



EFFECTO DE LAS ADICIONES MINERALES CENIZA VOLANTE Y ESCORIA DE ALTO HORNO SOBRE EL DESEMPEÑO MECÁNICO DE CONCRETOS HIDRÁULICOS BINARIOS Y TERNARIOS

Luis German Nova Rangel, William Jhon Jairo Quiroz Ceballos, Jhon Cárdenas Pulido, Adriana Vargas Aguilar

**Escuela Militar de Cadetes General José María Córdova
Bogotá, Colombia**

Resumen

Con la finalidad de proporcionar materiales de construcción que contribuyan con el sostenimiento del medio ambiente, se fabrican mezclas binarias y ternarias de concreto hidráulico correspondientes a sistemas cementicios con adiciones de cemento Portland, ceniza volante y escoria de alto horno. El programa experimental comprendió la fabricación y ensayo de 60 especímenes de concreto para 4 mezclas binarias de diferentes dosificaciones, para las que fueron evaluadas sus propiedades de resistencia a compresión, así como la medición de sus curvas esfuerzo-deformación en el ensayo de compresión. Los resultados obtenidos indican que las mezclas binarias presentan en estado endurecido las mejores propiedades mecánicas para contenidos de cenizas volantes y escorias de alto horno equivalentes al 20%. Con base en los resultados experimentales de este estudio, fueron formuladas ecuaciones de predicción de las propiedades mecánicas para las mezclas binarias con el fin representar el comportamiento de los concretos evaluados en función del porcentaje de adición empleado. Las ecuaciones de predicción propuestas son adecuadas ya que indican una estrecha relación entre los parámetros observados en la experimentación y los calculados en la predicción.

Palabras clave: mezclas binarias; mezclas ternarias; ceniza volante; escoria de alto horno; cemento Portland; resistencia a compresión

Abstract

In order to provide construction materials that contribute to the sustainability of the environment, binary and ternary mixtures of hydraulic concrete are manufactured corresponding to cementitious systems with additions of Portland cement, fly ash and blast furnace slag. The experimental program included the manufacture and testing of 96 concrete specimens for 8 mixtures of different dosages, for which their compressive strength properties were evaluated, as well as the measurement of their stress-strain curves in the compression test. The results obtained indicate that the binary mixtures have the best mechanical properties in the hardened state for contents of fly ash and blast furnace slag equivalent to 20%. Regarding the ternary mixtures, it was observed that the best mechanical properties are presented for contents of fly ash and blast furnace slag equivalent to 10%. Likewise, for the ternary mixtures it was observed that the fly ash and blast furnace slag do not present interaction in their properties, but rather these materials coexist in the matrix and independently provide resistance to concrete due to their reaction with cement Portland. Based on the experimental results of this study, prediction equations of the mechanical properties for the binary, ternary mixtures were formulated in order to represent the behavior of the concretes evaluated as a function of the percentage of addition used. The proposed prediction equations are adequate since they indicate a close relationship between the parameters observed in the experimentation and those calculated in the prediction.

Keywords: *binary mixtures; ternary mixtures; fly ash; blast furnace slag; Portland cement; compressive strength*

1. Introducción

En los últimos años, la demanda del concreto como material de construcción empleado en las obras civiles ha incrementado considerablemente en función del crecimiento de la población mundial. El concreto u hormigón como material constructivo presenta grandes beneficios en cuanto a desempeño mecánico y durabilidad, siendo este una alternativa tradicional de uso en la fabricación de obras de infraestructura, tales como viviendas, edificios, túneles, presas, pisos industriales, entre otros. Sin embargo, el uso masivo del cemento Portland como precursor cementante en la mezcla ha contribuido al aumento de los niveles de contaminación a nivel global por sus procesos de producción involucrados. La producción de concreto, segundo material más usado a escala mundial después del agua, es de aproximadamente 11.5 billones de toneladas cada año, con un consumo de 1.5 billones de toneladas de cemento, 9 billones de toneladas de agregados y 1 billón de toneladas de agua (Olanrewaju y Akinpelu, 2014). Cabe anotar, que en el proceso de manufactura de una tonelada de cemento Portland ordinario se libera alrededor de una tonelada de CO₂ a la atmósfera, además de emisiones de SO_x y NO_x. Se estima que un 50% del CO₂ proviene de la reducción de la caliza en el proceso de clinkerización, mientras el CO₂ restante es atribuido al uso de combustibles fósiles (Benhela *et al.*, 2013; y Ishak y Hashim, 2015). De la misma forma, en la industria del cemento y el concreto también han sido empleados algunos sub-productos en la producción de mezclas como reemplazo parcial del cemento Portland en diferentes dosificaciones. Entre las adiciones minerales más utilizadas se encuentran las cenizas volantes (Fly Ash-FA),



escorias de alto horno (Blast Furnace Slag-BFS), metacaolín (Metakaolin-MK) y humo de sílice (Silica Fume-SF), entre otras.

