

## EFFECTO DE TRES ADITIVOS Y/O SUSTITUTOS DEL CEMENTO PORTLAND, EN LAS PROPIEDADES DE BLOCKS DE CONCRETO (VIBRO-COMPACTADOS)

*H. García Ortiz<sup>1,\*</sup>, F. Legorreta García<sup>1</sup>, E. A. Chávez Urbiola<sup>1</sup>, F. J. Olguín Coca<sup>2</sup>, A. Arenas Flores<sup>1</sup>, E. Cardoso Legorreta<sup>1</sup>.*

<sup>1</sup>Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, C. P. 42183, México.

<sup>2</sup>Área Académica de Ingeniería y Arquitectura del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carretera Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, Colonia Carboneras, Mineral de la Reforma, Hidalgo, C. P. 42183, México.

*\*Autor de correspondencia: hugo0000\_8@hotmail.com*

### RESUMEN

Se realizó un estudio del efecto de 3 sustitutos del cemento portland en la densidad relativa, la resistencia a la compresión y la absorción inicial (capilaridad), en blocks de concreto vibro-compactados. El cemento Portland es sustituido por tres diferentes constituyentes de la mezcla, en diferentes proporciones: a) 10% por ceniza volante, b) por 30% de cemento Impercem®, y c) el uso de un aditivo auto-curable. Los resultados indican que la ceniza volante, proporcionan un beneficio de resistencia a la compresión, sin embargo, los valores de absorción son inferiores a la norma. Adicionalmente, se realiza la caracterización de los materiales de partida por diferentes técnicas, Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) y Difracción de Rayos X (DRX). Todas las medias físicas se efectúan en el marco de la normativa ONNCCE.

**Palabras Clave:** Blocks de concreto, Ceniza volante, Vibro-compactados, Materiales pétreos, Aditivos para concreto.

### 1. INTRODUCCIÓN

Sin duda la humanidad tiene la necesidad de ser reconocido y el deseo de no ser olvidado, desde la antigüedad la utilización de rocas es un éxito en este sentido, pues estatuas, artículos domésticos, etc. De distintas civilizaciones, subsisten hasta nuestros días. Con el tiempo la humanidad no se conformó con las rocas que tenía a su alcance y se vio en la necesidad de fabricarlas ellos mismos, sin una restricción de formas y tamaños.

Con el tiempo se desarrollaron distintas tecnologías, pero no fue hasta que Joseph Aspdin, en 1824 Obtuvo la patente para fabricar cemento. En este momento comenzó una carrera por la fabricación de edificaciones que ejemplificarían la majestuosidad o poder de las naciones, para ello los métodos de construcción y los materiales empleados evolucionaron en gran medida.

La industria de la construcción en nuestro país, representa una importante derrama económica, de igual forma estadísticamente podemos ver que la necesidad de nuevas viviendas está en aumento, esto se debe al constante incremento de la población en nuestro país y en el mundo. Los censos realizados en los anteriores años dan una noción, del como

la edificación es fundamental en nuestro país [1], así como el comportamiento estadístico que tienen la cantidad de viviendas que se deben construir.

En la actualidad podemos encontrar concretos de distintos tipos y con distintas aplicaciones en el mercado, entonces ¿cuáles son las limitantes de la fabricación de blocks vibro-compactados?, esta pregunta es fundamental. Tenemos que comenzar por decir que los materiales de construcción son de un peso volumétrico considerable, es decir el traslado de los mismos es muy costoso, debido a esto las materias primas empleada para la fabricación de vibro-compactados de igual manera son pesados.

Existen distintas pruebas que se pueden realizar a los blocks vibro-compactados, sin embargo, la densidad bulk, la resistencia a la compresión y la permeabilidad, son las principales, para que dichas pruebas sean aceptables ante el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (ONNCCE) que es una Sociedad Civil reconocida a nivel nacional dedicada al desarrollo de las actividades de normalización, certificación y verificación [2].

Los materiales pétreos finos y gruesos (arena y grava), de cada región están limitados a los que se encuentran en la misma, esto limita a la densidad bulk, la resistencia a la compresión y la permeabilidad, por lo que el uso de aditivos en las mezclas de concretos ayuda a mejorar este tipo de propiedades. Los aditivos en la construcción han sido empleados por décadas, pocos años después de que Joseph Aspdin registrara la patente, estos tienen como objetivo modificar las características del concreto en su etapa fluida y en su etapa endurecida, un ejemplo de ello son los colorantes los cuales modificaban el aspecto del concreto ya endurecido.

