



EFFECTO DE LA ADICIÓN DE VIDRIO RECICLADO SOBRE LAS PROPIEDADES DE PASTAS CERÁMICAS DE ARCILLA TIPO GRES PORCELÁNICO

D. de los Ríos^{1,}, J. Bermúdez¹, V. Palacio^{1*}*

1: Ingeniería de Materiales – Universidad de Antioquia

*: daniela.delosriosg@udea.edu.co

PALABRAS CLAVE	RESUMEN
Arcilla tipo gres porcelánico, vidrio reciclado, absorción, contracción, índice de plasticidad y densidad.	Este estudio tuvo como objetivo evaluar la viabilidad de utilizar vidrio reciclado en mezclas con arcilla tipo gres utilizada en la industria cerámica. Se llevó a cabo un proceso que incluyó el diseño de pastas cerámicas y el análisis de los efectos de la incorporación de vidrio reciclado en la mezcla, para lo cual se realizaron pruebas de fluorescencia de Rayos X, de contracción, de absorción de humedad, de densidad, termogravimétricas y de plasticidad. Los resultados mostraron un aumento de la densidad de las mezclas con la adición del vidrio reciclado, respecto a la arcilla gres utilizada como estándar, así como la disminución en su absorción de humedad y plasticidad.

EFFECT OF THE ADDITION OF RECYCLED GLASS POWDER ON THE PROPERTIES OF PORCELAIN STONEWARE CERAMIC PASTES

KEYWORDS	ABSTRACT
Porcelain stoneware clay, recycled glass, absorption, shrinkage, plastic limit, and density.	This study aimed to evaluate the feasibility of using recycled glass in mixtures with stoneware clay used in the ceramic industry. It was performed a process that included the design of ceramic pastes and the analysis of the effects of incorporating recycled glass in the mixture, for which X –Ray fluorescence, contraction, water absorption, density, thermogravimetric and plasticity tests were performed. The results showed increases in the density of the mixtures compared to the stoneware clay used as a standard, as well as decreases in the water absorption and plasticity.

1. INTRODUCCIÓN

La industria cerámica se enfrenta al desafío constante de garantizar la calidad y consistencia de sus productos, lo que requiere comprender a fondo las características de las materias primas utilizadas en dicha industria [1].

El gres porcelánico se destaca por sus notables propiedades técnicas, que lo hacen idóneo para una gran variedad de aplicaciones, como lo son las de alto tránsito, las cuales requieren una buena resistencia mecánica y durabilidad superficial. En estos casos, la arcilla proporciona la plasticidad



necesaria para la manipulación de la mezcla, mientras que los agentes fundentes como el feldespato generan una fase líquida crucial durante el proceso de sinterización. Así mismo, materiales inertes como el cuarzo, desempeñan un papel fundamental en el control dimensional del producto tras la sinterización.

El consumo continuo de materiales arcillosos en la industria cerámica ha generado un aumento de la demanda de las materias primas, lo que a su vez ha suscitado la necesidad de conocer las características químicas y mineralógicas específicas de cada tipo de arcilla, ya que éstas características influyen directamente sobre las propiedades finales de los artículos producidos [2].

La escasez de minerales cerámicos y los altos costos asociados a su extracción y transporte han impulsado una investigación intensiva en la búsqueda de alternativas. Es así que, se ha creado un interés por reformular las composiciones de las mezclas cerámicas, considerando la sustitución parcial o total de materias primas naturales por materiales de desecho abundantes y económicos. Sin embargo, esta sustitución sólo se considera viable si no afecta el proceso industrial y en lugar de eso mejora las propiedades de los productos finales [3].

Las arcillas de gres sinterizan a una temperatura relativamente alta (1000 – 1300 °C). Dichas arcillas suelen contener cuarzo y feldespato, pero también hierro, carbón y otra serie de materiales que le dan un aspecto y color homogéneo [1-3].

