



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

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

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN GEOPOLÍMERO SINTETIZADO CON ARCILLA COMO MATERIAL CEMENTANTE

EVALUATION OF RESISTANCE TO COMPRESSION OF A GEOPOLYMER SYNTHESIZED WITH CLAY AS CEMENTITIOUS MATERIAL

Ana Katherine Muñoz Castro.
UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA.
anaking13@outlook.com

Resumen– Las investigaciones sobre nuevos materiales de construcción que suplan el uso de cemento portland surgen a partir de los altos índices de contaminación del medio ambiente, especialmente por los gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂) del cual el 7% es generado en la producción del cemento convencional y cada año este porcentaje se incrementa en la industria. Por cada 1.000 kilogramos de cemento producido, se emiten 900 kilos de CO₂, mientras que la producción de geopolímeros emite cantidades de CO₂ en un 80% menos que la del cemento común [1].

En el presente trabajo se expone la creación de un geopolímero sintetizado con arcilla como cementante, el objetivo principal es obtener una resistencia a la compresión similar a la del cemento portland, hallar una correlación entre los mejores activantes, respecto al elemento alcalino más apropiado, su molaridad y su concentración en la solución química. El éxito de la generación de un geopolímero se basa en los elementos que componen la materia prima del mortero, además de encontrar el punto óptimo entre la relación de la cantidad de agente hidratante y agregado, el tiempo de curado y la temperatura.

La metodología empleada se fundamenta en la experimentación, se basa en cuatro fases de investigación, la primera en reconocer diversas investigaciones referente al tema, la segunda en caracterizar los materiales seleccionados, la tercera en realizar los diferentes ensayos de laboratorio y finalmente analizar los valores de la resistencia a la compresión que para este caso el más alto fue de 8.77 Mpa a los 28 días, con un agregado de arena de río, a una temperatura de 120°C; y aunque este valor es la tercera parte del valor indicado en la NTC 220, es preciso seguir indagando en los factores que influyen tanto en la mezcla del mortero como en el curado para encontrar mejores resultados.

Palabras clave– Geopolímeros, morteros, activación alcalina, arcillas activadas alcalinamente, resistencia a la compresión.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

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

Abstract– *Research on new building materials that replace the use of Portland cement emerging from the high levels of pollution, especially greenhouse gases like carbon dioxide (CO₂) of which 7% is generated in conventional cement production each year and this percentage increases in the industry. Per 1,000 kilograms of cement produced, 900 kilos of CO₂ are emitted, while production of geopolymer amounts of CO₂ emitted 80% less than that of ordinary concrete [1].*

In this work the creation of a geopolymer synthesized with clay as cementitious material, have the main objective of to obtain compression strength similar to that of Portland cement, find a correlation between the best activators, regarding the most appropriate alkaline element, its molarity and its concentration in the chemical solution. The success of generating a geopolymer is based on the elements of the raw material mortar, in addition to finding the optimum relationship between the amount of moisturizing and aggregates, the curing time and temperature.

The methodology is based on experimentation, it is based on four phases of research, the first to recognize various investigations concerning the subject, the second to characterize the materials selected, the third in performing various laboratory tests and finally analyze values the compressive strength for this case the highest was 8.77 MPa at 28 days, with an aggregate of river sand at a temperature of 120 ° C; and although this value is one third of the value specified in NTC 220, it is necessary to continue work on the factors that influence both the mortar mix and curing to find better results.

Keywords- *Geopolymers, mortar, akali activation, alkali-activated clays, compressive strength.*

I. INTRODUCCIÓN

De todos los conglomerantes hidráulicos el cemento portland y sus derivados son los más empleados en la construcción debido a estar formados, básicamente, por mezclas de caliza, arcilla y yeso que son minerales muy abundantes en la naturaleza, su precio es relativamente bajo en comparación con otros materiales y tiene unas propiedades muy adecuadas para los propósitos que debe alcanzar, pero su producción se derivada de la calcinación de la piedra caliza, la cual conlleva a la emisión de uno de los gases que contribuyen al efecto invernadero, el dióxido de carbono (CO₂).

