



Estudio exploratorio de piedra pómez como agregado en la producción de concretos ligeros

Exploratory study of pumice stone as an aggregate in the production of lightweight concrete

Estudo exploratório da pedra-pomes como agregado na produção de concreto leve

Alexis Iván Andrade-Valle ^I
alexis.andrade@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1543-4381>

Cristian Andrés Marcillo-Zapata ^{II}
cristian.marcillo@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-2552-903X>

Jessica Paulina Brito-Noboa ^{III}
jessica.brito@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5550-5688>

Diego Hernán Hidalgo-Robalino ^{IV}
dhhidalgo@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1341-8206>

Correspondencia: alexis.andrade@unach.edu.ec

Ciencias de la Educación
Artículos de investigación

***Recibido:** 30 de noviembre de 2023 ***Aceptado:** 22 de diciembre de 2023 * **Publicado:** 08 de enero de 2024

- I. Master Universitario en Planificación y Gestión en Ingeniería Civil, Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Master Universitario en Ingeniería del Hormigón, Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Master of Science in Water Resources (Practical Research Track), Ingeniera Civil, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- IV. Magister en Ingeniería Estructural, Arquitecto, Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Resumen

Este trabajo bibliográfico consiste en revisar dos investigaciones que se han llevado a cabo en el campo de la construcción donde se ha usado la piedra pómez como agregado en la producción de concreto. El objetivo es analizar los diseños de mezclas con otros agregados y aditivos, para identificar la composición más idónea, así como las ventajas y deficiencias. También conocer si los resultados fueron positivos, así como los fallos durante el proceso. De esta manera, demostrar que la piedra pómez es una alternativa común en la fabricación de concreto.

Palabras clave: Piedra pómez; Construcción; Resistencia; Densidad; oncreto ligero.

Abstract

This bibliographic research consists of reviewing two investigations that have been carried out in the construction field where pumice stone has been used as an aggregate in the production of concrete. The objective is to analyze the designs of mixtures with other aggregates and additives, to identify the most suitable composition, as well as the advantages and deficiencies. Also know if the results were positive, as well as the failures during the process. In this way, demonstrate that pumice is a common alternative in concrete manufacturing.

Keywords: Pumice stone, construction, resistance, density, lightweight concrete

Resumo

Este trabalho bibliográfico consiste na revisão de duas investigações realizadas na área da construção onde a pedra-pomes tem sido utilizada como agregado na produção de concreto. O objetivo é analisar os desenhos de misturas com outros agregados e aditivos, para identificar a composição mais adequada, bem como as vantagens e deficiências. Saiba também se os resultados foram positivos, bem como as falhas durante o processo. Desta forma, demonstrando que a pedra-pomes é uma alternativa comum na fabricação de concreto.

Palavras-chave: Pedra-pomes, construção, resistência, densidade, concreto leve.

Introducción

La piedra pómez es conocida como pumita. Es una roca con forma de esponja de contextura ligera que puede flotar en el agua. Se usa en la producción de morteros u hormigones ligeros, reduciendo el peso hasta un 30%, y dado su porosidad es un buen aislante acústico. No se usa directamente en bloques para la construcción. Hoy en día, el hormigón es el material más usado en la construcción, dado que facilita en la cimentación de las obras civiles, siendo un material de construcción mundial. No obstante, su elevada densidad es un factor negativo en el diseño de infraestructuras, siendo fundamental reducir su peso mediante concretos ligeros que tienen menor densidad, empleando mezclas con agregados naturales de origen volcánico como la piedra pómez, que permite lograr una alta porosidad, aprovechando este material en casas, edificios y monumentos. Son opciones óptimas para la aplicación de concretos ligeros en estructuras.

La piedra pómez es un agregado liviano que se usa mucho en la construcción porque tiene buena resistencia mecánica y baja estructura porosa, por lo tanto, las propiedades del concreto ligero en base a este agregado, aportan las exigencias de los concretos semi ligeros. Es importante mencionar, que este material muestra una alta absorción de agua que supone una reducción del rendimiento del proceso cuando se elabora la mezcla. Por tal razón, este tipo de agregados son pre-humedecidos.

