

Hacia un avance ambiental y tecnológico de la construcción con tierra como patrimonio futuro. Del bloque de suelo cemento (BSC) al bloque de tierra con geopolímeros (BTG)*

Olga Nallive Yepes Gaviria

Carlos Mauricio Bedoya Montoya

Juan David Gómez Eusse

Uno de los materiales de construcción más empleado en el medio colombiano y latinoamericano es el ladrillo cerámico, confeccionado a partir de arcillas que son cocidas a temperaturas que van desde los 800 °C hasta los 1 050 °C, proceso mediante el cual el suelo crudo endurece y cambia su estructura química para soportar condiciones severas de esfuerzos externos y de intemperie. Estas cualidades son suficientes para que sea aceptado por la población para la consolidación de espacios y ambientes construidos, sin embargo, para su obtención se requiere de un gran gasto energético y, derivado de esto, se genera una importante cantidad de CO₂ que es liberada a la atmósfera. Se suma a lo anterior la creciente escasez de suelos arcillosos aptos para la elaboración de ladrillos de óptimo desempeño, y la afectación dramática de las zonas de donde se extraen las materias primas para la producción de ladrillos cerámicos estructurales y no estructurales.

En la construcción de edificios y obras de infraestructura se hacen grandes movimientos de tierra, la cual luego es clasificada como un residuo de construcción, lo que genera un costo al proyecto debido al transporte y a la disposición final en escombrera; costo que es asumido por los propietarios del inmueble construido y comercializado. Esta mirada obedece a un flujo lineal de consumo de materias primas y generación de desechos basado en la extracción de recursos que, para el caso de la construcción, en su mayoría, no son renovables. Los residuos son, en el mejor de los casos, dispuestos en escombreras que no aprovechan su potencial como nuevas materias primas para la confección de materiales compuestos o para la estabilización de suelos para vías, andenes y placas, entre otros. De esta manera se tienen dos problemáticas ambientales: el agotamiento de recursos no renovables y la generación de desechos que ocupan vastas porciones de terreno urbano. Pero, entendiendo que la construcción de edificaciones de

* Cómo citar este artículo: Yepes, O.N., Bedoya, C.M., Gómez, J.D. (2012). Hacia un avance ambiental y tecnológico de la construcción con tierra como patrimonio futuro. Del Bloque de Suelo Cemento (BSC) al Bloque de Tierra con Geopolímeros (BTG). En: Apuntes 25 (2): 240 - 247.



Suelo con Geopolímero
Fotografía:
Yepes, Bedoya y Gómez.

Artículo de investigación

El presente artículo se origina a partir de los avances de la investigación para el trabajo final de una Tesis de Maestría iniciado en julio del 2012. Las entidades involucradas son las siguientes: Maestría en Construcción de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín; Especialización en Construcción Sostenible de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia; ECOINGENIERÍA S.A.S.

Recepción: 1 de agosto de 2012

Aceptación: 17 de septiembre de 2012

Hacia un avance ambiental y tecnológico de la construcción con tierra como patrimonio futuro. Del bloque de suelo cemento (bsc) al bloque de tierra con geopolímeros (btg)

Towards environmental and technological advancement of earth construction as a means to future heritage. Moving from soil-cement bricks to geopolymerized earth bricks

Em direção a um progresso ambiental e tecnológico da construção com terra como herança futura. Do Bloco de Solo Cimento (BSC) ao Bloco de Terra com Geopolímeros (BTG)

Olga NalliveYepes Gaviria

olga.yepes@colmayor.edu.co

Colegio Mayor de Antioquia

Arquitecta, Especialista en Construcción Sostenible y Candidata a Magíster en Construcción. Ponente invitada al V Encuentro de Ingeniería Civil y Construcción Sostenible celebrado en la Universidad de Quindío. Participó en la elaboración del Documento Base para la formulación de la Política Pública de Construcción Sostenible en el Valle de Aburrá. Coordinadora de la Especialización en Construcción Sostenible de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia.