La producción de geopolímeros emite cantidades de CO₂ en un 80% menos que la del cemento común [2]. Es por ello que se busca reemplazar y/o minimizar el



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

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

empleo del cemento portland, realizando nuevas investigaciones en donde se utilicen otros materiales que con ayuda de los avances tecnológicos y científicos se creen cementos amigables con el medio ambiente; y es aquí en donde nos orientamos a la creación de cementos con geopolímeros. Desde 1978 Davidovits, ha expuesto investigaciones sobre los geopolímeros pero aún no ha definido cual de los materiales que pueden suplir el uso del cemento es el más indicado por lo tanto estos materiales siguen siendo materia de estudio.

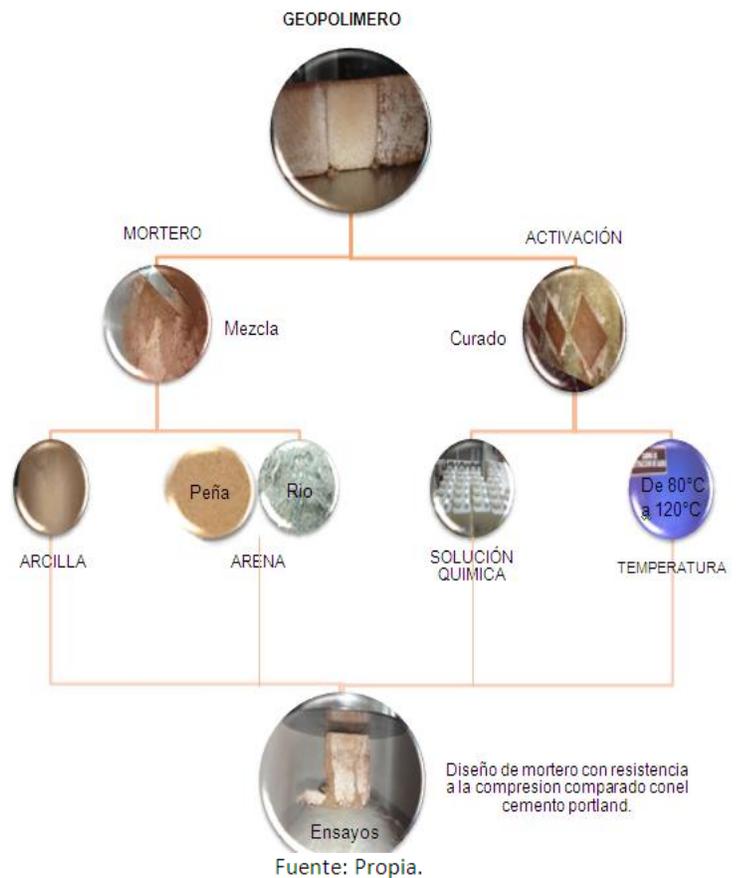
II. METODOLOGÍA

Esta investigación se desarrolla bajo una metodología de tipo experimental, donde por medio de ensayos se explora la concentración y dosificación optima del activador alcalino con el agente cementante, además de implementar dos agregados de arena diferentes y dos rangos de temperaturas de curado para encontrar los puntos óptimos en la generación geopolímeros, que sean resistentes a la compresión.

FASES DE INVESTIGACIÓN

1. **Investigaciones A priori:** Se tiene en cuenta el desarrollo de investigaciones a nivel mundial y local, con el fin de discernir sobre los patrones fundamentales en la reacción alcalina, para realizar un paralelo con las materias primas disponibles en el país, explorando nuevos materiales que suplan el uso del cemento y sean amigable con el medio ambiente.

2. **Selección de materiales:** Se realiza una prueba piloto experimental en donde se pondrá a prueba la activación del material cementante y activante seleccionado, en este caso la arcilla e hidróxido de sodio, hidróxido de potasio y silicato de sodio en concentraciones de 0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5 a 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, y 9 molar.





“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

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

3. **Diseño experimental:** Se involucran los ensayos de laboratorio para la obtención del diseño de mezcla más óptimo de un mortero geopolímero, capaz de alcanzar resistencias a la compresión similares a las de un mortero con cemento portland.

