



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Obtención y caracterización de cemento alcalino elaborado a partir de roca volcánica (toba)

Jean Paul Marquez Castañeda¹

¹Jean Paul Marquez Castañeda, Universidad La Gran Colombia, Colombia, paulmarqz@gmail.com

Resumen

Este trabajo muestra algunas propiedades mecánicas y durabilidad de morteros elaborados por activación alcalina de un aluminosilicato (toba volcánica) extraída de Manizales (Colombia). Para esto, se empleó hidróxido de sodio (NaOH) y silicato de sodio (Na_2SiO_3) como agentes alcalinos. Para evaluar el desempeño del geopolímero, se elaboraron cubos de mortero, donde a través de una metodología experimental se determinaron variables como temperatura y tiempo de curado, relación arena-material cementante, tipo y concentración del agente alcalino. Finalmente los cubos de mortero se analizaron mecánicamente, donde se determinó su resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de edad. Adicionalmente se evaluó la durabilidad de los cubos de mortero, sometiéndolos a un ambiente ácido donde se utilizó una solución de ácido clorhídrico HCl 0.1N y a altas temperaturas (450°C) para, posteriormente determinar su resistencia a la compresión. Los resultados obtenidos fueron comparados con cubos elaborados con cemento Portland tradicional, como material de control. El material resultante presentará una lista de propiedades donde se evidencia el potencial que tiene la toba como material cementante el cual no tiene ningún tipo de proceso industrial, ni aditivos, ni emisiones de CO_2 durante su uso, razón principal de esta investigación.

Palabras clave: aluminosilicatos, cemento alcalino, geopolímero,

Abstract

This paper presents some mechanical and durability of mortars produced by alkali activation of a aluminosilicato (tuff) extracted from Manizales (Colombia) properties. To this, sodium hydroxide (NaOH) and sodium silicate (Na_2SiO_3) was used as alkaline agents. To evaluate the performance of geopolymer, mortar

1 | “Congreso Internacional de Investigación e Innovación 2016” Multidisciplinario, 21 y 22 de abril de 2016. México



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

cubes, where through an experimental methodology variables such as temperature and curing time, sand-cementitious material ratio, type and concentration of alkaline agent were determined they were developed. Finally, the mortar cubes are mechanically analyzed, where the compressive strength at 7, 14 and 28 days of age was determined. Additionally the durability of mortar cubes, subjecting to an acid atmosphere where a solution of HCl 0.1N hydrochloric acid and high temperature (450oC) was used to subsequently determine its compressive strength was evaluated. The results were compared with buckets made from traditional Portland cement as material control. The resulting material has a list of properties where the potential of tuff as evidence cementitious material which does not have any industrial process, no additives, no CO₂ emissions during use, the main reason for this investigation.

Keywords: aluminosilicate alkaline cement, geopolymer,

1. Introducción

El cemento Portland es uno de los materiales que constituyen principalmente la mezcla de concreto, no obstante debido a su alto nivel de producción, la industria del cemento Portland se enfrenta a problemas de trascendencia social, por el uso de materias primas a base de combustibles fósiles. Así se estima que entre el 6-7% de las emisiones totales de CO₂ a la atmosfera a escala global, se deben a la industria cementera (Fernández 2009).

Materiales alternativos de tipo cementoso han sido objeto de investigación en las últimas décadas, ya que poseen la capacidad de sustituir parcial o totalmente al cemento Portland debido a su composición y características en aspectos como estructura cristalina, tamaño de partículas y reacción puzolanica o hidráulica, creándose así una nueva clase de materiales denominados geopolímeros.

