



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v9i1>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

La diatomita como adición mineral a un mortero de cemento portland

Diatomite as a mineral addition to portland cement mortar

Diatomita como adição mineral à argamassa de cimento portland

María Luisa Alcívar Véliz ^I

malcivar6210@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0005-6365-9341>

Helen Pierina Loor Cobeña ^{II}

hloor3736@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0004-6549-079X>

Hugo Ernesto Egüez Álava ^{III}

hugo.eguez@utm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-7454-712X712X>

Correspondencia: malcivar6210@utm.edu.ec

***Recibido:** 25 de febrero de 2023 ***Aceptado:** 31 de marzo de 2023 * **Publicado:** 05 de abril de 2023

- I. Estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- III. Profesor Ocasional Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador. Profesor Principal de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.

Resumen

Las diatomitas son materiales con altas cantidades de sílice no cristalina, por lo que se consideran materiales cementantes suplementarios. El objetivo de esta investigación consistió en medir el desempeño y los beneficios de la diatomita para verificar el cumplimiento de la Norma ASTM C618-17, realizándose una sustitución del 20% del cemento Portland Tipo I por este material. Se evaluó la determinación de su resistencia a la compresión simple a 1, 3, 7, 14, 28 y 90 días de curado húmedo para analizar el efecto de reposición mineral y verificar el índice de reactividad puzolánica. El material se caracterizó con base en la Norma ASTM C311-17, realizándose el respectivo análisis químico, obteniendo altas cantidades de sílice (SiO_2) en su composición. Se determinó la superficie específica mediante el método Blaine y por difracción láser, obteniéndose los resultados de finura y densidad. Se evaluó la reactividad alcalina potencial de los agregados en barras de mortero con base en la norma ASTM C1260-14 con 25% y 30% de adición de diatomita. Los resultados mostraron características positivas desde el punto de vista de resistencia mecánica, composición química y mitigación de expansiones, entre otros, cumpliendo con las características exigidas por la especificación ASTM C618-17 para su uso en la elaboración de concreto hidráulico o cemento puzolánico. Estos resultados contribuyen a ampliar la información sobre las características de la diatomita de la provincia de Manabí en Ecuador.

Palabras Claves: Adición mineral; Diatomita; Índice puzolánico; Mortero de cemento hidráulico; puzolana; Reacción álcali-agregado.

Abstract

Diatomites are materials with high amounts of non-crystalline silica, which is why they are considered supplementary cementing materials. The objective of this research was to measure the performance and benefits of diatomite to verify compliance with the ASTM C618-17 Standard, substituting 20% of Type I Portland cement for this material. The determination of its resistance to simple compression was evaluated at 1, 3, 7, 14, 28 and 90 days of humid curing to analyze the effect of mineral replacement and verify the pozzolanic reactivity index. The material was characterized based on the ASTM C311-17 Standard, carrying out the respective chemical analysis, obtaining high amounts of silica (SiO_2) in its composition. The specific surface was determined by the Blaine method and by

La diatomita como adición mineral a un mortero de cemento portland

laser diffraction, obtaining the results of fineness and density. The potential alkaline reactivity of the aggregates in mortar bars was evaluated based on the ASTM C1260-14 standard with 25% and 30% addition of diatomite. The results showed positive characteristics from the point of view of mechanical resistance, chemical composition and expansion mitigation, among others, complying with the characteristics required by the ASTM C618-17 specification for use in the production of hydraulic concrete or pozzolanic cement. These results contribute to expand the information on the characteristics of the diatomite from the province of Manabí in Ecuador.

Keywords: mineral addition; diatomite; Pozzolanic index; Hydraulic cement mortar; pozzolana; Alkali-aggregate reaction.

Resumo

As diatomitas são materiais com altas quantidades de sílica não cristalina, razão pela qual são consideradas materiais cimentícios suplementares. O objetivo desta pesquisa foi medir o desempenho e os benefícios da diatomita para verificar o cumprimento da norma ASTM C618-17, substituindo 20% de cimento Portland Tipo I por este material. A determinação de sua resistência à compressão simples foi avaliada aos 1, 3, 7, 14, 28 e 90 dias de cura úmida para analisar o efeito da reposição mineral e verificar o índice de reatividade pozolânica. O material foi caracterizado com base na Norma ASTM C311-17, realizando-se as respectivas análises químicas, obtendo-se elevados teores de sílica (SiO₂) em sua composição. A superfície específica foi determinada pelo método de Blaine e por difração a laser, obtendo-se os resultados de finura e densidade. A potencial reatividade alcalina dos agregados em barras de argamassa foi avaliada com base na norma ASTM C1260-14 com 25% e 30% de adição de diatomita. Os resultados mostraram características positivas do ponto de vista de resistência mecânica, composição química e atenuação da expansão, entre outras, atendendo às características exigidas pela especificação ASTM C618-17 para uso na produção de concreto hidráulico ou cimento pozolânico. Esses resultados contribuem para ampliar as informações sobre as características da diatomita da província de Manabí, no Equador.

Palavras-chave: adição mineral; diatomita; índice pozolânico; Argamassa de cimento hidráulica; pozzolana; Reação de álcali-agregado.

Introducción

El crecimiento poblacional y la demanda que este requiere en necesidades básicas e infraestructura tiene una incidencia directa en el consumo de cemento a escala global. En comparación a otros materiales de construcción como madera, acero, asfalto y ladrillo, el cemento tiende a ser el más requerido en la producción mundial, lo cual logra dejar una huella ambiental significativa, que en los siguientes años podría seguir aumentando (Echeverría, 2022).

