

**ELABORACIÓN DE CEMENTO GRIS, USANDO COMO ADICIÓN EL RETAL CERÁMICO, RESIDUO PROVENIENTE DE LA INDUSTRIA CERÁMICA.**



**Camilo Arturo Arenas Gualdron**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:  
Especialista en Planeación Ambiental y Manejo Integral de Recursos Naturales

Director:

Edna Liney

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**Esp. Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales**

**BOGOTÁ, 30 de junio de 2018**

# ELABORACIÓN DE CEMENTO GRIS, USANDO COMO ADICIÓN EL RETAL CERÁMICO, RESIDUO PROVENIENTE DE LA INDUSTRIA CERÁMICA.

**Elaboration of grey cement, using as an addition the  
ceramic scrap, residue from the ceramic industry**

Camilo Arturo Arenas Gualdrón  
Geólogo, Estudiante especialización en planeación ambiental y manejo integral de los recursos naturales,  
Universidad Militar Nueva Granada  
Bogotá, Colombia  
Camilo.arenas.def@gmail.com

## RESUMEN

En el presente artículo, se presentan los resultados de la evaluación de la actividad puzolánica del retal cerámico (Mk), provenientes de una industria cerámica colombiana, cuyo proceso de cocción ocurre a temperaturas diferentes (800°C y 1000°C).; con el fin de explorar la posibilidad de utilizar este desecho industrial como adición al cemento gris. La actividad puzolánica se determinó por medio de la norma ASTM C311, C618 y NTC 4948. Se realizó una amplia revisión bibliográfica, se evaluaron las propiedades puzolánicas del material y se realizó un análisis mineralógico. Los resultados indicaron que el retal cerámico se puede considerar como un metacaolín y que tiene propiedades puzolánicas lo cual permite que este pueda ser utilizado como una adición para la elaboración de cemento gris.

**Palabras clave:** retal cerámico, metacaolín, puzolana, actividad puzolánica

## ABSTRACT

In the present article, there appear the results of the evaluation of the pozzolanic activity of the ceramic scrap (Mk) (ceramic scrap of tile and sanitary ceramic scrap) originated from a Colombian ceramic industry, whose cooking process occurs at different temperatures (800°C and 1000°C).; in order to explore the possibility of using this industrial waste as an addendum to the gray cement. The pozzolanic activity was determined by means of the ASTM C311, C618 and NTC 4948 standard. There was a wide bibliographic review, the evaluated properties pozzolanica of material and conducted a mineralogical analysis. The results indicated that the waste ceramic can be considered as a metakaolin and that has properties pozzolanic which allows it to be used as an addendum to the elaboration of gray cement.

**Keywords:** Offcut ceramic, Metakaolin, pozzolanic, pozzolanic activity

### 1. Introducción:

Producir cemento es un proceso costoso, pues involucra un gran requerimiento energético y presenta altos impactos ambientales, debido a la producción de gases y alta demanda de materiales provenientes de la minería. [1]

Con el fin de reducir costos en la producción de los cementos, así como de ser ambientalmente sostenibles, hoy en día la mayoría de los cementos se constituyen de una mezcla entre clinker, yeso y adiciones. Estos materiales son generalmente materiales de origen natural o subproductos de otros procesos. Las Adiciones o puzolanas pueden clasificarse según su origen en; puzolanas naturales y puzolanas artificiales; entre las primeras se encuentran las cenizas volcánicas, tobas volcánicas, zeolitas, tierras de diatomeas (diatomitas), en las segundas se destacan las cenizas volantes, arcillas activadas térmicamente, microsílíce (humo de sílice), cenizas de cáscara de arroz y escoria de Alto Horno o de fundición [2]–[5].

Las puzolanas artificiales son generalmente subproductos industriales y materiales tratados térmicamente, tales como el caolín, arcillas; los cuales no presentan ningún tipo de actividad puzolánica hasta el momento en que se destruye o se transforma su estructura cristalina mediante un tratamiento térmico a temperaturas entre 500 y 600°C [6], cuando se produce la calcinación del material. Por ejemplo, el retal cerámico, además de ser un subproducto industrial que ocupa centenas de m<sup>3</sup> en escombreras, y según lo anterior, tiene características para ser considerada como una puzolana artificial, debido a su proceso de fabricación y su composición química que pueden ser aprovechadas en la producción de cemento.