Por consiguiente, el cemento se ha consolidado como un material de construcción altamente utilizado, porque brinda múltiples ventajas como bajo coste, disponibilidad de materia prima alrededor del mundo, facilidad de manejo, moldeamiento y versatilidad en el proceso de construcción, destacándose sus propiedades como material estructural en obras civiles y edificaciones de toda clase (Molina-Prieto & Garzón Castellanos, 2017). Todo esto lo convierte en un material usado masivamente, estimando su producción en 20 000 millones de toneladas por año (Baluguru & Chong, 2006) (Jafarbeglou, Abdouss, & Ramezani pour, 2015).

Hoy en día, tal como se ha mencionado, el hormigón es el material más usado en el sector de la construcción, ya que promueve la construcción de obras civiles con variedad de tamaños y geometrías, convirtiéndolo en un material de construcción universal. No obstante, su peso y elevada densidad del material son parámetros negativos en el diseño de estas infraestructuras. Mientras tanto, una alternativa para disminuir el peso del hormigón, son los concretos ligeros, que tienen una menor

densidad; porque se tratan de mezclas compuestas por materiales que contribuyen a lograr una alta porosidad, dado la cantidad de sistemas de vacíos que tiene su estructura interna.

Por ello, desde que el Cemento Portland fue patentado en 1824, se ha consolidado como un material de construcción altamente utilizado, porque brinda múltiples ventajas como bajo coste, disponibilidad de materia prima alrededor del mundo, facilidad de manejo, moldeamiento y versatilidad en el proceso de construcción, destacándose sus propiedades como material estructural en obras civiles y edificaciones de toda clase (Molina-Prieto & Garzón Castellanos, 2017). Todo esto lo convierte en un material usado masivamente, estimando su producción en 20 000 millones de toneladas por año (Baluguru & Chong, 2006) (Jafarbeglou, Abdouss, & Ramezaniapour, 2015).

Metodología

En la investigación realizada por (Carlos Videla, 2017) se analiza el efecto de la humedad relativa del ambiente de servicio en las resistencias a compresión y a tracción y en el módulo de elasticidad de hormigones livianos estructurales. También, se determina la relación que permiten proyectar estas propiedades en función de la humedad relativa del ambiente y el tiempo que tardo en secarse. Los hormigones se elaboraron con dos tipos de áridos gruesos livianos, piedra pómez y pellets de ceniza volante, y con un árido fino de densidad normal.

Por otro lado, se señala el artículo de (Andrés Paul Martínez Ruiz, 2015), donde se evalúa la posibilidad de utilizar materiales alternativos, considerados de mala calidad en primera instancia, para la producción de hormigones estructurales. Esto es por las posibles ventajas para el diseño sismo resistente. Este estudio se lleva a cabo en la zona de Cotopaxi, de Ecuador, donde la actividad económica de mayor demanda es la agricultura, por lo que, una de las estructuras más usadas son los invernaderos. Se analizó la posibilidad de elaborar sus cimentaciones con materiales obtenidos de las faldas del Volcán Cotopaxi, ya que, existen grandes depósitos de piedra pómez.

En el estudio de (Baquero, 2019) se señala que el concreto ligero tiene una amplia gama de agregados y aditivos que sirven para conseguir este material. De este modo, la investigación se realizó con la implementación de agregados ligeros, de baja densidad, alta porosidad y una alta absorción, donde se hace referencia a la arcilla expandida, que es un material cerámico que posee una estructura porosa

como resultado del esparcimiento de las altas temperaturas de arcilla pura de las canteras. Este procedimiento se le asigna un alto nivel de resistencia que produce un material versátil en la construcción. Asimismo, se tiene que la piedra pómez, que es una roca de origen ígneo proveniente de la rápida etapa de enfriamiento que tiene el magma cuando es expulsado a la superficie, dando origen a estas rocas volcánicas. Para la elaboración del concreto ligero se usó cemento portland tipo 1. Además, se analizó mejorar las propiedades de resistencia a la tracción y compresión, mediante el uso de fibras de polipropileno y humo de sílice, que requiere de la adición de plastificante. Este proceso se llevó a cabo mediante los parámetros establecidos por el Instituto Nacional de Vías. En las pruebas se evaluaron densidades, pesos unitarios y tiempo de fraguado.