Es de conocimiento general que la producción de cemento puro (cemento portland), libera altas emisiones de CO₂ a la atmósfera y contribuye al incremento del efecto invernadero. Se determinó que en Ecuador una tonelada de cemento llega a generar 510,57 kg de CO₂ (León & Guillén, 2020).

En Europa, desde la antigüedad, se podía ver el interés por encontrar las mejores combinaciones de agregados para crear materiales duraderos y efectivos para la construcción. “Los constructores romanos descubrieron que ciertos materiales procedentes de depósitos volcánicos, mezclados con caliza, arena y agua, producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua dulce y salada” (Castro *et al.* 2017, p. 2).

Según Gallego, Toro y Rojas (2020), en Colombia se está aprovechando el uso de la zeolita como corrector químico y adición en la producción de cemento portland en plantas cementeras, presentando importantes ventajas, tanto económicas como ambientales, ya que al sustituir parte del cemento portland por dicha puzolana se minoriza la generación de gases de invernadero provenientes de la calcinación de piedra caliza (CaO), al mismo tiempo que se reducen los costos operativos.

En Ecuador, el Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico (INIGEMM), ha realizado una caracterización de los yacimientos naturales de puzolanas que se encuentran en el Corredor Andino. Los resultados obtenidos muestran que la puzolana natural en Ecuador es apta para la producción de hormigones, reemplazando parte del cemento portland, sin embargo, los aspectos económicos y políticos juegan un difícil equilibrio debido al uso de la puzolana, lo que significa reducir el uso de cemento, generando un impacto en la economía de las empresas cementeras según Castro *et al.* (2017).

Con los antecedentes descritos, la industria cementera enfrenta tres retos para mitigar este impacto y mejorar la eficiencia de producción y desempeño de este material, entre los que se encuentra reducir

La diatomita como adición mineral a un mortero de cemento portland

las emisiones de CO₂, afrontar el costo de la energía de producción (basada tradicionalmente en combustibles fósiles) y el abastecimiento de materias primas (calidad y cantidad).

La diatomita en estos casos, podría representar una solución ya que es una roca sedimentaria formada por la acumulación de esqueletos de algas marinas, las cuales presentan en su composición entre el 70 a 91% de sílice (SiO₂), con variables cantidades de alúmina (Al₂O₃) y óxido de hierro (Fe₂O₃). La diatomita en la naturaleza tiene una cantidad de agua que varía entre el 10 y 60% (Zúñiga, 2018).

Según los requerimientos físicos para clasificar a la diatomita, se requiere la realización de distintos tipos de ensayos como determinación de finura del material (ASTM C1891-19, 2019), determinación de la densidad (ASTM C128-15, 2015), el índice de esfuerzo e índice de puzolanidad (ASTM C109/109-16, 2016), determinación de superficie específica tanto por método Blaine (ASTM C204-17, 2017) como por el método de difracción laser (ISO 13320, 2020), y también la prueba para la posible reactividad alcalina por medio del método de la barra de mortero (ASTM C1260-14, 2014).

Estudios recientes afirman que es un material que puede ayudar a reducir la permeabilidad en la pasta del cemento y con esto se podría reducir la penetración de agua y sales disueltas en el concreto, proporcionando mejoraría en su durabilidad. También, la adición puzolánica mejora las propiedades del hormigón en estado fresco. El reemplazo parcial de cemento Portland por diatomita tiene un impacto significativo en la reducción de emisiones de CO₂ a la atmosfera, provocando que los niveles de contaminación y el efecto invernadero se reduzcan. “En general, la diatomita se considera un agregado liviano natural con alta área superficial y actividad puzolánica. Por estas razones, puede ser utilizado en la fabricación de concreto, como reemplazo parcial o como adición al cemento Portland” (Macedo *et al.*, 2019, p. 51).

Al representar el cemento uno de los materiales fundamentales para la construcción de obras civiles, se hace necesario la búsqueda de materiales alternativos que contribuyan a la producción del mismo y que a su vez genere beneficios económicos, medioambientales y lo más importante, en sus propiedades constructivas. Con lo anteriormente planteado, el objetivo de esta investigación es estudiar las características de la diatomita local (Jipijapa, Manabí), y conocer su desempeño cuando se la utiliza como adición al cemento portland verificando el cumplimiento con la Norma ASTM C618-17 (2017).

La diatomita como adición mineral a un mortero de cemento portland

Es así que el estudio de la diatomita resultaría una aplicación positiva en el campo de la ingeniería civil local, ya que el conocimiento del potencial que representa como adición mineral que mejora la calidad del material, permitirá fijar dicho mineral como el producto idóneo para mantener la calidad del cemento hidráulico en los estándares establecidos, y servirá de base para la realización de futuras investigaciones.

Materiales y Métodos

La investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que se realizan ensayos de laboratorio y se recolectan datos, lo que permitió establecer resultados estadísticos comparativos y objetivos de la diatomita; con este enfoque "...se afirma al conjunto de técnicas y métodos con el objetivo de medir a las magnitudes atribuidos como variables a fin de establecer una razón estadística" (Yucra & Bernedo, 2020, p. 116).

La investigación es de diseño experimental ya que, en este, "... la variable independiente se caracteriza por generar los grupos de intervención que se organizan en el estudio. Clásicamente, una variable independiente es la variable causal que genera un impacto sobre una variable dependiente" (Ramos, 2021, p. 2). En el caso experimental presentado, se manipuló a la diatomita (variable independiente), la cual causó un impacto en un mortero de cemento portland (variable dependiente), y ambas permitieron obtener resultados comparativos.

El procedimiento que se llevó a cabo fue en primera instancia obtener la diatomita de la parroquia El Anegado en Jipijapa (Manabí, Ecuador) para triturarla mediante una trituradora de quijadas, pasándolo de allí por un tamiz #4; posteriormente se llevó a un proceso de molienda por medio de un molino de bolas y finalmente se homogenizó el material para obtener la muestra final.