Carlos Mauricio Bedoya Montoya

cmbedoya@unal.edu.co

Universidad Nacional de Colombia

Arquitecto Constructor, Magíster en Hábitat y Candidato a Doctor en Ingeniería. Ganador de la Condecoración del Reciclador en la categoría de Investigación, otorgada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en el 2005. Profesor invitado de la Universidad Politécnica de Cataluña y de la Universidad de Graz en Austria. Investigador invitado por el Instituto Federal Suizo de Ciencia de Materiales y Tecnología. Fundador y coordinador de la Especialización en Construcción Sostenible de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Profesor Asociado de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

Juan David Gómez Eusse

Miembro del grupo de estudio en Construcción Sostenible y Gestión Tecnológica (CONGET) de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

RESUMEN

El presente artículo da a conocer los resultados parciales de una investigación que combina la ciencia de los materiales con la construcción con tierra y el medio ambiente. En dicho trabajo se aborda el estudio de la técnica del bloque de suelo cemento, conocida como BSC, y la posibilidad de mejorar su desempeño estructural y su durabilidad por medio del proceso de geopolimerización, reemplazando parcial y totalmente el cemento Portland, disminuyendo así las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Para la confección de las mezclas se hizo una caracterización de un suelo residual mediante la técnica de Difracción de Rayos X (DRX), se emplearon geopolímeros de hidróxido de sodio y cenizas volantes tipo F; se diseñaron tres tipos de compuestos y se sometieron a fallado al esfuerzo de compresión en laboratorio acreditado para ensayos de materiales de construcción. Dos de las mezclas presentaron resistencias que cumplen con la normatividad colombiana, superando incluso la resistencia exigida a una edad de 28 días para los bloques de tierra estabilizados con cemento Portland. Su aplicación se hará en un proyecto de equipamiento para Viviendas de Interés Prioritario en la ciudad de Medellín, Colombia.

Palabras claves: Construcción sostenible, geopolímeros, cenizas volantes, suelo cemento, patrimonio.

ABSTRACT

This paper presents the partial results of a research that intends to blend science of materials, earth construction and the environment. The research looks into the soil-cement brick technique, also known as BSC (for its Spanish acronym), for the possibility of improving its structural performance and durability, by using geopolymerized earth brick mixes, replacing both partially and totally the use of Portland cement, in order to diminish CO₂ emissions into the atmosphere. In order to prepare the different mixes, a characterization of ready-for-disposal soil was carried out using X-Ray Diffraction (XRD); sodium hydroxide and type-F fly ash were then used. Three types of mix compounds were designed and tested for breakage and compression strength in local dedicated construction-material laboratories. Two of these compounds passed, and even surpassed, the tests for Colombian-normative for 28-day-old soil-cement bricks (earth bricks stabilized with Portland cement). The above geopolymerized earth bricks will be used in the construction of sustainable welfare housing in Medellín, Colombia.

Key words: Sustainable construction, geopolymer, fly ash, soil-cement, heritage.

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados parciais de uma pesquisa que combina a ciência dos materiais e a construção com terra, para favorecer melhorias ao ambiente construído. O trabalho aborda o estudo da técnica do bloco de solo cimento, chamado como BSC, além da possibilidade de melhorar o desempenho estrutural e sua durabilidade, através do processo de geopolimerização, com a substituição do cimento portland na mistura dos blocos e reduzir assim, as emissões de CO₂ na atmosfera. Para o desenvolvimento das misturas, obteve-se uma caracterização da terra residual, a partir da técnica de Difrração de Raios X (DRX), foram usados geopolímeros de hidróxido de sódio e cinzas volantes tipo F; finalmente, foram projetados três tipos de compostos e submetidos a uma análise de esforço de compressão num laboratório com certificado para ensaios de materiais de construção. Duas das misturas apresentaram resistências em concordância com as normas técnicas da Colômbia, além de, superar a resistência exigida no período de 28 dias, para blocos de terra que são estabilizados como cimento portland. A aplicação dos blocos será realizada em um projeto de habitação social na cidade de Medellín, Colômbia.

Palavras Chave: Construção sustentável, geopolímeros, cinzas volantes, solo cimento, patrimônio.