Por otro lado, En los últimos años, la reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) se ha convertido en prioridad en materia medioambiental de las empresas y los gobiernos y, por tanto, objeto de estudio de la comunidad científica, que bajo diferentes perspectivas, identifican, analizan y evalúan los beneficios de limitar de las emisiones de CO₂, contemplando los acuerdos del Protocolo de Kioto (PK), en particular. (Sancha Dionisio & Gessa Perera, 2013). Las investigaciones de (Engau & Hoffmann, 2011) (Carvajal & Bascones, 2009) (Oberheitmann, 2010) (Baeza, Martén, Rilo, & Yáñez, 2008) (Gessa-Perera, Jurado-Martín, & Rabadán-Martín, 2009) abordan la incertidumbre asociada a su regulación normativa post-Kyoto, respecto a criterios de asignación, sectores implicados, objetivos de emisión de CO₂, etc.; las consecuencias imprevistas de la crisis económica actual, el análisis de los futuros posibles escenarios (Meckling & Chung, 2009). Para contrarrestar este efecto, la Agencia Internacional de Energía propuso un Plan para reducir la emisión de CO₂; este plan contempla una reducción de aproximadamente 0.55 GT (Giga toneladas) entre 2007 y 2050 para la Industria del Cemento, considerando que se proyecta el aumento del 50% en la demanda de cemento (Organización de Naciones Unidas, 2019).

Como parte de la investigación del presente trabajo, se indica que la Industria del Cemento, ha asumido retos en los últimos años, enfocados en aportar a la Conservación del Medio Ambiente y cumplir con los acuerdos Internacionales, reduciendo el impacto de la emisión de gases de efecto invernadero (Barcelo, Kline, Walente, & Gartner, 2014), tales como el uso de nanomateriales (Molina-Prieto & Garzón Castellanos, 2017), empleo de combustibles alternativos para su fabricación (López Díaz, Cobo Herrera, Blanco Silva, & Guitérrez García, 2012), compuestos biomasa vegetal

(Beraldo, 2009), entre otros; considerando que para convertirse en una alternativa viable, esta no deberá incrementar su coste en el proceso de fabricación.

Resultados

En referencia a la investigación de (Carlos Videla, 2017), se realizaron pruebas en los hormigones en base a dos condiciones ambientales de servicio: una a 90% de humedad relativa y otra a 90% de humedad relativa, donde los ensayos se realizaron a 7, 28, 60 y 90 días de edad. Se evidenció un desperfecto significativo de las propiedades medidas por efecto de las condiciones de secado; a 83 días de secado, siendo las pérdidas de resistencia a tracción y compresión de 20% y 15%, y de módulo de elasticidad de 40% respecto a hormigones a 90% de humedad relativa. De esta manera, se puede manifestar que existen dos variables principales que regulan el efecto del secado en el hormigón liviano. La primera variable es de agua-cemento y que detalla entre otras cosas la permeabilidad de la fase resistente. La otra variable concierne al contenido relativo de árido liviano en la mezcla

Siguiendo la revisión de los resultados de los estudios, el reporte presentado por (Andrés Paul Martínez Ruiz, 2015), se establece la factibilidad de utilización de materiales de procedencia ígnea para la producción de hormigones livianos, afrontando afecciones derivadas por la reactividad alcalisílice (RAS). Por lo cual, se procede con la examinación de una gama de materiales volcanoclásticos que se encuentran en la superficie de la Provincia de Cotopaxi-Ecuador. Se procedió con el análisis de las rocas, donde los áridos lapilli negros consiguieron buenos resultados para su posterior aplicación en hormigones, a pesar de tener una estructura celular, que lo denomina un agregado de mala calidad. Se documentaron medidas técnicas dentro de la dosificación, mezclado y compactación, teniendo unas resistencias a los 28 días de 280 kg/cm², con un margen de seguridad del 33 %, quiere decir, por encima de las resistencias de diseño. Además, los hormigones se pudieron evidenciar que livianos tienen un efecto característico en el comportamiento sismo resistente de las estructuras, tanto en la disminución de fuerzas sísmicas como en los desplazamientos referentes de piso.