Los geopolímeros o polímeros inorgánicos consisten en aluminio silicatos alcaliactivados obtenidos por medio de una reacción geo sintética que usa bajas temperaturas. Se ha reportado además que el uso de estos geopolímeros evita la emisión de CO₂ a la atmosfera en un orden del 80-90% en comparación con el cemento Portland (Duxon et al., 2007). Estos materiales pueden resultar ventajosos como agentes cementantes alternativos al aprovechar los recursos naturales que producen baja contaminación en su proceso de sintetizado, además, nos solo contribuyen a la disminución del CO₂ sino que también ofrecen una alternativa económicamente viable.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Existen numerosos trabajos que hablan sobre el comportamiento mecánico y durable de las pastas de mortero mezcladas con cementos alcalinos (Davidovits et al., 2003; Palomo et al., 1999; Fernández et al., 2005;) sin embargo, son muy pocos los que hacen referencia a la fabricación de morteros haciendo uso de materiales volcánicos como material cementante o materia prima para activación alcalina. Trabajos como el de Gonzales et al., (2012) muestran como la sustitución del agregado fino por un geopolímero a base de piedra pómez afecta la resistencia a la compresión del concreto, influenciada por factores relacionados con el tiempo y la temperatura de curado y la dosificación de la mezcla.

El objetivo de esta investigación, consiste en obtener un cemento alcalino a partir de la toba volcánica y poner en evidencia el potencial que tiene este material desde un punto de vista mecánico y de durabilidad. Se presentaran los resultados preliminares de la síntesis del geopolímero, el cual sustituyó totalmente al cemento Portland en una mezcla de mortero.

2. Materiales y metodología

En esta investigación se utilizó toba volcánica extraída de Manizales (Colombia). El resultado semicuantitativo de la muestra se da a conocer en la Tabla1, la cual se determinó

experimentalmente mediante fluorescencia de rayos X (XRF).

Tabla 1. Composición química en (%)

Composición química (%) / Chemical composition (%)						
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO
66.985	13.417	3.876	3.453	3.305	2.763	1.064

Se puede observar que los principales componentes de la toba son el óxido de silicio y el óxido de aluminio a diferencia del cemento Portland el cual está compuesto en su mayoría por óxido de calcio.

Para la activación alcalina se utilizaron mezclas de NaOH con molaridades de 2 a 8; mezclas de Na₂SiO₃/NaOH con relaciones de 0.5 a 2 y en molaridades de 2 a 9. Con el fin de encontrar la relación y concentración que permita una conectividad óptima de los aniones de silicato (Van Deventer et al., 2000)

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

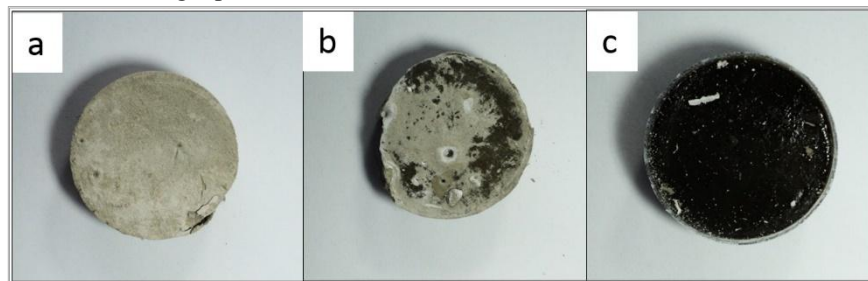
21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

3. Resultados y discusión

3.1 Comportamiento de la toba con los agentes alcalinos

En la Figura 1 se evidencia que las muestras donde se utilizó relaciones de $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ altas ($R=2$, $R=2.5$) y molaridades altas (superiores a 5), no curaron al cabo de unos días; por el contrario las muestras donde se utilizaron relaciones y molaridades bajas, curaron y desarrollaron algo de dureza

Figura 1. Muestras de geopolimerización a) relación 0.5 2M. b) NaOH 5M. c) relación 2.5 5M



3.2 Prueba de curado y relación arena/material cementante

Para determinar la relación arena/material cementante y la temperatura de curado que ofrezcan un mejor desempeño mecánico en las muestras, se elaboraron cubos de mortero de 5x5x5cm, utilizando dosificaciones y condiciones de curado descritas en la Tabla 2. Posteriormente, las probetas fueron expuestas a cargas de compresión a los 7 días de edad

Tabla 2. Dosificación y condiciones de curado

Dosificación			Agente Alcalino		Condiciones de curado
Arena (%)	Toba (%)	Relación arena/toba	Solución	Molaridad	
50	50	1	NaOH	2	24h a 22°C, 24h a 60°C, 24h a 80°C
60	40	1.5			24h a 22°C, 24h a 60°C, 24h a 80°C
66.67	33.33	2			24h a 22°C, 24h a 60°C, 24h a 80°C