SICI: 1657-9763(201212)25:2<240:HUAAYT>2.0.TX;2-2

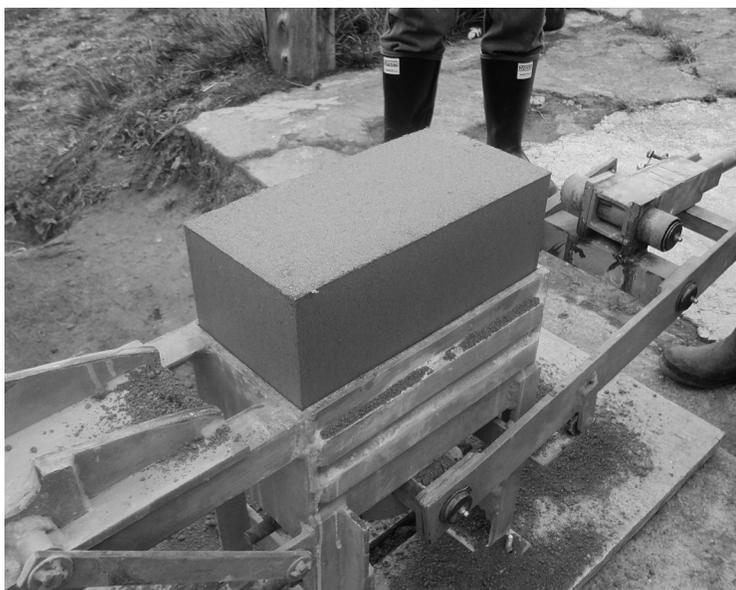
* Los descriptores y key words plus están normalizados por la Biblioteca General de la Pontificia Universidad Javeriana.

toda índole es un asunto ineludible en la actualidad, se propone otra alternativa para hacer de este ejercicio una actividad reflexiva económica y ambientalmente hablando, mediante la cual se valorice la tierra proveniente de cortes de terreno y de las excavaciones como un material de óptimo desempeño y costo asequible, tanto para los constructores como para las comunidades que se organizan y trabajan en pro de proyectos asociativos de vivienda. Para tal objetivo se escogió inicialmente la técnica del BSC, empleando la herramienta CINVA-RAM para fabricar bloques de tierra comprimida cumpliendo con las exigencias de las normas técnicas respectivas en cuanto a resistencia a la compresión y estabilidad en el tiempo (Figura 1).

Los BSC están normalizados mediante la Norma Técnica Colombiana 5324 emitida por el Icontec, y en ella se exige que los bloques confeccionados con suelo cemento cumplan con una resistencia al esfuerzo de la compresión de 4,0 MPa al momento de su entrega, pudiendo ser empleados en muros confinados por estructuras de concreto reforzado mediante el sistema estructural de pórticos. Generalmente los BSC son una mezcla de suelo y cemento Portland, en una proporción del 90 % y del 10 % en volumen respectivamente (Figura 2).

En el constante proceso de madurez técnica y científica que caracteriza a la investigación, los integrantes del grupo conocieron la teoría de los geopolímeros a través del trabajo del profesor Alejandro Salazar Jaramillo y su equipo de expertos, con sede en la ciudad de Cali, Colombia, quienes se dedican a la valorización de residuos de construcción y demolición como nuevos materiales de óptimo desempeño y costo asequible. La geopolimerización es una reacción química que se produce entre un aluminosilicato y una solución alcalina activadora en condiciones ambientales normales. El contacto entre ellos da como resultado la formación de cadenas poliméricas (macromoléculas formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros) al reorientarse los iones en solución; cadenas que mejoran las propiedades mecánicas del material, la resistencia química y térmica.

Basados en estos conceptos, se pretende valorizar el suelo resultante de cortes de terrenos y de excavaciones como un material óptimo de construcción, llegando a la confección de un Bloque de Tierra con Geopolímeros (BTG) –con poca



o nula participación del cemento tradicional–, susceptible de ser empleado cumpliendo con las exigencias sísmicas colombianas y que presente mayor resistencia a la compresión y durabilidad en el tiempo, en comparación con los BSC convencionales. Para efectos de la investigación se escogió el proyecto de Vivienda de Interés Prioritario Santa María de Los Ángeles, ubicado en el corregimiento de San Antonio de Prado de la ciudad de Medellín. Una vez obtenidos los resultados de desempeño de la mezcla confeccionada con geopolímeros, se pretende aplicar esta nueva tecnología de materiales compuestos de bajo impacto ambiental en la construcción del equipamiento comunitario del proyecto mencionado, el cual fue diseñado por integrantes del grupo de trabajo bajo parámetros de sostenibilidad.

Figura 1:
CINVA-RAM para la fabricación de BCS.
Fotografía:
Carlos Bedoya.

Figura 2:
Bloques de suelo cemento.
Fotografía:
Carlos Bedoya.