4. **Análisis de resultados:** El objetivo final de este trabajo es analizar los valores de resistencia a la compresión máximos comparados con los del cemento portland y definir sus variables, según las opciones sugeridas en el diseño experimental.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CARACTERIZACION DE MATERIALES

ARCILLA		AGREGADOS		
FORMULA COMPUESTO/ ELEMENTO	PESO (%)	FORMULA COMPUESTO/ ELEMENTO	ARENA DE PEÑA PESO (%)	ARENA DE RIO PESO (%)
SiO ₂	63,7	SiO ₂	99,09	63,947
Al ₂ O ₃	18,05	Al ₂ O ₃	0,51	13,939
Fe ₂ O ₃	7,599	CaCO ₃	-	8,106
K ₂ O	1,526	Fe ₂ O ₃	0,6	5,558
MgO	1,155	Na ₂ O	-	2,772
TiO ₂	0,839	K ₂ O	0,03	2,379
CaO	0,401	MgO	-	1,951
Na ₂ O	0,19	TiO ₂	0,09	0,724
P ₂ O ₅	0,156	P ₂ O ₅	0,01	0,218
MnO	0,053	Ba	-	0,098
Ba	0,041	MnO	-	0,096
S	0,024	Sr	-	0,07
V	0,024	S	-	0,054
Zr	0,018	Cr	-	0,023
Zn	0,016	Ce	-	0,019
Ce	0,015	V	-	0,015
Cr	0,011	Zr	-	0,014
Rb	0,01	Zn	-	0,007
Sr	0,01	Rb	-	0,007
Cu	0,006	Y	-	0,003
Y	0,004			

La arcilla empleada en esta investigación fue extraída de las canteras del sur de la ciudad de Bogotá D.C., en la localidad de Usme, barrio Mochuelo, patrocinada por la empresa LADRILLERA TIKAL S.A.S.

Los elementos químicos de los materiales se obtuvieron a través de ensayos de fluorescencia de rayos X, realizado por la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, por el departamento de Geociencia.

Al inicio de la investigación se decidió trabajar únicamente con arena silicia #30, la cual corresponde a los valores del agregado de la arena de peña, pero después de obtener algunos valores de

resistencia muy bajos con ésta, se determinó tener otro agregado de uso más común y mayor gradación en las partículas. Cabe destacar que el tratamiento que se le dio a la arcilla para la realización de los morteros consistió en extraer la humedad ambiente para luego triturlarla y pasarla por el tamiz No 200.

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

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

En cuanto a la matriz de soluciones activante se estableció la siguiente:

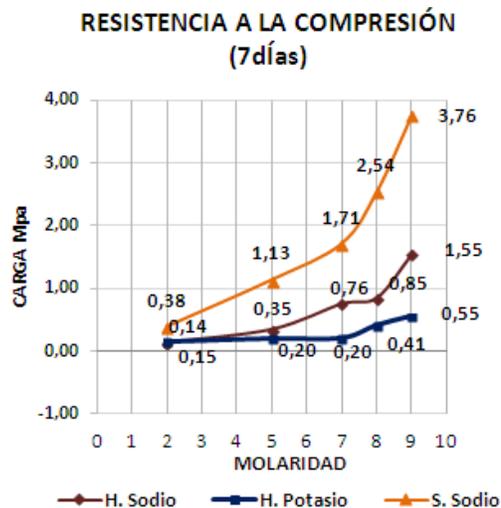
Para 1 Litro de:	2 M	3 M	4 M	5 M	6 M	7 M	8 M	9 M	10 M
Hidróxido de Sodio	80	120	160	200	240	280	320	360	400
Concentración de solución (Na₂SiO₃/NaOH)	0,5	40	60	80	100	120	140	160	180
	1	80	120	160	200	240	280	320	360
	1,5	120	180	240	300	360	420	480	540
	2	160	240	320	400	480	560	640	720
	2,5	200	300	400	500	600	700	800	1000
Silicato de Sodio	244,12	366,18	488,24	610,3	732,36	854,42	976,48	1098,54	1220,6

Fuente: propia.

En resumen se obtuvieron 63 litros de diferentes soluciones activantes, cada uno con diferente molaridad desde 2M hasta 10M y para la solución de Hidróxido de Sodio con Silicato de Sodio se manejaron concentraciones de 0.5 a 2.5 como se indica en la tabla anterior.

ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

Para cerrar la brecha de la “Matriz de Soluciones Activantes”, se realizaron cubos de mortero con Hidróxido de Sodio e Hidróxido de Potasio, para determinar cuál de estos dos activantes era más eficiente, para luego combinarlo con el silicato de sodio, y finalmente vislumbrar la resistencia de este último sin combinar.



Fuente: Propia.

