Este manuscrito ha sido aceptado después de una revisión a doble-ciego por pares y será publicado en una futura edición de esta revista. Su contenido es definitivo y únicamente cambiará en la versión final la información relativa al volumen, número, fecha de publicación y paginado.

DESDE 2013
https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/issue/archive
Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI
ISSN: 2007-6363

Publicación Semestral Pädi Vol. 0 No. 0 (2023) 1-6

Utilización de residuos mineros en concreto permeable como alternativa de construcción sostenible
Utilization of mining waste in permeable concrete as an alternative of sustainable construction

A. González-de-la-Fuente [a], L. D. López-León [a, *], V. Volpi-León [a], Y. P. Correa-Castro [a]
L. Lizárraga-Mendiola [a], I. E. Castañeda-Robles [a]

[a] *Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.*

Resumen

En Pachuca de Soto, Hidalgo, se ha registrado la acumulación de millones de metros cúbicos de desechos provenientes de la actividad minera de más de 500 años. Estos desechos, conocidos como "jales" no tienen uso ni beneficio social. Si bien, su composición química no muestra la presencia de elementos potencialmente tóxicos en cantidades representativas, sí afecta la salud de la población debido a que las partículas pueden ser fácilmente transportadas por agua y aire. La propuesta de reutilización de jales en la construcción de concreto permeable es una alternativa eficiente para reducir el impacto ambiental, siendo eficiente como sustituto de cementante en baja proporción. Asimismo, su uso no requiere ningún proceso adicional. En este estudio se elaboró un concreto permeable con adición de residuo minero como sustituto de aglutinante hidráulico en dosificaciones de 0, 5, 10 y 15%. Los resultados mostraron que hasta la dosificación del 10% los especímenes tuvieron un comportamiento similar al concreto permeable convencional.

Palabras clave: Concreto permeable, desecho minero, aglutinante.

Abstract

In Pachuca de Soto, Hidalgo, the accumulation of millions of cubic meters of waste from mining activity for more than 500 years has been recorded. These wastes, known as "tailings," have no use or social benefit. Although its chemical composition does not show potentially toxic elements in representative quantities, it affects the population's health because the particles can be easily transported by water and air. The proposal to reuse tailings in the construction of permeable concrete is an efficient alternative to reduce the environmental impact, being efficient as a substitute for cementitious in a low proportion. Likewise, its use does not require any additional process. In this study, permeable concrete was produced with mining waste as a substitute for hydraulic binder in dosages of 0, 5, 10, and 15%. The results showed that up to a dosage of 10%, the specimens had a behavior similar to conventional permeable concrete.

Keywords: Pervious concrete, mining waste, binder.

1. Introducción

Actualmente, en el ámbito de la construcción se busca innovar de manera ecológica, empleando materiales existentes y otorgándoles un nuevo uso, se contempla que presenten un bajo costo en su producción y que cumplan con las normas de calidad establecidas. El enfoque de la construcción sostenible se basa en el respeto al entorno y al ambiente, ya que usa eficientemente los recursos naturales, el agua y la energía (Puertas et al., 2020). En este contexto, la reutilización de materiales de desecho con características similares a los convencionales surge como una alternativa eficiente para disminuir el impacto causado por el uso de los que son empleados comúnmente.

Respecto a la gestión de aguas pluviales urbanas es fundamental considerar la protección de los equilibrios naturales del agua y las rutas de flujo como un objetivo crítico de diseño (Drake et al., 2013). De lo contrario, se desaprovecha el recurso hídrico al no contar con un sistema de captación de agua de lluvia eficiente, lo que impide la evacuación adecuada de la escorrentía y genera problemas en la infraestructura vial

*Autor para la correspondencia: luis_lopez@uaeh.edu.mx (Luis Daimir López León)
Correo electrónico: alejandro_gonzalez@uaeh.edu.mx (Alejandro González de la Fuente), volpi@uaeh.edu.mx (Valeria Volpi León), co312375@uaeh.edu.mx (Yasbeth Paola Correa Castro), mendiola@uaeh.edu.mx (Liliana Lizárraga Mendiola), ivan_castaneda@uaeh.edu.mx (Iván Erick Castañeda Robles).