Para poder caracterizar a la diatomita, se le realizaron diversos ensayos de laboratorio en base a lo indicado en la Norma Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland-Cement Concrete (ASTM C 311-17, 2017).

El análisis químico fue realizado en Holcim Ecuador en la Planta Guayaquil, mediante un espectrómetro de rayos X denominado Espectrómetro Thermo Scientific (Thermo Fisher Scientific Inc, 2023). Para el Retenido #325, se realizó el ensayo según el procedimiento descrito en ASTM C1891-19 (2019), el cual permitió la determinación de la finura del cemento hidráulico por medio del

La diatomita como adición mineral a un mortero de cemento portland

tamizado por chorro de aire usando un tamiz de 45 μm de abertura (No. 325). La densidad de la diatomita se determinó por medio del procedimiento de la ASTM C 128-15 (2015), usando el método gravimétrico con la ayuda de un picnómetro.

En cuanto a la granulometría, se usó un equipo Laser Sympatect Dry. Para la determinación de la superficie específica se procedió con la ASTM C 204-17 (2017) y también se obtuvo resultado por medio del equipo Laser Sympatect Dry. Se prepararon las respectivas muestras para la prueba de resistencia a la compresión según la norma ASTM C 109/109 (2016). Se realizó la dosificación para nueve cubos obteniendo dos mezclas, una denominada “patrón” que contenía cemento Portland Tipo I (ver tabla 1), y otra denominada “muestra” a la que se le agregó 20% de diatomita del valor total del cemento Portland Tipo I como su reemplazo parcial (ver tabla 2).

Tabla 1. Dosificación para nueve cubos de mezcla "patrón"

Materiales	Cantidad
Cemento Portland Tipo I, g	740
Arena, g	2035
Agua, ml para una fluidez de 110 ± 5	345
A/C	0,47
Fluidez	112

Tabla 2. Dosificación para nueve cubos de mezcla "muestra"

Materiales	Cantidad
Cemento Portland Tipo I, g	592
Diatomita, g	148
Arena, g	2035
Agua, ml para una fluidez de 110 ± 5	400
A/C	0,67
Fluidez	109

La diatomita como adición mineral a un mortero de cemento portland

En cuanto al contenido de aire atrapado en mortero, el ensayo fue realizado según la Norma ASTM C185-15 (2015), utilizando las mismas dosificaciones para la mezcla “patrón” y “muestra” del ensayo de resistencia. Para la determinación de la reactividad alcalina de los agregados, se obtuvo por medio del método de la barra de mortero (ASTM C1260-14, 2014), usando como agregado arena volcánica reactiva proveniente de roca Andesítica de la zona de Pifo (Ecuador), con porcentajes de reemplazo de cemento Portland Tipo I por diatomita de 25% y 30% y con relación agua/cemento empleada de 0,47.

Resultados y Discusión

Los resultados del análisis químico como los óxidos más importantes del material se muestran en la tabla 3, y de los mismos se deduce, que la muestra cumple con los requerimientos químicos de la ASTM C618-17 (2017), ya que la suma de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 da como resultado un 88,28%, y la normativa indica un requerimiento mínimo del 70% de la suma de estos óxidos para ser una puzolana apta para la adición al cemento portland. Las puzolanas pueden definirse como materiales que se constituyen principalmente por sílice activada y/o aluminio, elementos que, en presencia de agua e hidróxido de calcio en el cemento, confieren propiedades adhesivas al material (Chicaiza & Oña, 2018).

Tabla 1. Análisis químico de la diatomita

Componente	Diatomita
P. Fuego %	6,41
SiO_2 %	77,64
Al_2O_3 %	7,42
Fe_2O_3 %	3,22
CaO %	1,17
MgO %	0,95
SO_3 %	0,00
K_2O %	1,05
Na_2O %	1,02

La diatomita como adición mineral a un mortero de cemento portland

TiO ₂	%	0,22
Mn ₂ O ₃	%	0,05
P ₂ O ₅	%	0,07
Otros		0,78
Humedad	%	0
<hr/>		
Total	%	100

En cuanto al Retenido #325, el resultado presento una lectura del 5% del material retenido. Este resultado cumple con el requisito establecido en la ASTM C618-17 (2017), cuyo valor debe ser menor al 34%. Comparando con otras puzolanas como ceniza de carbón después de un proceso de molienda, según Flórez (2022), el retenido que se obtuvo en el tamiz #325 fue de 0,38%, donde se demuestra que las puzolanas previamente molidas son agregados livianos los cuales aportan a la creación de hormigones ligeros, obteniendo beneficios como el aislamiento térmico y la utilización para construcción de obras de gran altura.

En la figura 1 se visualiza el resultado de la curva granulométrica obtenida del análisis granulométrico de la diatomita con el Laser Sympatect Dry configurado bajo la Norma ISO 13320 (2020) para calcular finura y porcentaje que pasa en cada tamiz. Se puede observar que la curva granulométrica es amplia y continua debido a la molienda del material en el molino de bolas. Se confirma también el resultado previamente obtenido del retenido en el tamiz #325 (45 μm), ya que muestra un 95,25% del material que pasa, indicando así un material de diámetro de partículas entre 45 μm y 50 μm .