La cadena productiva de la cerámica, incluye los productos resultantes de la fabricación industrial de artículos de barro, loza y porcelana [7]. Para el año 2012 en el congreso mundial de cerámicas llamado QUALICER [8], se estimó para la industria colombiana una producción de más o menos 54 millones de m<sup>2</sup>/año y según este mismo ente, este volumen no es suficiente para satisfacer la demanda por que Colombia importa en promedio un 20% adicional de materiales cerámicos para poder satisfacer su demanda.

En Europa, la producción, es más industrializada y de gran tradición cerámica, se estima que cerca del 3-7% de la producción de la industria cerámica (blanca y roja) es descartada [9]; según autores como Gorchakov [10], estima un valor del 10% para las pérdidas o residuos, lo cual daría un promedio de 5.4 millones de m<sup>2</sup>/año se están generando como desechos o están quedando como un pasivo ambiental año tras año.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente artículo describe unos preliminares y recientes resultados de la posibilidad de utilizar estos grandes volúmenes de retal cerámico que se generan anualmente en la industria cerámica colombiana, como una nueva adición para la producción de cemento gris; enfocándose principalmente en la evaluación de la actividad puzolánica por medios mecánicos e instrumentales de análisis y en su química, buscando con esto poder generar una posibilidad de uso para este pasivo ambiental y generar un ahorro económico en la industria cementera.

## **2. MATERIALES Y PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

El retal cerámico se puede considerar como un metacaolín (Mk), por su proceso de fabricación y su composición mineralógica [11]. El metacaolín se ha estado investigando como material puzolánico en las últimas décadas, por científicos de todo el mundo, debido a su composición química,  $Al_2Si_2O_7$ , y a su estructura cristalina amorfa [12]. Se han realizado diversos estudios acerca de los beneficios que el metacaolín aporta a los concretos, por poseer propiedades de puzolana [13].

Para el desarrollo del estudio se utilizaron tres muestras de diferentes materiales, dos de retal cerámico, provenientes de una industria cerámica colombiana, y una de puzolana de origen natural. Estas muestras fueron analizadas en el laboratorio de una empresa de cementos.



**Figura 1.** Izquierda: Camara de curado. Derecha: Elaboración de morteros por parte del laboratorista  
**Fuente:** Elaboración propia

La composición química de las muestras se determinó con un espectrómetro de rayos x por dispersión de energía, dando como resultado los valores presentes en la tabla 1.

**Tabla 1.** Composición química de algunos materiales puzolánicos

<b>Materiales</b>	<b>Retal Cerámico 1</b>	<b>Retal Cerámico 2</b>	<b>Retal Cerámico 3</b>	<b>Puzolana</b>
<b>Campo</b>				
<b>%SiO<sub>2</sub></b>	73,54	71,75	72,6	71,26
<b>%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	14,86	16,22	18,4	13,94
<b>%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	2,45	5,24	1,61	1,2
<b>%CaO</b>	1,47	1,05	1,04	0,57
<b>%MgO</b>	0,99	1,01	0,3	0,27
<b>%SO<sub>3</sub></b>	0,06	0,12	0	0,12
<b>%Na<sub>2</sub>O</b>	0	0	1,08	3,14
<b>%K<sub>2</sub>O</b>	2,42	1,81	3,52	4,07
<b>%Cl</b>	0,08	0,01	0	0,18
<b>%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0	0,17	0,19	0,09
<b>%ZnO</b>	0,13	0,1	0,04	0,01
<b>%ZrO<sub>2</sub></b>	0,34	0	0	0
<b>%V<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0	0,04	0,02	0
<b>%TiO<sub>2</sub></b>	0,72	0,88	0,63	0,33

<b>%Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,03	0,08	0,08	0
<b>%Mn</b>	0	0	0	0
<b>%LOI</b>	2,21	1,37	0,43	4,78
<b>SUMA</b>	99,3	99,85	99,99	99,96

**Fuente:** Elaboración propia.

Para la elaboración de las mezclas cementicias, los materiales se llevaron a un tamaño menor de 45 micras, esto se realizó con la ayuda de una pulverizadora Herzog de masas tipo anillo. La reactividad del retal cerámico se determinó a partir de medios mecánicos. Se evaluó la actividad puzolánica a partir de la resistencia a la compresión, aplicando la norma NTC 220[14]. Para este fin se elaboraron morteros patrón y morteros adicionados con el 30% de cada uno de los materiales presentes en la tabla 1 respecto a la cantidad de cemento y arena (ver figura 2). El curado de los especímenes se realizó por un periodo de 1, 3, 7, 14 y 28 días inmersos en una cámara de curado. Los cubos que se elaboraron fueron fallados con la ayuda de una prensa hidráulica (Matest), dando como resultado los valores presentes en la tabla 2.