Las arcillas de gres son altamente plásticas y rara vez se encuentran en su estado puro. Por lo general son duras y duraderas cuando se sinterizan. Se les conoce como gres debido a las características de piedra que exhiben. Así mismo, éstas cuentan con características

principales muy definidas como: alta impermeabilidad, baja porosidad, alta resistencia a los ácidos y dureza Mohs alta (≈ 8). Debido precisamente a esta última propiedad, se usa mucho en pavimentos y baldosas de diferentes estilos (rústico, porcelánico, tipo piedra, etc).

En cerámica, se puede utilizar para fabricar una gran variedad de objetos, como vajillas, esculturas y azulejos. Su resistencia al calor la hace ideal para piezas que se van a utilizar en hornos a altas temperaturas. Para la escultura por la plasticidad la hace fácil de moldear.

En materiales de construcción se usa para fabricar ladrillos, tejas, baldosas y tuberías. Su resistencia al agua, al fuego y a las heladas, la hacen ideal para su uso en exteriores. En materiales refractarios lo utilizan en hornos y chimeneas. Su resistencia a las manchas y a la abrasión la hace ideal para este tipo de aplicaciones [4].

Por su parte, el vidrio es un material inorgánico que es duro y de baja tenacidad a la fractura. Se forma por la fusión a altas temperaturas de diversas sustancias minerales, como los carbonatos y la arena de sílice, que luego son enfriadas de manera rápida en un molde o manipuladas con herramientas para darle forma. Además de los múltiples usos, tiene la ventaja de que puede ser reciclado infinitamente [4].

El vidrio es un material que independientemente de la cantidad de veces que se recicle, mantiene el 100 % de las propiedades iniciales. La cadena de reciclaje de este material conforma lo que podría denominarse como ‘un círculo perfecto’, siendo todo un ejemplo de economía circular y sostenibilidad. El vidrio reciclado puede obtenerse de envases para alimentos, perfumes y medicamentos, entre otros [5].



Así pues, éste estudio se enfoca en evaluar la viabilidad de utilizar polvo de vidrio reciclado en mezclas con arcilla de gres, con la intención de contribuir al desarrollo de soluciones innovadoras y sostenibles en la industria cerámica, mediante la utilización eficiente de recursos disponibles. Específicamente se realizaron pruebas termogravimétricas, de contracción, de plasticidad (límites de Atterberg), de absorción de humedad y de densidad. Todo esto, con el propósito de determinar si las composiciones de la mezcla con la adición de vidrio muestran mejoras en comparación con la composición estándar de la arcilla tipo gres.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1. Análisis Termogravimétrico

Para caracterizar el comportamiento térmico de la arcilla, se realizó un análisis termogravimétrico (TGA), para lo cual se usaron 23,781 mg de arcilla. El ensayo se llevó a cabo en un analizador termogravimétrico TA instrument referencia Q500™, desde temperatura ambiente hasta 800 °C, con una atmósfera de nitrógeno a una velocidad de calentamiento de 15 °C/min.

2.2. Fabricación de las probetas

Previo a la elaboración de las probetas, tanto la arcilla de gres como el vidrio reciclado, utilizados como materia prima, fueron molidos y clasificados en seco hasta alcanzar una distribución de tamaño pasante por la malla Tyler 40 (425 µm). Posteriormente, se mezclaron estas materias primas de acuerdo con lo indicado en la Tabla 1 y finalmente se les adicionó agua hasta obtener una muestra de fácil conformado, obteniendo así un total

de 4 muestras a las cuales se les realizarán las pruebas de caracterización.

Tabla 1. Contenido de arcilla de gres y de polvo de vidrio reciclado en cada muestra

Muestra	Cantidad de arcilla [% en peso]	Cantidad de vidrio [% en peso]
1	100	0
2	90	10
3	70	30
4	50	50

2.3. Análisis químico

Se realizó análisis de fluorescencia de rayos X (FRX), utilizando un espectrómetro Thermo Fisher Scientific ARL Optim'x™, para determinar la composición química de las cuatro muestras obtenidas a partir de las mezclas de arcilla de gres y vidrio reciclado.