Los resultados del estudio de (Baquero, 2019) muestran que el concreto ligero es un material conocido por su baja densidad y resistencia a la compresión, no obstante, en los últimos años, con los avances en la construcción se ha constatado progresos en sus propiedades, logrando elaborar concretos livianos eficientes con buena resistencia a la compresión. De acuerdo con el código ACI-318, es

esencial que un concreto ligero estructural tenga como mínimo una resistencia a la compresión de 17 MPa a los 28 días y una densidad máxima de 1840 kg/m³. Pero, cabe mencionar que la baja densidad y elevada resistencia no son los únicos componentes que tiene este concreto ligero; de la misma manera, conserva una mejor trabajabilidad, porosidad, adherencia, resistencia al fuego, durabilidad, baja conductividad térmica y aislamiento acústico, propiedades que incrementan su utilización en la construcción más allá de un concreto estructural.

Por otro lado, la investigación de (González, Montaña, & Castro, 2010), consistió en adicionar un geopolímero compuesto por ceniza volante y piedra pómez, y efectuar la activación alcalina de uno de los aluminosilicatos del compuesto adicionado; se caracterizó mediante los ensayos de Espectroscopia de infrarrojo (IR) y difracción de rayos X (DRX). Posteriormente procedió a elaborar las muestras de concreto adicionando el geopolímero, se analizó su comportamiento mecánico y se determinó su resistencia a los 7, 14 y 28 días. Esto mostró que el polímero inorgánico aumenta la resistencia del concreto a la compresión, sin embargo, su activación alcalina debe ser controlada constantemente, ya que una activación excesiva perjudicaría la matriz de cemento, este proceso lleva a una interrogante, que es, verificar que la piedra pómez es viable para la fabricación de geopolímeros, considerando sus propiedades físico-químicas, sus ventajas y sus desventajas.

Conclusiones

Los resultados obtenidos en la (Carlos Videla, 2017) indican el deterioro que sufren las propiedades resistentes y elásticas el hormigón liviano debido a su exposición en un ambiente de baja humedad, mucho menos que la de saturación. Por tal motivo, cuando se construye una obra de hormigón liviano se debe tener en cuenta la disminución de estas propiedades. Si bien es cierto, la investigación se centró en las consecuencias que el secado posee sobre el hormigón liviano estructural, no obstante, sus resultados pueden llegar a ser extensivos, con limitaciones, en hormigones de densidad normal. Además, es importante considerar cómo influye el secado en las propiedades resistentes y elásticas, las mismas que se regulan en base: 1) razón agua-cemento, 2) proporción de árido liviano, 3) resistencia del árido liviano y 4) tiempo de secado. Por otro lado, el proceso de secado provoca fisuración interna del cemento, con una pérdida media de 15%, acerca del módulo de elasticidad, se produce menor rigidez, con pérdidas de hasta el 40%. Por consiguiente, para futuros desarrollos, este estudio concluye que es necesario realizar un proceso de secado en hormigones de densidad normal,

donde se comprendan diferentes dosificaciones. Este tipo de investigaciones ayudan a estimar con mayor certeza el comportamiento de una obra de hormigón liviano con exposición a condiciones de servicio.

En el estudio de (Andrés Paul Martínez Ruiz, 2015) se puede concluir que para conseguir un concreto óptimo es necesario tener una estructura de agregados con la forma y secuencia de tamaños apropiados, con el fin de alcanzar un alto nivel de compacidad, por tal razón se seleccionó el árido CHN para la producir hormigones. Asimismo, la textura del árido tuvo como resultado ser beneficioso para beneficiar la adherencia. El desgaste del agregado no superó el 50% determinado por la NTE INEN (860, 2011) y se especificó como un árido medio a duro. Las experiencias de aplicar hormigones con áridos ligeros, han dado cumplimiento con las exigencias especificadas en normas internacionales. El uso del hormigón liviano se puede plantear como una opción viable para la disminución de las deformaciones relativas de piso en un 9.65%.