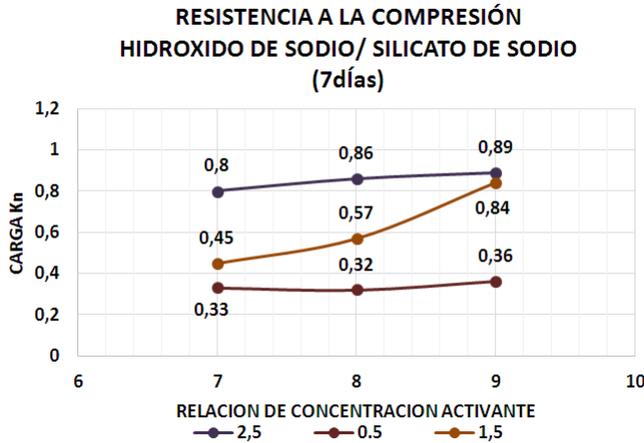


“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

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

En la grafica anterior se evidencia que el activante con mayor resistencia a la compresión es el Silicato de Sodio y que las mismas mejoran a mayor molaridad, a demás se comparó con la solución combinada entre Hidróxido de Sodio y Silicato de Sodio donde se obtuvo:



Fuente: propia.

Esto demuestra que a mayor concentración de las soluciones químicas se tiene una mejor resistencia a la compresión; pero que en definitiva el Silicato de Sodio tiene mayor resistencia sin combinación alguna, dejando como base de la matriz de activantes las molaridades de 7M, 8M Y 9M.

Después de definir el activante se definió la relación de de agente cementante e hidratante de 1:0.9 y la relación de agente cementante y agregado de 1:2.5, a los cuales se varia el tipo de arena como agregado y la temperatura de curado a 80°C Y 120°C. La matriz final de activantes es la que se muestra a continuación:

ACTIVANTE : SILICATO DE SODIO								
Molaridad	Temperatura				Temperatura			
	80°C	Cant Cubos	120°C	Cant Cubos	80°C	Cant Cubos	120°C	Cant Cubos
7 Mol	Arena de rio	12	Arena de rio	12	-	0	-	0
8 Mol	Arena de rio	12	Arena de rio	12	Arena de peña	12	Arena de peña	12
9 Mol	Arena de rio	12	Arena de rio	12	Arena de peña	12	Arena de peña	12
10 Mol	-	0	-	0	Arena de peña	12	Arena de peña	12

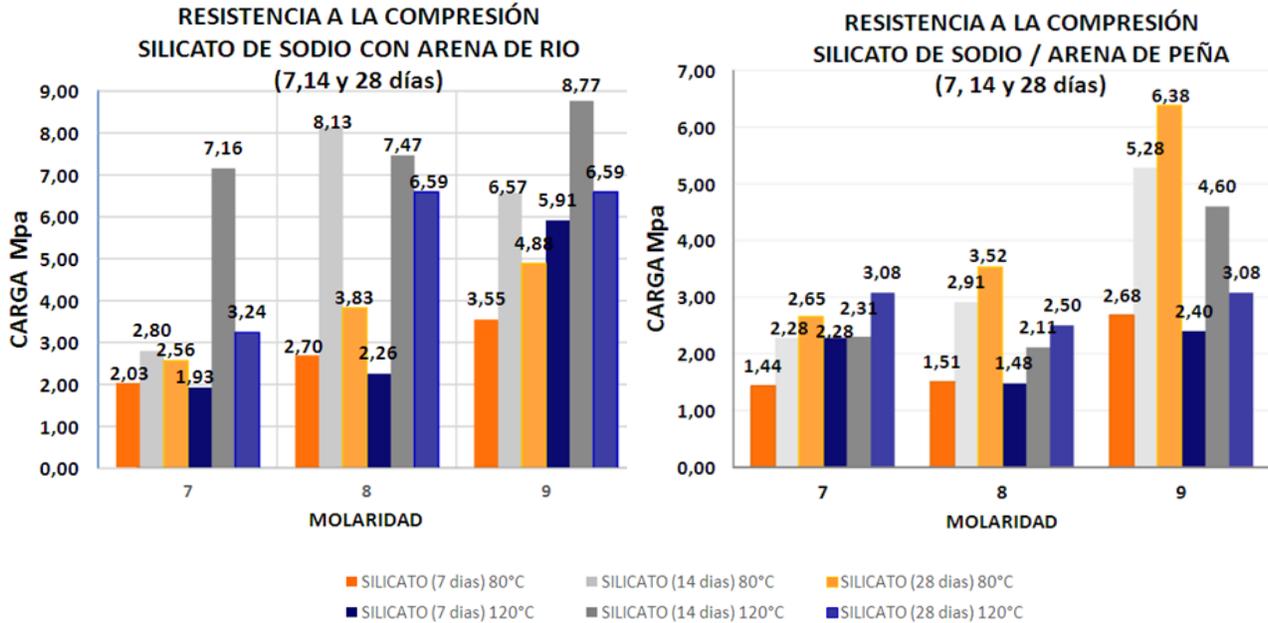
Fuente: Propia.