2.4. Contracción

Se midió la contracción volumétrica producida durante el secado de las muestras, después de exponerlas durante 24 horas, tanto a temperatura ambiente, como a 120 °C. Para ellos se utilizaron probetas de 25,4 mm de diámetro y 7 mm de altura [6].

2.5. Determinación de los límites de Atterberg

2.5.1. Limite plástico

El límite plástico de cada una de las muestras se determinó de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM D4318. Para realizar este ensayo se pesaron 20 g de partículas de cada una de las muestras y se les adicionó agua hasta obtener pastas con la consistencia suficiente para elaborar una esfera con cada una de ellas. De cada una de estas esferas se tomaron 6 g, de los cuales se seleccionaron



aproximadamente 2 g. Con cada una de las esferas se elaboró un rollo de 3 mm de diámetro en toda su longitud, haciéndola rodar sobre un vidrio esmerilado. Para determinar el límite plástico es necesario que el rollo no presente fisuras una vez se alcanza el diámetro necesario. Posteriormente el rollo se dividió en 8 trozos para después pesar la vasija en donde se depositaron dichos trozos. Finalmente se procedió a llevarlos al horno a una temperatura de 80 °C por 24 h, para luego pesar de nuevo la vasija con los trozos secados [7].

2.5.2. Límite líquido

Este ensayo también se realizó de acuerdo con lo establecido en la norma ASTM D4318. En este caso, de cada una de las mezclas se tomaron 180 g de partículas y se les adicionó agua. A medida que se adicionó el agua, se homogenizó la pasta hasta obtener una consistencia dura. Posteriormente, se extendió la pasta en el dispositivo de Casagrande, para posteriormente dividir dicha pasta con un ranurador. Se procedió a girar la manivela a razón de 2 rev/s, esto se hizo hasta que el surco se cerró en al menos 13 mm, para lo que fueron necesarios entre 30 y 35 golpes. Luego se dividió la pasta en 6 porciones para seleccionar las dos porciones del centro, registrando el peso del recipiente vacío y con muestra. El proceso se repitió, limpiando el dispositivo de Casagrande y agregando entre 1 a 3 ml de agua más que el anterior, hasta que el surco se cerró en al menos los mismos 13 mm entre 20-25 golpes, y luego entre 10-15 golpes. Finalmente, se secaron las 4 muestras a 60 °C por 24 h, y se pesaron los sistemas en frío [7].

2.6. Sinterización

Las muestras fueron calentadas a una velocidad de 5 °C/min, desde temperatura ambiente hasta 1100 °C, sosteniendo esta máxima temperatura durante 60 min. Este tratamiento térmico fue realizado en una mufla Thermo Scientific Lindberg/Blue M™ [8].

2.7. Absorción de agua

Se determinó la absorción de agua en las muestras elaboradas a partir de cada una de las mezclas de arcilla y polvo de vidrio reciclado, que posteriormente fueron sinterizadas. Para llevar a cabo la medida, cada una de las muestras fue pesada en una balanza analítica marca Sartorius CP225D, con capacidad de medida de 210 g y sensibilidad de 0,0001 g. El valor medido en cada probeta fue denominado W_1 y representa el peso de cada muestra. Posteriormente, las probetas fueron sumergidas en agua y calentadas durante 1 h. Transcurrido este tiempo, se extrajeron las probetas y se les retiró la humedad superficial con un paño suave y absorbente, logrando así en la muestra una cantidad de agua absorbida y otra adsorbida. Con el fin de retirar el agua adsorbida, las muestras fueron calentadas a 70 °C durante 1 h utilizando la misma mufla antes mencionada, y finalmente se pesaron con la misma balanza ya igualmente ya descrita [9]. El valor medido en cada muestra fue denominado W_2 y representa el peso de cada probeta incluyendo el agua absorbida. El porcentaje de agua absorbida fue calculado mediante la Ecuación 1.