En las últimas décadas el uso de materiales de desperdicio en la construcción es un tema de estudio para muchos investigadores, algunos de ellos principalmente de países desarrollados han evaluado la posibilidad de emplear ceniza volante como un sustituto y/o aditivo en concretos de alta resistencia, encontrando resultados favorables respecto a su resistencia a la compresión.

La ceniza volante es un residuo que se produce de la quema de carbón natural en los altos hornos de las termoeléctricas, estos desechos son depositados en áreas de confinamiento, una de sus principales características es que son partículas micrométricas lo que genera una contaminación al medio ambiente, por ello en 2003 Yasar E. y colaboradores, utilizaron ceniza volante como aditivo para concretos ligeros, agregaron un 20% de ceniza volante y mejoraron la resistencia de una prueba testigo de 29 MPa a 31 MPa, de igual manera la densidad de los concretos sufrió un cambio de 1955 kg/cm<sup>3</sup> a 1932 kg/cm<sup>3</sup> [3].

La búsqueda de concretos de alta resistencia llevaron a investigadores a continuar trabajando con cenizas, en 2006 Hossain K. incorpora ceniza volcánica en la fabricación de concretos de alta resistencia, solo encontrando valores favorables con un 5 % de sustitución de cemento, con un incremento en la resistencia de 79.5 MPa a 82.4 MPa [4].

Un dato constante en el uso de ceniza, son los bajos porcentajes en el que se emplean en, 2008 Chen B. y colaboradores realizan distintas pruebas con ceniza volante para concretos ligeros de alta resistencia, sustituyendo el cemento portland desde un 10 hasta un 40%, encontrando mejoras en la resistencia a la compresión entre un 10 y 20%, con valores superiores a una prueba testigo, esta con una resistencia de 50 MPa, mejorando en 52.5 MPa y 56 MPa respectivamente [5]. Pero el uso de distintos materiales pétreos también es una variable, por ello en 2012 González Cuervo y colaboradores utiliza piedra pómez para la mejora de concreto estructural [6].

Pero como podemos comparar un block de alta resistencia de uno que no lo es, pues la NOM-404-ONNCCE, nos ayuda a separar los blocks estructurales de los no estructurales, de igual manera en, 2013 García Giraldo, J. M y colaboradores determina a los bloques por arriba de los 30 MPa como de alta resistencia y comerciales de 10 MPa [7].

No debemos olvidar el apoyo al medio ambiente, por ello en 2015 Javier Flores Badillo y colaboradores fabricaron bloques utilizando residuos mineros como agregados finos, se reforzaron usando perlita expandida y pumucita como agregados gruesos y como agentes cementantes. Los bloques así producidos, se presentan al final de las resistencias de compresión establecidas iguales o superiores a tan solo 8 MPa [8].

Después de hacer una revisión bibliográfica y no encontrar datos sobre el uso de ceniza volante en la fabricación de blocks de concreto, por los resultados reportados en el uso de esta, en otro tipo de concretos y por la necesidad de cumplir con la normativa aplicable en el país, se propone emplear ceniza volante, como sustituto y/o aditivo en concretos para la fabricación de vibro-compactados y evaluar su densidad bulk, la resistencia a la compresión y la permeabilidad, bajo la normativa ONNCCE.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

Los materiales pétreos son colocados, en distintas pruebas, bajo la normativa ONNCCE, para la obtención en los yacimientos bajo la norma para el muestreo de agregados NMX-C-30-2004, para la realizar cuarteo y reducción de la muestra de acuerdo a norma NMX-C-170-2004, para poder realizar la granulometría bajo la norma Análisis granulométrico NMX-C-077-1997 en esta se utilizaron las mallas #100, #50, #30, #16, #8, #4, 3/8 y 1/2, se terminaron las densidades específicas para los agregados finos y gruesos mediante NMX-C-164-2002.

Las proporciones de la mezcla se establecieron una vez se tenía la seguridad de que la mezcla base propuesta alcanza los 90 kg/cm<sup>2</sup>, en la prueba de compresión simple, a los blocks que se generen con esta formulación se denominará testigo, este será la referencia ante las demás mezclas modificadas, cabe hacer la mención que al hablar de un porcentaje de sustitución, es referente a la cantidad de cemento portland ordinal cedula 40, la primer modificación es el uso de un 30% en sustitución con cemento impercem, la segunda modificación es el uso de en sustitución de un 10% con ceniza volante y por último el empleo de un aditivo auto-curable, estos se realizan de forma simultanea junto con el testigo para minimizar las variables de humedad, temperatura, curado y almacenaje.