La incorporación de escoria de alto horno o ceniza volante en el concreto puede generar algunas ventajas técnicas en el compuesto, tanto en su estado fresco como en el endurecido. Sin embargo, la combinación de estos materiales en mezclas binarias con y sin cemento Portland, y ternarias, y sus efectos sobre las prestaciones mecánicas del concreto no han sido completamente determinados. Sengul y Tasdemir (2009), afirman que por el uso de diferentes puzolanas juntas, algunas de las deficiencias pueden ser compensadas y se pueden obtener concretos más amigables con el medio ambiente. De este modo, cuando las adiciones minerales de cenizas volantes y escorias son usadas juntas, se pueden lograr mejores resultados (Li et al., 2000).

El objeto del presente trabajo consiste en evaluar la influencia de sistemas cementantes binarios y ternarios sobre el desempeño mecánico del concreto. Para tales efectos se confeccionaron especímenes de concreto con diferentes dosificaciones de cemento Portland, ceniza volante y escoria de alto horno combinados. Los resultados experimentales fueron utilizados para formular ecuaciones de predicción que describen el comportamiento de los concretos adicionados en función del porcentaje de adiciones utilizado. La comprensión sobre el comportamiento de los concretos adicionados fomentará una construcción más sana y sostenible con el medio ambiente sin disminución alguna en las propiedades de resistencia y vida útil, además de una disminución en costos de fabricación por la utilización y aprovechamiento de algunos subproductos industriales.

2. Programa experimental

El programa experimental comprendió la elaboración de 4 mezclas de concreto constituidas por 4 mezclas binarias con cemento, con diferentes dosificaciones de cemento Portland, ceniza volante y escoria de alto horno. Posteriormente, se efectuó el ensayo de 60 especímenes cilíndricos, para las diferentes mezclas fabricadas.

2.1 Materiales

En este estudio se utilizó cemento Portland comercial Tipo I, ceniza volante clase F proveniente de la planta termoeléctrica de Sochagota y escoria granulada de alto horno proveniente de la planta de Acerías Paz del Río. La caracterización de estos materiales se realizó mediante ensayos de fluorescencia y su composición química se resume en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química de los materiales cementantes empleados.

<i>Compuesto</i>	<i>Cemento Portland,</i> %	<i>Ceniza volante,</i> %	<i>Escoria de alto horno,</i> %
SiO ₂	18.15	54.30	33.70
Al ₂ O ₃	4.65	20.8	12.80
Fe ₂ O ₃	3.80	5.30	0.48
CaO	60.03	6.40	45.40
MgO	2.50	0.80	1.00
Na ₂ O	0.80	0.90	0.12
K ₂ O	0.50	0.70	1.50
P ₂ O ₅	-	0.70	-



TiO ₂	-	1.20	0.50
MnO	-	0.01	-
SO ₃	2.40	0.92	-
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	3.90	2.61	2.63
Inquemados	0.6	8	-

Como material pétreo se empleó agregado fino tipo arena de río con módulo de finura de 3,04 y absorción de 0,81%. Como agregado grueso se utilizó una grava fina de color gris con Tamaño Máximo Nominal (TMN) de 12 mm.

2.2 Mezclas de concreto

Todas las mezclas se diseñaron para un contenido de material cementante de 448 kg/m³ y una relación agua/cemento de 0,5. Para tales efectos, se prepararon 4 mezclas con una composición binaria entre cemento Portland - ceniza volante y cemento escoria - de alto horno de forma independiente. Las proporciones de las mezclas se resumen en la Tabla 2. Las abreviaciones PC, FA y BFS se utilizaron para identificar a los materiales cemento Portland, ceniza volante y escoria de alto horno, respectivamente, por sus siglas en inglés. También fueron introducidos a la nomenclatura los porcentajes de reemplazo del material cementante principal: por ejemplo, PC8-FA2 representa la mezcla de 80% cemento Portland y 20% ceniza volante; FA6-BFS4 representa la mezcla de 60% ceniza volante y 40% escoria de alto horno; PC8-FA1-BFS1 representa la mezcla de 80% cemento Portland, 10% ceniza volante y 10% escoria de alto horno.

