



DOI: [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i6.3847](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3847)

## Evaluación del comportamiento mecánico de concreto de baja resistencia modificado pumicita como sustituto de cemento

**Pablo Julián López González**

jlopezg@itsm.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-6281-6756>

**Oscar Moreno Vázquez**

omorenov@itsm.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6267-9504>

**David Reyes González**

dreyesg@itsm.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6400-5984>

**Kenson Noel, Autor4**

222t0508@itsm.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-3894-9719>

Departamento de Ingeniería civil, Instituto Tecnológico Superior de Misantla  
Misantla, México

## RESUMEN

Este trabajo presenta el comportamiento de la pumicita como cementante alternativo, en concretos modificados de baja resistencia, debido al alto consumo energético y emisión de gases contaminantes durante el proceso de elaboración de cemento portland, evaluando propiedades mecánicas a compresión en porcentajes de sustitución de 25%, 50% y 75%, con concentraciones activantes de hidróxido de sodio de 5%, 10% y 15% en peso. Se emplea la metodología de Taguchi para definir un diseño experimental ortogonal de 9 corridas diferentes. Se emplea el método de diseño de mezclas de concreto ACI 211.1, por volúmenes absolutos para una resistencia estimada de 150 kg/cm<sup>2</sup>. Una vez elaborados los especímenes y curados a la edad de 28 días se realizan las pruebas mecánicas evaluando la resistencia a compresión en una prensa hidráulica mediante la normativa NMX-C-083-ONNCCE-2014. Se puede observar que cuando se sustituye pumicita a más del 50% se presentan un bajo valor de resistencia mecánica con respecto al concreto control. Mediante el análisis de resistencia a compresión se recomiendan los concretos con 50% y 25% de sustitución y concentración activante de 5%, debido a que tienen un comportamiento similar del control, alcanzando la resistencia de diseño.

**Palabras clave:** *Compresión; concreto; pumicita; resistencia; resistencia.*

Correspondencia: jlopezg@itsm.edu.mx

Artículo recibido: 12 octubre 2022. Aceptado para publicación: 12 noviembre 2022.

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

Todo el contenido de **Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar**, publicados en este sitio están disponibles bajo

Licencia [Creative Commons](#)



Como citar: López González, P. J., Moreno Vázquez, O., Reyes González, D., & Noel, K. (2022). Evaluación del comportamiento mecánico de concreto de baja resistencia modificado pumicita como sustituto de cemento. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 5866-5877. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i6.3847](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3847)

## Evaluation of the mechanical behavior of modified pumicite low-strength concrete as a cement substitute

### ABSTRACT

This work presents the behavior of pumicite as an alternative cementitious, in modified concrete of low resistance, due to the high energy consumption and emission of polluting gases during the process of making Portland cement, evaluating mechanical properties at compression in percentages of substitution of 25%, 50% and 75%, with activating concentrations of sodium hydroxide of 5%, 10% and 15% by weight. Taguchi's methodology is used to define an orthogonal experimental design of 9 different runs. The design method of concrete mixtures ACI 211.1 is used, by absolute volumes for an estimated strength of 150 kg / cm<sup>2</sup>. Once the specimens have been prepared and cured at the age of 28 days, mechanical tests are carried out evaluating the compressive strength in a hydraulic press using the NMX-C-083-ONNCCE-2014 standard. It can be observed that when pumicite is replaced at more than 50%, there is a low value of mechanical resistance with respect to the concrete control. Through the analysis of compressive strength, concrete with 50% and 25% substitution and activating concentration of 5% are recommended, because they have a similar behavior of the control, reaching the design resistance

### Keywords:

Compression, concrete, pumicite, resistance, substitution

## INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción es una de las actividades más empleadas a nivel mundial (Perez, 2022), pero ¿Cuáles son las consecuencias de ejercer esta actividad?, en la actualidad se tiene el dato de que el principal componente en toda construcción es la implementación del cemento portland compuesto, por lo tanto es un elemento de una gran demanda el cual genera diversos problemas al momento de realizar la elaboración de este el cual conlleva a la emisión de diversos gases contaminantes como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y es el encargado de generar ciertas problemáticas en la capa de ozono ya que este genera grandes capas de calor que se quedan inmóviles de la corteza terrestre y consecuentemente da hincapié al calentamiento global (Angst, 2018).

El 60% de todas las emisiones de dióxido de carbono en la producción del cemento portland compuesto se manifiesta cuando en su procedimiento de elaboración se calcina la piedra caliza (CaCO<sub>3</sub>) la cual es uno de los principales elementos para la creación del cemento portland compuesto, sin embargo existe otra causa la cual genera la emisión de este gas la cual consiste en la quema de carbón/ combustible para la ejecución de la clinkerización, dicha actividad tiene un porcentaje del 40% de las emisiones del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Lippiatt N, 2020), que aportan un aproximado de 4 a 8 % en emisiones para el calentamiento global, considerando que por cada tonelada de CP se emite aproximadamente 1 tonelada de CO<sub>2</sub> (Andrew, 2017).