Para la fabricación de los blocks se mezclan primero los materiales pétreos con un 50% del agua empleada, una vez estos materiales estén hidratados se agregan los cementantes, y el resto de agua, se sigue mezclando hasta alcanzar una mezcla homogénea, posteriormente se coloca la muestra dentro de la maquina vibro-compactora y con un molde para blocks de 20 x 40 x 12 centímetros con dos huecos centrales bajo la norma NMX-C-038-2013, después de este proceso ya no será más una mezcla, ahora lo denominaremos block en estado fresco, el cual debe ser manipulado con extremo cuidado, pues las propiedades de resistencia solo las tendrá con el paso del tiempo, por ello se realizan pruebas de resistencia a la compresión NMX-C-036-2004 y absorción inicial NMX-C-037-2013 estas pruebas se realizan a 7, 14, y 28 días después de su fabricación.

Para la caracterización de la ceniza volante, fueron analizados por DRX en el equipo Inel Equinox 2000, en un intervalo de  $5^\circ$  a  $100^\circ$  utilizando radiación de Cobalto ( $\text{CoK}\alpha 1$ ). Así como una microscopia de la ceniza volante en un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB)

### 3. RESULTADOS

Puede apreciarse en la Figura 1, que las señales más importantes son de cuarzo  $\text{SiO}_2$ , óxido de hierro  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (hematita) y una especie de óxido de aluminio  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , estos resultados son muy similares a los difracto gramas reportados en la bibliografía empleada [3].

Mirando la Figura 2, la morfología de la ceniza volante es esférica con un diámetro de 20 micras, podemos observar la superficie lisa sin poros ni relieves considerables, no presenta aglutinamiento, los datos encontrados coinciden con la bibliografía utilizada.

En la Tabla 1 se pueden observar los resultados de la prueba, de resistencia a la compresión, así como la prueba de absorción inicial a los 7, 14 y 28 días después de la fabricación.

Una vez teniendo los resultados individuales, se generaron una graficas de comparación, que podemos observar en la Figura 3 y 4.

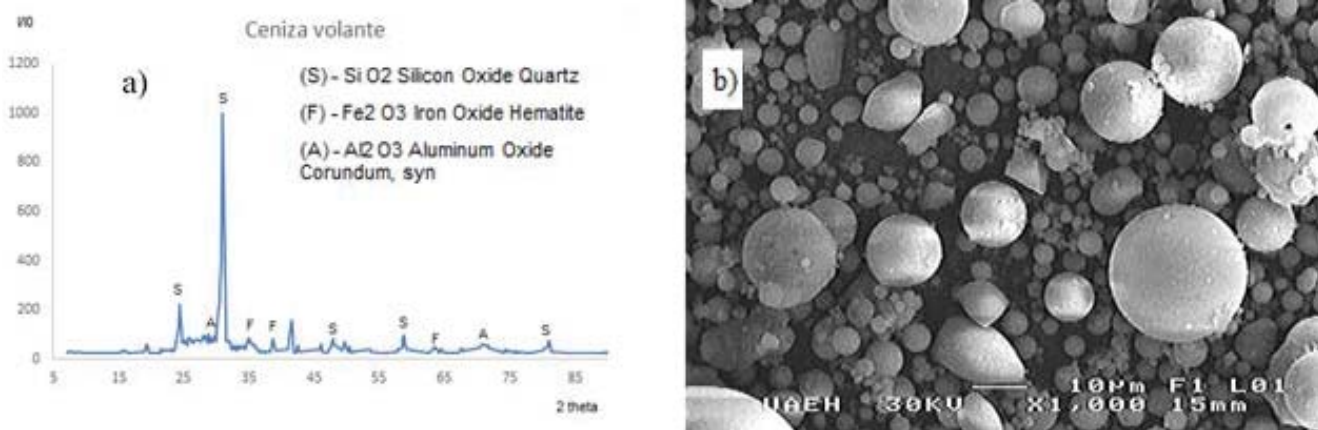


Figura 1. a) Difractograma de ceniza volante, con una duración de prueba de 30 minutos, b) Imagen obtenida por MEB de ceniza volante a 1000 aumentos

Ninguno de los especímenes ensayados logró pasar la norma de absorción inicial, por lo que se requiere buscar un diseño más apropiado que permita que el Cb esté por debajo de los 7.5 como exige la norma. Sin embargo, la ceniza volante presenta propiedades muy aceptables que vale la pena seguir estudiando.

Como podemos observar con excepción del cemento impercem, todos los especímenes quedaron por encima de la resistencia a la compresión diseñada de  $90 \text{ kg/cm}^2$  cumpliendo con la NMX-C-404-ONNCCE-2012 (Parámetros de resistencia y absorción inicial), por lo que, bajo estas condiciones el cemento impercem no es una opción que beneficie en esta prueba.