Tabla 2. Proporciones de las mezclas de concreto.

Identificación	PC (kg/m ³)	FA (kg/m ³)	BFS (kg/m ³)	Agregad o grueso (kg/m ³)	Agregad o fino (kg/m ³)	Agua (kg/m ³)
PC8-FA2	316. 3	79.1	-	880.1	732.9	197. 7
PC8-BFS2	318. 9	-	79.7	887.5	739.1	199. 3
PC6-FA4	234. 8	156. 5	-	871.1	725.3	195. 6
PC6-BFS4	238. 6	-	159. 1	885.2	737.1	198. 8

2.3 Descripción del equipo y la instrumentación

Se llevaron a cabo ensayos de resistencia a compresión del concreto con reemplazos parciales y totales del cemento Portland. Estos ensayos se realizaron con el objeto de determinar el efecto de las adiciones de ceniza volante y escoria sobre las propiedades en compresión del concreto, es decir, modificación de su resistencia y desempeño. La descripción y cantidad de los ensayos se muestra en la Tabla 3.



Tabla 3. Descripción y cantidad de ensayos mecánicos.

Identificación	Resistencia a compresión, f_c		Subtotal	Total especímenes
	28 días	90 días		
PC8-FA2	3	3	15	60
PC8-BFS2	3	3	15	
PC6-FA4	3	3	15	
PC6-BFS4	3	3	15	

La resistencia a compresión se determinó a partir de los especímenes en forma de cilindros con dimensiones de 15x30 cm, a edades de 28 y 90 días, siguiendo el procedimiento de la norma ASTM-C-39 de 2021. La carga se aplicó utilizando una prensa hidráulica controlada por un sistema automatizado y la velocidad de aplicación de carga fue de 0,25 MPa/s. Para una adecuada aplicación de la carga sin excentricidades, se contempló la utilización de discos metálicos y de neopreno. Adicionalmente, para registrar la curva completa esfuerzo-deformación unitaria y observar la capacidad de deformación máxima obtenida en compresión, se midieron algunas deformaciones longitudinales hasta la falla por medio de la adecuación de una galga extensiométrica sobre el espécimen. La configuración del ensayo y la falla característica de un espécimen se muestran en la Figura 1.

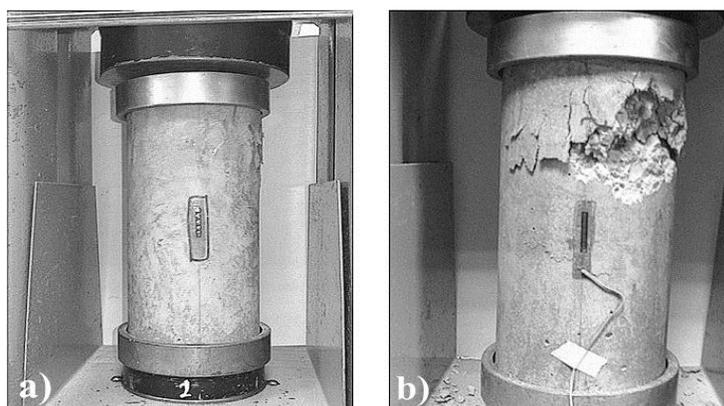


Figura 1. Configuración del ensayo de Resistencia a Compresión con deformímetros a) espécimen preparado, b) espécimen fallado.

En esta sección se presentan los resultados de los ensayos realizados sobre los especímenes de concreto adicionados, derivados de los trabajos de Cárdenas *et al.* (2015) y Cárdenas *et. al* (2016). A partir de los resultados obtenidos se examinaron las tendencias correspondientes y se formularon modelos de predicción de cada parámetro mecánico evaluado, para las mezclas con cemento Portland en función del porcentaje de adición de ceniza volante y escoria de alto horno, y para las mezclas de activación alcalina (sin cemento Portland) en función del porcentaje de adición de escoria de alto horno. Para lograr mejor comprensión de la influencia de los materiales suplementarios sobre el desempeño mecánico del concreto, los resultados medidos se comparan con modelos e investigaciones similares.