Todo este procedimiento para la elaboración del cemento es demasiado perjudicial para el planeta tierra, ya que este a pesar de tener muchas ventajas en el área de la aplicación de la construcción también perjudica en el área ambiental, así un planteamiento para una solución sería la implementación de nuevos materiales sustitutos para la elaboración del cemento portland compuesto (Escalante, 2012), así mismo erradicar las emisiones elevadas del dióxido de carbono que se emiten en la actualidad al momento de crear este cemento tradicional (Silva, 2014).

Al utilizar geopolímeros (Provis, 2018) que resultan de la activación alcalina de aluminosilicatos (Nawaz et al., 2020), se pueden generar estabilizadores de suelos, y cementos alternativos para elaboración de concretos modificados (Plati, 2019), se estaría mejorando la durabilidad de las obras de infraestructura, además de otros beneficios con la adición de puzolanas como son el mejoramiento de la trabajabilidad, menor calor de

hidratación (Carmona, 2011), mayor resistencia a los sulfatos y mejores resistencias mecánicas (Alujas et al., 2010) por mencionar algunas.

En este caso la base pumicita (López, 2019) como sustituto del cemento portland compuesto (Hernández et al, 2019) podría llegar a ser un buen elemento ya que esta cuenta con muy buenos estándares en el área de la resistencia y la calidad como agregado (Abdulrezzak, 2019), (Saltan 2011), (Saltan 2008).

La implementación del material pumicita (Cabrera et al, 2021) en la elaboración de concretos hidráulicos garantizara tendrá un comportamiento cementante en la mezcla, todo esto gracias a las propiedades de resistencia mecánicas y a la baja masa unitaria con la que cuenta la piedra pómez, asimismo se lograra erradicar gran parte de las emisiones del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y los costos energéticos que conlleva elaborar este concreto, haciéndolo idóneo para el uso de proyectos de gran escala.

El objetivo de este trabajo es evaluar las propiedades mecánicas del concreto modificado de baja resistencia base pumicita con sustituciones cementicias porcentuales.

## METODOLOGÍA

La pumicita (PM) utilizada es una puzolana de origen volcánico tipo pómez, con alta disposición en la región centro de Veracruz, siendo esta activada con una fuente alcalina: Hidróxido de sodio. En la tabla 1, se observan la composición química de los principales óxidos:

**Tabla 1.** Composición química de pumicita por fluorescencia de rayos-X (%wt) (Bandala et al., 2019)

Óxidos %wt	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Otros
PM	68.73	14.01	5.45	3.69	2.5	1.64	0.34	3.64

Se realizó la caracterización física de los agregados, posteriormente para calcular el proporcionamiento de la mezcla, se utiliza el Método del Instituto Americano del Concreto ACI 211.1 (ACI, 2022), denominado método de volúmenes absolutos. Una vez obtenidos los volúmenes de material necesarios para fabricar la mezcla, éstos son convertidos a pesos en kg para su fácil dosificación, como la indica la nomenclatura de la tabla 2. Se eligió una relación agua/cemento de 0.50. Teniendo un revenimiento de 10 cm, para una resistencia estimada de 150 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 2. Nomenclatura empleada en concretos modificados

Descripción	Nomenclatura
% de Pumicita	25-75
5% de Activador alcalino	A
10% de Activador alcalino	B
15% de Activador alcalino	C

Tabla 3. Mezclas de concreto modificado base pumicita

Nomenclatura	% Cemento	% Pumicita	% Activador
C0AB	100	0	0
C25A	75	25	5
C25B	75	25	10
C25C	75	25	15
C50A	50	50	5
C50B	50	50	10
C50C	50	50	15
C75A	25	75	5
C75B	25	75	10
C75C	25	75	15

Se utilizaron 30 especímenes cúbicos (10x10x10cm), 3 de cada mezcla como indica la tabla 3 con una relación agua/cemento 0.50. Los moldes se colocaron en una superficie plana libre de vibraciones con la separación adecuada entre ellos para facilitar el proceso de colado y evitar que los especímenes sufrieran alteraciones durante el fraguado, de acuerdo a la Norma ONNCCE.

Base a la dosificación, se procede a la revoltura de la mezcla de concreto, se utilizan palas para mezclar los finos con el agregado grueso.

Posteriormente al mezclado del concreto, se coloca la primera capa de 5 cm aproximados en el molde a la Norma NMX-C-159-ONNCCE-2016. Dando 25 penetraciones con varilla, después colocar la segunda capa y repetir el varillado descrito anteriormente, para eliminar las oquedades producidas y expulsar el aire atrapado (ONNCCE, 2016).