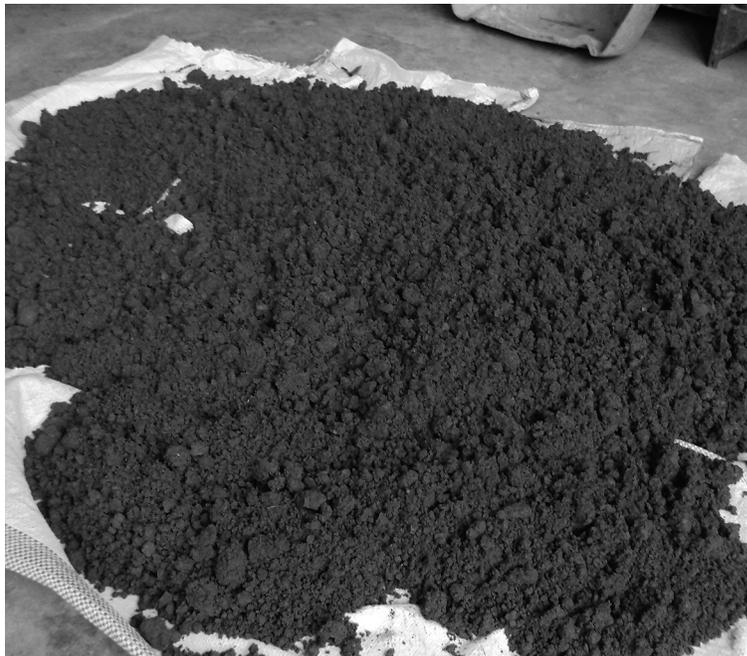


Figura 3:
Toma de muestra de suelo residual.

Fotografía:
Carlos Bedoya.

Figura 4:
Muestra seleccionada para el análisis de composición química.

Fotografía:
Carlos Bedoya.

METODOLOGÍA

El tipo de investigación es cuantitativa, pues se busca impactar el patrimonio futuro de la construcción con tierra, basándose en técnicas científicas que permitirán manejar la incertidumbre del material en cuanto al comportamiento físico y mecánico en el tiempo. Por ello se hace una descripción de las distintas materias primas involucradas en la investigación y su papel durante la concepción del material y la ejecución del sistema

constructivo, explicando la caracterización de cada uno de ellos y, seguidamente, el proceso de confección de los BTG. Luego se llevan las muestras de suelo con geopolímeros al laboratorio para conocer su comportamiento en cuanto a resistencia y, una vez tabulados los datos, se procede a su interpretación. Por último, se construyen conclusiones preliminares y recomendaciones a seguir con el fin de establecer una metodología científica replicable a escala real, por medio de la cual se pueda cambiar el paradigma perceptual de la tierra como residuo al de la tierra como material de construcción de óptimo desempeño y costo asequible.

APLICACIÓN

El suelo

Se calculó la cantidad de bloques a producir partiendo del diseño arquitectónico aprobado para el equipamiento, llegando a un número de 53.300 unidades, con lo cual se consumirán 256,4 m³ de tierra movida y excavada. Una vez obtenida la cantidad de mampuestos a producir, se visitó el lugar del proyecto para constatar las cantidades de suelo excavado y determinar la factibilidad de abastecimiento en el sitio para la confección de los BTG, hallándose suficiente material residual para tal efecto. Luego se tomó una muestra representativa del suelo con el que se producirán los bloques, la cual fue llevada al laboratorio de Caracterización de Materiales de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín (Fotografía 3). La muestra de suelo fue caracterizada por medio de la técnica de Difracción de Rayos X (DRX), con la que se obtienen valores semicuantitativos de su composición química, permitiendo con esto abordar una fase de diseño del material compuesto a confeccionar (Figura 4).

Las cenizas volantes

Se procedió a analizar la información sobre caracterización de las cenizas volantes sílico-aluminosas tipo F, suministrada por los distribuidores y por integrantes del Grupo de Investigación del Cemento y Materiales de Construcción de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Se halló que estas cumplen con la NTC 3493 en cuanto a porcentaje de inquemados y humedad. Estas cenizas son obtenidas por medio de la valo-

rización de residuos resultantes de la combustión de carbón en industrias de textiles ubicadas en Medellín, por lo tanto se evita su disposición como residuo y se introducen en las mezclas como material para ser activado alcalinamente por el geopolímero.