**Tabla 2.** Datos de resistencia

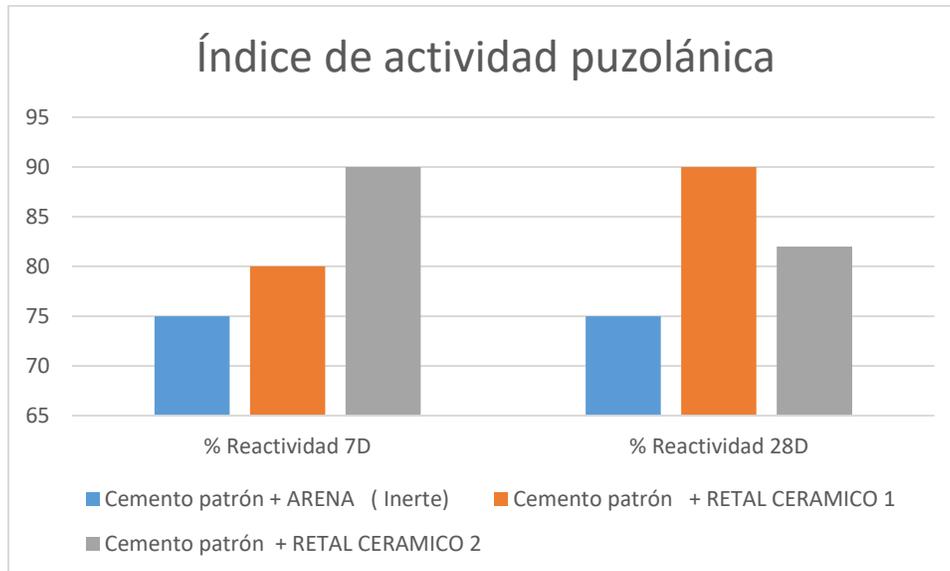
<b>ORIGEN</b>	<b>H<sub>2</sub>O (ml)</b>	<b>R1D %</b>	<b>R3D %</b>	<b>R7D %</b>	<b>R14D %</b>	<b>R28D %</b>
Cemento patrón	341,1	100	100	100	100	100
Cemento patrón + ARENA ( Inerte)	341,1	68	73	65	69	74
Cemento patrón + RETAL CERAMICO 1	341,1	62	65	69	83	88
Cemento patrón + RETAL CERAMICO 2	335	79	74	77	94	81
Cemento patrón + Puzolana	341,1	51	66	72	87	96

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Evaluación de la actividad puzolánica

En la tabla 2 se presenta la determinación del índice de actividad puzolánica que se llevó a cabo aplicando la Norma Técnica Colombiana NTC 4948 y NTC 220 [14], [15]. Se elaboraron cubos de 5 cm de lado, con cemento ordinario. Los morteros fueron hechos con una parte de cemento y 2,75 partes de una arena gradada normalizada (arena de Ottawa).



**Figura 2.** Índice de actividad puzolanica  
**Fuente:** Elaboración propia

Para la evaluación del índice de actividad puzolánica, la norma ASTM C618 precisa como valor mínimo un índice resistente igual o superior al 75% a 28 días para considerar un material como puzolana[16]. Para este caso se reportó un índice del 80% y 90% a los 7 y 28 días respectivamente. Según los resultados obtenidos, los cuales se observan en la Figura 2, el retal cerámico se puede considerar como una puzolana.

El retal cerámico presenta una composición química similar a la del metacaolín, pues está compuesto por SiO<sub>2</sub> Y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> principalmente como se puede ver en la tabla 1, estos datos coinciden con los rangos que dan autores como Restrepo y Torres [17], [18] los cuales son 49.55 % - 73.53 % y 23.11 % - 45.29 % respectivamente, de igual manera en el proceso de producción de la cerámica se deben alcanzar temperaturas alrededor de 700°C y 900°C, rango que consideran algunos autores[19], [20] para la activación del metacaolín.

Una observación importante hecha por autores como Bain [21] es que a temperaturas mayores de 950°C decae la actividad puzolanica del MK, esto se puede corroborar con la muestra de retal cerámico 2 (figura 2), la cual arroja valores de 82 % de puzolanidad a 28 días, un 8 % menos que el retal cerámico 1, debido a que el retal cerámico 2 en su proceso de elaboración alcanza temperaturas superiores a los 1000°C, disminuyendo su índice de puzolanidad.

