

La pumicita como un agregado alternativo en la construcción Pumicite as an alternative aggregate in construction

L. A. Cabrera-Rosas ^a, C. Rodríguez-Álvarez ^{a, *}, E. Moreno-Pérez ^a, H. I. Navarro-Gómez ^a

^a Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México

Resumen

En este estudio se evaluó la viabilidad de la pumicita (material de origen volcánico) como agregado alternativo en morteros para la construcción, lo anterior considerando la abundancia de este material en excavaciones para obras de infraestructura en la zona de Pachuca, Hidalgo. Para las pruebas de resistencia a la compresión se elaboraron probetas cúbicas de 5 cm de lado, utilizando arena de pumicita mezclada con cemento de albañilería, los resultados se compararon con probetas de control fabricadas con agregado normal, conforme a la norma ASTM C270-14a. Los ensayos mostraron que el mortero con pumicita alcanzó resistencias iguales o superiores al mortero de control, cumpliendo con los valores mínimos normativos. Además, se observó una reducción de peso en los especímenes elaborados con agregado pumicítico, lo que indicó una menor densidad sin comprometer el desempeño mecánico. Se concluyó que la pumicita puede emplearse como agregado alternativo en aplicaciones no estructurales, aportación que armoniza con los principios de sostenibilidad, economía circular y reutilización.

Palabras Clave: Pumicita, agregado, material de excavación, mortero, sostenibilidad.

Abstract

This study assessed the feasibility of pumicite, a volcanic material, as an alternative fine aggregate in masonry mortar, given its abundance in materials excavated during infrastructure projects in Pachuca, Hidalgo. For compressive strength testing, 5-cm cubic specimens were cast using pumicite sand and masonry cement, and their performance was compared with that of control specimens made with conventional aggregate in accordance with ASTM C270-14a. The test results indicated that the pumicite mortar attained compressive strengths equal to or greater than those of the control mortar and met the minimum standard requirements. In addition, the pumicite specimens exhibited lower weight, which reflected lower density, while mechanical performance remained unaffected. These findings indicated that pumicite was a suitable alternative aggregate for nonstructural applications, consistent with the principles of sustainability, circular economy, and material reuse.

Keywords: Pumicite, aggregate, excavation material, mortar, sustainability.

1. Introducción

La ingeniería civil contemporánea intenta enfocarse en el diseño y construcción de infraestructura sostenible, buscando reducir significativamente la huella ambiental tradicionalmente marcada por el alto consumo de recursos y emisiones de carbono. Así mismo se impulsa su integración en el marco del nuevo enfoque de la economía circular, priorizando la adopción de mejores métodos de construcción in situ y el uso de materiales sostenibles.

En este sentido, el aprovechamiento de la tierra y el material pétreo producto de excavaciones, ha sido motivo de diferentes investigaciones; por ejemplo, Hauzinger *et al.*, (2025), en su trabajo acerca de las maneras innovadoras para el uso y aprovechamiento de materiales de excavación del proyecto del futuro colisionador circular de partículas, en la frontera franco-suiza, plantean estrategias alternativas para el manejo de aproximadamente 8 millones de metros cúbicos de material de

excavación que generará el proyecto, resaltando que estas prácticas deben estar orientadas principalmente a materiales de construcción alternativos con baja huella de carbono, además se enfatiza que, la reutilización del material de excavación conserva los recursos naturales, reduce el consumo energético asociado con la extracción y el procesamiento de materias primas y minimiza las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas del transporte y el vertido de residuos.

Considerando lo anterior, en este trabajo el principal objetivo es poner a prueba la viabilidad de la pumicita como agregado alternativo en la construcción, específicamente para la elaboración de morteros, asumiendo que la pumicita o tepetate como se le conoce en algunas regiones, es un material abundante que aflora en muchas de las excavaciones para obras de infraestructura que se realizan en la zona de Pachuca, Hidalgo, México, un ejemplo de lo anterior se muestra en la Figura 1, donde se aprecia una excavación para una obra vial cercana a la Ciudad del conocimiento de la Universidad

*Autor para la correspondencia: profe_7479@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: ca138610@uaeh.edu.mx (Luis A. Cabrera-Rosas), profe_7479@uaeh.edu.mx (Cutberto Rodríguez-Álvarez), emiliano_moreno@uaeh.edu.mx (Emiliano Moreno-Pérez), humberto_navarro@uaeh.edu.mx (Humberto I. Navarro-Gómez).

Historial del manuscrito: recibido el 05/10/2025, última versión-revisada recibida el 11/03/2025, aceptado el 11/03/2025, publicado el 06/04/2025. DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v14iEspecial2.16305>

Autónoma del Estado de Hidalgo (carretera Pachuca – Tulancingo).



Figura 1. Foto que muestra el afloramiento de pumicítica en una obra vial muy cercana a la UAEH. Autoría propia.