La intención es sustituir entre un 50 % y un 100 % del cemento Portland empleado con estas cenizas, cuyo costo es menor en un 44 % del del cemento Portland, además no se requiere calcinación para llevarlas a punto de activación cementante, por lo que se ahorra el combustible requerido para la obtención del cemento Portland y la consecuente emisión de CO₂. Las cenizas obtenidas para la presente investigación fueron caracterizadas mediante técnicas de DRX y Microscopía de Barrido Electrónico (SEM, por sus iniciales en inglés); se tienen algunas imágenes pertenecientes a la segunda técnica de caracterización, en las que se muestra su tamaño en micras (Figura 5) y composición química sílico-aluminosa (Figura 6).

El cemento

Se empleó el cemento portland tipo I, cumpliendo con la NTC 121 que trata sobre las especificaciones físicas y mecánicas de este material.

El geopolímero

Geopolímero es el término que empleó Joseph Davidovits en la década de 1980 para designar a polímeros sintéticos inorgánicos de aluminosilicatos procedentes de la reacción química conocida como geopolimerización (2011). El geopolímero procedente de dicha reacción, tiene un elevado potencial para ser usado en numerosos campos, pero predomina su uso como sustituto del cemento, dado que presenta bajas emisiones de CO₂ en su producción, y como compuesto final, tiene una gran resistencia química y térmica, además de buenas propiedades mecánicas, tanto a temperatura ambiente como a temperaturas extremas.

El proceso de geopolimerización

La reacción se produce entre un polvo de aluminosilicato y una solución activadora (basada en una mezcla molar de hidróxido sódico y un silicato alcalino) bajo condiciones altamente alcalinas y en condiciones ambientales. A nivel de laboratorio es usual que se emplee metacaolín, producto de

la activación térmica de caolinita, como material de partida para la síntesis. Los geopolímeros que están basados en aluminosilicatos son llamados polisialatos.

Tipo de las mezclas

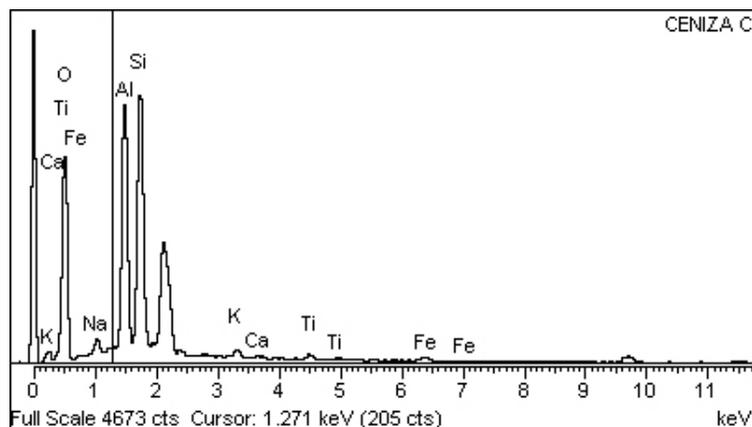
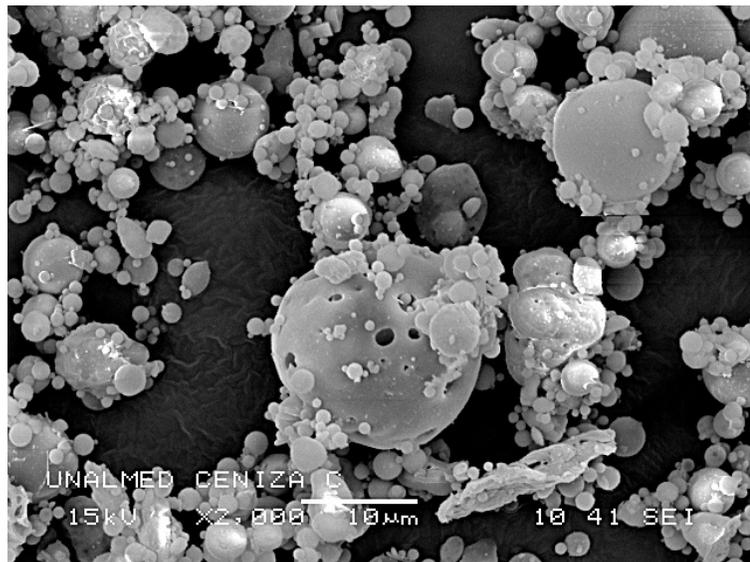
Se establecieron tres tipos de mezclas de suelo a confeccionar que se enumeran a continuación:

- S100. Mezcla confeccionada con 100 % suelo y geopolímero, sin cemento Portland y sin ceniza volante (Fotografía 5)
- S90Cn10. Mezcla confeccionada con 90 % suelo, 10 % cenizas volantes y geopolímero (Fotografía 6)
- S90Cn5Cm5. Mezcla confeccionada con 90 % suelo, 5 % cenizas volantes, 5 % cemento y geopolímero (Fotografía 7).