La diatomita como adición mineral a un mortero de cemento portland

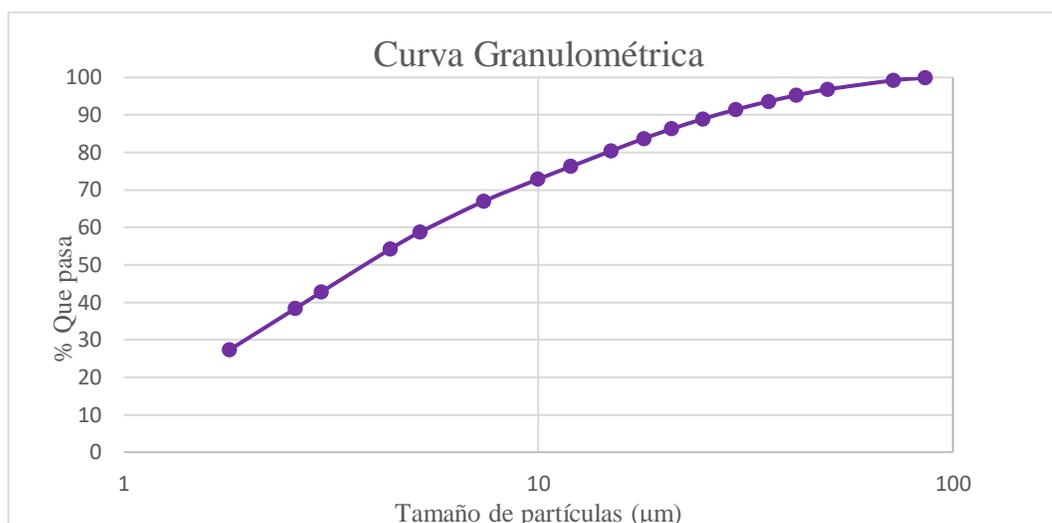


Figura 1. Curva Granulométrica.

La densidad resultó de $2,156 \text{ g/cm}^3$, valor que por lo general es de $2,0 \text{ g/cm}^3$ para la diatomita natural y $2,30 \text{ g/cm}^3$ para la diatomita calcinada (Zapata, 2019). Este valor indica una baja densidad en comparación con la del cemento Portland Tipo I de $3,08 \text{ g/cm}^3$, lo que demuestra que es un material liviano que al usarlo como agregado a un mortero de cemento Portland reduce la densidad del mismo (Ramírez, 2019), indicando también que la diatomita es un material poroso que influye en una mayor relación agua/cemento.

El cálculo de la superficie específica de la diatomita para determinar la finura de la muestra dio como resultado una lectura de superficie específica de $15870 \text{ cm}^2/\text{g}$ como se visualiza en la tabla 4.

Tabla 2. Datos para el cálculo de superficie específica

T (seg)	W (g)	E	S (cm^2/g)
531,82	1,651	0,5	15870

Dicho resultado en base al procedimiento de la ASTM C204-17 (2017), junto con el resultado obtenido por el Método de Difracción Laser, arrojan una superficie específica muy grande, pero se opta por el valor del Método de Difracción Laser por ser más preciso, el cual es de $9040 \text{ cm}^2/\text{g}$, tres veces mayor que la del cemento Portland Tipo I de $3650 \text{ cm}^2/\text{g}$. Las puzolanas poseen altas superficies específicas como la ceniza de cascarilla de arroz, cuyo valor es de $9506 \text{ cm}^2/\text{g}$ (Del Águila

La diatomita como adición mineral a un mortero de cemento portland

& López, 2019). Este resultado es un indicador de la presencia de partículas de diámetro pequeño y de la utilización de mayor cantidad de agua para la mezcla de mortero.

En cuanto a los resultados de resistencia mecánica, se puede observar en la figura 2, que la muestra con el reemplazo del 20% de diatomita no supera a la resistencia del patrón, pero aun así se mantiene cercana a la misma. De acuerdo a lo que la normativa indica, al día 7 y 28, el índice mínimo de puzolanidad debe ser de 75% para ser considerada como adición mineral al concreto y, desde el día 3, muestra un 80,31% de índice de puzolanidad superando el mínimo requerido. Las puzolanas tienden a presentar mayor reactividad al pasar más días por lo que se puede notar que al día 28 el índice de puzolanidad es del 96%, reflejando una resistencia cercana a la del patrón. Investigaciones realizadas por Li *et al.* (2020) donde realizan un reemplazo del 20% de cemento Portland por diatomita, demuestran que a los 28 y 90 días se obtuvo una resistencia la compresión de 69,3 MPa y 79,5 MPa respectivamente, superando la resistencia del mortero patrón, valores que contrastan con la presente investigación. A pesar de ello, la diatomita estudiada logra mantener en el tiempo una buena resistencia e índices de puzolanidad altos, demostrando así un buen desempeño de su actividad puzolánica.