La pumicita o Toba Cubitos de acuerdo con la carta geológica Pachuca F14-D81 (SGM, 2007), es un depósito de material piroclástico (ceniza volcánica) que cubre como una sábana la geomorfología actual de la región de Pachuca. Esta toba se define como un depósito pumicítico poroso, débilmente endurecido y sin matriz, de bajo peso específico y consistente en capas de ceniza de 10 a 30 cm de espesor, lo que es aprovechado solamente como agregado pétreo en rellenos y terraplenes (Geyne *et al.*, 1963). La Figura 2 muestra en color café achurado, que la pumicita cubre gran parte del territorio de Pachuca.



Figura 2. Sección de la carta geológica Pachuca F14-D81, (SGM, 2007), donde se puede ver la extensión de la Toba Cubitos.

La composición mineralógica de la pumicita es esencialmente vidrio volcánico y feldespatos, posee una textura granular y su origen se clasifica como ígneo piroclástico derivado de la intensa actividad volcánica asociada al Eje Neovolcánico Transmexicano, estas cenizas volcánicas están parcialmente cubiertas por aluvión (suelo), en las tierras bajas y casi planas del Valle de México, (SGM, 2005).

A menudo este material ígneo de la Toba Cubitos es considerado como desecho en las excavaciones de obras de infraestructura públicas o privadas, en ocasiones sin ser utilizado siquiera como material de relleno, la Figura 3 da cuenta de lo antes comentado.



Figura 3. Foto de una construcción donde el material de excavación (pumicita) ha sido descartado. Autoría propia

La normatividad vigente carece de lineamientos acerca del uso del material de excavación, que habitualmente es material piroclástico como la pumicita o también llamado tepetate, por ejemplo, la norma mexicana para excavaciones para estructuras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (N.CTR.CAR.1.01.007, 2000), establece que: “salvo que el proyecto o la Secretaría indique otra cosa, el material producto de la excavación se utilizará en el relleno de esta”, lo que implica que su uso está condicionado a la autorización específica del proyecto.

Del mismo modo la norma ambiental (NACDMX-007-RNAT, 2019), que establece la clasificación y especificaciones de manejo integral para los residuos de la construcción y demolición en la Ciudad de México, considera al material producto de la excavación como un residuo de la construcción e indica que debe ser valorizado o reciclado usándolo principalmente como relleno cuando técnicamente sea factible.

Sin embargo, en fechas recientes la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), de la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), en su publicación (CONAVI, 2023), “Recomendaciones para Materiales de Construcción” aconseja utilizar el tepetate o pumicita como agregado fino en la elaboración de morteros para aplanados en muros y como mezcla para pegar tabiques o bloques.

Tomando en cuenta estos antecedentes, en este trabajo se evalúa el desempeño mecánico de la pumicita como agregado fino en la elaboración de morteros de conformidad con la norma (ASTM C-270, 2014) “Especificación estándar para mortero para mampostería unitaria”, esta normativa define a un mortero como la mezcla de material cementante (cemento portland, cal o cemento de albañilería), agregados (arena) y agua, además en esta norma se indica que no existe una única mezcla de mortero que satisfaga todas las situaciones, de tal manera que solo mediante el conocimiento y la comprensión de los materiales del mortero y sus propiedades, será posible seleccionar un mortero que funcione satisfactoriamente para cada proyecto específico.

Es así que en este estudio se determina la resistencia a la compresión de morteros elaborados con pumicita como agregado, utilizando muestras cúbicas de 50 mm de acuerdo con la norma (ASTM C-109/C, 2016), con estos resultados se establecerá si, los morteros elaborados con pumicita proveniente de excavaciones cumplen con las especificaciones para pegar piezas de mampostería (bloques) en la construcción.

Al revisar trabajos relacionados con el uso y aprovechamiento de la pumicita, se encontró que existen pocas investigaciones donde se ha considerado a este material

producto de la excavación como agregado en la construcción, no obstante, se localizó un ensayo titulado “Tierra de excavación de residuo a materia prima” (Carnevale, 2024), en donde se plantea que el material de excavación es un recurso valioso, sin embargo se desecha como si se tratara de escombros, este ensayo propone la siguiente pregunta: ¿Y si empezáramos a reconocer que la tierra de excavación es un recurso, y la utilizáramos para construir?, este enfoque se replica en el presente estudio, analizando la viabilidad de la pumicita (material piroclástico) proveniente de las excavaciones en la zona de Pachuca, Hidalgo, como agregado fino en la elaboración de morteros.

Además de este ensayo se encontró un trabajo de investigación reciente, donde se hizo una caracterización física y mecánica de materiales piroclásticos en Camerún Occidental, con el propósito de promover su uso óptimo en ingeniería civil (Vouffo *et al.*, 2022).