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

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

Los resultados obtenidos son:



El valor más bajo obtenido fue el de Arena de peña con 1.43 Mpa y el valor más alto fue de 8.76 Mpa con arena de rio, la mitad de lo que se esperaba. A pesar de los inconvenientes se evidenciaron mejoras en la resistencia a la compresión con la arena de rio a comparación de la misma matriz trabajada con la arena de peña, pero estos valores fueron disminuyendo con el tiempo de fraguado muy posiblemente a causa de los imprevistos, es por ello que la base de este trabajo da pie para seguir en la búsqueda de un geopolímero que pueda ser activado con arcilla como material cementante incluyendo nuevas variables que sigan demostrando su comportamiento dependiendo de otros factores que en esta oportunidad no se desarrollaron.

IV. CONCLUSIONES

El activante que mejor genero resistencia para el geopolímero con arcilla fue el silicato de sodio, para estos morteros la fluidez disminuía con molaridades más altas, pero aumentaba su resistencia en los ensayos a la compresión.

La temperatura de calcinación es un factor clave y fundamental para el proceso de obtención y curado del geopolímero, en este caso para la temperatura de 80°C se obtuvieron mejores resultados de resistencia a la compresión en morteros generados con arena de peña, mientras que la temperatura de 120°C favoreció a los morteros generados con la arena de rio.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2016”

Multidisciplinario

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

Los cementantes obtenidos a diferentes condiciones de concentración del activador, temperatura de fraguado, relación hidratante/cementante y tipo de agregado demuestran que la química de los materiales es lo más importante para su activación. Realizar un estudio de Fluorescencia o Difracción por Rayos X después de generar el geopolímero para comparar su composición química final y avistar los elementos que se correlacionan en el comportamiento más deseado.

Se recomienda para futuras investigaciones implementar la activación alcalina con Aluminato de Sodio, ya que se realizó una prueba preliminar que demostró que a temprana edad (7 días) se alcanzan resistencias superiores a las obtenidas con la matriz de activantes realizada. La relación de arcilla/agregado implementado fue como variable fija siempre fue de 2.5 al ser un valor próximo al manejado con el cemento estándar, pero se podría variar para futuras investigaciones. La temperatura es un factor esencial para el curado del geopolímero la cual se debe seguir ajustando a un punto más óptimo.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad La Gran Colombia, al licenciado Roy Morales , al Ingeniero Arnold Gutiérrez, a la ingeniera Nydia Romero, a los laboratoristas grancolombianos José Luis Rozo, Martín Viatela, Alexander Padilla y Oscar Camelo por todos los aportes profesionales, por compartir sus experiencias y conocimientos.

A la Ladrillera Tilka S.A.S. por apoyar el proyecto y proveer la materia prima del mismo.

A la colaboración del ingeniero Julio Cesar y Wilson Romero de la Universidad Nacional.

A Dios, mi familia y amigos.

REFERENCIAS

[1]. BULLOSA, Nicolás, Fair Companies, [Sobre el impacto cotidiano de la extracción y uso de cemento](http://www.faircompanies.com/blogs/view/sobre-el-impacto-cotidiano-la-extraccion-y-uso-cemento/), 2010. En línea: <http://www.faircompanies.com/blogs/view/sobre-el-impacto-cotidiano-la-extraccion-y-uso-cemento/> Consultado el 1 de mayo de 2015.

[2]. REVISTA CIENCIA Y DESARROLLO, Geopolímeros para un desarrollo sustentable, Febrero de 2001. En línea: <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/249/articulos/articulos-en-linea.html> Consultado el 1 de mayo de 2015.