Historial del manuscrito: recibido el 15/08/2023, última versión-revisada recibida el 24/11/2023, aceptado el 27/11/2023, en línea (postprint) desde el 28/11/2023, publicado el DD/MM/AAAA. **DOI:** https://doi.org/10.29057/icbi.v12i23.11521

El DOI puede ser empleado para citar este manuscrito, pero será habilitado hasta la publicación en Pädi.

Aceptado/Accepted

Este manuscrito ha sido aceptado después de una revisión a doble-ciego por pares y será publicado en una futura edición de esta revista. Su contenido es definitivo y únicamente cambiará en la versión final la información relativa al volumen, número, fecha de publicación y paginado.

(Suriya y Mudgal, 2012). Entre los ejemplos más comunes para mitigar este problema puede mencionarse el pavimento permeable. Además de ser una superficie para la movilidad vial, este material puede facilitar el ingreso del agua de escorrentía urbana y mitigar los encharcamientos (Fassman y Blackbourn, 2010); además, tienen la capacidad para depurar algunos contaminantes y promover fuentes de recarga al subsuelo (Ortega-Villar et al., 2019). Para mejorar las propiedades del concreto permeable, se han utilizado distintos enfoques con buenos resultados: a) cenizas de fondo para optimizar su rendimiento (Tan et al., 2022), b) polvo de desecho de mármol como sustituto del cemento (Oggu y Sai-Madupu, 2022), c) adsorbentes minerales para depurar aguas residuales infiltradas (Teymouri et al., 2020), entre otros.

Con el fin de impulsar la construcción sostenible, es necesario disminuir el consumo de materiales vírgenes y aprovechar los residuos como alternativa, ya que la industria de la construcción se considera la principal fuente de contaminación al ambiente comparada con otras industrias por la utilización de maquinaria para realizar los procesos de explotación de recursos naturales. (Enshassi, et al., 2014).

En México se estima que para el 2050 se habrán construido siete millones de viviendas responsables de la acumulación de 25 millones de toneladas de gases de efecto invernadero (Senado de la República, 2021). Si consideramos que, dependiendo del nivel de resistencia deseado, el consumo de cemento para un metro cúbico de concreto es alrededor de 200 a 300 kg, su sustitución por material de desecho desde pequeñas cantidades ya implica una disminución en el impacto negativo de este material al ambiente.

El área de estudio se ubica en Pachuca, Hidalgo, específicamente en la zona “Escombreras Dos Carlos” donde la acumulación de jales de más de 200 años abarca gran parte de área urbana con una extensión aproximada de 48 Ha. (Figura 1) (Hernández et al., 2009).

Figura 1: Jales de Escombreras Dos Carlos, Pachuca, Hidalgo (Google Earth, 2023).

La estrategia principal de este trabajo es incorporar residuos mineros como complemento cementante para la generación de mezclas de concreto permeable.

La primera aplicación identificada de concreto permeable se empleó bajo el nombre de concreto sin finos para la elaboración de firmes de estacionamientos, muros de carga y casas habitación. En Países Bajos, fue construida la primera residencia con concreto permeable después de la Primera Guerra mundial; más tarde en Escocia, se empleó para construir casi 900 casas (Moss, 1979). Posterior a la Segunda Guerra Mundial, la limitada cantidad de cemento y de mano de obra calificada para la mampostería, ayudaron a desarrollar una nueva técnica en Inglaterra creada por la compañía George Wimpey y Company Ltd., en la cual vaciaban concreto sin finos, con obreros no calificados. En este proceso, se edificaron más de 400,000 construcciones empleando ese sistema (Patiño, 2013).

