

En el proceso de preparación de las muestras, los grupos consistentes de masa cerámica de caolinita y porcentajes de arcillas coloreadas se mezclaron en un molino planetario durante 40 minutos para garantizar una homogeneización adecuada de las muestras.

Elaboramos un total de 45 muestras, conformadas de forma unidireccional en una prensa hidráulica Marcon con capacidad de 15 toneladas, utilizando un molde de acero rectangular de 60mm x 20mm y una presión de compactación de 3 toneladas. La figura 1 muestra el diseño del sistema de compresión, mientras que en la figura 2 se puede ver un esquema de la muestra.

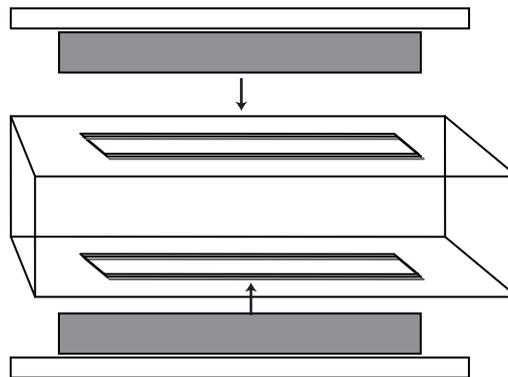


Figura 1. Esquema de la matriz unidireccional utilizada en la preparación de las muestras.

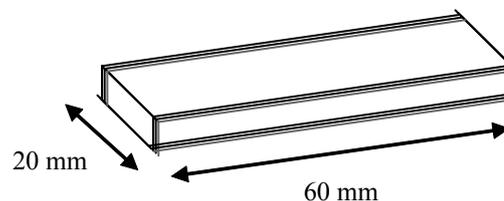


Figura 2. Esquema de las muestras.

Ensayo de absorción: Establece la relación entre la masa de líquido absorbida por la probeta saturada con líquido y el peso de la probeta en seco. La fórmula utilizada se indica en la ecuación 1:

$$AA = \frac{\mu - m_s}{m_s}$$

Ecuación 1.

Donde:

- AA** = Absorción de agua.
Mu = Peso de la probeta en húmedo;
Ms = Peso de la probeta en seco.

Ensayo de porosidad: Establece la relación entre el volumen de poros abiertos de la probeta y su volumen aparente. La fórmula utilizada para el análisis de porosidad se indica en la ecuación 2:

$$PA = \frac{\mu - m_s}{\mu - m_i}$$

Ecuación 2.

Donde:

- PA** = Porosidad aparente.
Mu = Peso de la probeta en húmedo.
Ms = Peso de la probeta en seco.
Mi = Peso de la probeta sumergida.

Ensayo de contracción lineal: Establece la relación entre la longitud inicial de la probeta en crudo y la longitud después de la cocción. La fórmula utilizada para el cálculo de la contracción lineal se indica en la siguiente ecuación 3:

$$\% \Delta L_s = \frac{L_o - L_i}{L_o} \times 100$$

Ecuación 3.

Donde:

- %ΔLs** = Contracción lineal.
Lo = Longitud de la probeta en crudo.
Lii = Longitud después de la cocción.

Ensayo de flexión en tres puntos: Consiste en la aplicación de una carga creciente en el centro de la probeta, apoyada en dos puntos. La carga aplicada parte de un valor inicial de cero y se incrementa progresivamente hasta la rotura de la probeta. En este ensayo utilizamos una barra con dos puntos de apoyo con la

aplicación de una presión en el centro de la distancia entre ambos, de forma que existen tres puntos de carga (de allí que el experimento se conozca como análisis de tres puntos de flexión). Las probetas fueron sometidas a ensayo en una prensa de ensayo mecánico universal aplicando una velocidad de carga de 0,5 mm/min. La deformación en la flexión se expresa en MPa y se expresa a través de la ecuación 4:

$$\text{MRF} = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Ecuación 4.

Donde:

- MRF** = Resistencia a la flexión.
- P** = Máxima carga de ruptura.
- L** = Distancia entre los puntos de apoyo.
- b** = Anchura de la muestra.
- h** = Altura de la muestra.