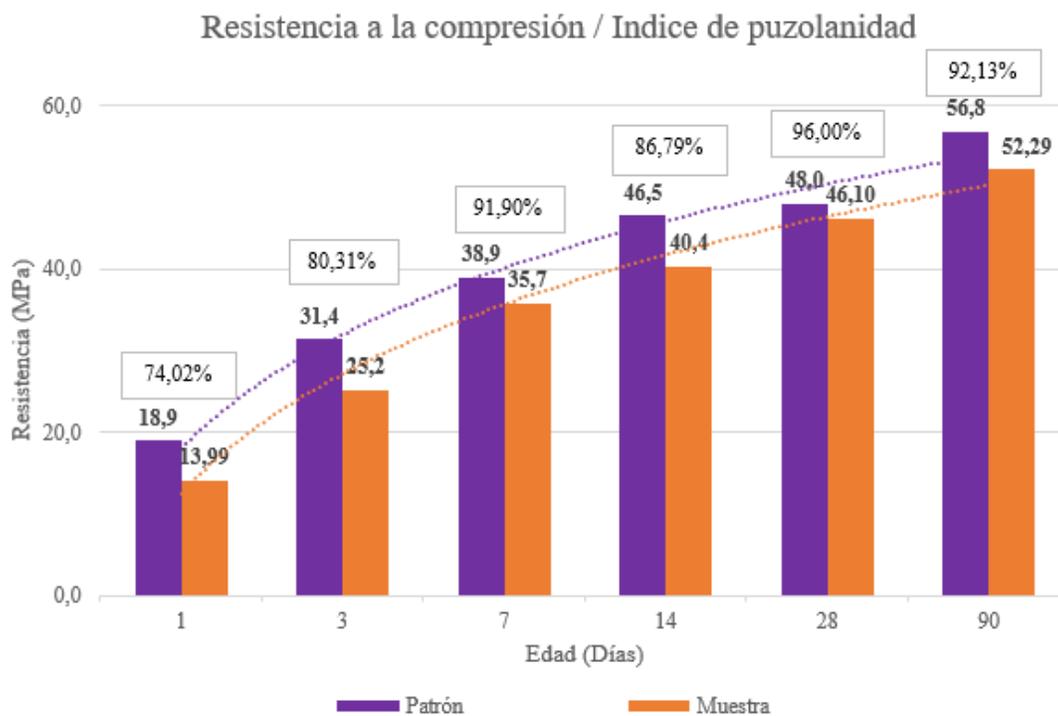


Figura 2. Resistencia a la compresión/Índice de puzolanidad.

La diatomita como adición mineral a un mortero de cemento portland

Los resultados del ensayo del contenido de aire atrapado en el mortero obtenidos del patrón, indican un 7,9% de contenido de aire atrapado, a diferencia de la muestra que da un resultado de 5,9%, por lo que se puede destacar que la diatomita disminuyó el porcentaje de aire atrapado en un 2%, esto a consecuencia que la superficie específica de la diatomita es mayor y por ende es un material muy fino. Ambas mezclas cumplen con los requerimientos especificados en la Norma C150/C150M-18 (2018), para cemento Portland Tipo I el cual debe tener un contenido de aire menor al 12%. Es conocido, que la presencia de finos en mezclas cementicias provocan un efecto que reduce el contenido de aire en las mismas, concordando así con Oré (2022), cuya investigación, con reemplazo del 4%, 8% y 12% del cemento por diatomita, indica que esta puzolana produce una reducción de contenido de aire.

En el ensayo de la Reacción Álcali-Sílice (RAS), se observa que la barra de mortero patrón con arena rosada, presentó un 0,17% de expansión (figura 3) en comparación con la mezcla de cemento Portland Tipo I con reemplazo del 25% de diatomita y el árido reactivo (figura 4) que provocó que la reacción álcali-sílice disminuyera a una expansión del 0,115%; aun así, supera el límite de 0,1% con dicho porcentaje de diatomita. En cambio, al agregar un 30% de la diatomita (figura 5), se registró a los 16 días una expansión de 0,06% lo cual está dentro del límite permisible. Esto demuestra la capacidad de la diatomita para mitigar el efecto expansivo de la reacción álcali-sílice, reacción que provoca la disminución de la resistencia a la compresión del concreto y la creación de fisuras en el mismo.

Según Mora y Pogo (2021) en ensayos realizados con ceniza volcánica como puzolana para evaluar la RAS, se observó que a los 14 días con 10%, 15%, 20% y 25% de reemplazo, la reacción fue menor al 0,08%, clasificando la expansión como no perjudicial.

La diatomita como adición mineral a un mortero de cemento portland

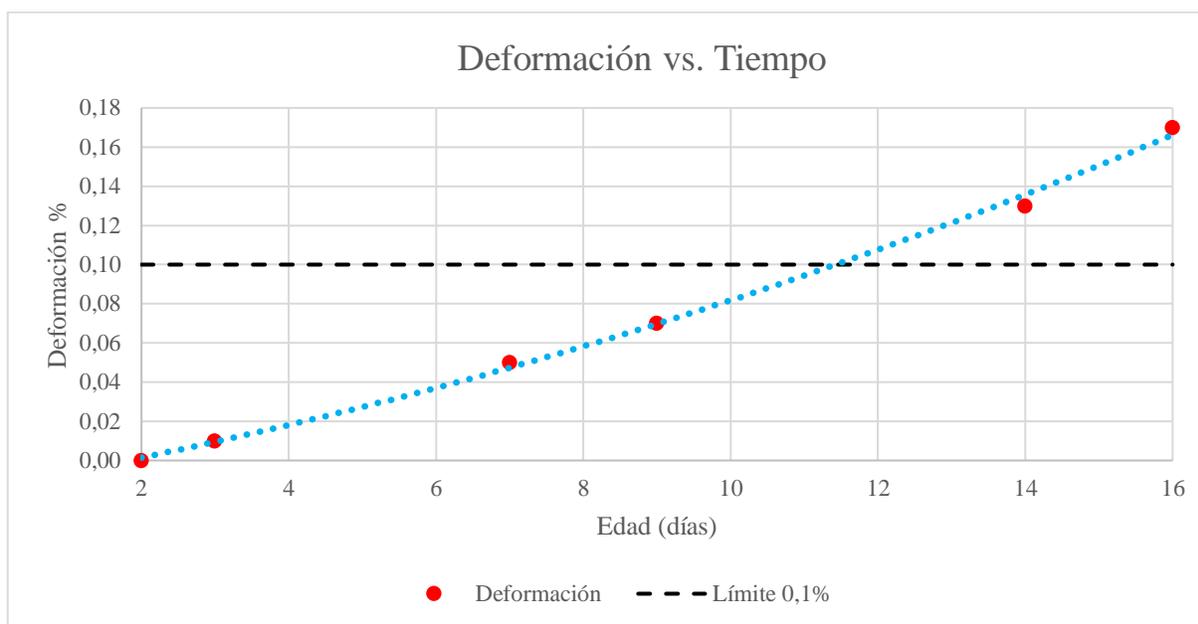


Figura 3. Curva Deformación vs. Tiempo del cemento Tipo I + Arena rosada con el método de la barra de mortero.