*Tabla 1. Resultados de resistencia a la compresión, absorción inicial a los 7, 14 y 28 días después de la fabricación de los distintos especímenes.*

Tiempo	Muestra	Alto (cm)	Ancho (cm)	Largo (cm)	Ms masa seca del block (g)	Cb coeficiente de absorción inicial $g/(cm^2 \times min^{-5})$	Resistencia a la compresión $(kg/cm^2)$
7 días	testigo	19.8	12	39.9	10855	14	70.6
	30 % de impercem (sustitución)	19.9	12	39.9	10765	12.9	68.6
	ceniza 10 % (sustitución)	19.9	12	39.9	10645	22.5	74.9
	aditivo	19.9	12	39.9	10645	12.9	86.6
14 días	testigo	19.9	12	40	10905	17.7	76.4
	30 % de impercem (sustitución)	19.7	12	40	10415	14.9	81.3
	ceniza 10 % (sustitución)	19.8	12	40	11215	10.4	88.8
	aditivo	20	12	40	11060	12.3	93.7
28 días	testigo	19.8	12	40	11160	12.8	92.1
	30 % de impercem (sustitución)	20	12	40	10740	16.2	78.3
	ceniza 10 % (sustitución)	19.9	12	39.9	11190	9.6	90.9
	aditivo	20	12	39.9	11200	10.3	101.2

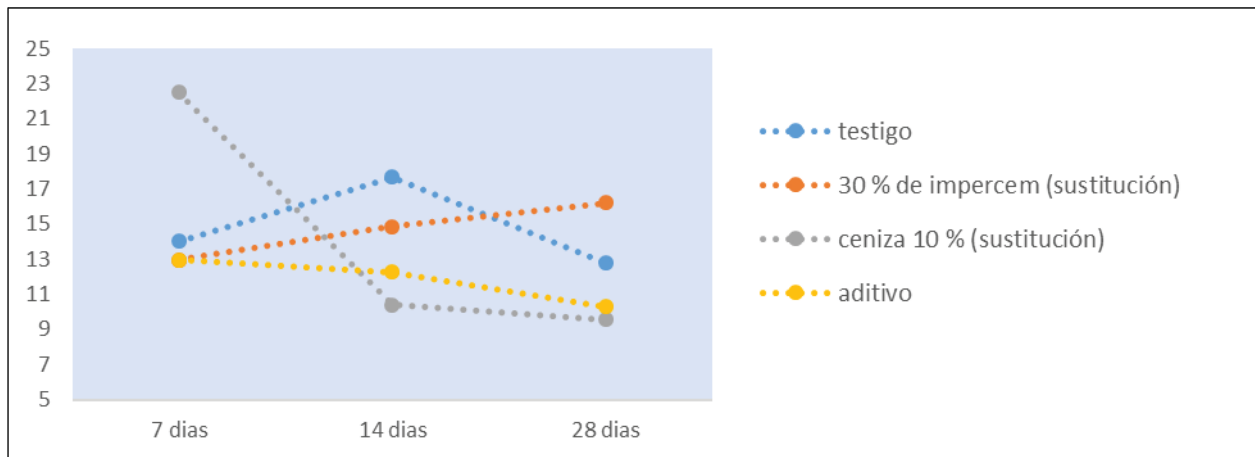


Figura 2. Comparativa del coeficiente de absorción de los distintos especímenes a 7, 14 y 28 días.