Al crecer el uso de concreto sin finos en la construcción surgieron nuevas alternativas. En 1960 se aplicó como capa de rodadura en una carretera en Nottinghamshire, Inglaterra, con la intención de conocer las propiedades de drenaje del sistema (Maynard, 1970). Los primeros reportes de su uso en América son desde 1960; se utilizó en la construcción de casas en Toronto, Canadá. En Estados Unidos surgió hasta la década de 1970 como una solución ante el incremento de los niveles de escorrentía superficial, producto del aumento de zonas urbanizadas con altos coeficientes hidráulicos. Al emplear el concreto permeable (o concreto sin finos) se obtuvieron resultados favorables ya que se transformó la escorrentía superficial en infiltración y se cumplió una función práctica dentro del desarrollo en las ciudades (Arrieta y Carro, 2011). En 1974, este tipo de material se aplicó por primera vez en Japón, donde su topografía equivale a 80% de superficie ondulada y montañosa, y tiene una precipitación anual de 1500 mm. Dadas estas condiciones, se optó por medidas para minimizar la escorrentía de las zonas urbanas por medio de su adaptación. Por tal motivo, sus aceras, estacionamientos, plazas y en ocasiones vías de tráfico reducido, utilizaron los concretos permeables para permitir la infiltración de la lluvia en el terreno (Cruz-Palafox et al., 2014).

En otro estudio, se analizaron las aplicaciones y propiedades del concreto permeable en 1976, obteniendo resultados acerca de su consistencia, dosificación de materiales, compactación y curado, para aumentar la permeabilidad de este tipo de concreto (Solano, 2009). Es en 1990 cuando el concreto permeable empezó a investigarse con mayor profundidad; su uso fue avalado por el Instituto Americano del Concreto (ACI, por sus siglas en inglés) y por la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) (Jiménez, 2019). Más recientemente, en un estudio se analizaron varias muestras aplicadas en sistemas de pavimentos y se comparó su resistencia y relación agua – cemento y agregado – cemento (Arrieta y Carro, 2011). En 2006, la Asociación de Concreto Premezclado de Tennesse divulgó un conjunto de especificaciones para el uso de materiales, mezclas, procesos constructivos e inspecciones en la aplicación de concretos permeables. En ese mismo año, el Comité 522 del ACI publicó los distintos usos, aplicaciones y características que deben ser seguidas en la realización de mezclas (Solano, 2009).

En México, se publicó una tesis elaborada por el Ing. Daniel Pérez Ramos, titulada “Estudio experimental de concretos permeables con agregados andesíticos”, realizando mezclas de concreto permeable con 15% y 20% de vacíos. Estas mezclas se elaboraron con agregados andesíticos, obteniendo que, a

Aceptado/Accepted

El DOI puede ser empleado para citar este manuscrito, pero será habilitado hasta la publicación en Pädi.

Este manuscrito ha sido aceptado después de una revisión a doble-ciego por pares y será publicado en una futura edición de esta revista. Su contenido es definitivo y únicamente cambiará en la versión final la información relativa al volumen, número, fecha de publicación y paginado.

menor porcentaje de vacíos, tenían mayor resistencia y peso volumétrico, aunque se afectaba su permeabilidad (2009). En 2014, se propuso otra aplicación como el "Sistema para la recuperación y aprovechamiento del agua pluvial por medios de pisos y pavimentos porosos," creado por el ingeniero mexicano Jaime Grau Genesías, quien desarrolló un concreto permeable con aditivo Hidrocreto®; este material reacciona con el cemento y potencializa su resistencia durante sus primeros minutos de fraguado (Hidrocreto, 2018). De igual forma, se tiene registro de investigaciones como el "Diseño de un concreto permeable para la recuperación de agua" elaborada por catedráticos de la UAEH (Cruz-Palafox et al., 2014), en la cual se elaboraron especímenes de concreto permeable con aditivos de concreto, ceniza volante y arena de sílice. Este estudio diseñó un concreto permeable con la misma resistencia que el concreto hidráulico para su utilización en autolavados, recuperando el agua para su tratamiento y reutilización (Cruz-Palafox et al., 2014).