3.1 Resistencia a compresión en mezclas binarias

Los resultados de los ensayos de resistencia a compresión, f_c , sobre los especímenes cilíndricos a edades de 28 días y 90 días se muestran en la Tabla 4. Las curvas esfuerzo- deformación unitaria obtenidas en compresión a la edad de 90 días se muestran en la Figura 2. Las tendencias obtenidas en resistencia a compresión de las mezclas se muestran en la Figura 3.

Tabla 4. Resultados de resistencia a compresión a 28 y 90 días para cada tipo de mezcla binaria.

Identificación	f_c 28 días, MPa					f_c 90 días, MPa				
	Esp 1	Esp 2	Esp 3	X	CV%	Esp 1	Esp 2	Esp 3	X	CV%
PC8-FA2	14.45	15.08	13.92	14.50	3.3	23.19	24.80	21.46	23.13	1.8
PC8-BFS2	17.11	16.99	17.32	17.16	0.8	27.83	28.76	27.57	27.77	5.9
PC6-FA4	9.48	9.85	9.21	9.53	0.3	20.59	21.25	20.59	20.30	5.9
PC6-BFS4	13.61	13.82	13.29	13.72	0.2	26.81	26.05	26.89	26.77	1.4

Como se observa en la Tabla 4 y en las Figuras 2 y 3, para las mezclas con cemento Portland ordinario a edades de 28 y 90 días, se encuentra el mejor desempeño en compresión cuando los contenidos de reemplazo en la mezcla son del 20%. Se observa que los valores de resistencia a compresión disminuyen con el incremento en el porcentaje de la adición utilizada, esto es, ceniza volante y escoria de alto horno. Para la edad inicial de los especímenes evaluada a 28 días, la mezcla PC6-FA4 presentó una reducción en compresión del 34% en comparación a la mezcla PC8-FA2, y la mezcla PC6-BFS4 presentó una reducción en compresión del 20% en comparación a su similar PC8-BFS2. Posteriormente, para la edad final de los especímenes evaluada a 90 días, la mezcla PC6-FA4 presentó una reducción en compresión del 12% en comparación a la mezcla PC8-FA2, y la mezcla PC6-BFS4 presentó una reducción en compresión del 4% en comparación a la mezcla PC8-BFS2. De este modo, se concluye que la adición de ceniza volante en el concreto genera las mayores reducciones en compresión para las edades evaluadas (28 y 90 días) y los contenidos de reemplazo empleados (20% y 40%). Ramezaniyanpour y Malhotra (1995) afirman que el desarrollo de resistencias de la escoria de alto horno es mucho más rápido que el desarrollo de resistencias de la ceniza volante en el concreto, lo cual fue evidenciado en esta investigación. Similarmente, Li *et al.* (2000) reportaron que se obtienen las mejores resistencias en compresión cuando la ceniza volante en el concreto se encuentra en un intervalo del 25 al 30% y afirman que este hecho es debido a que aun cuando la actividad de la ceniza volante es baja, mayores contenidos de ceniza volante afectan el desarrollo temprano de las resistencias en compresión. De esta forma, Li *et al.* (2000) concluyen que cuando el contenido de ceniza volante es adecuado, aunque su actividad de hidratación es baja a edades tempranas, su efecto de relleno (FILLER) juega un papel importante en el desarrollo de resistencias y en la densidad de estructura de poros del concreto.

Asimismo, como se observa en la Tabla 4 y en las Figura 3, se evidenciaron incrementos de resistencia en compresión de 28 a 90 días de edad para las 4 mezclas binarias con cemento, presentándose incrementos de: 64% para la mezcla PC8-FA2, 63% para la mezcla PC8-BFS2, 110% para la mezcla PC6-FA4 y 95% para la mezcla PC6-BFS4. Estos resultados demuestran que a edad de 90 días, el incremento de resistencia en compresión de las mezclas con ceniza volante es mayor al incremento presentado por las mezclas con escoria; es decir, si bien la adición de ceniza volante genera valores de resistencia a compresión menores a los aportados por la escoria



en edades de 28 y 90 días, estas mezclas con ceniza volante experimentan la mayor ganancia de resistencia a compresión a edad de 90 días, en comparación con las mezclas de escoria de alto horno. Con base en lo anterior, se puede afirmar que la adición de cenizas volantes al concreto disminuye la resistencia a compresión en edades tempranas, pero puede incrementar dicha propiedad en edades posteriores debido al crecimiento paulatino de su hidratación en función del tiempo. Similarmente, Siddique (2004) incorporó grandes volúmenes de ceniza volante Clase F en el concreto en porcentajes de 40, 45% y 50%, y encontró que la resistencia a compresión del concreto disminuye a los 28 días. Sin embargo, el desempeño en compresión de los especímenes exhibió un significativo mejoramiento a la edad de 365 días, y se atribuye el hecho a la reacción puzolánica de la ceniza volante.