Sinterización: Después de la compactación, las muestras fueron colocadas en un horno durante un período de 24 horas a una temperatura de alrededor de 100°C, para la eliminación de la humedad presente. Después de la sinterización, las muestras se subdividieron en 5 grupos, cada uno de los cuales agrupa a 9 muestras. Las temperaturas de sinterización utilizadas fueron 900°C, 1000°C y 1100°C, con una velocidad de calentamiento de 5°C/min durante 60 minutos. Se utilizó un horno JUNG - modelo 0713. La figura 3 presenta las muestras compactadas y sinterizadas.

A B C D E



a) Sinterización a 900°C, b) sinterización a 1000°C, c) sinterización a 1100°C.
 Figura 3. Muestras sinterizadas a 900°, 1000° y 1000°C, con una velocidad de calentamiento de 5°C/min.

Análisis por fluorescencia de rayos X - EDX. El análisis químico mediante EDX permite identificar los elementos químicos que conforman la muestra sometida a análisis. En consecuencia, es necesario utilizar este análisis para determinar el

porcentaje de cada elemento utilizado en los residuos y para predecir sus posibles influencias sobre las propiedades mecánicas de las muestras.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se presenta el análisis químico de las arcillas coloreadas, efectuado mediante análisis por fluorescencia de rayos X - EDX.

Óxidos	En arcilla roja (%)	En arcilla beige (%)	En arcilla púrpura (%)
SiO ₂	38,515	36,384	42,754
Al ₂ O ₃	40,602	35,890	40,697
Fe ₂ O ₃	16,023	26,893	11,798
MgO	0,214	-	0,375
K ₂ O	0,341	0,315	0,313
SO ₃	0,078	0,117	0,063
Otros componentes	4,227	0,401	4

Tabla 2. Resultado del análisis químico en las arcillas coloreadas.

Todas las arcillas coloreadas mostraron altos niveles de óxidos de silicio y aluminio (SiO₃ y Al₂O₃). El análisis de la relación SiO₃/Al₂O₃, indica que estas arcillas son de tipo caolínico. [5]

Los contenidos de MgO en la arcilla roja y púrpura puede ser una indicación de la presencia de materiales arcillosos de mica y/o esmectita.

El óxido de hierro presente en la mayoría de las arcillas reduce la plasticidad y la contracción, facilitando el secado. Además disminuye la resistencia mecánica, y la pequeña parte del compuesto que se funde en la sinterización proporciona dureza al vidriado. Este elemento está presente en las tres arcillas coloreadas y el porcentaje de contenido de hierro se encuentra en mayor proporción en las arcillas beige, lo cual indica la tendencia de la arcilla fresca a volverse anaranjada después de la cocción. [6]

Las imágenes 1 y 2 indican respectivamente la absorción de agua y la porosidad aparente de las muestras de referencia y de las muestras con 20, 30, 40 y 50% de arcillas coloreadas después de la sinterización.

El análisis indica además que cuanto mayor es la temperatura de cocción, mayor es la reducción de los poros, lo que a su vez reduce la absorción de agua. En el ensayo, las muestras con arcilla de color beige, presentan un porcentaje de absorción de alrededor de 20%, resultando ser bastante satisfactorio para estas aplicaciones.

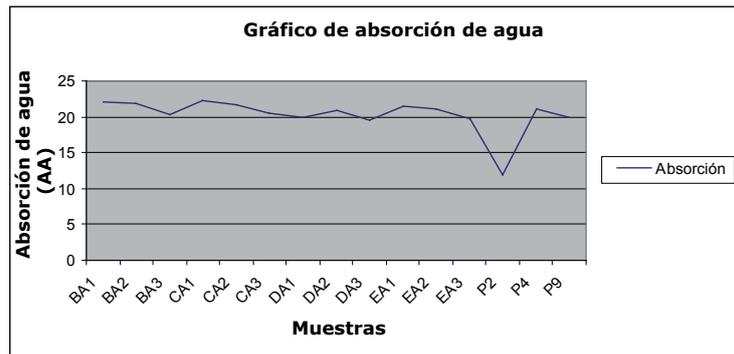


Gráfico 1. Absorción de agua en las muestras de referencia y coloreadas – arcilla beige, después de la sinterización a 900, 1000 y 1100°C.