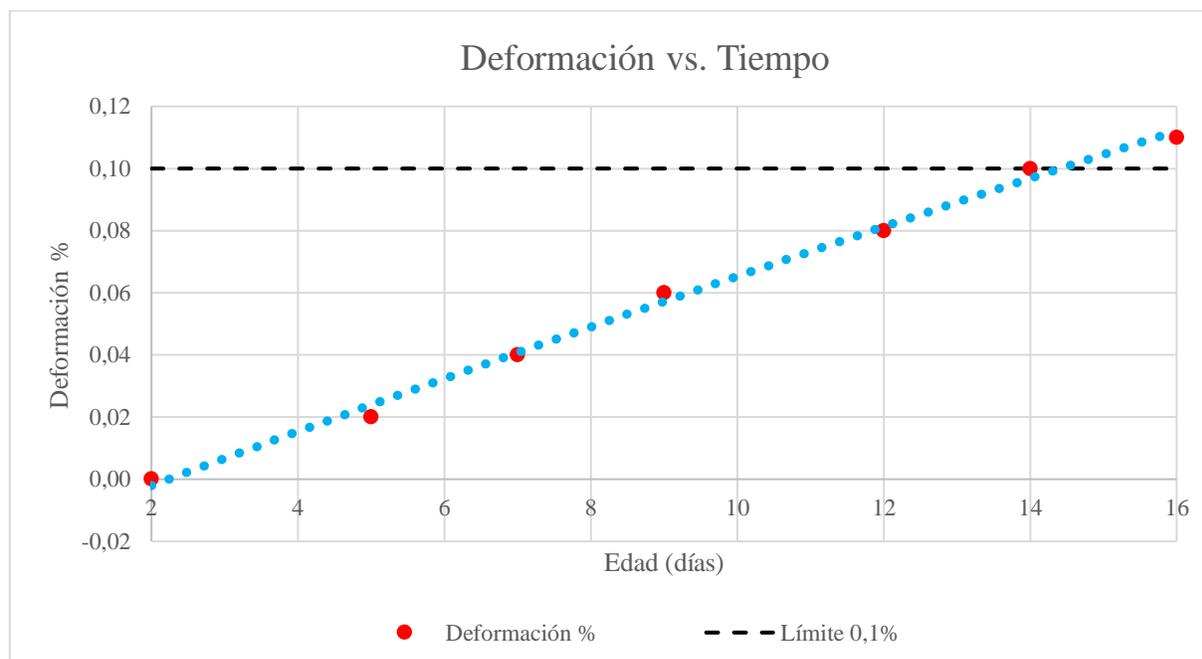


Figura 4. Curva Deformación vs. Tiempo del cemento Tipo I + 25% de Diatomita con el método de la barra de mortero.

La diatomita como adición mineral a un mortero de cemento portland

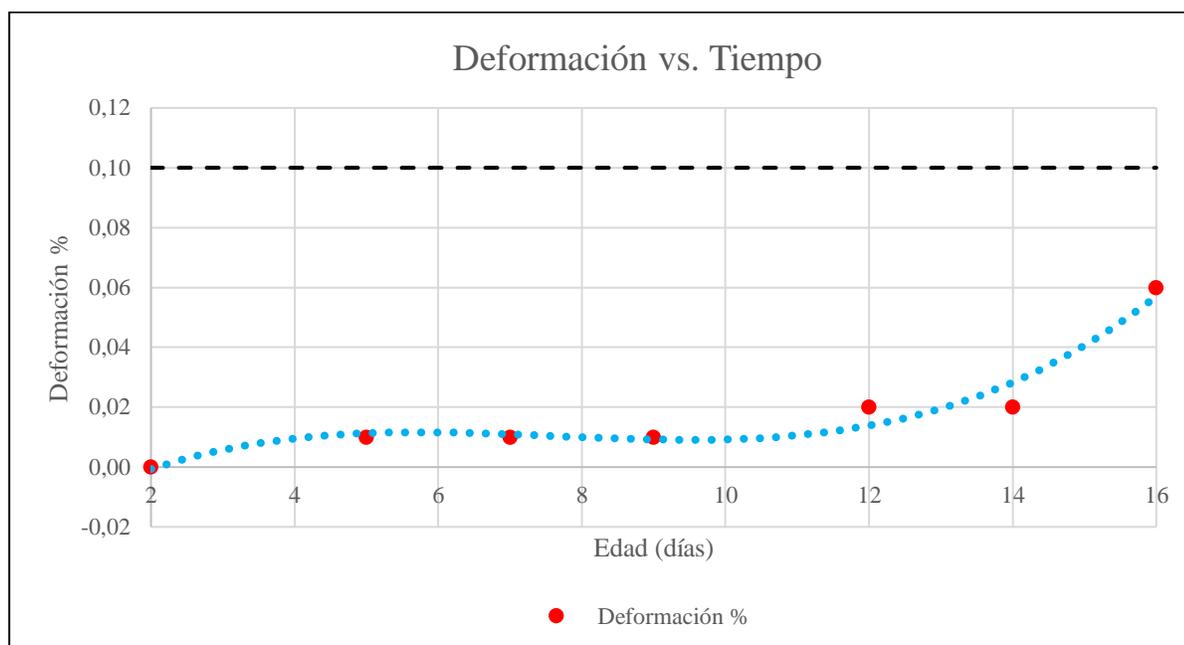


Figura 5. Curva Deformación vs. Tiempo del cemento Tipo I + 30% de Diatomita con el método de la barra de mortero.