Como se puede observar, en cualquiera de los casos, si se logran las resistencias exigidas por la NTC 5.324, se estará avanzando hacia una nue-

Figura 5:
Tamaño de partícula de la ceniza volante tipo F.
Fuente:
Jorge Tobón.

Figura 6:
Composición química de la ceniza volante tipo F.
Fuente:
Jorge Tobón.



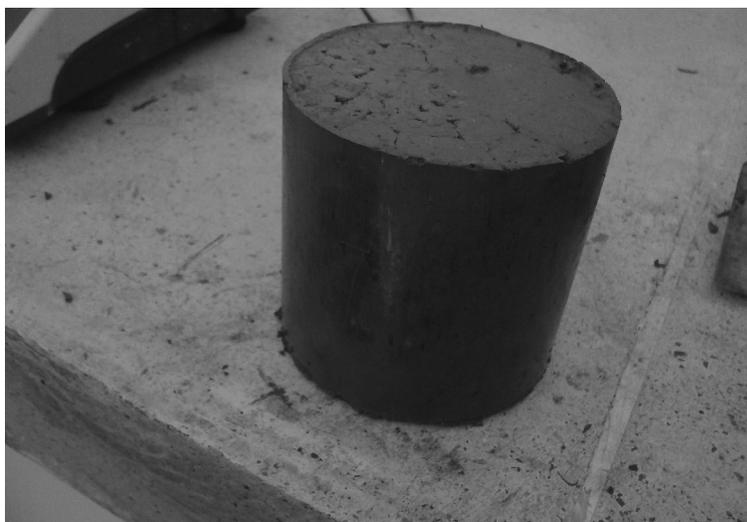


Figura 7:
Mezcla S100 con geopolímero.
Fotografía: Olga Yepes.

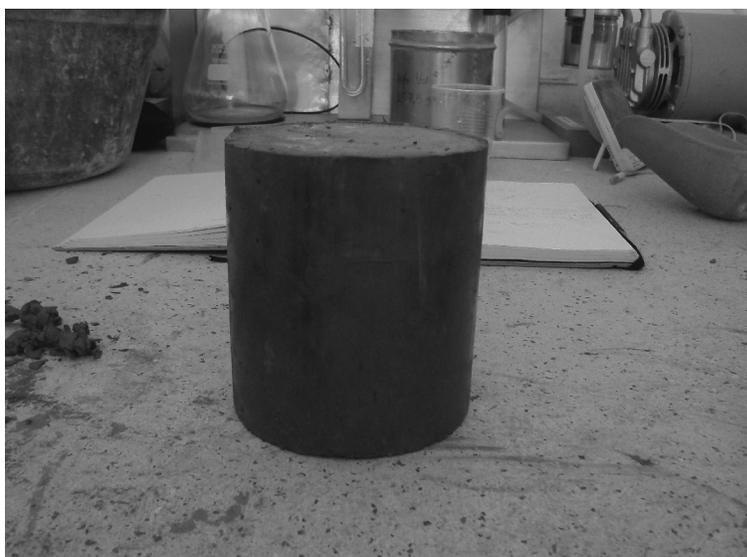


Figura 8:
Mezcla S90Cn10 con geopolímero y ceniza volante.
Fotografía: Olga Yepes.

Figura 9:
Mezcla S90Cn5Cm5 con geopolímero, ceniza volante y cemento Portland.
Fotografía: Olga Yepes.



va concepción del bloque de tierra comprimida con menor presencia de cemento Portland y, con la activación del geopolímero, posiblemente con mejoras en el desempeño en cuanto a durabilidad.

RESULTADOS PARCIALES

Las tres muestras se fallaron a la edad de siete días, utilizando el procedimiento para mezclas de concreto y teniendo como meta una resistencia futura a los 28 días de 6,0 MPa, por lo que se espera una resistencia del 65 % para estar dentro del valor propuesto por la investigación.