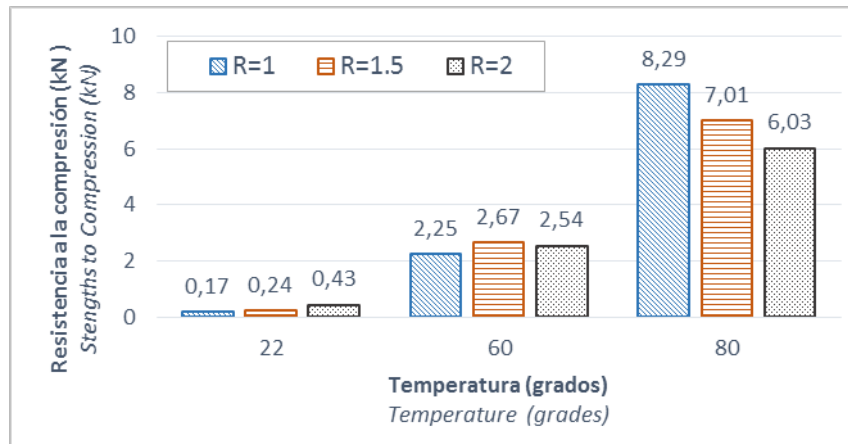
“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

En la Figura 2 se muestran los resultados de ensayo de resistencia a la compresión, se observa que a una temperatura ambiente de curado, las probetas no ofrecen resistencia a la compresión. Por otro lado, los cubos que estuvieron a una temperatura de 80°C ofrecen valores de resistencia superior a los cubos que estuvieron a 60°C por el mismo periodo de tiempo. Se evidencia también, que los cubos que se elaboraron con un cantidad mayor de toba, es decir relación arena/material cementante = 1, ofrecen valores de resistencia a la compresión superiores

Figura 2. Resistencia a la compresión con variables de temperatura y relación (R) arena/material cementante



3.3 Prueba con agentes alcalinos

De acuerdo a los resultados obtenidos en las anteriores pruebas, los agentes alcalinos seleccionados para esta prueba fueron NaOH 2 y 3 M, Na₂SiO₃/NaOH en relación 0.5 y 1, a 2 y 3 M. En la Tabla 3 se muestran las dosificaciones usadas en esa prueba.

Tabla 3. Dosificación y condiciones de curado

Dosificación		Agente alcalino			Condiciones de curado
Arena (%)	Toba (%)	Solución	Relación	Molaridad	
50	50	NaOH	-	2	24h a 80°C
		NaOH	-	3	
		Na ₂ SiO ₃ /NaOH	0.5	2	
		Na ₂ SiO ₃ /NaOH	0.5	3	
		Na ₂ SiO ₃ /NaOH	1	2	
		Na ₂ SiO ₃ /NaOH	1	3	
		Na ₂ SiO ₃ /NaOH	0.5	4	



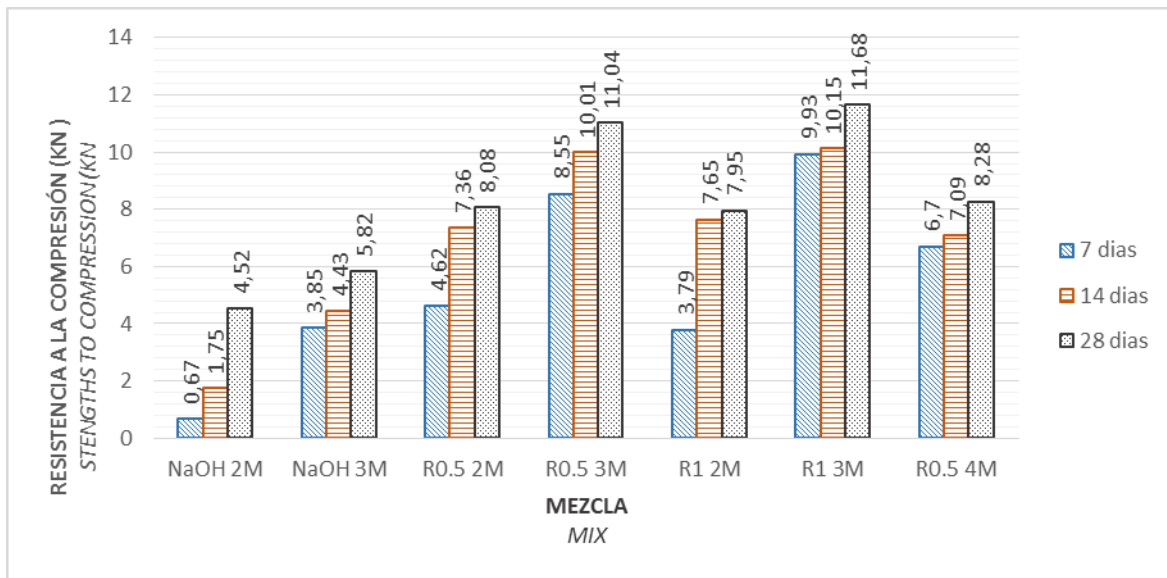
“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Como se observa en la Figura 3, los agentes alcalinos compuestos por hidróxido de sodio y silicato de sodio son más efectivos que los compuestos de solo hidróxido de sodio. La molaridad que mejor se desempeña es 3 M, donde se obtiene valores cercanos a los 10 kN a los 7 días de edad.

