



Respuestas

Engineering journal



INVESTIGACIÓN

<https://doi.org/10.22463/issn.0122-820X>

CISCO DE CAFÉ COMO POSIBLE MATERIAL SUSTITUTO DE ARCILLA EN LA FABRICACIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS DE CONSTRUCCIÓN EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CÚCUTA

Jorge Sánchez Molina^a, Diana Alvarez Rozo^b, J.F Gelves^c, Francisco A. Corpas Iglesias^d.

^aCandidato a PhD en Avances en Ingeniería de Materiales y Energías Sostenibles de la Universidad de Jaén. Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica GITEC. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia.

^bCandidata a Magister en Ingeniería Industrial. Grupo de Investigación en tecnología Cerámica GITEC. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia.

^cPhD en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales, Grupo de Investigación en Competitividad y Sostenibilidad para el desarrollo. Universidad Libre Seccional Cúcuta, Colombia.

^dGrupo de investigación en Ingeniería de materiales y minera TEP-222. Universidad de Jaén, Escuela Politécnica Superior de Linares, Linares, España.

Recibido el 23 de Julio de 2017; Aprobado el 02 de Diciembre de 2017.

PALABRAS CLAVE

Caracterización, cisco de café, economía circular, materiales cerámicos.

CISCO DE CAFÉ COMO POSIBLE MATERIAL SUSTITUTO DE ARCILLA EN LA FABRICACIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS DE CONSTRUCCIÓN EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CÚCUTA

La industria cerámica representa un sector representativo para la economía del Norte de Santander. A pesar del reconocimiento de la calidad de los productos fabricados a nivel nacional e internacional, el desarrollo del sector aún se encuentra en fase de consolidación si se compara con los grandes referentes del mundo, entre estos, la industria cerámica Española e Italiana. En la búsqueda de alternativas que permitan entrar en esta dinámica global, el equipo de investigación realizó algunas actividades encaminadas a aplicar el concepto de la economía circular (reutilización de residuos a los sistemas de producción) al proceso cerámico regional. En este caso particular se ha propuesto la reutilización del cisco de café (residuo de agroindustria regional) como sustituto del material arcilloso en la fabricación de materiales cerámicos de construcción. El trabajo experimental se desarrolló a nivel de laboratorio, usando la extrusión como técnica de conformado. Las materias primas fueron caracterizadas mediante fluorescencia y difracción de rayos X (FRX/DRX), así como por análisis térmico (TG/DSC); las propiedades tecnológicas del cerámico evaluadas fueron: la contracción lineal de secado/cocción, porcentaje de absorción de agua, resistencia mecánica a la flexión y resistencia a la abrasión profunda. Al material de mejor comportamiento físico cerámico le fue evaluada la conductividad térmica mediante un método transitorio de flujo de calor. Los resultados obtenidos evidencian el potencial del cisco para reducir la conductividad térmica del material y el aporte calórico al sistema. La utilización del cisco de café permite obtener cerámicos para uso como revestimientos y pavimento de tipo residencial.

KEYWORDS

Characterization, coffee husk, circular economy, ceramic materials.

CISCO DE CAFÉ COMO POSIBLE MATERIAL SUSTITUTO DE ARCILLA EN LA FABRICACIÓN DE MATERIALES CERÁMICOS DE CONSTRUCCIÓN EN EL ÁREA METROPOLITANA DE CÚCUTA