El almacenamiento de los residuos provenientes de la extracción de minerales ubicados en distintos puntos de la ciudad de Pachuca de Soto, Hgo., no solo genera un problema visual, representa también un problema de salud, debido a que este material puede ser transportado mediante viento o agua a la población debido al tamaño de las partículas (Hernández et al., 2014), por lo que actualmente, se buscan soluciones para reducir su volumen y revalorizarlos empleándolos como materiales de construcción alternativos.

La medición de la resistencia a la compresión se realiza mediante ensayos normalizados que someten especímenes de concreto a cargas axiales hasta que alcanzan su punto de ruptura. Esta información no solo proporciona una indicación crítica de la capacidad de carga del material, sino que también es esencial para garantizar la seguridad y durabilidad de las estructuras construidas con concreto.

La permeabilidad, en el contexto de materiales de construcción como el concreto, se refiere a la capacidad de un material para permitir o resistir el flujo de fluidos, como el agua, a través de sus poros y capilares. Esta propiedad es de vital importancia en la ingeniería civil y la construcción, ya que la permeabilidad puede influir en la durabilidad y el rendimiento a largo plazo de las estructuras.

Este trabajo se centra en aplicar el "Jal minero" como un complemento cementante en la fabricación de concreto permeable. Más allá de la preocupación visual y de salud asociada con los residuos mineros, nuestro enfoque radica en una solución innovadora que no solo reducirá el volumen de estos residuos, sino que también los revalorizará como materiales de construcción alternativos. El desafío específico que nos proponemos superar es el diseño de un concreto permeable que no solo cumpla con las propiedades estándar de resistencia y durabilidad, sino que también se ajuste a las normativas nacionales e internacionales pertinentes. En este sentido, el papel del "Jal minero" como componente esencial en la formulación de este concreto adquiere importancia central.

2. Materiales y métodos

2.1. Residuo minero (Jal)

Los jales son el resultado de los métodos aplicados para la recuperación de minerales valiosos. Estos desechos minerales se conforman como lodos que a través de los años han sido depositados en tinas denominadas como presas de jal o escombreras. Su composición varía considerablemente en características físicas y mineralógicas, en relación con las del yacimiento y proceso para la extracción del material económicamente redituable (Figura 2 y 3, Tabla 1), (Volpi-León, 2017). Se aprecia que el compuesto más abundante es el Óxido de silicio, en un 70.43% de la muestra, lo cual nos indica que corresponde a un silico -aluminato.

Para la caracterización química del banco, se realizó un estudio por el método de Difracción de rayos X, mediante un Difractómetro PHILIPS, modelo X'PERT. Para este análisis fue necesario preparar la muestra a – 200 +270 mallas (74-53 µm); la cuantificación de los elementos contenidos en el material de estudio de cada una de las escombreras se realizó mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica, con un equipo marca Perkin Elmer modelo 2100.

Tabla 1: Composición química promedio de jales ubicados en Escombreras Dos Carlos

Elemento	%	Elemento	%
SiO_2	70.43	P_2O_5	0.12
TiO_2	0.53	K_2O	0.08
Al_2O_3	7.32	CaO	0.69
Fe_2O_3	2.80	Na_2O	2.32
MnO	0.73	Ag	55 g Ag/t
MgO	0.54	Au	0.58 g Au/t

Fuente: (Volpi-León, 2017)