Figura 3. Resistencia a la compresión con variables de agentes alcalinos



3.4 Comportamiento mecánico y durable

Para el desarrollo de esta etapa de la investigación, se seleccionó el agente alcalino $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH} = 1$ con una concentración de 3 M, según los resultados obtenidos en la Figura 3. Su curado fue a una temperatura de 80°C por un periodo de 24 horas. Como material de control se utilizó cemento Portland marca Argos (cemento gris de uso general) para realizar cubos de mortero según la norma I.N.V.E 323.

3.4.1 Resistencia a la compresión

Como se observa en la Figura 4, la resistencia a la compresión que desarrollaron los cubos de mortero elaborados con el geopolímero es inferior en un 50%, aproximadamente, a la del cemento Portland. También se evidencia que la tasa de crecimiento de resistencia de los cubos elaborados con cemento Portland tiene



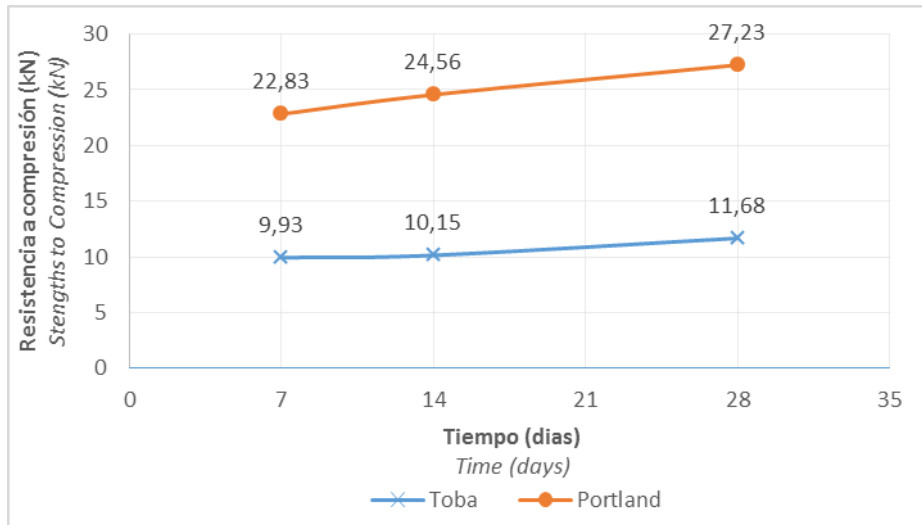
“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

una pendiente mayor a la curva registrada por los cubos elaborados con el geopolímero. Esta evolución de la resistencia de los cubos elaborados con el geopolímero es típica en estos materiales, donde en los primeros días desarrollan altas resistencias y aumentan lentamente con el paso del tiempo.