2. Metodología

2.1 Materiales

2.1.1 Pumicita

Las muestras de pumicita fueron recolectadas en la excavación de una obra de infraestructura vial a un costado de la carretera Pachuca - Tulancingo cercana a las instalaciones de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, se tomaron fragmentos de más de 20 cm de espesor, estas muestras se almacenaron en un lugar seco en el laboratorio hasta su acondicionamiento (ver Figura 4).



Figura 4. Fragmentos de pumicita almacenados en el laboratorio. Autoría propia.

2.1.2 Preparación de arena pumicítica

Las muestras fueron secadas bajo el sol durante 7 horas para eliminar la humedad superficial. Posteriormente, se sometieron a trituración por medios mecánico-manuales, utilizando una placa de acero como base y un marro de 3 lb, hasta obtener una granulometría similar a la arena. El material triturado fue tamizado para obtener fracciones comprendidas entre el tamiz No. 4 (4.72 mm) y el tamiz No. 200 (0.075 mm), conforme a la norma (ASTM C-144, 2004). Este agregado fino fue utilizado en la elaboración de las probetas cúbicas de mortero.

2.1.3 Cementante

Se utilizó un cemento de albañilería de uso general en presentación de 2 kg, adquirido en una tienda departamental especializada en productos para la construcción; este cementante, de acuerdo con sus especificaciones, deberá

alcanzar una resistencia a la compresión de 7.8 MPa en promedio a los 28 días, con una proporción de 3:1 arena-cemento.

2.2 Métodos

2.2.1 Preparación de las probetas

Las probetas cúbicas de 50 mm se elaboraron a una proporción 2.75:1, arena-cemento, de acuerdo con la norma (ASTM-C109/C, 2016) “Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico (utilizando probetas cúbicas de 50 mm o 2 pulgadas)”, estos especímenes elaborados con arena acondicionada a partir de pumicita se designaron con la clave P, fabricándose en dos series P-P6 y P7-P12 (ver Figura 5).

Del mismo modo y con el propósito de comparar los resultados, se fabricaron 6 especímenes de control identificándolos con las siglas C1 hasta C6; estos se elaboraron a la misma proporción arena/cementante, pero usando arena andesítica normal proveniente de una mina de la región.

En ambos casos se realizaron las pruebas granulométricas para comprobar que los agregados cumplieran con la norma (ASTM C-144, 2004) “Especificación estándar para agregados para mortero de mampostería”. De igual manera se determinó su densidad relativa de conformidad con la norma (ASTM-C29/C, 2017) “Método de ensayo estándar para la densidad aparente (peso unitario) y vacíos en agregados”.

Para la elaboración de los cubos de mortero se usaron las cantidades marcadas en la norma (ASTM C-109/C, 2016) para 6 probetas, mezclando 500 g de cemento de albañilería con 1375 g del agregado (pumicita o arena andesítica), en lo que respecta al agua de mezclada, se agregó hasta alcanzar la fluidez necesaria tal como lo marca la norma.

Después del amasado, las mezclas se colocaron y apisonaron en los moldes cúbicos, estas probetas se desmoldaron después de 24 horas y se curaron en condiciones controladas en agua saturada de cal durante 28 días. En la siguiente figura se muestran las probetas cúbicas previo al ensayo de compresión.

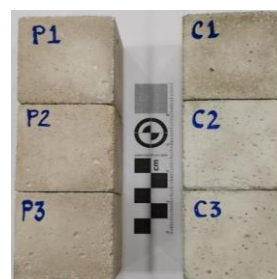


Figura 5. Probetas de mortero a base de pumicita y arena. Autoría propia.

2.2.2 Ensayos de resistencia a la compresión

Para la prueba de resistencia a la compresión se utilizó una prensa mecánica de compresión automática PILOT PRO-MODELO 50-C46P02, donde las probetas se sometieron a una carga axial de acuerdo con la norma (EN 12390-3, 2001), “Método para la determinación de la resistencia a la compresión de probetas de hormigón endurecido”.

Tanto las probetas de mortero fabricadas con agregado de pumicita como las de control, fueron ensayadas conforme a

esta especificación (EN 12390-3, 2001), esta norma, además de evaluar la resistencia a la compresión, también evalúa el tipo de falla (ruptura) de los cubos.

Los cubos de mortero se colocaron entre las platinas de la máquina de ensayo (prensa) usando espaciadores, y una vez que se alcanzó el pico máximo de carga se registró el dato y se analizó el agrietamiento y falla de los cuatro lados del cubo expuestos; inmediatamente después se desprendieron los fragmentos fracturados aplicando mínima presión y se analizó el tipo de falla y la forma adoptada por la probeta ensayada de conformidad con la norma (Figura 6).