Figura 1. Elaboración de especímenes

Para la consistencia la prueba fue realizada de acuerdo a los procedimientos establecidos por la norma NMX-C-156-ONNCCE para determinar el revenimiento de concretos plásticos hechos a base de cemento hidráulico.



Figura 2. Equipo de revenimiento

El curado se define como el proceso mediante el cual, en un ambiente especificado de humedad y temperatura, se favorece la hidratación del cemento o de los materiales cementantes en la mezcla.

La norma NMX-C-159-ONNCCE-2016, establece que el curado de los especímenes debe iniciarse tan pronto como sea posible; como regla practica establece que cuando el concreto recién colado pierde su brillo superficial, debido al agua propia de la mezcla, debe iniciarse el curado.

24 horas después del colado y hasta los 28 días siguientes a la remoción de los moldes, se curaron los especímenes en una condición húmeda usando tanques y bandejas para almacenar agua (ONNCCE, 2016).



Figura 3. Colocación de especímenes en recipientes con agua

La resistencia a la compresión de los especímenes se determinó con base a la Norma NMX-C-083-2014. Se entiende por resistencia a la compresión a la oposición que presenta un espécimen de concreto bajo una carga axial expresada como la fuerza por unidad de área.

El equipo utilizado para llevar a cabo esta prueba fue el siguiente:

- Prensa con dispositivos de lectura de carga
- Las placas de asiento de la prensa y las caras de los cubos se limpiaron para mantener una superficie lisa libre de partículas (ONNCCE, 2014).



Figura 4. Ensaye de resistencia a compresión.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinaron las resistencias a la compresión simple de los concretos modificados fabricados conforme la norma NMX-C-083-ONNCCE-2014, obteniendo los resultados que se aprecian en la figura 5, con respecto al diseño de 150 kg/cm<sup>2</sup>. Todas las mezclas muestran que desarrollaron resistencia a la compresión conforme ocurrió el tiempo de curado, se puede observar que las variaciones de pumicita, cemento y activador alcalino en resistencia, con respecto a la muestra control.

El empleo del 75% de pumicita como sustituto de cemento portland en las mezclas, muestra un efecto adverso al disminuir la resistencia a la compresión a 28 días de curado, teniendo el valor más bajo de 13.12 Mpa.

Por otro lado, el empleo de 25 % de pumicita como sustituto con un porcentaje de activador al 5 (C25A) muestra un resultado de 17.47 MPA superando los 15.99 Mpa del concreto control, además el concreto C25B, junto con la mezcla C50A, muestran un efecto positivo al incrementar sus resistencias a la compresión y tener un comportamiento similar a la muestra sin adiciones.

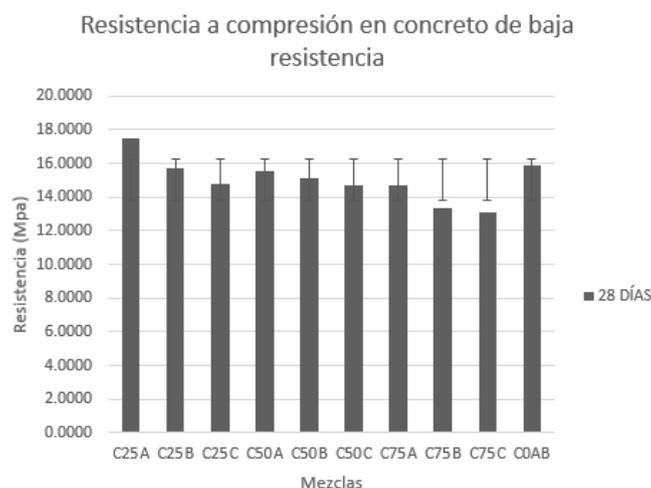


Figura 5. Resistencia a compresión

## CONCLUSIONES

Se encontró que al sustituir más del 50% de pumicita como cemento alternativo y el empleo del 15% como activador alcalino, disminuyen la resistencia a compresión en un concreto modificado con puzolanas volcánicas, teniendo resultados menores que un concreto convencional sin adiciones para un diseño de baja resistencia esperando 150 kg/cm<sup>2</sup>.

La mezcla C25A, alcanzó la resistencia a la compresión más favorable, superando la mezcla control. Por lo que esta mezcla tiene los beneficios de ahorro económico y ambiental al disminuir un 25% el consumo de cemento portland, para construir elementos no estructurales de baja resistencia.

Con base en los resultados obtenidos, se puede concluir que es posible emplear la pumicita en sustitución del cemento portland, en combinación del 25% al 50% pumicita y activador alcalino de 5% y 10%, en concretos de bajas resistencias, debido a que estas mezclas alcanzan valores adecuados en resistencia a la compresión.