Conclusiones

Al finalizar la investigación con la diatomita local de Jipijapa, Manabí, se llegó a las siguientes conclusiones:

. El análisis químico de la diatomita es fundamental para conocer la concentración de los elementos presentes y su grado de impureza, ya que estos afectarían tanto en la hidratación del cemento y resistencia del mortero. La diatomita presentó un alto contenido de sílice, siendo bajo en impurezas y representando así un óptimo material para la actividad puzolánica. Por lo tanto, es importante la utilización de diatomita de alta pureza, para garantizar la calidad y durabilidad del cemento puzolánico.

. El ensayo de retenido por medio del Tamiz N° 325, indicó que solo una mínima cantidad de material se retuvo, determinando que la diatomita es un agregado de partículas de diámetro pequeño.

. El resultado de la densidad de la diatomita fue bajo, concluyendo que es un material fino y poroso que influye en la relación agua/cemento debido a su capacidad de absorber más agua, lo que se vio reflejado en la obtención de un mortero más seco en comparación con el mortero sin diatomita. Se

La diatomita como adición mineral a un mortero de cemento portland

recomienda no basarse solo en este resultado para definir si el material es adecuado o no para la producción de morteros de cemento, por lo tanto, se deberían evaluar otras características que indica la norma.

. La evaluación de la superficie específica es otro indicador de la granulometría del material, donde se reflejó que la diatomita posee alta superficie específica, concluyendo que este valor es inversamente proporcional al diámetro de las partículas. A consecuencia de este valor alto, la mezcla de mortero resulto más cohesiva.

En los ensayos de resistencia a la compresión se pudo evidenciar que el índice de puzolanidad es alto a temprana edad cumpliendo con la normativa y que fue desarrollándose a largo plazo, afirmando que las puzolanas actúan de mejor forma a edades tardías. Así mismo, los resultados sugieren que se puede usar esta mezcla con porcentaje de adición del 20% para la aplicación de morteros de cemento portland, ya que tienen una resistencia a la compresión confiable y duradera. Se debe tomar en cuenta que el curado y la correcta compactación del mortero influyen en el ensayo, por lo que los resultados obtenidos pudieron verse afectados por dichos factores. Sin embargo, es importante seguir investigando y realizando ensayos adicionales con diferentes porcentajes de reemplazo para determinar la cantidad óptima de diatomita y su efectividad, pudiendo éstas superar la resistencia del patrón.

En el ensayo de contenido de aire atrapado en el mortero, se evidenció que la diatomita disminuye el contenido de aire a un porcentaje adecuado, haciendo que no exceda el permisible y reduciendo la porosidad del mortero, ya que una elevada porosidad podría hacerlo más permeable y menos resistente a ataques por agua, causando grietas y fisuras, además de vacíos que podrían hacerlo más difícil de adherir y manipular.

Para el ensayo de la reacción álcali-sílice, los resultados indicaron que al aumentar el porcentaje de diatomita al 30% la expansión disminuyó, demostrando que la puzolana usada es un buen mitigante de sílice reactiva. Teniendo en cuenta esto, el uso de cementos puzolánicos supondría una opción para obras que están en constante contacto con el agua y donde exista riesgo de esta reacción.

Se clasifica a la diatomita como una puzolana natural de Clase N, siendo idónea para su uso en la elaboración de concreto y/o cemento puzolánico.

La diatomita como adición mineral a un mortero de cemento portland

Se concluye que el aporte investigativo de las características de la diatomita sirve como punto de partida para tomarla en cuenta como una alternativa aprovechable que influye positivamente en las propiedades mecánicas del cemento, además, al ser un material natural fino, disminuye las emisiones de carbono al aminorar las cantidades de cemento usadas; esto supondría una reducción de los costos de producción, puesto que es de fácil molienda y procesamiento al ser obtenida de yacimientos naturales, permitiendo la creación de hormigones amigables con el medio ambiente sin que se vean afectadas las propiedades mecánicas del mismo.

Se recomienda continuar investigando acerca de la diatomita con otros porcentajes de adición al cemento para la obtención de resultados comparativos, puesto que es un material poco usado; de igual manera, realizar ensayos de laboratorio previo al uso de la diatomita como agregado con distintas variables como el tiempo de curado, diferente relación agua/cemento, porcentajes de reemplazo de la diatomita para obtener distintas resistencias y mejorar resultados expuestos, entre otros. Tener en cuenta el uso de cementos puzolánicos en lugares donde estará en contacto con el agua, ya que la reacción álcali-sílice es mitigada por la diatomita; adicionalmente, considerar como alternativa medioambiental principal el uso de las puzolanas naturales e investigar sobre otras potenciales puzolanas que supondrían un aporte positivo en la construcción.

Agradecimiento

Los autores expresan un sincero agradecimiento a la ESPOL y al laboratorio de Metalurgia Extractiva de la FICT por su colaboración en la trituration y molienda de la Diatomita. También a Holcim Ecuador, su centro de Innovación y al laboratorio de Planta Guayaquil, y a los ingenieros Jaime Gómez, María Lara y Freddy Apolinario por la colaboración brindada para la culminación de esta investigación

Referencias

1. ASTM C1260-14. (2014). American Society for Testing and Materials - Standard Test Methods for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (STAFF, Vol. 04.02, pp. 720-724). Estados Unidos: ASTM International.