$$\% Abs = \frac{(W_2 - W_1)}{W_1} \times 100\% \quad (1)$$



2.8. Densidad

Se determinó la densidad de cada una de las muestras mediante el método de Arquímedes, de acuerdo con lo indicado en la norma ASTM-C373 [10]. Para tal fin, cada una de las probetas elaboradas y sinterizadas, fueron pesadas en aire (W_{aire}) y en agua (W_{agua}), utilizando la balanza analítica Sartorius CP225D, previamente descrita, y su respectivo kit para medida de densidades. El cálculo de la densidad fue realizado a partir de la Ecuación 2.

$$\rho = \frac{(W_{\text{aire}} * \rho_{\text{agua}})}{(W_{\text{aire}} - W_{\text{agua}})} \times 100\% \quad (2)$$

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Análisis termogravimétrico

Los resultados del análisis termogravimétrico realizado a la muestra de arcilla tipo gres (Figura 1), permitieron evidenciar una pérdida de peso entre la temperatura ambiente y 200 °C, la cual se atribuye en la literatura a la evaporación del agua [8, 11]. Seguidamente, se observó otra pérdida de peso entre 200 – 300 °C, la cual se atribuye a la descomposición de hidróxidos de aluminio, que generalmente se encuentran en las arcillas en forma de gibbsita [8, 11]. Finalmente, se observó una tercera pérdida de peso en un rango entre 300 – 700 °C que se asocia a la disminución del agua estructural de la arcilla que podría estar en la caolinita, illita y mica [8, 12].