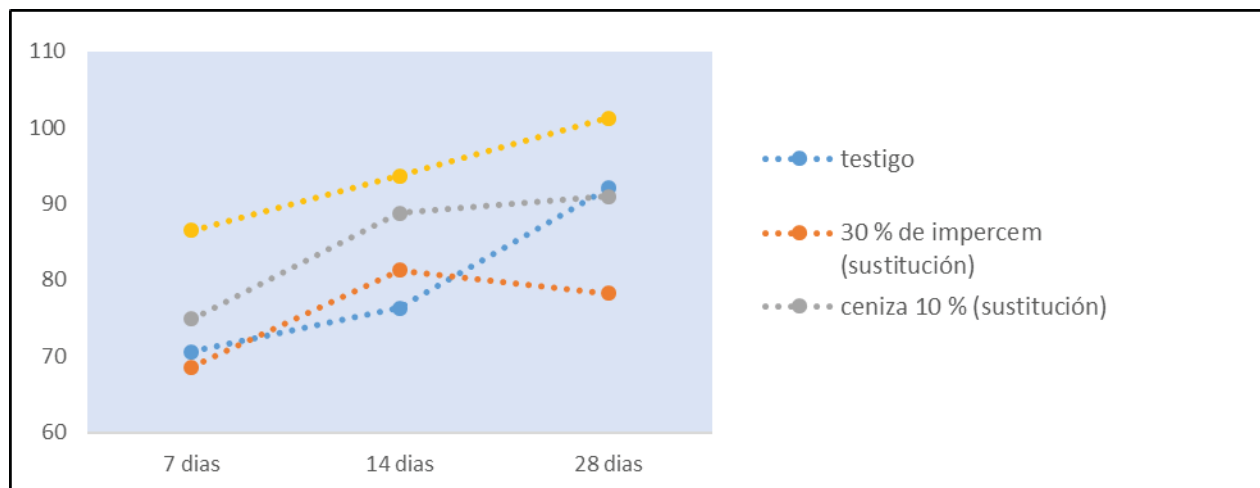


Figura 3. Comparativa de la resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>) de los distintos especímenes a 7, 14 y 28 días.

#### 4. CONCLUSIONES

El uso de ceniza volante en un 10% de sustitución disminuye el coeficiente de absorción, de un 12.8 a un 9.6 por lo que se concluye que el estudio de esta ceniza en distintos porcentajes de sustitución es viable.

La ceniza volante puede sustituir al cemento portland ordinal cedula 40 en al menos un 10%. Y con ello la resistencia la compresión se mantiene en los parámetros de la norma.

Se asume que el tamaño de partícula micrométrico de la ceniza volante contribuye a sellar los poros de los materiales pétreos, generando así una menor absorción por capilaridad.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Área Académica de Ciencias de la Tierra y Materiales del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por todo el apoyo prestado, así como a los doctores que siempre, prestaron guía y apoyo, durante todo el proceso para el presente trabajo.



**BIBLIOGRAFÍA**

- [1] I. N. d. E. y. G. (INEGI), «[www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx),» 26 06 2018. [En línea]. Available: [http://www.beta.inegi.org.mx/inegi/quienes\\_somos.html](http://www.beta.inegi.org.mx/inegi/quienes_somos.html).
- [2] ONNCCE, «<http://www.onncce.org.mx>,» 19 Junio 2018. [En línea]. Available: <http://www.onncce.org.mx/index.php/es/onncce>.
- [3] E. A. Yasar, K. Cengiz Duran y H. Alaettin Gulsen, «Strength properties of lightweight concrete made with basaltic pumice and fly ash,» *Materials Letters*, vol. 57, nº 15, pp. 2267-2270, 2013.
- [4] K. M. A. Hossain, «High strength blended cement concrete incorporating volcanic ash: Performance at high temperatures,» *Cement and Concrete Composites*, vol. 28, nº 6, pp. 535-545, 2006.
- [5] L. J. Chen Bing, «Experimental application of mineral admixtures in lightweight concrete with high strength and workability,» *Construction and Building Materials*, vol. 22, nº 6, pp. 1108-1113, 2008.
- [6] C. P. González Cuervo, Á. Montaña Angarita y D. C. Castro Rodríguez, «Obtención y caracterización de geopolímeros, sintetizados a partir de ceniza volante y piedra pómez, utilizados para el desarrollo y mejoramiento del concreto,» *El Hombre y la Máquina*, vol. 38, 2012.
- [7] J. M. García Giraldo, R. L. B. Díaz y C. L. Araya, «Modelo analítico del comportamiento a compresión de bloques huecos de concreto.,» *Revista de la Construcción*, vol. 12, nº 3, pp. 76-82, 2013.
- [8] J. F. Badillo, J. H. Ávila, E. S. Rodríguez, M. P. Labra, I. R. Landerolster y M. G. E. Cerecedo, «Preparation of Blocks from Tailings,» *Engineering Solutions for Sustainability*, pp. 127-134, 2015.

Normas utilizadas:

NMX-C-170- ONNCCE-1997 Procedimiento de reducción de muestras

NMX-C-077- ONNCCE-1997 Procedimiento de análisis granulométrico

NMX-C-164-ONNCCE-2002 Procedimiento de absorción en agregados

NMX-C-036- ONNCCE -2004 Procedimiento de cabeceo de bloques de concreto

NMX-C-037- ONNCCE -2013 Procedimiento de absorción inicial

NMX-C-038-ONNCCE-2013 Procedimiento para determinar dimensiones

NMX-C-030-ONNCCE-2004 Procedimiento para muestreo de agregados

NMX-C-404-ONNCCE-2012 Parámetros de resistencia y absorción inicial