Figura 4. Resistencia a la compresión geopolímero vs cemento Portland

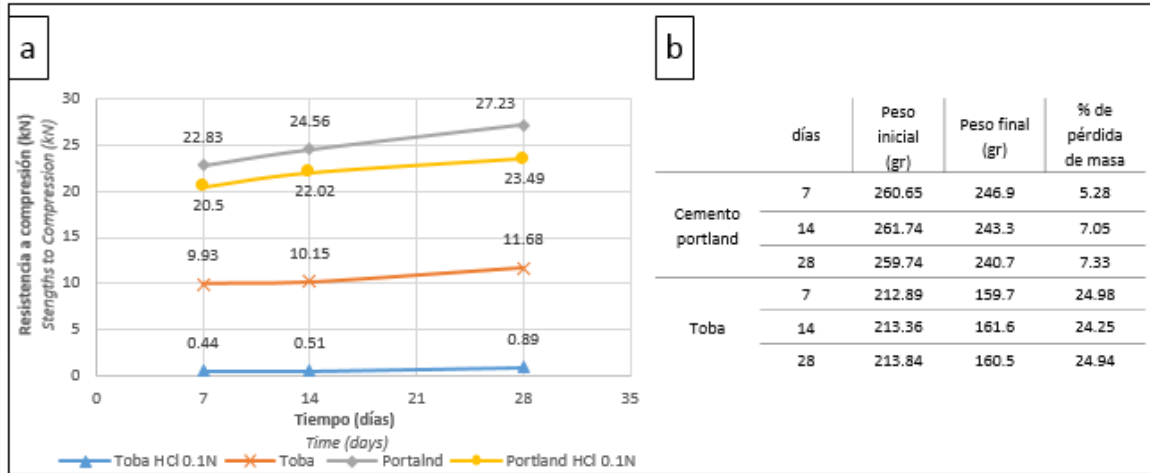


3.4.2 Resistencia al ataque químico

Para esta prueba se elaboraron cubos de mortero de 5x5x5cm. Después de ser desmoldados, se pesaron y se colocaron en una solución de ácido clorhídrico HCL, con una concentración de 0.1N. Posteriormente se sacaron de la solución acida un día antes de la prueba de resistencia a la compresión, para ser secados y pesados con el fin de determinar su pérdida de masa. En la Figura 5 se muestran los resultados obtenidos durante esta prueba.

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”
 Multidisciplinario
 21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Figura 5. Resistencia al ataque químico. a) Resistencia a la compresión. b) Pérdida de masa



Durante esta prueba se notó el cambio de fase en los componentes de la mezcla del agente alcalino. Este fenómeno creó una grieta horizontal en los cubos de mortero, la cual fue responsable de una pérdida de masa de un 25% de su masa total. Como consecuencia la resistencia a la compresión de los cubos disminuyó dramáticamente, reduciendo los valores de resistencia en un 92%. Los resultados obtenidos en las pruebas con los cubos de mortero elaborados con cemento Portland, la pérdida de masa fue de 7% aproximadamente, y los valores de la resistencia a la compresión disminuyeron en un 13.7%.

3.4.3 Resistencia a altas temperaturas

Para esta prueba se elaboraron cubos de mortero de 5x5x5cm. Previamente al ensayo de compresión, los cubos fueron pesados para determinar su masa, luego estuvieron en horno a una temperatura de 450°C, por un periodo de una (1) hora, inmediatamente se cumplió este tiempo fueron pesados nuevamente, para determinar si había pérdida de masa. Los resultados de este ensayo se muestran en la Figura 6.