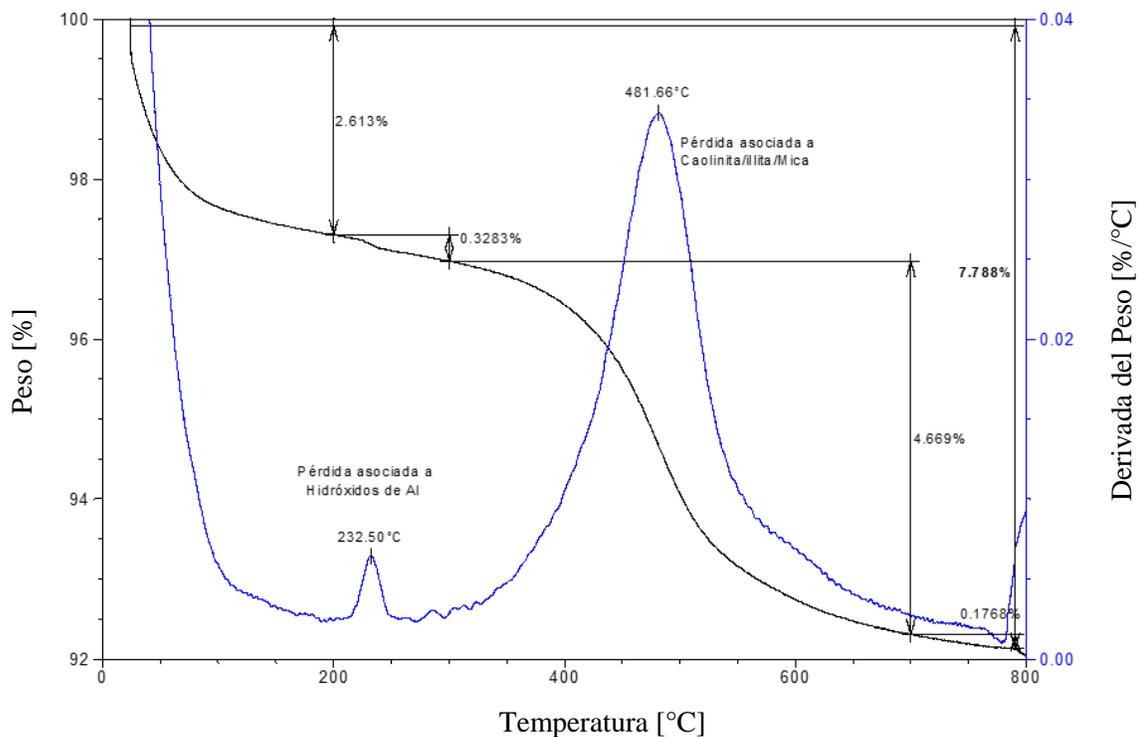


Figura 1. Resultados del análisis termogravimétrico de la arcilla tipo gres

3.2. Análisis de composición química

Los resultados obtenidos en el análisis de la composición química de cada una de las

muestras de arcilla de gres mezclada con el vidrio reciclado se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición química de las muestras

Componente	Muestra 1 100 % Arcilla 0% Vidrio		Muestra 2 90 % Arcilla 10% Vidrio		Muestra 3 70 % Arcilla 30% Vidrio		Muestra 4 50 % Arcilla 50% Vidrio	
	Cantidad [% en peso]	Error estimado [% en peso]						
SiO ₂	48,92	0,25	55,83	0,25	45,13	0,25	62,64	0,24
Al ₂ O ₃	37,44	0,24	27,76	0,22	37,12	0,24	18,23	0,19
K ₂ O	10,37	0,15	9,75	0,15	0,74	0,04	1,32	0,06
Fe ₂ O ₃	1,39	0,06	0,90	0,90	0,48	0,02	4,09	0,10
Na ₂ O	0,44	0,06	2,41	0,11	2,88	0,09	8,03	0,20
CaO	0,14	0,01	0,95	0,05	12,75	0,17	3,80	0,10
Otros*	Balance		Balance		Balance		Balance	

*Otros: TiO₂, MgO, ZrO₂, SO₃, SrO, V₂O₅, MnO, Cr₂O₃, P₂O₅, La₂O₃, NiO, CuO, Nb₂O₅

A partir de los resultados de la Tabla 2, se identificaron cambios químicos sustanciales en las mezclas, especialmente para las cantidades de SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, CaO y K₂O.

En la muestra 2 se observaron cantidades de SiO₂ (55,83 % en peso), lo que representa un incremento del 14,1 % con respecto a la muestra 1. El contenido de Al₂O₃ fue de 27,76 % en peso, un 25,9 % menor que en la muestra 1, y el contenido de K₂O fue de 9,75 % en peso, un 6,0 % más bajo en comparación con la muestra 1.

En la muestra 3, los porcentajes de los componentes también variaron de una manera significativa, así: SiO₂ (45,13 % en peso), un 7,7 % más bajo que en la muestra 1; Al₂O₃ (37,12 % en peso), casi idéntico con solo un 0,9 % menor que la muestra 1; y K₂O (0,74 % en peso), un 92,9 % más bajo que la muestra 1.

Por su parte, la muestra 4 comparada con la muestra 1, mostró cantidades importantes de SiO₂ (62,64 % en peso), un 28,0 % más alto que la muestra 1; Al₂O₃ (18,23 % en peso), un 51,3 % más bajo que la muestra 1; y K₂O (1,32 %), un 87,3 % más bajo que la muestra 1.

Como era de esperarse, las cantidades de SiO₂, Na₂O y CaO mostraron una tendencia a aumentar respecto a la muestra 1, dado que son óxidos aportados por la composición del vidrio, mientras que los demás óxidos tienen una composición oscilante, bajando en algunos casos y subiendo en otros, lo cual está explicado con los aportes específicos tanto de la arcilla como del vidrio. Es de notar que según Arjona. S. D., *et al.* [3], el aumento de óxidos como Na₂O y CaO, incrementa la aptitud de las mezclas como fundente, y por ende dichas mezclas se funden más fácil.