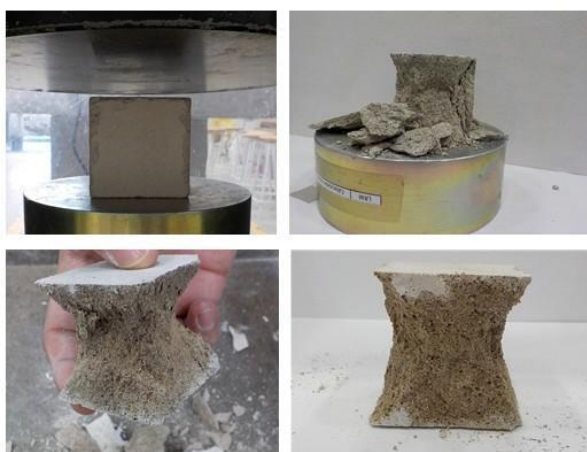


Figura 6. Evaluación del tipo de falla de las probetas. Autoría propia.

Esta norma clasifica los tipos de falla como satisfactoria y no satisfactoria, de acuerdo al patrón de agrietamiento y a la forma que adopta la probeta después del ensayo (Figura 7).

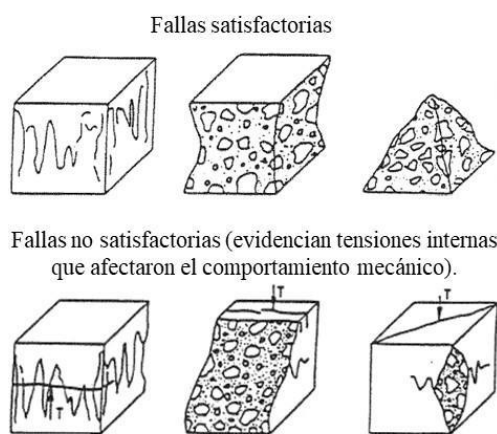


Figura 7. Tipos de falla típicos según la norma EN 12390-3:2001.

3 Resultados y discusión

3.1 Granulometría y densidad aparente

Se determinaron las curvas granulométricas tanto de la arena acondicionada a partir de pumicita como de la arena andesítica usada para las probetas de control, estas pruebas se realizaron de conformidad con la norma (ASTM C-144, 2004) “Especificación estándar para agregados para mortero de mampostería” y tomando en cuenta los límites granulométricos

para una arena artificial, es decir, para una arena proveniente de un proceso de trituración

Como ya se mencionó antes, el objetivo de este trabajo es probar el desempeño de la pumicita producto de la excavación, como un agregado para elaborar morteros para mampostería, razón por la cual durante su acondicionamiento (trituración) se ajustó la distribución de tamaño de partícula a los límites de la norma, y en lo que respecta a la arena andesítica usada para los especímenes de control, se comprobó que cumplía con la norma. A continuación, en la Figura 8 se presentan las curvas granulométricas de ambas arenas de conformidad con los límites granulométricos recomendados por la especificación.

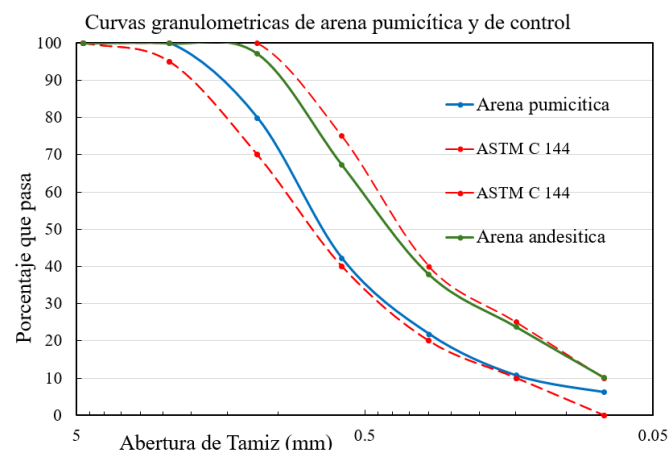


Figura 8. Curvas granulométricas de la arena pumicítica (azul) y de la arena andesítica (verde); las líneas punteadas son los límites granulométricos. Autoría propia.

De esta figura se desprende que ambas curvas son uniformes y están dentro de los límites granulométricos para una arena triturada para mortero, no obstante, se puede observar que la curva de la pumicita está muy cerca del límite inferior, por lo tanto, es una arena con pocos finos a partir de la malla 100 (150 μm) y, por el contrario, la arena de control (andesítica) está en el límite máximo de partículas finas a partir de la malla 50 (partículas menores a 300 μm).

En todo caso, la norma (ASTM C-144, 2004) indica que, cuando un agregado no cumple con los límites de granulometría, se permite su utilización siempre que el mortero pueda ser preparado para cumplir con los requisitos de relación de agregado, retención de agua, y resistencia a la compresión de acuerdo con las especificaciones de la norma (ASTM-C-270, 2014).

En el caso de la determinación de la densidad aparente mediante la norma (ASTM C29/C, 2017), los resultados indican que la arena de pumicita seca y suelta tiene una densidad promedio de 1230 Kg/m^3 , mientras que, la arena andesítica (control), posee una densidad aparente en estado suelto y seco de 1440 Kg/m^3 .