The ceramic industry is a representative sector for the economy of Norte de Santander (Colombia). Despite the recognition of the quality of the products manufactured nationally and internationally, the development of the sector is still in the consolidation phase if it is compared with the major references in the world, including the Spanish and Italian ceramic industry. In the search for alternatives that allow entering this global dynamic of being recognized, the work team has carried out some activities aimed at applying the concept of the circular economy (reuse of waste to production systems) to the regional ceramic process. In this particular case, the reuse of coffee husk (waste from regional agro-industry) as a substitute for clay material in the manufacture of ceramic construction materials has been proposed. The experimental work was developed at the laboratory level, using extrusion as a forming technique. The raw materials were characterized by fluorescence and X-ray diffraction (XRF / XRD), as well as by thermal analysis (TG / DSC). The technological properties of the ceramic evaluated were the linear shrinkage of drying / firing, percentage of water absorption, mechanical resistance to bending and resistance to deep abrasion. To the material with the best ceramic physical behavior, the thermal conductivity was evaluated by means of a transient heat flow method. The results obtained show the potential of the coffee husk to reduce the thermal conductivity of the material and the caloric contribution to the system. The use of coffee husk allows to obtain ceramics for use as coatings and residential type pavement.

PALABRAS - CHAVE

Caracterização, cisco de café, economia circular, materiais cerâmicos

CISCO DE CAFÉ COMO POSSIVEL MATERIAL SUSTITUTO DE ARGILA NA FABRICAÇÃO DE MATERIAIS CERÁMICOS DE CONSTRUÇÃO NA ÁREA METROPOLITANA DE CÚCUTA

A indústria cerâmica representa um setor representativo para a economia do Norte de Santander. Apesar do reconhecimento da qualidade dos produtos fabricados nos níveis nacionais e internacionais, o desenvolvimento do setor ainda está em fase de consolidação, quando comparado com as grandes figuras do mundo, entre eles, a indústria cerâmica espanhol e italiano. Na busca de alternativas que permitissem entrar nessa dinâmica global, a equipe de pesquisa realizou algumas atividades voltadas à aplicação do conceito de economia circular (reutilização de resíduos aos sistemas produtivos) ao processo cerâmico regional. Neste caso particular, tem sido proposto o reuso do café cisco (resíduo da agroindústria regional) como substituto do material argiloso na fabricação de materiais cerâmicos de construção. O trabalho experimental foi desenvolvido em nível de laboratório, usando a extrusão como técnica de formação. As matérias-primas foram caracterizadas por fluorescência e difração de raios-X (FRX / DRX), bem como por análise térmica (TG / DSC); As propriedades tecnológicas das cerâmicas avaliadas foram: retração linear de secagem / cozimento, porcentagem de absorção de água, resistência mecânica à flexão e resistência à abrasão profunda. Para o material com melhor comportamento físico cerâmico, a condutividade térmica foi avaliada por meio de um método de fluxo de calor transiente. Os resultados obtidos mostram o potencial do cisco para reduzir a condutividade térmica do material e a contribuição calórica para o sistema. O uso do café cisco permite obter cerâmicas para uso como revestimentos e pavimentos residenciais.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: jorgesm@ufps.edu.co (Jorge Sánchez Molina).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Francisco de Paula Santander, Este es un artículo bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

FORMA DE CITAR: Jorge Sánchez Molina , Diana Álvarez Rozo, J.F Gelves, Francisco A. Corpas Iglesias “Cisco de café como posible material sustituto de arcilla en la fabricación de materiales cerámicos de construcción en el área metropolitana de Cúcuta”, Respuestas, vol. 23, no. 1, pp. 27 - 31, 2018.

Introducción

La industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta está compuesta por cerca de 45 empresas legalmente constituidas [1]. Esta industria se ha consolidado en la zona gracias a la abundancia de materiales arcillosos del entorno [2], los cuales presentan propiedades físico-químicas óptimas para la fabricación de productos cerámicos: ladrillos, bloque, tejas, baldosa, entre otros [3]. La estrategia de la economía circular ha mostrado ser muy útil para la optimización de procesos donde se involucra el uso de materiales, permitiendo así reducir el uso de materias primas y la generación de residuos [4]. Las ventajas de la implementación de la estrategia se ven reflejados en ahorros en adquisición de materiales, mejoras en los productos obtenidos gracias a la inserción de los mismos desechos del proceso y una imagen favorable a nivel social asociada a la disminución de los impactos negativos sobre el medio ambiente [4-5].