Se concluye con la investigación de (Baquero, 2019) que las combinaciones de concreto ligero con arcilla expandida y piedra pómez en estado seco muestran mejores particularidades físico-mecánicas que las mezclas elaboradas con estos adheridos en estado saturado y superficialmente seco. El aditamento de fibras de polipropileno y humo de sílice acrecientan la densidad media de la mezcla de un 5 a 8 %, con un beneficio de la resistencia media de hasta un 30 %. La producción de concreto ligero con arcilla expandida y piedra pómez como sustitución total de los adheridos puede suponer una opción a los materiales convencionales, debido a que llegan a tener resistencias promedios a la compresión y de aislamiento significativas para la producción de muros divisorios, paneles y bloques. A pesar que por sí solo no desempeña con los requerimientos para ser un concreto ligero estructural, se puede conseguir este uso a través de la ejecución de agregados que perfeccionen sus propiedades o diseñar un reemplazo parcial de los agregados convencionales. Se indica que los resultados de las pruebas realizadas en este estudio indican el potencial que puede conseguir el concreto ligero con adheridos de arcilla expandida y piedra pómez en la implementación como material de construcción.

Por último, se indica que en los últimos años en Ecuador se han desarrollado investigaciones que buscan darle un mejor uso a la Piedra Pómez y las puzolanas, aportando a crear alternativas verdes en la construcción; es así que los trabajos de investigación de (Angamarca Tene, Cáceres Chico, & Moya Heredia, 2015) y (Cañarte Baque & Terreros de Varela, 2016) documentan el análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón de baja densidad elaborado con agregados livianos

(piedra pómez) en un ambiente controlado, así como estudio de aumento de resistencia a la compresión respecto al hormigón convencional.

Referencias

Andrés Paul Martínez Ruiz, P. E. (2015). Fabricación de hormigones livianos con materiales volcanoclásticos (lapilli) y su influencia en la reducción de fuerzas sísmicas.

ALAEJOS, P. (2003). Degradación de un hormigón por una reacción áridocemento. Madrid-España: CEDEX. Ministerio de Fomento.

Allahverdi, A., Mehrpour, K., & Najafikani, E. (2008). Investigating the possibility of utilizing pumice-type natural pozzonal in production of geopolymer cement. *Ceramics - Silikaty*, 52.

Angamarca Tene, M. R., Cáceres Chico, R. A., & Moya Heredia, J. C. (2015). Análisis comparativo entre hormigón convencional y hormigón de baja densidad para emplearlo en estructuras. Quito: Universidad Central del Ecuador.

ASTM C567 (1999), American Society for Testing Materials. Standard Test Method for Unit Weight of Structural Lightweight Concrete. Vol 04.02: Concrete and aggregates.

ASTM. (1997). "Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete-C641". Obtenido de United States: ASTM International.

ASTM. (2004). "Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic Cement Concretes-0585". Obtenido de United States: ASTM International

Baquero, B. (2019). Estudio exploratorio de arcilla expandida y piedra pómez como agregados en la producción de concretos ligeros. Bogota: Universidad del Norte.

Brayan Baquero, R. G. (2019). Estudio exploratorio de arcilla expandida y piedra pómez como agregados en la producción de concretos ligeros. Obtenido de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/852/85263724005/html/index.html>.

Cañarte Baque, G. A., & Terreros de Varela, C. (2016). Estudio de aumento de resistencia a la compresión del hormigón liviano con piedra pómez como solución estructural. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.

- D. E. Hou Huang, J. L. (2016). "Hormigones livianos de alto desempeño". Revista Tecnológica ESPOL, pp. 2-4.
- Enriquez, S. (2012). Comportamiento del hormigón sometido a sulfato de sodio.
- Fierro, P. (2015). Análisis comparativo de la utilización del concreto simple y el concreto liviano con perlitas de poliestireno como aislante térmico y acústico aplicado a unidades de albañilería en el Perú. Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).
- Gallegos, A. (2015). Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE). Obtenido de Diseño de mezcla de hormigón alivianado usando piedra pómez aplicando en la fabricación de paneles prefabricados no estructurales livianos.: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11441/1/T-ESPE-049151.pdf>
- Gartner, E. M., & D. E. Macphee. (2011). A physico-chemical basis for novel cementitious blinders. Cement and Concrete Research, 736–749.
- Holm T. y Bremner T. (2000), State of the Art Report on High-Strength, High-Durability Structural Low-Density Concrete for Applications in Severe Marine Environments, Engineer Research and Development Center, US Army Corps of Engineers, pp. 116.
- Hossain, L. M. (2017). "Design, strength, durability and fire resistance of lightweight concrete with pumice aggregate". ACI Materials Journal, pp. 449-457.
- Howland, J. (2016). "Estudio de la absorción capilar y sorptividad de hormigones". Materiales para la construcción.
- INVIAS. (2007). "Asentamiento del concreto (slump)-404". Obtenido de Bogotá: Instituto Nacional de Vías
- INVIAS. (2007). "Resistencia a la compresión de cilindros de concreto 410". Obtenido de Bogotá: Instituto Nacional de Vías
- INVIAS. (2015). "Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras". Obtenido de Bogotá.