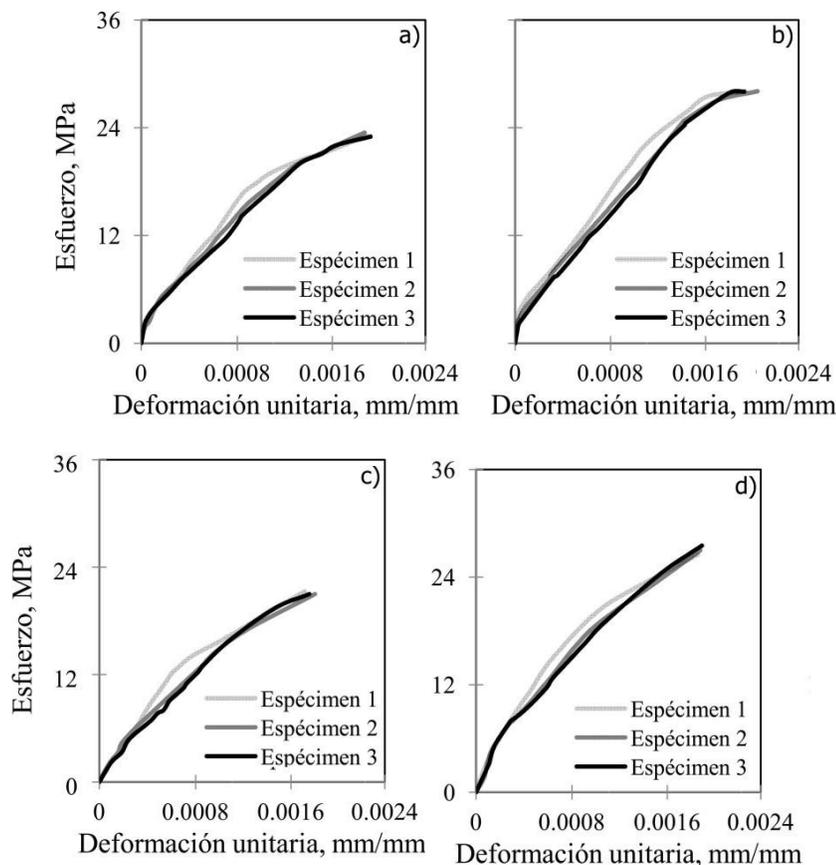


Figura 2. Curvas esfuerzo-deformación unitaria en compresión para las mezclas binarias: a) PC8-FA2, b) PC8-BFS2, c) PC6-FA4, d) PC6-BFS4.

El efecto de retardo en el desarrollo de las resistencias del concreto por la inclusión de cenizas volantes ha sido observado previamente en otros estudios. Según Lawrence *et al.* (2003), la adición de ceniza volante al concreto puede retardar la hidratación del cemento Portland en edades tempranas debido a la presencia de iones aluminatos o a la materia orgánica disuelta en la fase acuosa, lo cual retrasa la nucleación y la cristalización de los componentes de hidróxido de calcio Ca(OH)_2 y del gel CSH. El Comité ACI-226 (American Concrete Institute, 1987) reporta que la actividad puzolánica de la ceniza volante continúa desarrollándose en el tiempo, presentando mejores resistencias mecánicas a edades posteriores cuando el concreto adicionado se encuentra en presencia de humedad. Por su parte, Erdem y Kirca (2008) sostienen que las reacciones de



hidratación iniciales de la ceniza volante y la escoria de alto horno son más lentas que la presentada por el cemento Portland ordinario, lo cual provoca que el desarrollo de resistencias en estos materiales sea más lento y que se den altas resistencias a edades prolongadas. En este estudio, dichos incrementos de resistencia a compresión a edades posteriores también fueron observados.