3.3. Contracción, absorción y densidad

Los resultados obtenidos en las mediciones de la contracción volumétrica, la absorción de agua y la densidad de las muestras se presentan en la Tabla 3 mostrada a continuación:

Tabla 3. Resultados de las medidas de contracción volumétrica, absorción de agua y densidad de las muestras

Muestra	Contracción volumétrica [%]	Absorción [%]	Densidad [g/mL]
1	31,09 ± 0,05	16,98 ± 0,12	2,02 ± 0,01
2	27,36 ± 0,05	13,31 0,12	2,05 ± 0,01
3	24,41 ± 0,05	9,32 0,12	2,13 ± 0,01
4	17,50 ± 0,05	6,23 0,12	2,18 ± 0,01

El vidrio utilizado en diferentes porcentajes, además de la pérdida de agua por calentamiento (Figura 1), ejerció una influencia sobre la contracción de las muestras. Se pudo observar que la muestra 1 (con 0 % en peso de vidrio reciclado), fue la que presentó una mayor contracción volumétrica y a medida que aumentó la cantidad de vidrio, menor fue la contracción de dichas muestras. Esto podría ser debido a: 1) La buena fundencia del vidrio, ya que a mayor cantidad de vidrio, menor valor de porosidad, pues éste se funde y llena los poros [3, 8, 13], lo que produce una menor contracción, y 2) La hidrofobicidad del vidrio, pues éste no absorbe agua, y con menor cantidad de agua en la mezcla, también menor contracción [14].

Por su lado, los resultados de absorción de agua también arrojaron una tendencia clara: a mayor contenido de vidrio, las mezclas tiene menor valor de absorción, fenómeno que según Njindam. O. R., *et al.* [13], también

podría estar relacionado con la fundencia del vidrio, ya que éste al actuar como fundente en dichas mezclas, cierra los poros, disminuyendo así los valores de absorción. Así la muestra 1 mostró la mayor absorción, mientras que la muestra 4 mostró la menor.

En la misma dirección, se puede observar que el mayor valor de la densidad fue medido en la muestra 4, lo cual podría ser debido a que el vidrio al actuar como un fundente, propicia la formación de una fase líquida que se introduce en los poros que se producen entre las partículas de arcilla, rellenándolos y propiciando a su vez la densificación de las mezclas [3]. Sin embargo, también es de notar que según Arjona. S. D., *et al.* [3], dicha densificación también pudo ser debida a la mayor fluencia de las mezclas respecto a la arcilla original, ya que las composiciones cerámicas ricas en Na son menos viscosas que aquellas ricas en K, facilitando la máxima densificación.

3.4. Límites de Atterberg e índices de plasticidad

Los resultados obtenidos para el límite plástico, el límite líquido y el índice de plasticidad se presentan en la Tabla 4 presentada a continuación:

Tabla 4. Límite plástico, líquido e índice de plasticidad para las mezclas realizadas

Muestra	Límite líquido [%]	Límite plástico [%]	Índice de plasticidad [%]
1	31,1	26,67	4,43
2	13,4	10,97	2,43
3	12,3	10,53	1,77
4	7,1	7,14	-0,04



En los resultados mostrados en la Tabla 4 se puede notar como a medida que se aumenta el porcentaje de vidrio en la mezcla, tanto el porcentaje del límite plástico, como del límite líquido, y el índice de plasticidad van disminuyendo, esto hace que la mezcla se agriete con mayor facilidad, siendo la muestra 4 (50 % en peso arcilla y 50 % en peso de vidrio), la menos plástica, y la muestra 1 (100 % en peso de arcilla) es la más plástica. Estos resultados, al igual que los de contracción volumétrica, antes mencionados, están igualmente ligados a la disminución de la

capacidad de absorción de agua de la mezcla propiciada por el ingreso de SiO₂.