Cabe señalar que la intención de medir la densidad aparente de los agregados acondicionados a partir de la toba pumicítica o tepetate, es para determinar si se le puede considerar como un agregado ligero; sin embargo, de acuerdo con la norma mexicana (N.CMT.2.002, 2019) “Calidad de agregados pétreos para concreto hidráulico”, para que a un agregado fino se le considere como agregado ligero, su densidad aparente o masa volumétrica seca y suelta debe ser menor 1120 kg/m^3 , por lo tanto, la arena de pumicita debe considerarse como un agregado normal por tener una densidad mayor a este valor.

Así mismo durante la revisión de la literatura existente, se encontró una investigación donde se usó arena pómez como agregado ligero en un mortero, en dicho trabajo (Al Naaymi, 2015) se determinó que la arena pómez o arena de pumita posee una densidad aparente de 780 kg/m^3 , cabe destacar que este dato no se puede comparar con la pumicita, ya que existen diferencias significativas entre la pómez y la pumicita.

De acuerdo con Verhoogen, (1951), la pumicita se origina cuando los gases disueltos en el magma viscoso producen una espuma o una gran cantidad de burbujas en un corto período de tiempo, seguido de la rápida ruptura de las vesículas; si se desarrollan menos burbujas en el magma y las paredes vítreas de las vesículas se solidifican lo suficientemente rápido como para evitar el colapso, entonces se formará pumita o pómez. En la Figura 9, se muestran las diferencias entre la pumita (pómez) a la izquierda, la toba pumicítica al centro y la arena acondicionada a partir de la toba cubitos o tepetate.



Figura 9. Fotografías donde se puede observar un fragmento de pómez, un fragmento de toba pumicítica (centro) y la arena de pumicita. Autoría propia

3.2 Resistencia a la compresión

Los resultados de los ensayos a compresión de las probetas de arena pumicítica (tepetate) y de las probetas de control elaboradas con arena normal se muestran en la Figura 10; en esta gráfica se puede observar que se ensayaron 12 cubos de mortero elaborados con arena pumicítica (barras color azul), para ser comparados con los resultados de 6 cubos de control fabricados con arena andesítica (barras verdes).

De acuerdo con la norma (ASTM C-109, 2016) “Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico (utilizando probetas cúbicas de 50 mm o 2 pulgadas)”, las probetas se ensayaron a una edad de 28 días; cabe mencionar que, antes de la prueba, los especímenes se secaron por dos horas a temperatura ambiente, se midieron y se pesaron.

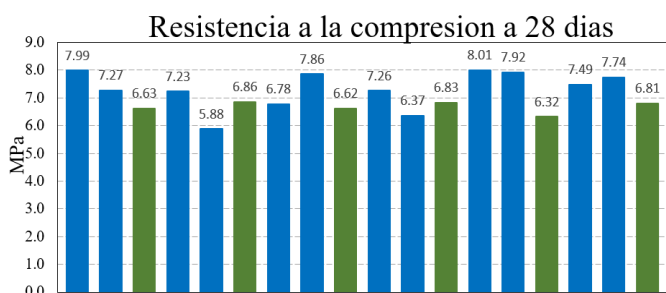


Figura 10. Resistencia a la compresión a 28 días de probetas de mortero de pumicita (barras azules) y probetas de mortero de control (barras verdes). Autoría propia.

Todos los especímenes cúbicos ensayados tuvieron una variación en la longitud de sus lados menor a 1 mm, esto se debe a que el diseño de los moldes no permitió deformidades. Por otro lado, los pesos de los cubos de mortero de control

(arena andesítica), variaron de 253 a 257 gramos, mientras que los cubos de mortero de pumicita pesaron entre 213 y 223 gramos; este rango mayor de variación en las probetas de tepetate se puede atribuir a la compresibilidad de las arenas de pómez y de pumicita, que tienen la particularidad de ser triturables al poseer una estructura esponjosa, lo que puede provocar cambios en la densidad. (Lazcano, 2020).

Ahora bien, el gráfico de barras (Figura 10) compara la resistencia a la compresión de las probetas de mortero elaborado con pumicita, con las probetas de control fabricadas con arena andesítica; en esta gráfica es evidente que el desempeño mecánico de los morteros elaborados con arena pumicítica es ligeramente superior (8.75%), al de las probetas de control producidas con arena normal.

Lo anterior a pesar de que García-González, *et al.*, (2020), en su investigación sobre agregados volcánicos, mencionan que los agregados masivos (lávicos) proveen resistencia superior debido a su alta densidad, comparados con los agregados piroclásticos, generalmente considerados como marginales por tener una estructura vesicular o porosa.