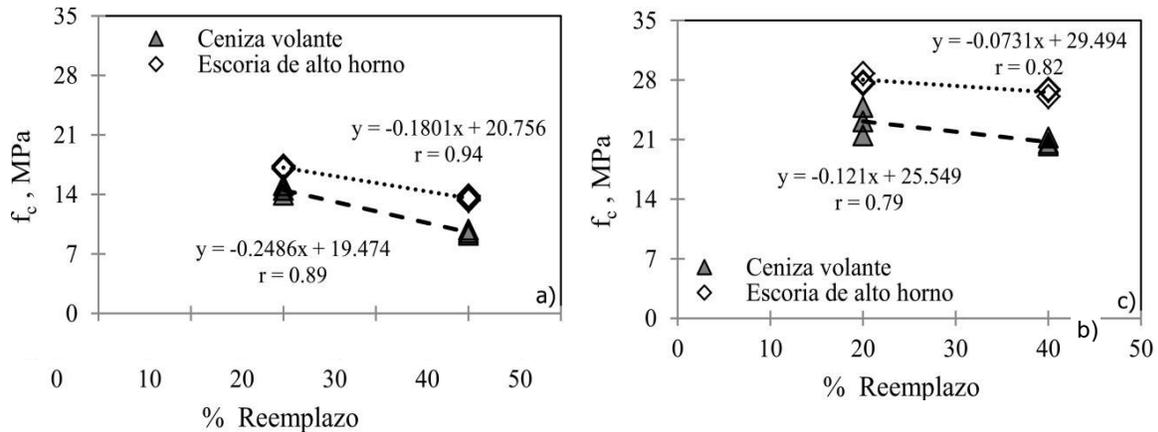


Figura 4. Tendencias obtenidas en compresión para las mezclas binarias: a) mezclas con cemento a 28 días, b) mezclas con cemento a 90 días.

A partir de las tendencias de los resultados medidos, en la Eq. 1 se propone un modelo de predicción de la resistencia a compresión para los concretos binarios adicionados con ceniza volante y escoria de alto horno, y en la Tabla 5 se presentan las constantes empleadas en dicha determinación. La dispersión de estos parámetros fue evaluada mediante el coeficiente de correlación r , definido como un indicador de la intensidad de la relación lineal entre los valores estimados y los datos experimentales. Con base en los valores r de las ecuaciones, se puede afirmar que los modelos de predicción propuestos son adecuados, ya que estos valores varían entre 0,79 y 0,94; es decir, son cercanos a 1. Lo anterior indica que existe una estrecha relación entre los parámetros observados y los calculados.

$$f^c [MPa] = [A \cdot (\% \text{ reemplazo}) + B] \text{ (Eq. 1)}$$

Tabla 5. Constantes de las ecuaciones propuestas para la determinación de las propiedades mecánicas de los concretos.

Parámetro	Tipo de mezcla	Constante		Coeficiente de correlación
		A	B	
f_c 28 días	Adición con ceniza volante	-0.249	19.474	$r = 0.89$
	Adición con escoria de alto horno	-0.180	20.756	$r = 0.94$
f_c 90 días	Adición con ceniza volante	-0.121	25.549	$r = 0.79$
	Adición con escoria de alto horno	-0.073	29.494	$r = 0.82$



4. Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos de los ensayos mecánicos realizados, se evaluó el efecto de las adiciones de ceniza volante y escoria de alto horno sobre el desempeño mecánico de sistemas cementantes binarios de concretos y se proponen ecuaciones que permiten representar dicho comportamiento. Los resultados del estudio permiten concluir lo siguiente:

Los contenidos de reemplazo óptimos de ceniza volante y escoria de alto horno en los concretos de composición binaria con cemento Portland tradicional resultaron ser equivalentes al 20%, nivel para el cual se presentaron los mejores desempeños en compresión de los especímenes evaluados. Adicionalmente, aunque no se emplearon contenidos de reemplazo mayores al 40%, se observó que reemplazos mayores al 20% de ceniza volante y escoria de alto horno disminuyen las resistencias a compresión a la edad final evaluada de 90 días.