Discusión de los resultados

Parcialmente, los resultados obtenidos son positivos para la investigación, dado que en dos de las mezclas confeccionadas con geopolímero y menos cantidad de cemento, la resistencia al esfuerzo de la compresión superó el 65 % esperado a la edad de siete días. Esto indica que la posibilidad de producir los 53.000 bloques con el suelo resultante de los cortes y excavaciones del terreno es favorable, representando con ello un salto cualitativo en la manera de ver la construcción como un asunto estrictamente lineal de inputs y outputs.

Luego del ensayo de fallado se observó que los núcleos de las mezclas S100 y S90Cn5Cm5 presentan menor erosión que los especímenes de BSC confeccionados con el mismo suelo y un 10 % de cemento Portland. Esta característica es muy importante de cara a la preservación de la construcción en el tiempo y su desempeño ante variables de intemperie como viento, sol y fricción por material particulado. La mezcla S100 confeccionada solamente con el suelo residual de la zona a intervenir y 5 % de geopolímero, presentó la mayor resistencia al esfuerzo de la compresión, dándose una sustitución del cemento Portland en un 100 %.

CONCLUSIONES

Con los resultados parciales obtenidos en la investigación se evidencia entonces que hay una viabilidad técnica y un beneficio social, económico y ambiental asociado al bloque de tierra geopolimerizado (BTG), validando tecnologías que se consideraban ya olvidadas en cuanto al uso de la tierra –vista actualmente como un residuo– y la posibilidad de su contextualización

Muestra + Geopolímero al 5 %	Resistencia a la compresión en MPa
S100	5,1*
S90Cn10	2,9*
S90Cn5Cm5	4,0*

Tabla 1
Resistencia obtenida de los especímenes a los siete días.

Fuente:
* El tipo de falla de los cilindros cumplió con lo establecido en la NTC 673, figura 2: Esquema de los modelos de fractura típicos. Según NSR-10 C.5.6.2.4.

Muestra + Geopolímero al 5 %	Resistencia proyectada a los 7 días de edad en MPa/(%)	Resistencia obtenida a los 7 días de edad en MPa/(%)
S100	3,9 (65,0)	5,1 (85,0)
S90Cn10	3,9 (65,0)	2,9 (48,3)
S90Cn5Cm5	3,9 (65,0)	4,0 (66,7)

Tabla 2
Comparación de resistencia proyectada por diseño y resistencia obtenida.

Fuente:

en construcciones modernas. Las nuevas mezclas confeccionadas con geopolímero pueden representar un salto cualitativo en la valorización de la tierra como material de construcción, dado que las resistencias a la compresión obtenidas con los bloques de suelo cemento se mantienen en un promedio de entre 2,5 y 3,0 MPa, y las resistencias de las mezclas de tierra con geopolímero alcanzan valores superiores en menor tiempo con sustituciones inclusive, del 100 % del cemento Portland.

Luego de esta fase de avances en la investigación, se evidencia la pertinencia de hallar nuevas relaciones entre materiales existentes, como es el caso del suelo con geopolímeros, con el fin de lograr materiales compuestos de un óptimo desempeño en cuanto a resistencia a esfuerzos externos y a la durabilidad, siendo este último factor importante para consolidar un patrimonio futuro de construcción en tierra en Iberoamérica. La actuación interdisciplinaria en los procesos de construcción, da como resultado la apertura

a nuevos escenarios en los que la química y la ciencia de los materiales deben ser entendidas como herramientas que permiten acercarse un poco más a los fenómenos naturales para tratar de interpretarlos y por medio de ellos, dar respuesta a las necesidades de una sociedad.

Referencias

- Ball, P. (2001). Tras el enlace. *Investigación y Ciencia*, 420, 72-75.
- Bedoya, C. (2011). *Construcción sostenible. Para volver al camino*. Medellín, Colombia: DIKÉ.
- Davidovitz, J. (2011). *Geopolymer chemistry and applications*. San Quintín, Francia: Institut Géopolymère.
- Rodríguez, E. (2009). Efecto de los módulos SiO₂/Al₂O₃ y Na₂O/SiO₂ en las propiedades de sistemas geopoliméricos basados en un metacaolín. *Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 49, 30-41.