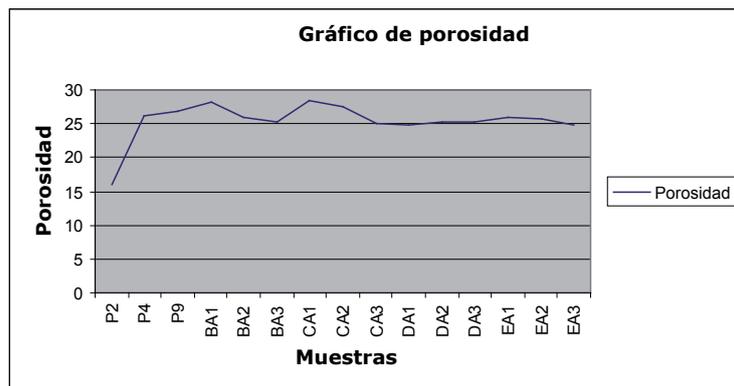


Gráfico 2. Porosidad aparente de las muestras de referencia y coloreadas – arcilla beige después de la sinterización a 900, 1000 y 1100°C.

En la imagen 2 podemos ver que existe un incremento de la porosidad cuanto mayor es la proporción de muestras cerámicas elaboradas en base a arcillas cao-liníticas coloreadas. Por otra parte, puede verse que la porosidad disminuye a mayores temperaturas. La porosidad media es de alrededor de 25, y los compuestos B, C y D mostraron los mejores resultados.

Las imágenes 3, 4 y 5 presentan la contracción lineal de las muestras de referencia y de las muestras con porcentajes de arcilla coloreada a temperaturas de sinterización de 900, 1000 y 1100°C.



Gráfico 3. Contracción lineal de las muestras sinterizadas a 900°C, durante 1 hora.



Gráfico 4. Contracción lineal de las muestras sinterizadas a 1000°C, durante 1 hora.



Gráfico 5. Contracción lineal de las muestras sinterizadas a 1100°C, durante 1 hora.

Se observa que las muestras de referencia, que consisten únicamente en arcilla caolinítica, presentan una mayor contracción lineal, y que mayores temperaturas provocan una mayor contracción en las piezas. La incorporación de arcilla coloreada a la muestra caolinítica provocó una marcada reducción de la contracción lineal de todas las muestras, si bien la arcilla beige y roja revelaron las menores tasas de contracción lineal.

En las figuras 6, 7 y 8 se muestra la Pérdida por Calcificación (ppc) de las muestras de referencia y de arcillas coloreadas, sinterizadas a 900, 1000 y 1100°C respectivamente.

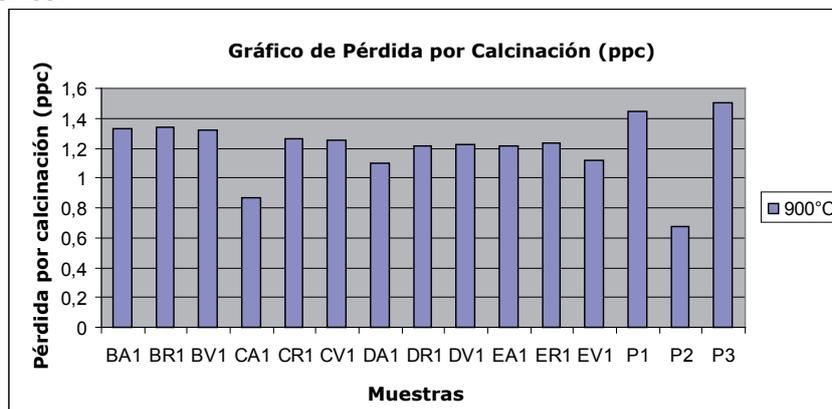


Gráfico 6. Pérdida por Calcificación (ppc) de las muestras sinterizadas a 900°C, durante 1 hora.