La industria cerámica tradicional se caracteriza por el uso de materias primas de origen natural principalmente (minerales como arcilla, cuarzo, caliza), que permiten la obtención de una gran variedad de productos cerámicos como pavimentos, revestimientos y cubiertas requeridos por las empresas dedicadas a la construcción [6]. Uno de los aspectos más característicos de la industria cerámica es el alto consumo de energía requerido para desarrollar sus procesos, especialmente las etapas de secado y cocción [7].

La economía circular ha ganado seguidores entre académicos y empresarios del sector cerámico, con casos propuestos de implementación, como la reutilización de chamota (rotura del proceso de cocción en horno cerámico); uso de residuos inorgánicos como vidrios, cenizas volantes, residuos de granito y arenas de fundición; o de residuos agroindustriales como el bagazo de caña, cáscara de coco, cascarilla de arroz [8-11]. Aun así, son muchas las posibilidades de implementación que pueden surgir en función de los tipos de negocios y residuos generados que se encuentran en el entorno de los centros producción de materiales cerámicos de construcción.

Estudios previos realizados con los residuos de procesamiento de café y arcillas para la fabricación de productos cerámicos de construcción, muestran que la combustión de este residuo genera poros que mejoran las propiedades de aislamiento térmico y la resistencia a la compresión [12]. En el presente trabajo de investigación se ha querido profundizar en la temática de la economía circular y de los beneficios que este puede aportar al sector cerámico regional del área metropolitana de Cúcuta.

En este caso particular se ha planteado establecer los efectos del cisco de café de la agroindustria regional al actuar como material sustituto en la pasta cerámica, tomando como punto de partida, que este material posee contenidos importantes de potasio y materia orgánica [9].

MATERIALES Y MÉTODOS

Los aspectos metodológicos usados se presentan a continuación:

Materiales Material arcilloso (MA) del sector de la Alejandra, municipio de El Zulia Norte de Santander, Colombia) fue usado como materia prima de referencia. Se trata de arcillas de tono rojo de carácter sedimentario, que geológicamente hacen parte del “Grupo Guayabo” tal como se ha descrito en la literatura [11]. El cisco de café (CC) fue obtenido de la empresa Almacafé S.A ubicada en el municipio de Cúcuta Norte de Santander. Los materiales fueron molidos en un molino de martillos de laboratorio (Servitech), pasante malla 12 para MA y malla 80 para CC. El cisco de café se usó como sustituto en concentración de 5%,10%, 15% y 20%.

Métodos Las pastas se humectaron manualmente y se llevaron a una extrusora de laboratorio marca New Wave serie 101 para el conformado de las probetas (dimensiones de 39,6 mm* 10mm* 120mm). Las probetas se secaron al ambiente durante 24h y posteriormente en secadero de laboratorio por un tiempo igual a 110°C. La cocción se llevó a cabo en horno eléctrico Gabbrielli Technology 50019. El calentamiento del horno se realizó a una velocidad de 5°C/min. Se realizó cocción hasta 900°C, 1000°C, 1100 °C, 1150°C y 1200°C para cada una de las pastas cerámicas formuladas; una vez el horno alcanzó la temperatura final anteriormente descrita, se mantuvo constante por un tiempo de 120 minutos. Para difracción de rayos X (DRX) se usó un difractómetro de polvos, marca BRUKER modelo D8 ADVANCE (40 kV y 40 mA, paso de 0,02035° (2 θ) y tiempo de muestreo de 0,6 s.) Se realizó refinamiento Rietveld usando corindón como estándar para hacer el análisis cuantitativo. El análisis químico (FRX) se realizó en un equipo de fluorescencia de rayos-X marca BRUKER modelo S8 TIGER. Análisis térmico se realizó en un equipo SDT-600, empleando una velocidad de calentamiento de 20°C/min y un atmósfera de aire con un flujo de 100 ml/min. Las normas usadas para evaluar las propiedades tecnológicas conforman las NTC 4321 (usando equipos Gabbrielli), también se usó ASTM C326-03 y ASTM D5334-00 para la conductividad térmica en este último caso, usando el sistema KD2-Pro thermal properties analyzer de Decagon Devices, Inc.