La diatomita como adición mineral a un mortero de cemento portland

2. ASTM C128-15. (2015). American Society for Testing and Materials - Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate (STAFF, Vol. 04.02, pp. 89-94). Estados Unidos: ASTM International.
3. ASTM C185-15. (2015). American Society for Testing and Materials - Standard Test Method for Air content of hydraulic Cement Mortar (STAFF, Vol. 04.02, pp. 180-183). Estados Unidos: ASTM International.
4. ASTM C109/109-16. (2016). American Society for Testing and Materials - Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (STAFF, Vol. 04.02, pp. 85-94). Estados Unidos: ASTM International.
5. ASTM C204-17. (2017). American Society for Testing and Materials - Standard Test Methods for Fineness of Hydraulic Cement by Air-Permeability Apparatus (STAFF, Vol. 04.02, pp. 205-212). Estados Unidos: ASTM International.
6. ASTM C311-17. (2017). American Society for Testing and Materials - Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland-Cement Concrete (STAFF, Vol. 04.02, pp. 218-227). Estados Unidos: ASTM International.
7. ASTM C618-17. (2017). American Society for Testing and Materials - Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete (STAFF, Vol. 04.02, pp. 352-356). Estados Unidos: ASTM International.
8. ASTM C150/C150M-18. (2018). American Society for Testing and Materials - Standard Specification for Portland Cement (STAFF, Vol. 04.02, pp. 159-167). Estados Unidos: ASTM International.
9. ASTM C1891-19. (2019). American Society for Testing and Materials - Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by Air Jet Sieving at 45- μ m, No. 325 (STAFF, Vol. 04.01). Estados Unidos: ASTM International.
10. Castro, C.; Albear, J.; Alcívar, M. & Brito, S. (2017). Impacto de la utilización de puzolanas naturales ecuatorianas. RIEMAT, 2(1), 1-5. DOI: <https://doi.org/10.33936/riemat.v2i1.931>

La diatomita como adición mineral a un mortero de cemento portland

11. Chicaiza, E. & Oña, F. (2018). Estabilización de arcillas expansivas de la provincia de Manabí con puzolana extraída de ceniza de cascarilla de arroz (Tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19624>
12. Del Aguila, C. & López, J. (2019). Diseño de pavimento rígido con acetato de polivinilo y puzolana para mejorar la resistencia del Jr. Libertad C. 1-4 y Jr. Junín C. 1-6, Morales 2019 (Tesis de grado). Universidad César Vallejo, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/46239>
13. Echeverría, C. (2022). Reducción de las emisiones CO₂ en la producción del cemento empleando piedra calcárea y arcillas calcinadas - LC3=Limestone Calcined Clay Cement (Tesis de maestría). Universitat Politècnica de Catalunya, España. <http://hdl.handle.net/2117/370313>
14. Flórez, A. (2022). Evaluación de ceniza de carbón para su incorporación en la formulación de un concreto liviano y baldosas cerámicas (Tesis de maestría). Universidad Escuela de Administración, Finanzas e Instituto Tecnológico, Colombia. <http://hdl.handle.net/10784/31681>
15. Gallego, H.; Toro, E. & Rojas, R. (2020). State of the Art:Process of Pozzolan Formation from Ash and its Applications. *Revista ingeniería de construcción*, 35(2), 119-125. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-50732020000200119>
16. ISO 13320. (2020). International Organization for Standardization - Particle size analysis - Laser diffraction methods. Suiza: International Organization for Standardization. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/iso?c=069111>
17. León, A. & Guillén, V. (2020). Energía contenida y emisiones de CO₂ en el proceso de fabricación del cemento en Ecuador. *Ambiente Construido*, 20(3), 611-625. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212020000300448>
18. Li, J.; Zhang, W.; Li, C. & Monteiro, P. (2019). Green concrete containing diatomaceous earth and limestone: Workability, mechanical properties, and life-cycle assessment. *Journal of cleaner production*, 223, 662-679. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.077>
19. Macedo, A.; Silva, A.; da Luz, D.; Ferreira, R.; Lourenço, C. & Gomes, U. (2019). Study of the effect of diatomite on physico-mechanical properties of concrete. *Cerâmica*, 66(377), 50-55. DOI: <https://doi.org/10.1590/0366-69132020663772561>

La diatomita como adición mineral a un mortero de cemento portland

20. Mora, E. & Pogo, L. (2021). Inhibición de la reacción álcali-sílice usando puzolana del volcán Tungurahua - Método de la barra de mortero (Tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21889>
21. Oré, E. (2022). Influencia en las Propiedades Reológicas del Concreto y en su Comportamiento Mediante la Sustitución Parcial de Cemento por Diatomita (Tesis de grado). Universidad Peruana los Andes, Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/4046>
22. Ramírez, G. (2019). Influencia de la puzolana artificial en los morteros cemento - Arena (Tesis de grado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3207>
23. Ramos, C. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 10(1), 1-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.33210/ca.v10i1.356>
24. Thermo Fisher Scientific (2023). UV-Vis Spectrometers overview. <https://www.thermofisher.com/nl/en/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/molecular-spectroscopy/uv-vis-spectrophotometry.html>
25. Yucra, T. & Bernedo, L. (2020). Epistemología e Investigación Cuantitativa. *IGOBERNANZA*, 3(12), 107–120. DOI: <https://doi.org/10.47865/igob.vol3.2020.88>
26. Zapata, C. (2019). Uso de la diatomita en la obtención de materiales refractarios como aislantes térmicos en los procesos industriales (Tesis de grado). Universidad Nacional de Piura, Perú. <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1998>
27. Zúñiga, A. (2018). Ciencia e ingeniería de nuevos materiales en la fabricación de ladrillos mejorados tecnológicamente (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, España. <https://oa.upm.es/52643/>