#### LISTA DE REFERENCIAS

Abdurrezzak B., Isik, E., El, A. A., & Ülker, M. (2019). Mechanical properties of reactive powder concretes produced using pumice powder. *Journal of Wuhan University of Technology (Materials Science Edition)*, 34(2), 353–360. <https://doi.org/10.1007/s11595-019-2059-1>

ACI Committee 211 (2002), Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete ( ACI 211.1-91 ).

Alujas, A., Fernández, R., Martinera, J.F., Quintana, R. (2010). Empleo de arcillas caolínicas de bajo grado activadas térmicamente como una alternativa para reemplazo parcial de cemento Pórtland. *CENIC. Ciencias Químicas*, 41, 1-10.

Andrew, R. M. (2017). Global CO<sub>2</sub> emissions from cement production. *Earth System Science Data*, August, 1–52.

Angst, U. M. (2018). Challenges and opportunities in corrosion of steel in concrete. *Materials and Structures*, 51(1). <https://doi.org/10.1617/s11527-017-1131-6>

Bandala, E. E. M., Luna, K. C., García, J. I. E., & Mendoza, D. N. (2019). Resistance to compression and microstructure of concrete manufactured with supersulfated cements-based materials of volcanic origin exposed to a sulphate environment. *Revista ALCONPAT*, 9(1), 106-116. <https://doi.org/10.21041/ra.v9i1.374>

Cabrera-Luna, K., Maldonado-Bandala, E. E., Nieves-Mendoza, D., Castro-Borges, P., Perez-Cortes, P., & García, J. E. (2021). Supersulfated cements based on pumice with quicklime, anhydrite and hemihydrate: Characterization and environmental impact. *Cement and Concrete Composites*, 124, 104236.

- Carmona, P. (2011). Evaluación mecánica de pastas de cemento modificadas con escoria de horno de arco eléctrico y ceniza de bagazo de caña de azúcar. Tesis, Universidad Veracruzana.
- Escalante, J. I. G. (2002). Materiales alternativos al cemento Portland. Avance y perspectiva, 21(3), 79-88.
- Hernández-Cabrera, I. R., Maldonado-Bandala, E. E., Escalante-García, J. I., Hernández-Martínez, H. E., & Nieves-Mendoza, D. (2019, September). Caracterización mecánica de concretos alcalinos bases pumicita para su uso en las vías terrestres. In Congreso CONPAT 2019, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
- Lippiatt, N., Ling, T.-C., & Pan, S.-Y. (2020). Towards carbon-neutral construction materials: Carbonation of cement-based materials and the future perspective. Journal of Building Engineering, 28(101062), 101062. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101062>
- López Salas, J. (2019). Cementos sustentables híbridos a base de materia prima volcánica (Master's thesis, Tesis (MC)--Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN Unidad Saltillo).
- Nawaz, M., Heitor, A., & Sivakumar, M. (2020). Geopolymers in construction - recent developments. Construction and Building Materials, 260, 120472. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120472>
- ONNCCE. (2010). NMX-C-156-ONNCCE-2010-Industria De La Construcción-Concreto Hidráulico-Determinación Del Revenimiento En El Concreto Fresco.
- ONNCCE. (2014). NMX-C-083-ONNCCE-2014-Industria De La Construcción- Concreto-Determinación De La Resistencia A La Compresión De Especímenes-Método De Ensayo.
- ONNCCE. (2016). NMX-C-159-ONNCCE-Industria De La Construcción-Concreto-Elaboración Y Curado De Especímenes De Ensayo.
- Perez, S. P. M., Peña, J. G. M., & Vílchez, M. B. Q. (2022). Una revisión sobre el rol de la inteligencia artificial en la industria de la construcción. INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD, 24(02), 23-23. <https://doi.org/10.25100/iyc.v0i00.11727>
- Plati, C. (2019). Sustainability factors in pavement materials, design, and preservation strategies: A literature review. Construction and Building Materials, 211, 539–555. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.242>
- Provis, J. L. (2018). Alkali-activated materials. Cement and Concrete Research, 114, 40–48. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.009>

Saltan, M., Kavlak, Y., & Ertem, F. S. (2011). Utilization of Pumice Waste for Clayey Subgrade of Pavements. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(12), 1616–1623.

[https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0000336](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000336)

Saltan, M., & Selcan Findik, F. (2008). Stabilization of subbase layer materials with waste pumice in flexible pavement. *Building and Environment*, 43(4), 415–421.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.007>

Silva, R. V., de Brito, J., & Dhir, R. K. (2014). Properties and composition of recycled aggregates from construction and demolition waste suitable for concrete production.

*Construction and Building Materials*, 65, 201–217.

<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.117>