RESULTADOS

Caracterización de materias primas:

Los resultados de caracterización de materias primas se presentan en las Tablas I, II, III y en la Figura 1.

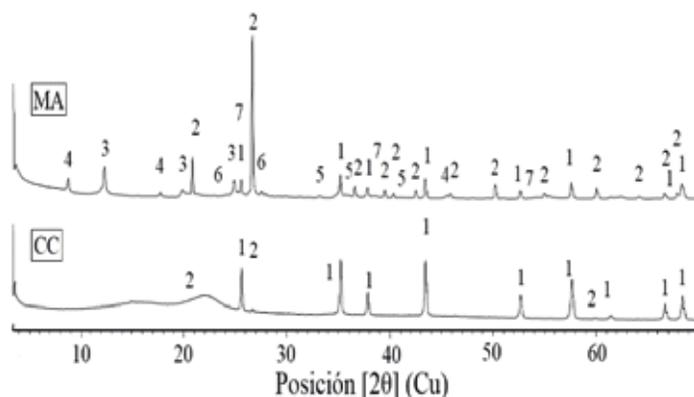


FIGURA 1. Patrones de difracción de rayos X (DRX) de las materias primas: 1) corindón; 2) cuarzo; 3) caolinita; 4) moscovita; 5) hematita; 6) microclina; 7) anatasa

Tabla I. Composición estructural de las materias primas (DRX)

Material	Orden de la fase	Fase	Cantidad
Material arcilloso	Cristalino	Cuarzo	47,4 %
		Moscovita	10,7 %
		Anatasa	0,4 %
		Caolinita	14,4 %
		Calcita	N.C
		Hematita	1,1 %
		Montmorillonita	N.C
		Microclina	0,9 %
		-----	74,9 %
		-----	25,1 %
	Amorfos		100,0%
TOTAL			-----
CISCO DE CAFÉ	Cristalino	Cuarzo	00,4%
	Amorfo	-----	99,6%
	TOTAL		100,0%

Tabla II. Composición química de las materias primas (FRX)

Óxido	MA	CC
	Concentración (%)	Concentración (%)
SiO ₂	65,66	0,62
Al ₂ O ₃	17,71	0,17
Fe ₂ O ₃	5,74	0,07
K ₂ O	1,60	0,24
TiO ₂	0,91	-----
MgO	0,71	0,24
P ₂ O ₅	0,62	0,05
C ₂ O	0,34	-----
Na ₂ O ₅	65,66	-----
BaO	17,71	-----
ZrO ₂	5,74	-----
V ₂ O ₅	1,60	-----
CuO	0,91	-----
ZnO	0,71	-----
MnO	0,62	-----
SrO	0,34	-----
Cr ₂ O ₃	0,71	-----
SO ₃	-----	0,11
PPC	6,28	98,24

Tabla III. Eventos de pérdida de masa en el análisis termogravimétrico

Evento	T (°C)	% Pérdida masa
MA-1	77	1,26
MA-2	154	0,23
MA-3	304	0,13
MA-4	508	4,40
CC-1	86	4,27
CC-2	315	26,94
CC-3	347	32,77
CC-4	415	13,66
CC-4	500	21,08