### 3.2 EVALUACIÓN DE FLUIDEZ Y CONSUMO DE AGUA

Según los datos de fluidez que se observan en la tabla 2, y según la norma NTC 5784 [22], la cual señala un valor de fluidez de  $110 \pm 5$  para la elaboración de

motos, la muestra elaborada con el retal cerámico muestra un valor de 118 en fluidez, lo cual indica que esta mezcla necesita un 3% menos de agua para su elaboración (Aprox 10 ml ). De manera similar en la figura 3, se puede observar que el consumo de agua en mililitros con respecto a las muestras patrón, de las muestras del retal cerámico 1 y 2 es menor.



**Figura 3:** Consumo de agua para la elaboración de la mezcla para morteros

**Fuente:** Elaboración propia

En otros estudios [23], [24] se ha demostrado que los concretos adicionados con MK tienen mejor manejabilidad, requiriendo entre un 25% y 35% menos superplastificantes que los adicionados con humo de sílice. Esto se debe a que los superplastificantes se usan con el fin de poder disminuir el consumo de agua y mejorar la manejabilidad de la mezcla, si tenemos en cuenta que el retal cerámico disminuye la cantidad de agua requerida para la mezcla, generaría a su vez una disminución en el uso del superplastificante generando de esta forma no solo una reducción en términos económicos sino además un aporte en los gastos del recurso agua.

### 3.3 REDUCCIÓN PASIVO AMBIENTAL

El sector cerámico en Colombia está altamente concentrado; más del 80% de la producción pertenece a cuatro empresas: ColCerámica S.A. (Grupo Corona), Cerámica Italia (10% del mercado de pisos en el país), Alfagrés S.A. (nacional) y Eurocerámica (nacional).

Para el año 2012 en el congreso mundial de cerámicas llamado QUALICER [8] se estimó para la industria colombiana una producción de más o menos 54 millones de

m<sup>2</sup>/año y según este mismo ente, este volumen no es suficiente para satisfacer la demanda. Colombia importa en promedio un 20 % adicional de materiales cerámicos para poder de esta forma satisfacer su demanda.

En Europa, la producción cerámica es más industrializada y de gran tradición. Según Robayo y Salazar se estima que cerca del 3-7% de la producción de la industria cerámica (blanca y roja) es descartada [9], por lo cual se estima que para Colombia este valor se encuentre alrededor de un 10 % que en promedio serían 5.4 millones de m<sup>2</sup>/año se están generando como desechos o acumulándose como un pasivo ambiental, el cual podría ser reutilizado en la industria cementera de nuestro país, generando un beneficio desde el punto de vista ambiental y económico.

### **3.4 Otros efectos**

La alta actividad puzolánica del MK permite la obtención de hormigones más densos que conllevan al decrecimiento de la permeabilidad de la matriz y al aumento de la protección de la corrosión del refuerzo; donde a su vez el riesgo a la corrosión se reduce respecto de las concentraciones de álcali en la solución de poros. [11]

La actividad puzolánica del metacaolín se evidencia cuando se obtiene un material con una serie de ventajas sobre los cementos Portland sin adiciones, tales como:

- Incremento de las propiedades mecánicas especialmente a edades tempranas, debido al bajo porcentaje de agua de mezclado, en comparación con cementos adicionados con puzolana.[11], [18]
- Incremento de la resistencia al ataque de sulfatos
- Decrecimiento de la permeabilidad
- Disminución en la evolución del calor de hidratación

## **4. CONCLUSIONES**

La composición mineralógica del retal cerámico es similar a la de un metacaolín y su proceso de activación térmico presenta rangos similares, por lo cual el retal cerámico se puede considerar como un metacaolín.

Según el índice de actividad puzolánica obtenido para el retal cerámico 1 Y 2 a edades de 7 días y 28 días respectivamente, se concluye que el retal cerámico se considera como una puzolana de tipo artificial. Sin embargo, se encontró que, debido al proceso de producción de las cerámicas 2, en la etapa de cocción alcanzan temperaturas mayores a los 1000 °C, por lo tanto, su índice de puzolanidad es más bajo respecto al de la muestra de retal cerámico 1.

De igual manera se determinó mediante la evaluación de fluidez, que el uso de retal cerámico para la elaboración de morteros respecto a otros materiales como lo son el ladrillo o la puzolana, requiere 3% menos agua, generando de esta forma no solo

una reducción en términos económicos sino además un impacto positivo en el ambiente.