No obstante, este resultado inesperado (mejora en la resistencia), requiere de más elementos para explicar por qué un mortero preparado con un agregado considerado marginal desarrolló mayor resistencia que el mortero de control elaborado con un agregado masivo o lávico (andesita).

Es sabido que la resistencia mecánica que potencialmente puede desarrollar un concreto o mortero depende de la resistencia individual de los agregados, de la pasta de cemento endurecida, y de la adherencia que se produce entre ambos; por lo tanto, se analizarán más datos para tener una explicación adecuada a esta mejora en la resistencia a la compresión, la cual puede deberse a la actividad puzolánica de la pumicita.

En cuanto a la evaluación del desempeño mecánico de este mortero preparado con agregado piroclástico, la norma (ASTM C-270, 2014) “Especificación estándar para mortero para mampostería unitaria”, indica que este mortero elaborado con pumicita, y cuya resistencia promedio es de 7.31 MPa, se puede clasificar como un mortero tipo N, cuya resistencia a la compresión a 28 días debe ser en promedio mayor a 5.2 MPa; esta norma también menciona que este tipo de mortero se puede preparar con cemento de albañilería, como se hizo en los presentes experimentos, o también con cal – cemento.

De acuerdo con esta norma, el mortero tipo N es un mortero de propósito general y puede ser utilizado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo, en muros de carga, en muros divisorios y para aplanados en paredes en el interior y exterior; es de mediana resistencia y representa la mejor combinación de resistencia, trabajabilidad y economía.

Con estos resultados se refuerza la propuesta de la CONAVI, (2023) que recomienda usar el tepetate o pumicita como agregado fino en la elaboración de morteros para aplanados finos en muros y como mezcla para pegar tabiques o bloques.

Cabe señalar que las probetas de control elaboradas con arena andesítica también cumplieron con esta especificación, al tener una resistencia a la compresión promedio de 6.67 MPa; de igual forma, es importante señalar que la resistencia promedio de 7.8 MPa que menciona la especificación del cemento de albañilería usado en este trabajo, solo se alcanzó en 4 probetas de pumicita.

En relación con la literatura publicada acerca del uso de pumicita como agregado para morteros, se encontraron diferentes artículos que usaron pumita o pómez, pero no pumicita; no obstante, se encontró un trabajo muy similar a esta investigación (Degirmenci & Yilmaz, 2011), donde se evaluó la resistencia de morteros preparados con arena pómez y cemento Portland, con resultados promedio a 28 días de 12 MPa. En este caso merece la pena destacar que esta elevada resistencia a la compresión puede atribuirse al uso de cemento Portland, en vez de cemento de albañilería como en este caso.

3.3 Tipo de falla y actividad puzolánica

Aunque los resultados de las pruebas mecánicas son concluyentes en cuanto al incremento en la resistencia a la compresión de las probetas fabricadas con arena pumicítica, en este apartado se discute acerca del tipo de falla en las probetas cúbicas y de la posible actividad puzolánica del agregado, con el propósito de tener una explicación adecuada a esta mejora en el comportamiento mecánico.

En la siguiente imagen se presenta el tipo de falla de las probetas ensayadas y las formas adoptadas; en este caso, todas las probetas, tanto de control como de pumicita, tuvieron fallas satisfactorias de acuerdo con la norma EN 12390-3, (2001) (Figura 7). En la figura 11 se puede observar que las muestras tienden a tomar la forma de un reloj de arena, lo cual indica que las muestras lograron llegar a un estado monolítico bajo el esfuerzo compresivo y no presentaron mecanismos de falla por falta de vibración y/o mala distribución del agregado, que generan tensiones internas (Hernández, 2015).

Bajo compresión el efecto cortante está siempre presente, aunque disminuye hacia el centro del cubo, por lo que los lados tienden a desintegrarse para dejar el corazón relativamente intacto (Neville & Brooks, 2010).

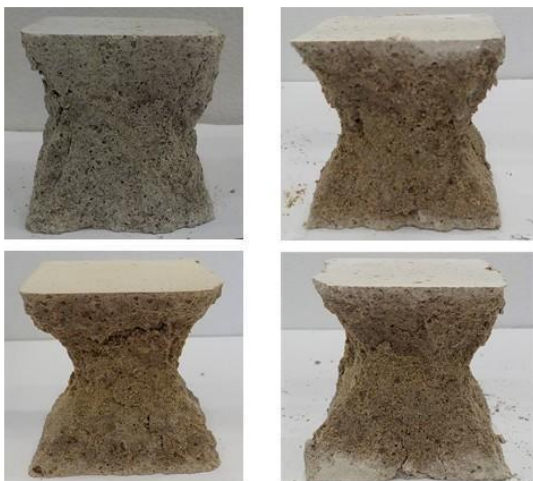


Figura 11. Fallas satisfactorias en forma de reloj de arena, arriba a la izquierda la probeta de control, las restantes son los especímenes de pumicita. Autoría propia.