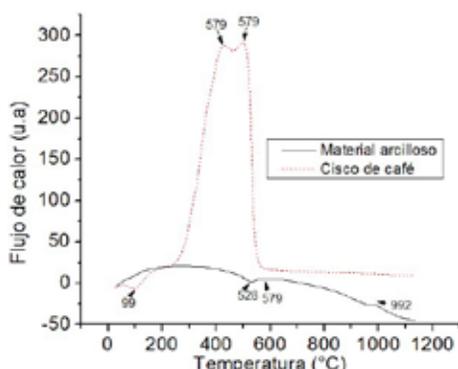


FIGURA 2. Perfil de flujo de calor (DSC) de las materias primas

De la información de los patrones de difracción de rayos X de la Fig. 1 y el consolidado de cuantificación de fases presentado en la Tabla I, se puede evidenciar que cerca del 75% del material arcilloso es cristalino, con el cuarzo como fase predominante. Las fases arcillosas presentes son la caolinita, moscovita dentro del grupo de las micas y trazas de montmorillonita. Minerales minoritarios como la anatasa, feldespato potásico (microclina) y hematita están presentes en el material MA. Esta última fase probablemente aporta parte color rojizo del cerámico. En relación al cisco de café el análisis de DRX revela que este material es prácticamente amorfo, con pequeñas trazas de cuarzo en su composición. La presencia de fases como la caolinita y moscovita en el material arcilloso aportan plasticidad a la hora del conformado y en la generación de fase vítrea [14-15].

Los resultados de composición química (Tabla II) muestran correlación con los datos de composición microestructural. Para MA se evidencia que Si y Al son los principales elementos presentes. Dichos elementos están presentes en las fases mayoritarias reportadas en la Tabla I. Un caso a resaltar está asociado con la concentración de hierro, el valor obtenido en la tabla II no coincide con la concentración de hematita de la tabla 1, esto podría indicar que el hierro está presente en más de una fase, por ejemplo la moscovita y en la fracción amorfa.

La presencia de elementos fundentes como el sodio (Na) y el potasio (K) no es muy alta en el material arcilloso MA. La presencia de K en este material (Tabla II) podría estar relacionado con las fases moscovita y la microclina. En relación al cisco de café CC, la información de la Tabla II (pérdidas por calcinación) deja ver que CC no es un gran portador de material inorgánico, aun así este contenido residual inorgánico (inferior al 2% de la masa) presenta un alto contenido de potasio, el cual podría llegar a tener influencia en el proceso cerámico.

El contenido de azufre en CC a nivel natural es bajo, sin embargo al evaluar solo el componente inorgánico (cenizas), debería tomarse medidas a fin de evitar la formación de sales solubles en los cerámicos elaborados con este material como material sustituto.

Finalmente los resultados de análisis térmico (Figura 2 y Tabla III), permiten discriminar la fuente de las pérdidas de calcinación reportadas en la Tabla II. En el caso de MA se evidenciaron 4 eventos de pérdida de masa, los cuales corresponden a agua físicamente absorbida/adsorbida (77°C), deshidratación de montmorillonita (154°C), deshidroxilación de hidróxidos de hierro (304°C) y de la caolinita (508°C) [16]. En el caso de CC, el primer evento identificado en 86°C está asociado a agua absorbida, los demás eventos están asociados a la oxidación de la materia orgánica (presencia de hemicelulosa, celulosa y lignina reportados para este material) [17].

El perfil de flujo de calor presentado en la Fig. 2, muestra como el material CC se caracteriza por la presencia de eventos exotérmicos (picos hacia arriba), mientras que en MA predominan los endotérmicos. El aporte de calor por parte de CC, parece un aspecto interesante a la hora de adicionar este material a una pasta cerámica.

Caracterización físico-cerámica Los resultados de caracterización fisicocerámica se presentan a continuación en las (figuras 2 a 5). De igual manera, en la (tabla IV) se presenta los resultados de conductividad térmica para las pastas de mejor comportamiento.