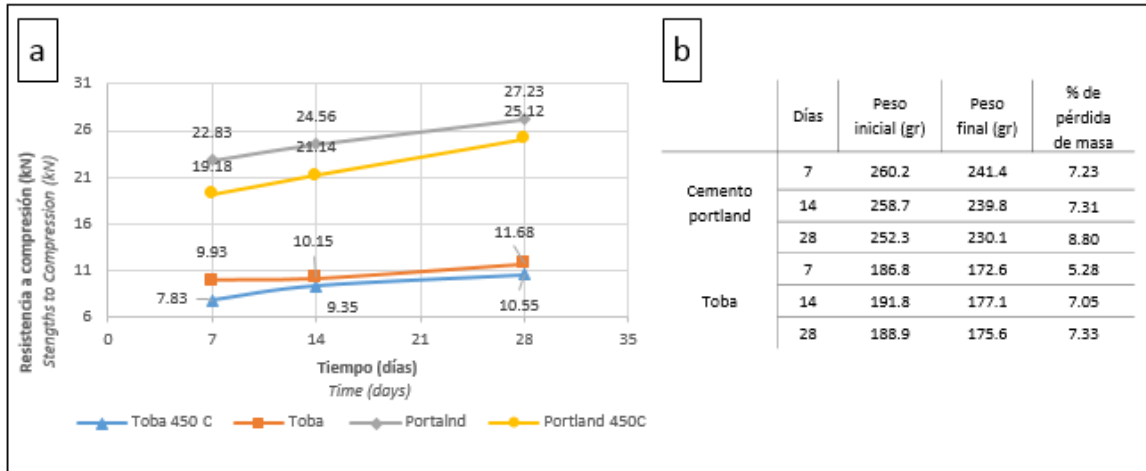
Figura 6. Resistencia a altas temperaturas. a) Resistencia a la compresión. b) Pérdida de masa
 “Congreso Internacional de Investigación e Innovación 2016” Multidisciplinario, 21 y 22 de abril de 2016. México



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México



Se evidencio que la pérdida de masa es similar para los cubos elaborados con el geopolímero como para los cubos elaborados con cemento Portland, el cual es de en promedio 7%, respecto a su masa total. Esta temperatura no logra afectar de forma significativa la estructura física de los cubos de mortero. La resistencia a la compresión disminuyó un 10% en los cubos elaborados con el geopolímeros expuestos a altas temperaturas respecto a los que no; durante la inspección visual de los cubos, no se evidencia fisuras o fracturamientos

4. Conclusiones

La toba como material de estudio, presento un comportamiento exitoso en el proceso de geopolimerización, los resultados de resistencia a la compresión a pesar de ser inferiores a los del cemento Portland, dan una clara idea del potencial que tiene la toba para crear un geopolímero con uso cementante. La durabilidad y comportamiento mecánico se puede mejorar, trabajando variables como finura de la toba, ya que está relacionada con la calidad y el proceso de geopolimerización, es por esto que se recomienda utilizar materiales con una finura similar a la que ofrece el cemento Portland tradicional, la cual es de alrededor de 2800 Blaine (cm²/gr).



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

21 y 22 de abril de 2016, Cortazar, Guanajuato, México

Para optimizar la resistencia a la compresión en los cubos de mortero se recomienda utilizar la mezcla del agente alcalino inmediatamente sea elaborada, esto con el fin de evitar cambios de fase en la solución y posteriormente en los cubos de mortero, mejorando así, las propiedades mecánicas y de durabilidad de los cubos de mortero

5. Referencias

- Deventer, J. (1999). The effect of metal contaminants on the formation and properties of waste-based geopolymers. doi:10.1016/S0008-8846(99)00032-0
- Krivenko, P. V., & Kovalchuk, G. Y. (2007). Directed synthesis of alkaline aluminosilicate minerals in a geocement matrix. *Journal Of Materials Science*, (9), 2944.
- Krivenko, P., & Kovalchuk, G. (2015). Achieving a heat resistance of cellular concrete based on alkali activated fly ash cements. *Materials And Structures*, (3), 599.
- L., E., & I., E. (2008). Comparación de las propiedades del concreto utilizando escoria de alto horno como reemplazo parcial y total del cemento Pórtland ordinario. *Nexo*, (01), 11.
- Martínez López, C. (2015). Evaluación ambiental del uso de geopolímeros basados en dos puzolanas volcánicas como alternativa potencial al cemento portland.
- Turanli, L., Uzal, B., & Bektas, F. (2004). Effect of material characteristics on the properties of blended cements containing high volumes of natural pozzolans. *Cement And Concrete Research*, 342277-2282. doi:10.1016/j.cemconres.2004.04.011
- Xu, H., & Van Deventer, J. S. (2002). Geopolymerisation of multiple minerals. *Minerals Engineering*, 151131-1139. doi:10.1016/S0892-6875(02)00255-8
- Xu, H., & Van Deventer, J. (2000). The geopolymerisation of alumino-silicate minerals. *International Journal Of Mineral Processing*, 59247-266. doi:10.1016/S0301-7516(99)00074-5