Adicionalmente, las probetas ensayadas se separaron ejerciendo tracción con las manos para conocer el modo de ruptura del corazón central (ver Figura 12); en este caso, los corazones de las probetas con agregado de pumicita, tuvieron una ruptura que asemeja a un material fibroso, ya que el corazón se fracturó de manera irregular y con ángulos agudos, lo cual denota un ensamblaje profundo, a diferencia de las

probetas de control, las cuales se fracturaron con caras casi planas.

Este comportamiento puede deberse a la estructura esponjosa y en ocasiones fibrosa de la pumicita, cuyas partículas poseen formas angulosas, rugosas y dentadas (Lazcano, 2020), que favorecen el aumento de la trabazón entre partículas y facilitan la consolidación; en este caso, la trabazón puede mejorar la adherencia entre los agregados y la matriz del cementante, por lo tanto, este entrelazamiento produce un mejor desempeño mecánico de los especímenes de pumicita a pesar de su origen piroclástico.



Figura 12. Formas características de la ruptura a tracción de las probetas ensayadas, a la izquierda la muestra de pumicita y a la derecha la de control.

Con respecto a la actividad puzolánica en materiales volcánicos como la pumicita, de acuerdo con el trabajo de Rosell-Lam, *et al.*, (2011) esta depende de la cantidad de fases reactivas como el vidrio volcánico (sílice), el cual reacciona con el hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ que se libera durante la hidratación del cemento Portland, produciendo silicatos hidratados que son fases estables hidráulicas e insolubles. En este trabajo, los análisis mineralógicos realizados por el Servicio Geológico Mexicano (SGM, 2005) indican que la pumicita o tepetate, está compuesta esencialmente por vidrio volcánico y feldespatos; por lo tanto, se espera que el desarrollo de resistencia en los cubos de mortero con agregado de pumicita, tenga una contribución de la reacción puzolánica que se genere entre el hidróxido de calcio liberado por el cemento de albañilería, con la fracción fina del agregado piroclástico.

Para determinar la actividad puzolánica de la pumicita es necesario realizar pruebas adicionales; no obstante, varios autores (Al Naaymi, 2015; Amenu, *et al.*, 2023; Pérez, 2008) afirman que los materiales volcánicos explosivos (piroclásticos), tienen repercusiones positivas en el comportamiento mecánico de las probetas, ya sea como agregado fino o como cementante suplementario.

Una evidencia de esta mejora, es que los cubos elaborados con arena de pumicita poseen una menor densidad con el mismo nivel de resistencia que las probetas de control elaboradas con arena andesítica de origen lávico; por lo tanto, a partir de estos hallazgos se puede concluir que la explicación idónea para la mayor resistencia de las probetas con agregado de tepetate, se debe a la trabazón de las partículas rugosas y dentadas de pumicita, que junto con la actividad puzolánica

logran un mejor comportamiento mecánico que las muestras de control elaboradas con agregado masivo.

4 Conclusión

Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que la pumicita, cuando es acondicionada como agregado fino, puede superar en resistencia a la arena andesítica de la región en morteros tipo N. Las probetas elaboradas con este material alcanzaron valores de compresión superiores a los mínimos establecidos por las normas ASTM C270-14a, lo que confirma su viabilidad técnica en aplicaciones no estructurales. Además, se observó una reducción significativa en la densidad de las probetas, lo que sugiere beneficios adicionales en términos de peso y manejo en obra.

Por otro lado, el uso de pumicita como agregado fino cuando es producto de excavaciones urbanas, representa una oportunidad para reducir el impacto ambiental de las obras; pero su aplicación requiere ajustes normativos y ambientales que reconozcan formalmente los materiales de excavación como insumos válidos.

La incorporación de estos materiales en reglamentos técnicos y programas de vivienda social permitiría avanzar hacia una construcción más sostenible y accesible. Estos hallazgos respaldan el aprovechamiento de materiales de excavación como recurso alternativo en la construcción, todo esto alineado con los principios de sostenibilidad, economía circular y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Se recomienda continuar con estudios complementarios que evalúen la viabilidad de su acondicionamiento in situ (trituración) y su durabilidad, así como un análisis químico para conocer la composición de la Toba Cubitos; ya que, aunque existe información de que la pumicita es una puzolana natural, este estudio no tuvo ese alcance. Del mismo modo, es importante conocer el grado de adherencia del material con otras piezas constructivas, y su velocidad de carbonatación, al igual que su desempeño en condiciones reales de obra, para ampliar su aplicación en vivienda social y proyectos de infraestructura ligera.

Agradecimientos

Se agradece a los profesores del Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, y de la Unidad Central de Laboratorios del Instituto de Ciencias Básica e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, que colaboraron en el presente trabajo.

Referencias

Al Naaymi, T. A., (2015). Assessment of Pumice and Scoria Deposits in Dhamar - Rada' Volcanic Field SW- Yemen, as a Pozzolanic Materials and Lightweight Aggregates. *IJSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, Vol. 2 Issue 9, 386 - 402.