FIGURA 3. CONTRACCIÓN DE SECADO DE LAS PASTAS CERÁMICAS LUEGO DE CONFORMADO

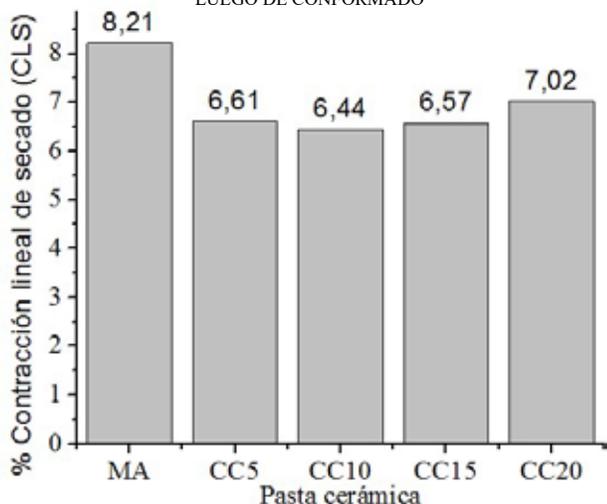


FIGURA 4. CONTRACCIÓN DE COCCIÓN VS PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGUA

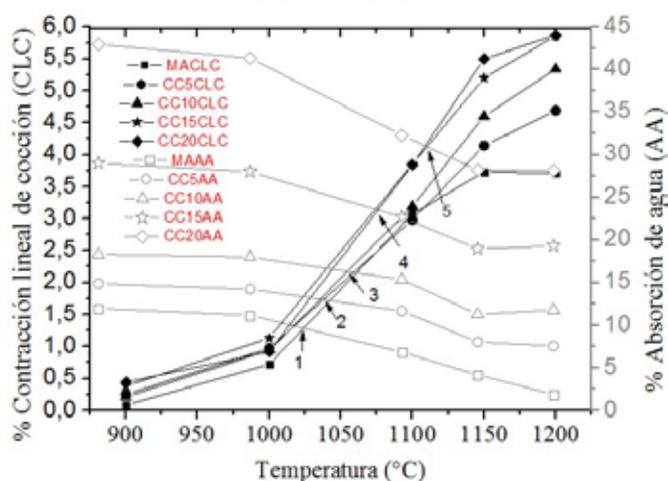


FIGURA 5. RESISTENCIA MECÁNICA A LA FLEXIÓN DE LOS CERÁMICOS OBTENIDOS

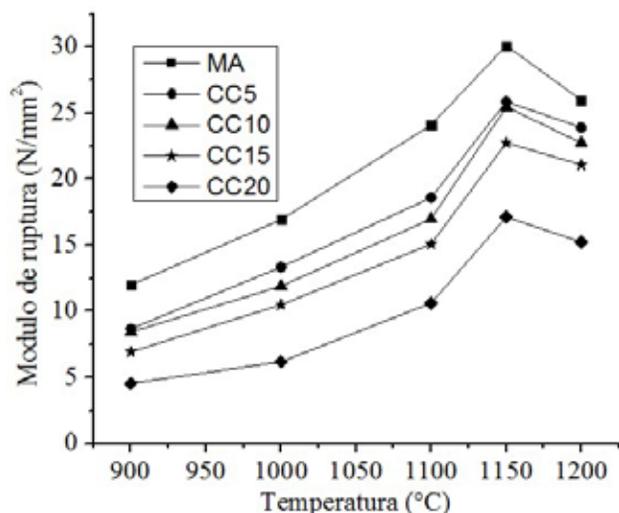


FIG. 6. RESISTENCIA MECÁNICA A LA ABRASIÓN PROFUNDA

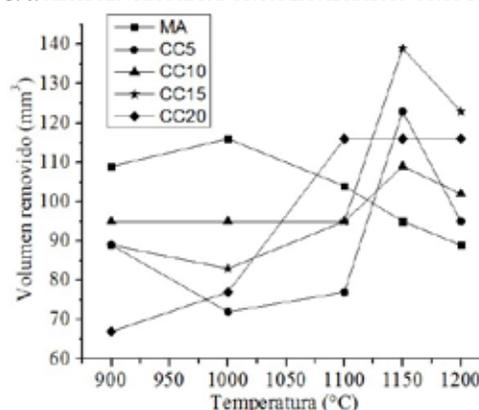


TABLA IV. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS CERÁMICOS ELABORADOS CON MA Y CC5