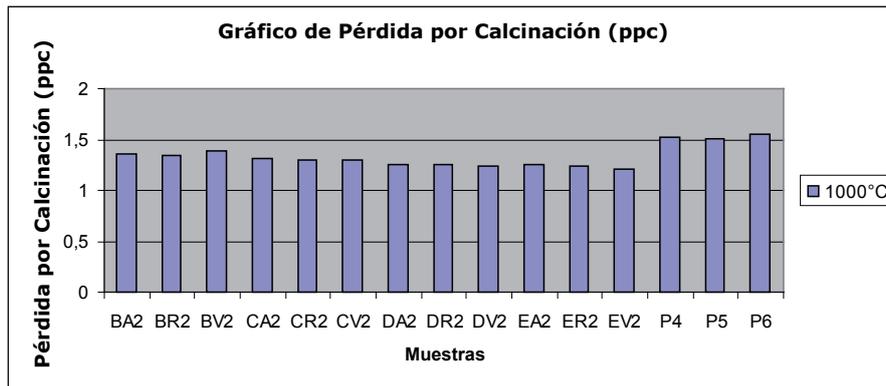


Gráfico 7. Pérdida por Calcinación (ppc) de las muestras sinterizadas a 1000°C, durante 1 hora.

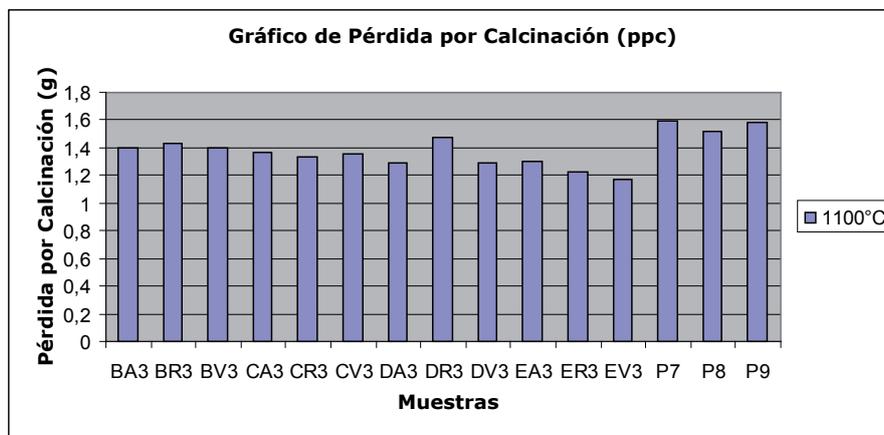
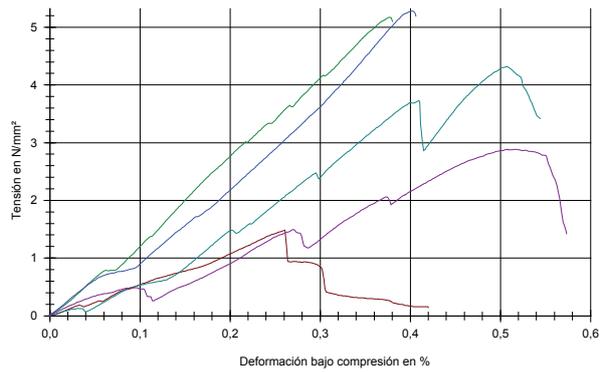


Gráfico 8. Pérdida por Calcinación (ppc) de las muestras sinterizadas a 1100°C, durante 1 hora.

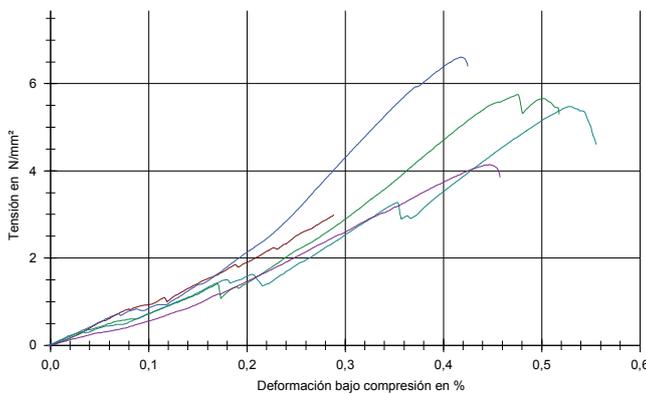
El análisis revela que la mayor pérdida por calcinación se produce en las muestras de referencia, para todas las temperaturas de cocción. Las pérdidas por calcinación en gramos se mantuvieron en niveles estables con valores de entre 1,2 y 1,4 g para las composiciones B, C, D y E. Las mayores pérdidas se identificaron para las muestras con la composición B (que incorpora alrededor de un 20% de arcilla coloreada).