En lo que refiere a la carta de plasticidad (Figura 2), las muestras 2-4 correspondientes con las mezclas, están en la zona de no cohesión, lo cual se da por su bajo índice de plasticidad, mostrando incapacidad para mantener su forma y desmoronarse con facilidad. Por el contrario, la muestra 1, correspondiente con la arcilla tipo gres sin mezcla alguna, se clasifica como limo de baja compresibilidad, ya que tiene más plasticidad y cohesión en comparación a las mezclas de arcillas con vidrio.

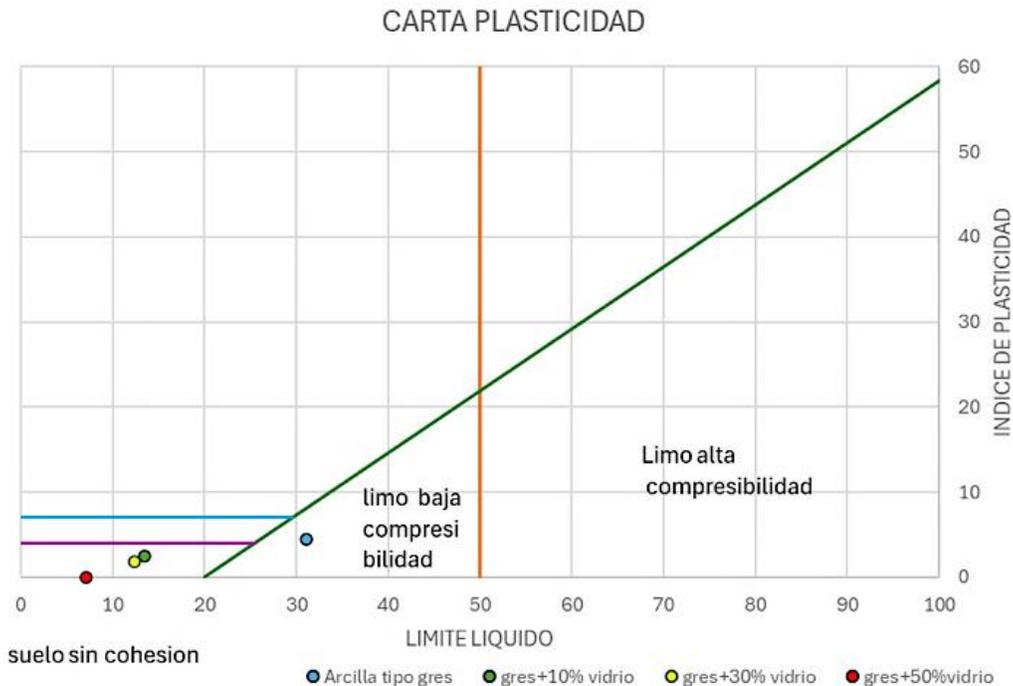


Figura 2. Carta de plasticidad con clasificación de las arcillas y las diferentes muestras estudiadas [15]

Finalmente, es de notar que el aumento de vidrio en la composición, disminuye la plasticidad, esto debido al ingreso en la composición de la arcilla de materiales poco plásticos como el vidrio.

3.5. Sinterización

Una vez retiradas las piezas del horno se evidenció el cambio de color en las probetas, tal como se muestra en la Figura 3. La coloración más oscura en las probetas se dio a mayor contenido de vidrio, es decir en la muestra 4, esto podría ser debido a que la temperatura de fusión disminuyó, lo cual propició la formación de una fase líquida muy reactiva, como lo reportan Arjona. S. D., *et al.*



[3], Conte, S., [8] y Njindam. O. R., *et al.* [13] en trabajos similares.



Figura 3. Muestras sinterizadas.