Con base en lo anterior, se podría pensar en la utilización de retal cerámico como una adición al cemento, que generara beneficios económicos y ambientales, porque este subproducto de la industria cerámica tendría una reutilización y se evitaría que siguiese llegando a rellenos sanitarios.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] J. T. AGREDO, E. BAQUERO, A. S.- Dyna, and undefined 2009, "Evaluación de la actividad puzolánica de un residuo de la industria del petróleo," *scielo.org.co*.
- [2] H. F. W. TAYLOR, *Enciclopedia de la química industrial. La Química de los Cementos. Traducción de F. Romero Rossi*. Bilbao, España: Escuela de Ingenieros Industriales de Bilbao, 1967.
- [3] L. L. YU L.H., OU,H y LEE, "Investigación sobre el efecto puzolánico del polvo de perlita.," Universidad de Nanchang, Jianxi, China, 2002.
- [4] X. P.-C. and concrete research and undefined 1999, "Investigation on pozzolanic effect of mineral additives in cement and concrete by specific strength index," *Elsevier*.
- [5] L. Ahumada, J. R.-P.-R. A. C. Cien, and undefined 2006, "Uso del SiO<sub>2</sub> obtenido de la cascarilla de arroz en la síntesis de silicatos de calcio," *academia.edu*.
- [6] P. GIBBONS, "Puzzolans for lime mortars.," *Aticles from Build. Conserv. Conserv. repair Ecles. Build.*, 1997.
- [7] "ceramica mantenimiento DNP - Buscar con Google." [Online]. Available: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo Empresarial/Ceramica.pdf>. [Accessed: 11-Jun-2018].
- [8] C. Ríos, O. Restrepo, E. Barrachina, and E. Cerisuelo, "FABRICACIÓN DE GRES PORCELÁNICO EN COLOMBIA: UNA ESTRATEGIA PARA EL MERCADO CERÁMICO NACIONAL," *qualicer.org*.
- [9] R. Robayo-Salazar, ... R. M. de G.-F., and undefined 2016, "Producción de elementos constructivos a partir de residuos de ladrillo activados alcalinamente," *redalyc.org*.
- [10] G. G.I., *MATERIALES DE CONSTRUCCION*, MIR. MOSCU, 1984.
- [11] J. R. Gutiérrez, O. R. Baena, J. T.- Dyna, and undefined 2006, "Efectos de

la Adición de Metacaolín en el Cemento Pórtland,” *scielo.org.co*.

- [12] G. B. SHA, W. y PEREIRA, “Estudio por medio de DSC de la pasta de cemento Portland ordinario que contiene Metacaolín y un acercamiento teórico a la actividad del Metacaolín.,” *Esc. Ing. Civil, Univ. Belfast, Belfast, U.K.*, 2001.
- [13] G. Cardozo, L. G.- Tekhnê, and undefined 2009, “Estudio del comportamiento de concreto con mezcla de conglomerantes de cemento blanco y metacaolín,” *revistas.udistrital.edu.co*.
- [14] “NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 121,” 1982.
- [15] “NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 220,” 2017.
- [16] A. R. Pourkhorshidi, M. Najimi, T. Parhizkar, F. Jafarpour, and B. Hillemeier, “Applicability of the standard specifications of ASTM C618 for evaluation of natural pozzolans,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 32, no. 10, pp. 794–800, Nov. 2010.
- [17] J. AGREDO, R. de G.- Dyna, and undefined 2007, “Influencia de la composición mineralógica de los caolines sobre el desempeño de morteros adicionados con MK,” *revistas.unal.edu.co*.
- [18] J. R. GUTIÉRREZ, O. R. B.- Dyna, and undefined 2006, “Effects of the Addition of Metakaolin in Portland Cement,” *scielo.org.co*.
- [19] M. MURAT, *Preliminary investigation of metakaolinite.*, Cement and. 1983.
- [20] S. y AMBROISE, A, MAXIMILIEN and J. PERA, “Propiedades del Metacaolín mezclado con cemento.,” *Cem. Bas Master*, 1994.
- [21] J. A. BAIN, *Mineralogical assessment of raw materials for burnt clay puzzolans. Lime and alternative cement.* 1974.
- [22] P. NIÑO, Y. ALVARADO, D. OSORIO, and J. CASTAÑO, “INFLUENCIA DEL RÉGIMEN DE CURADO SOBRE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETOS DE ULTRA ALTO DESEMPEÑO (CUAD),” *researchgate.net*.
- [23] R. . CALDARONE, M. A.; GRUBER, K. A. and BURG, *Hight-reactivity metakaolin: a new generation minerals admixture. Concrete International: design and construction.* 1994.
- [24] J. M. and J. WILD, S.; KHATIB and A., *Relative strength, pozzolanic activity and cement hydration in superplasticised metakaolin concrete. Cement and Concrete Research.* 1996.