Amenu, T., Geremew, A., Ayene, H., (2023). A Study on the suitability of pumice stone powder as a cementitious material in sustainable green concrete production. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, Vol. 14 No. 4, 64 -78.

ASTM C29/C29M, (2017). Standard test method for bulk density (unit weight) and voids aggregate. ASTM International.

ASTM C109/C109M-16a, (2016). Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or [50-mm]) cube specimens). ASTM International.

ASTM C144-04, (2004). Standard specification for aggregate for masonry mortar. ASTM International.

ASTM C270-14a, (2014). Standard Specification for mortar for unit masonry. ASTM International.

Carnevale, E., (2024). Tierra de excavación: de residuo a materia prima. Recuperado de <https://ecohabitar.org/tierra-de-excavacion-de-residuo-a-materia-prim/>

CONAVI, (2023). Recomendaciones para materiales de construcción. Criterios técnicos para una vivienda adecuada. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU), Gobierno de México. <https://siesco.conavi.gob.mx/doc/tecnicos/construccion/Recomendaciones%20para%20materiales%20de%20construccion.pdf>

Degirmenci N., Yilmaz A., (2011). Use of pumice fine aggregate as an alternative to standard sand in production of lightweight cement mortar. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, Vol 18, 61-68.

EN 12390-3, (2001). Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens. European Committee for Standardization.

García-González, C., Yezpe J., Franeski, M.A., (2020). Geomechanical characterization of volcanic aggregates for paving construction applications and correlation with the rock properties. *Transportation Geotechnics*, 24, 1-11.

Geyne A. R., Fries C., Segerstrom K., Blanck R. F., Wilson I. F., (1963). Geología y yacimientos minerales del distrito de Pachuca- Real del Monte, Hgo., México, Consejo de Recursos Naturales no Renovables.

Hauzinger, E., Ulrici, L., Gutleber, J., Galler, R., Schneider, D., Haas, M., Benedikt, M., Pillet, M., Voiron, J., Boillon, P., Denot, A., Paciello, J., D'Aloia, L., Machinet, G., Deep-Collet, M., (2025). Innovative pathways for the use of excavation materials in the frame of the future circular collider project. *Circular Economy and Sustainability*. 5:555–571. <https://doi.org/10.1007/s43615-024-00440-z>

Hernández, J.A., Osorio, S.S., Cogollo, C.A., (2015). Caracterización de agregado fino tipo piedra pómez para su uso en concretos estructurales. Tesis de Ingeniería Civil. Universidad La Gran Colombia, Bogotá.

Hoffer, J. M., (1994). Pumice and pumicite in New Mexico. New Mexico Bureau of Mines & Mineral Resources, New Mexico Institute of Mining & Technology.

Lazcano, S., (2018). Suelos pumíticos: suelos no convencionales. XXIX Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica. – León, Guanajuato, México.

N.CMT.2.002., (2019). Norma de calidad de agregados pétreos para concreto hidráulico. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT México.

N.CTR.CAR.1.01.007, (2000). Norma de construcción. Excavación para estructuras. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT México.

NACDMX-007-RNAT, (2019). Clasificación y especificaciones de manejo integral para los residuos de la construcción y demolición en la Ciudad de México. Gobierno de la Ciudad de México.

Neville, A.M. & Brooks, J.J., (2010). Tecnología del Concreto. Editorial Trillas. México.

Pérez, D.Y., (2008). Ceniza volcánica como agregado en morteros de albañilería con cal apagada artesanalmente. Tesis de Ingeniería Civil. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México.

Rosell-Lam, M., Villar-Cociña, E., Frias, M., (2011). Study on the pozzolanic properties of a natural cuban zeolitic rock by conductometric method: kinetic parameters. *Construction and Building Materials*, 25, 644–650.

SGM, (2005). Servicio Geológico Mexicano. Informe técnico: Carta geológico-minera Pachuca de Soto F14-D81, escala 1: 50,000 Hidalgo. https://mapserver.sgm.gob.mx/InformesTecnicos/CartografiaWeb/T132005SARL0001_01.PDF

SGM, (2007). Servicio Geológico Mexicano, Carta geológico-minera Pachuca F14-D81. Hidalgo y Estado de México. Secretaria de Economía. https://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/geologia/1736_F14-D81_GM.pdf

Verhoogen, J., 1951. Mechanics of ash formation. *American Journal of Science*, Vol. 249, 729-739.

Vouffo, M., Tiomo, I. F., Kemtchou Fanmi, H., Kamga Djoumen T., Ngapgue, F., (2022). Physical and mechanical characterization of pyroclastic materials in Baleng area (Bafoussam, West-Cameroon): implication for use in civil engineering. *Case Studies in Construction Materials* 16, 1-14.