4. CONCLUSIONES

- Se compararon las propiedades fisicoquímicas de 3 mezclas de arcilla tipo gres con adiciones de vidrio reciclado contra la arcilla tipo gres sin adición alguna, esto con miras al posible reciclado de vidrio en mezclas con arcilla tipo gres para usos en cerámica. El ingreso a la mezcla, de materiales no plásticos como el vidrio reduce progresivamente la plasticidad de la arcilla tipo gres. De igual forma, dado que ingresaron materiales que actúan como fundentes y que son hidrofóbicos, la contracción volumétrica y la absorción de agua también disminuyeron, respecto a la arcilla tipo gres, mientras que la densidad aumentó.
- La arcilla sin adición de vidrio (muestra 1) sería más adecuada para aplicaciones que requieren alta plasticidad y refractariedad, mientras las muestras con vidrio (muestras 2-4) podrían ser más apropiadas para productos cerámicos que requieren menor temperatura de sinterización o mayor grado de vitrificación.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al profesor Iván David Franco Correa por su colaboración e interés en este trabajo y así mismo al estudiante de Maestría en Ingeniería de Materiales Robin Nilson

Muñoz Muñoz, por la asesoría y cooperación en este proyecto.

6. REFERENCIAS

- Arrieta, D., Henao, A., “Caracterización térmica, química y mineralógica de un tipo de arcilla roja propia de la región andina colombiana, empleada para la producción de ladrillos para construcción”, *Revista Colombiana de Materiales*, pp. 2256-1013, 2016.
- Zuluaga, D., Henao, A., García, D., *et al.*, “Caracterización térmica, química y mineralógica de un tipo de arcilla roja propia de la región andina colombiana, empleada para la producción de ladrillos para construcción”, *Revista Colombiana de Materiales*, no. 9, pp. 53-63, 2016.
- Arjona, D., Guzmán, A., Torres, J., *et al.*, “Viabilidad de uso del polvo de vidrio como fundente en la elaboración de baldosas de gres porcelánico”, *Revista Tecnura*, vol. 19, no. 44, pp. 59-70, 2015.
- Estrada, D. A., “Gres cerámico”, *Boletín Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, vol. 5, no. 3, pp. 361-369, 1966.
- Cano, J. M., “El programa de reciclado de vidrio”, *Boletín Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, vol. 28, no. 6, pp. 469-473, 1989.
- ASTM, C326 - Standard Test Method for Drying and Firing Shrinkages of Ceramic Whiteware Clays, 2009.
- ASTM, D4318 - Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, 2017.
- Conte, S., Zanelli, C., Molinari, C., *et al.*, “Glassy wastes as feldspar substitutes in



- porcelain stoneware tiles: Thermal behaviour and effect on sintering process”, *Chem Phys*, vol. 256, 2020. Santander”, *DYNA*, no. 167, pp. 50-58, 2011.
- [9] Restrepo, E., Perez, M., *Propiedades de las materias primas*, Guía del laboratorio de materiales Cerámicos, Medellín.
- [10] ASTM, C373 - Standard Test Methods for Determination of Water Absorption and Associated Properties by Vacuum Method for Pressed Ceramic Tiles and Glass Tiles and Boil Method for Extruded Ceramic Tiles and Non-tile Fired Ceramic Whiteware Products, 2018.
- [11] Manals, E., Giralt, G., “Análisis termogravimétrico y térmico diferencial de diferentes biomásas vegetales”, *Tecnología Química*, vol. 31, no. 2, pp. 180-190, 2024.
- [12] Bermudez, Y., *Activación térmica de arcillas caoliniticas para el desarrollo y aplicación de nuevos productos*, Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia, 2013.
- [13] Njindam, R., Njoya, D., Mache J., *et al.*, “Effect of glass powder on the technological properties and microstructure of clay mixture for porcelain stoneware tiles manufacture”, *Constr build mater*, vol. 170, pp. 512-519, 2018.
- [14] Kim, K., Hwang, J., *et al.*, “Characterization of ceramic tiles containing LCD waste glass”, *Ceram int*, vol. 42, no. 6, pp. 7626–7631, 2016.
- [15] Santos, J., Malagón, P., Córdoba, E., “Caracterización de arcillas y preparación de pastas cerámicas para la fabricación de tejas y ladrillos en la región de Barichara,