Las figuras 4, 5 y 6 presentan la variación de la resistencia mecánica a la tracción de las muestras de referencia con concentraciones del 20% al 50% de arcilla coloreada - roja.



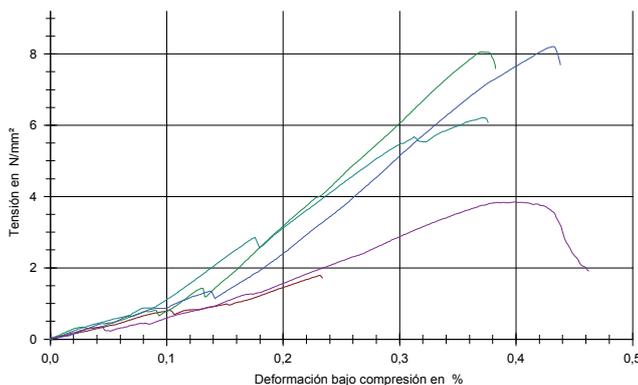
	Fmax.	FRot
Ref	MPa	MPa
P1	1,48	-
Cv1	5,17	5,10
Bv1	5,28	5,19
Dv1	4,32	3,42
Ev1	2,88	1,42

Figura 4. Análisis de flexión realizado en las muestras sinterizadas a 900°C, durante 1 hora.



	Fmax.	FRot
Ref	MPa	MPa
P5	2,99	2,99
Bv2	5,75	5,31
Cv2	6,61	6,41
Dv2	5,48	4,61
Ev2	4,14	3,86

Figura 5. Análisis de flexión realizado en las muestras sinterizadas a 1000°C, durante 1 hora.



	Fmax.	FRot
Ref	MPa	MPa
P7	1,79	1,72
Bv3	8,07	7,60
Cv3	8,21	7,71
Dv3	6,21	6,08
Ev3	3,85	1,92

Figura 6. Análisis de flexión realizado en las muestras sinterizadas a 1100°C, durante 1 hora.

El análisis revela que cuanto mayor es la temperatura de cocción (y en consecuencia menor es la proporción de poros presentes), mayor es la resistencia a la flexión. Las composiciones B y C presentan los mejores resultados en todos los ensayos de resistencia, y en especial respecto a las mayores temperaturas de sinterización. En la figura 7 se muestran las micrografías representativas de las muestras de arcillas cerámicas con distintos porcentajes de arcillas de colores naturales - beige, roja y púrpura.

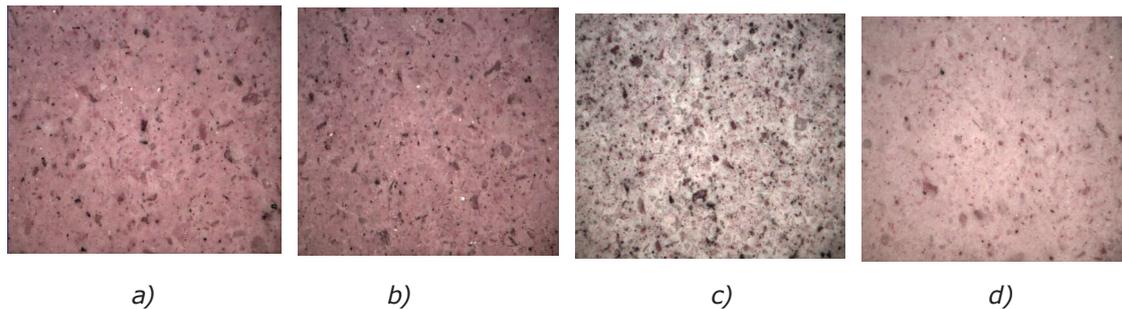


Figura. 7: Micrografías de las muestras sinterizadas a 1000 y 1100°C, durante 1 hora, con aumento de 100x: a) Muestra CA2 – Composición C, arcilla beige, sinterizada a 1000°C; b) Muestra DA3 – Composición D, arcilla beige, sinterizada a 1100°C; c) Muestra CR2 – Composición C, arcilla púrpura, sinterizada a 1000°C; d) Muestra BV3 – Composición B, arcilla roja, sinterizada a 1100°C.