A partir de las tendencias de los resultados experimentales, en este trabajo se han propuesto ecuaciones que permiten describir el efecto de las adiciones minerales ceniza volante clase F y escoria de alto horno en diferentes dosificaciones sobre las propiedades de resistencia a compresión a 28 días y 90 días de concretos hidráulicos de resistencia normal. Las ecuaciones propuestas aplican para concretos con relación agua/cemento de 0,45, resistencias a compresión entre 10 MPa y 30 MPa, con porcentajes de adiciones minerales de ceniza volante clase F y escoria de alto horno comprendidos entre 20% y 40% por peso de cemento.

5. Agradecimientos

A la Escuela Militar de Cadetes General José María Córdova por el financiamiento del proyecto: "Evaluación de las propiedades de durabilidad de estructuras de concreto utilizando residuos de construcción y demolición" adscrito a la Facultad de Ingeniería Civil, vigencia 2020.

6. Referencias

- Olanrewaju, D.O., Akinpelu, A.A. (2014) Lightweight concrete using local industrial by product, *Journal of Mechanics Engineering and Automation*, vol. 4, pp. 505-510.
- Benhelal, E., Zahedi, G., Shamsaei, E., Bahadori, A. (2013) Global strategies and potentials to curb CO2 emissions in cement industry, *Journal of Cleaner Production*, vol. 51, pp. 142- 161. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.10.049.
- Ishak, S.A., Hashim, H. (2015) Low carbon measures for cement plant – a review, *Journal of Cleaner Production*, vol. 103, pp. 260-274. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.11.003.
- Sengul, O., Tasdemir, M. (2009) Compressive strength and rapid chloride permeability of concretes with ground fly ash and slag, *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol.21, no. 9, pp. 494–501. DOI:http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2009)21:9(494).
- Li, D., Shen, J., Chen, Y., Cheng, L., Wu, X. (2000) Study of properties of fly ash-slag complex cement, *Cement and Concrete Research*, vol. 30, no. 9, pp. 1381–1387. DOI:10.1016/S0008-8846(00)00360-4.



- ASTM C-39 (2021), Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens, ASTM C-39, ASTM International, PA, USA, p.6.
- Cárdenas, J., Lizarazo, J., Aperador, W. (2015) Comportamiento mecánico de sistemas cementantes binarios (cemento portland – ceniza volante – escoria de alto horno), Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, vol. 36, no. 1, pp. 78-98.
- Cárdenas, J., Lizarazo, J., Aperador, W. (2016) "Comportamiento mecánico de sistemas cementantes ternarios (cemento portland – ceniza volante – escoria de alto horno)," Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, Artículo aceptado para publicación.
- Ramezani-pour, A.A., Malhotra, V.M. (1995) Effect of curing on the compressive strength, resistance to chloride-ion penetration and porosity of concretes incorporating slag, fly ash or silica fume, Cement and Concrete Composites, vol. 17, no. 2, pp. 125-133. DOI: 10.1016/0958-9465(95)00005-W.
- Siddique, R. (2004) Performance characteristics of high-volume class F fly ash concrete, Cement and Concrete Research, vol. 34, no. 3, pp. 487-493. DOI: 10.1016/j.cemconres.2003.09.002.
- Lawrence, P., Cyr, M., Ringot, E. (2003) Mineral admixtures in mortars: effect of inert materials on short-term hydration, Cement and Concrete Research, vol. 33, no. 12, pp. 1939- 1947. DOI: 10.1016/S0008-8846(03)00183-2.
- ACI Committee 226 (1987) The use of fly ash in concrete, American Concrete Institute, Detroit, MI, Tech. Rep. ACI 226.3R-87. DOI: 10.14359/1612.
- Erdem, T.K., Kirca, O. (2008) Use of binary and ternary blends in high strength concrete, Construction and Building Materials, vol. 22, no. 7, pp. 1477-1483. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2007.03.026.

Sobre los autores

- **Luis German Nova Rangel:** Estudiante pregrado en Ingeniería Civil, Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova". luigenovara18@gmail.com
- **William Jhon Jairo Quiroz Ceballos:** Estudiante pregrado en Ingeniería Civil, Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova". jjquiroz1999@gmail.com
- **Jhon Cárdenas Pulido:** Ingeniero Civil, Magister en Ingeniería Civil, Docente Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova". jhon.cardenas@esmic.edu.co
- **Adriana Vargas Aguilar:** Ingeniero Civil, Especialista en Estructuras, Especialista en Gerencia Integral de Obras, Oficial del Ejército Nacional de Colombia, Docente Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova". adriana.vargas@esmic.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2021 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