Temperatura (°C)	Conductividad térmica (W/m.K)	
	MA100	CC5
900	0,336	0,257
1000	0,407	0,335
1100	0,691	0,395
1150	0,777	0,403

El primer aspecto a resaltar del análisis físico-cerámico es la reducción de la contracción de secado (Figura 3) producto de la presencia del cisco, no hay diferencias significativas entre usar 5% o 15%. La información de la Figura 4 permite conocer el punto de gresificación de las pastas cerámicas [18]. Se evidencia que hay una relación directamente proporcional entre la concentración de CC en la pasta y el punto de gresificación, esto es, una mayor cantidad de cisco no favorece la densificación del cerámico. Se puede evidenciar cambios importantes en la contracción de cocción arriba de los 1050°C. Concentraciones altas de cisco conllevan a obtener cerámicos muy porosos, debido a las altas pérdidas de calcinación previamente identificadas.

En relación a las pruebas de resistencia mecánica (Fig. 5 y 6), se evidencia dos aspectos importantes, el primero asociado a la presencia de un punto límite entre 1100°C y 1150°C, donde posiblemente empiecen procesos de recristalización que afectan la resistencia del material [19].

Lo segundo es que se evidencia una disminución de la resistencia al incrementar la cantidad de cisco de café. La mayor porosidad producto de la desaparición de la fase orgánica del cisco de café, así como una menor presencia de caolinita y moscovita (por sustitución de MA por CC) como agentes generadores de fase vítrea [20], podrían explicar el resultado de pérdida de resistencia mecánica a la flexión y a la abrasión profunda.

A pesar del comportamiento obtenido los datos de resistencia mecánica a la flexión superan la carga de rotura de 400 N, el cual es el límite mínimo para uso en revestimientos, y a medida que sube la temperatura se logra superar los 900 N el cual es la carga mínima para uso como pavimento residencial y comercial [21].

Finalmente en los resultados de la Tabla IV se puede apreciar como la presencia del cisco de café en la pasta, permite disminuir la conductividad térmica del cerámico. Este resultado podría ser muy beneficioso ya que el uso de cerámicos de esta clase disminuiría la temperatura en el interior de las viviendas, lo cual haría más eficiente los sistemas de climatización, esto especialmente en zonas cálidas como las que se dan en el área metropolitana de Cúcuta.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos revelan que el uso de cisco de café como material sustituto permite la obtención de cerámicos de utilidad en el sector de la construcción, especialmente revestimientos y pavimentos.

El aumento de la porosidad permite mejorar la capacidad de aislamiento térmico del cerámico resaltando el potencial de este residuo dentro del concepto de economía circular. El análisis TG/DSC deja ver que el uso de cisco aporta calor al sistema, siendo esto favorable en términos de ahorro de combustible a la hora de fabricar cerámicos de construcción.

Resulta de interés para futuros trabajos el uso de la ceniza del cisco de café en vez del cisco como tal, con lo cual se podría llegar a pensar en reducir la temperatura de cocción del cerámico debido al alto contenido de potasio presente en la ceniza.

AGRADECIMIENTOS

Lo autores agradecen al personal del centro de investigación de Materiales Cerámicos de la Universidad Francisco de Paula Santander (CIMAC) por el apoyo brindado para el desarrollo del trabajo.