Puede verse en las micrografías una estructura común a todas las muestras y una buena homogenización de aquellas procesadas en el molino planetario, así como el color característico después de la cocción y la proporción de óxidos de nitrógeno presentes y la temperatura de cocción. Los puntos negros denotan la presencia de poros.

4. CONCLUSIONES

Las muestras de referencia, que consisten principalmente en muestras de la pasta cerámica caolinítica, revelan el color característico del caolín, o blanco, y que tiende a volverse más crema a temperaturas superiores a los 1000°C.

Las arcillas recogidas en la zona de la playa de Cutuvelo/RN tienen pigmentos naturales con distintas composiciones. Éstas tienen una influencia directa sobre el color natural de la arcilla. El hierro es el principal agente de pigmentación y durante el proceso cocción facilita el cambio cromático de la arcilla. [7]

La estabilidad cromática se mantiene a temperaturas entre los 900°C y los 1100°C, y tiende a intensificarse a mayores temperaturas.

La combinación de arcilla con las muestras cerámicas coloreadas favoreció la aparición de una variedad de tonos, desde los más claros a los más intensos, lo cual enriquece y proporciona una amplia variedad de aplicaciones decorativas.

La incorporación de las arcillas coloreadas a la pasta caolinítica mejoró significativamente las propiedades mecánicas de las muestras, donde la incorporación de 20 a 30% de arcilla coloreada (compuestos B y C) presentaron los mejores resultados. En consecuencia dicho porcentaje sería aconsejable para aplicaciones futuras y para conseguir cerámicas con diferentes colores y de alta calidad. La utilización de estas arcillas en combinación con arcillas de muestras cerámicas ha demostrado ser muy interesante y técnicamente viable, y representa un nicho de

mercado que aún no ha sido explotado. Desde un punto de vista económico este producto puede ser interesante y facilitará la utilización racional de esta característica aún muy poco explorada.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P.S. Santos; Ciência e tecnologia de algilas. vol. 1, ed. Edgard Blücher, São Paulo, 1989.
- [2] SILVA, Sebastião Pereira da. Geologia do Caulim, 2a Ed., Belém: DNPM 5o DS/DNPM, 1993. 18p. il.
- [3] R. G. Carvalho, et all, in: Caracterização das Argilas Coloridas da Praia de Pipa – RN. In: Congresso Brasileiro de Cerâmica, 52, Florianópolis, 2008. Anais 52º ABCt - Congresso Brasileiro de Cerâmica. Florianopolis, SC. Brasil, 2008.
- [4] M. A. F. Melo; S. G. Neto; D. M. A. Melo; L. P. Carvalho; J. N. Galdino; S. A. G. Silva. Cor e propriedades mecânicas de algumas argilas do Rio Grande do Norte para uso em cerâmica branca. Cerâmica, vol.48, no. 308, São Paulo, Brasil, 2002.
- [5] C. M. F. Vieira; J. N. F. de Holanda, D. G. Pinatti. Caracterização de massa cerâmica vermelha utilizada na fabricação de tijolos na região de Campos dos Goytacazes – RJ. Cerâmica, vol.46, n.297, São Paulo, Jan./Feb./Mar., 2000.
- [6] A. R. S. Assunção, et all, in: Caracterização Mineralógica de Matérias-Primas Cerâmicas De Caxias-MA. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 18º, Porto de Galinhas, Pernambuco- Brasil, 2008. Anais 18º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Porto de Galinhas, PE, Brasil. 2008. p. 467-475.
- [7] M. A. F. Melo; S. G. Neto; D. M. A. Melo; L. P. Carvalho; J. N. Galdino; S. A. G. Silva. Cor e propriedades mecânicas de algumas argilas do Rio Grande do Norte para uso em cerâmica branca. Cerâmica, vol.48, no. 308, São Paulo, Brasil, 2002.