- J. Milanino, "Hormigones con Arcilla expandida", Hormigonar. Revista de la asociación argentina del hormigón elaborado, n.º 4, pp. 10-13, 2004.
- J. Howland, "Estudio de la absorción capilar y sorptividad de hormigones", Materiales para la construcción, vol. 63, n.º 0465-2746, p. 4, 2013.
- Laterlite. (2014). "Arcilla expandida". Obtenido de Soluciones ligeras y aislantes Laterlite, Barcelona
- López, L. F. (2006). Hormigón liviano de alto desempeño -una comparación entre perdida de pretensado reales y estimadas por los códigos de diseño. EE.UU.: Pontificia Universidad Católica de Chile., Georgia Institute of Technology.
- Lopez, L. K. (pp. 59-67). "Hormigón liviano de alto desempeño". Georgia Institute of technology EE.UU, 2016.
- L. Gündüz, "The effects of pumice aggregate/ cement ratios on the low-strength concrete properties", Construction and Building Materials, vol. 22, n.º 5, pp. 721-728, 2008.
- Martínez P. (2003), Desarrollo de Áridos Livianos de Cenizas Volantes para Hormigones Estructurales, Tesis de Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Nevi. (2011). Peligro sísmico y requisitos de diseño sismo resistente, capítulo 2. Quito-Ecuador: comité ejecutivo de la norma ecuatoriana de la construcción.
- M. K. Haridharan, "Influence of Waste Tyre Crumb Rubber on Compressive Strength, Static Modulus of Elasticity and Flexural Strength of Concrete", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 80, nº 1, 2017.
- Molina-Prieto, L. F., & Garzón Castellanos, M. F. (2017). Properties of concretes and mortars modified with nanomaterials: State of art. Spain: International University of Rioja.
- Morales Gubio, L. W., Santamaría Carrera, J. L., Caicedo Barona, W., & Tipán Quinatoa, F. (2018). Hormigón estructural de baja densidad para edificaciones. Quito: Universidad Central del Ecuador.

- Rashad, A. M. (2020). An Overview of Pumice Stone as a Cementitious Material – the Best Manual for Civil Engineer. Silicon.
- Rivera, G. (p.138). "Capítulo 6. Resistencia a la compresión". Universidad del Cauca, 2010.
- Sánchez, D. (2016). "Durabilidad y patología del concreto". Instituto del concreto, pp. 36-40.
- Sánchez, H. J. (2015). Paneles prefabricados de hormigón en fachadas. Madrid.
- Tarback, E. J. (2005). Obtenido de Ciencias de la tierra, vol. 1, 8a ed. Madrid: Pearson
- Videla C. y Martínez P. (2002), Physical, Mechanical and Microscopic Characterization of Cold Bonded Fly Ash Lightweight Aggregates. Revista Materiales de Construcción, Instituto de Ciencias de la Construcción
- Eduardo Torroja, Vol. 52, N° 268, Octubre – Diciembre 2002, pp. 5-18
- Videla, P. T. (2017). Efecto del secado en ambiente de servicio en la evolución de las propiedades mecánicas de hormigones livianos estructurales. Obtenido de <https://www.scielo.cl/pdf/ric/v22n2/art06.pdf>
- Vileda, C. (2014). Dosificación de hormigones estructurales con áridos livianos. Revista Bit.
- Weber. (201nido de Barcelona: Saint-Gobain Weber Cemarsa

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)