REFERENCIAS

- [1] J. I. Díaz, "Informe de resultados Análisis comparativo de las propiedades del conjunto de arcillas del proyecto: Fortalecimiento a 10 empresas del Clúster de la cerámica de Norte de Santander a través de la estandarización de sus principales productos a la Norma Técnica Colombiana". 2015
- [2] J. Sánchez and R. P. Ramirez. "El clúster de la cerámica del área metropolitana de Cúcuta". Editorial Universidad Francisco de Paula Santander. ISBN: 978-958-8489-37-7. 2013.
- [3] J. Sánchez. A. Sarabia and D. C. Alvarez. "Evaluación de materias primas utilizadas en la fabricación de baldosas de gres en el sector cerámico de Norte de Santander (Colombia)". Respuestas. Vol.21. No 2. 48-56. 2016.
- [4] P. Ghisellini. C. Cialani, and S. Ulgiati. "A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems". Journal of Cleaner Production, 114, 11-32. 2016.
- [5] M. S Andersen. "An introductory note on the environmental economics of the circular economy". Sustainability Science, 2(1), 133-140. 2007.
- [6] E. Sánchez. J. García-Ten and M. Regueiro. "Materias para la industria cerámica española. Situación actual y perspectivas". Bol. Soc. Esp. Ceram, 45(1), 1-12. 2006.

- [7] N. Tikul and P. Srichandr. "Assessing the environmental impact of ceramic tile production in Thailand". Journal of the Ceramic Society of Japan, 118(1382), 887-894. 2010.
- [8] M. V. Madurwar. R. V Ralegaonkar and S. A Mandavgane. "Application of agro-waste for sustainable construction materials: A review". Construction and Building Materials, 38,872-878. 2013.
- [9] N. V Boltakova. G. R. Faseeva. R. R. Kabirov. R. M. Nafikov. And Y A. Zakharov. "Utilization of inorganic industrial wastes in producing construction ceramics". Review of Russian experience for the years 2000-2015. Waste Management. 2016.
- [10] H. F. Dorado. "Uso de subproductos de la industria de café y caña de azúcar como fundente y formador de poros en la manufactura de ladrillos de arcilla roja" [recurso electrónico] (Doctoral dissertation). 2016.
- [11] R. K. Chinnam. A. A Francis. J. Will. E. Bernardo and A. R. Boccaccini. "Functional glasses and glass-ceramics derived from iron rich waste and combination of industrial residues". Journal of Non-Crystalline Solids, 365, 63-74. 2013.
- [12] A. Sarabia. J. Sánchez and J. C. Leyva. "Uso de nutrientes tecnológicos como materia prima en la fabricación de materiales de construcción en el paradigma de la economía circular". Respuestas. Vol. 22. No.1. 6-16. 2017.
- [13] A. Pedroza. "Formación León y Grupo Guayabo: Fuentes de provisionadoras de arcillas en el área de Cúcuta, Norte de Santander". Texto conferencia. Cúcuta, 4-8. 1996.
- [14] G. L. Lecomte-Nana. J. P. Bonnet and P. Blanchart. "Investigation of the sintering mechanisms of kaolin-muscovite". Applied Clay Science, 51(4), 445-451. 2011.
- [15] J. L. González. F. H. García and J.C Martínez. "La arcilla como material cerámico. Características y comportamiento". Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada (8), 479-490. 1983.
- [16] E. Manals-Cutiño. M. Penedo-Medina G. Giralt-Ortega. "Análisis termogravimétrico y térmico diferencial de diferentes biomásas vegetales". Tecnología Química, 31(2), 36-43. 2011.
- [17] I. Viczian. Földvári, Mária: Handbook of the thermogravimetric system of minerals and its use in geological practice: Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary, vol. 213, Budapest, 180 p. 2013.
- [18] C. M. Ríos. Uso de materias primas colombianas para el desarrollo de baldosas cerámicas con alto grado de gresificación (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín).
- [19] D. C. Alvarez. J. Sánchez and J. F. Gelves. Influencia de las materias primas y de la técnica de moldeo en la fabricación de productos cerámicos tipo gres. Ingeniería y Competitividad, 19 (2). 2017.
- [20] M. Fernández. Manual sobre fabricación de baldosas, tejas y ladrillos [DISCO MAGNETICO]. Laboratorio Técnico Cerámico, Igualada, España. 2000.
- [21] Enrique José. Requisitos técnicos de baldosas cerámicas para usos concretos. Qualicer 94. En línea, disponible en <<http://www.qualicer.org/recopilatorio/ponencias/pdf/9411060s.pdf>>.