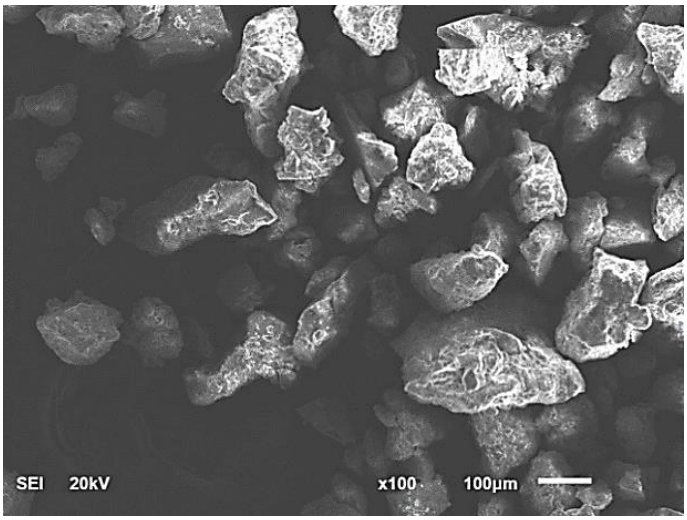

Figura 2: Micrografía general SEM-EDS de jales de Escombreras Dos Carlos donde se aprecian partículas de jal (Volpi-León, 2017)

Aceptado/Accepted

El DOI puede ser empleado para citar este manuscrito, pero será habilitado hasta la publicación en Pädi.

Este manuscrito ha sido aceptado después de una revisión a doble-ciego por pares y será publicado en una futura edición de esta revista. Su contenido es definitivo y únicamente cambiará en la versión final la información relativa al volumen, número, fecha de publicación y paginado.

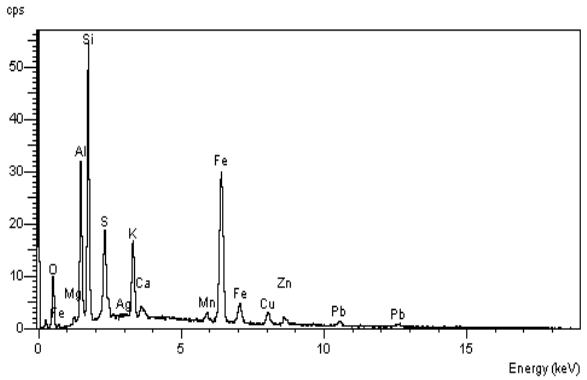

Figura 3: Espectro general SEM-EDS de jales de Escombreras Dos Carlos donde se aprecian los elementos presentes (% en peso) (Volpi-León, 2017)

2.2. Resistencia a la compresión

En la formulación de mezclas de concreto, es posible configurar su composición de manera tal que se obtenga una amplia gama de propiedades mecánicas y niveles de durabilidad, en consonancia con los requisitos de diseño establecidos para la estructura en cuestión (Bravo-Callao, 2021). La resistencia a la compresión del concreto se ha erigido como un indicador fundamental para evaluar la calidad del material y garantizar que cumple con los estándares necesarios para asegurar la seguridad y durabilidad de las estructuras. La prueba no solo permite verificar la capacidad del concreto para resistir cargas axiales, sino que también desempeña un papel crucial en la optimización de las mezclas de concreto y la mejora del rendimiento estructural. Sirve para orientar el diseño de edificaciones y otras configuraciones arquitectónicas. La evaluación de la resistencia a la compresión involucra la fractura de cilindros de concreto en una máquina de ensayos de compresión, siendo este el método convencionalmente empleado por los ingenieros.

2.3. Permeabilidad

La determinación de la permeabilidad en el contexto del concreto poroso puede llevarse a cabo mediante el empleo de permeámetros de carga variable (Solano, 2009). Entre los procedimientos más habituales destaca el método que se basa en la utilización de permeámetros LCS (Sistema de Recolección de Lixiviados), en el cual se evalúa inicialmente la permeabilidad midiendo el tiempo que requiere el nivel de agua para descender entre dos puntos de referencia mientras fluye a través de un orificio de dimensiones reducidas (Pérez, 2009). Este proceso permite obtener los valores de permeabilidad de manera precisa. En cuanto al permeámetro LCS, se destaca su capacidad para proporcionar resultados óptimos de permeabilidad, mismos que se comparan con diversos niveles de permeabilidad presentes en pavimentos.

3. Diseño de mezcla

En este apartado se explica el procedimiento que se llevó a cabo para la elaboración de especímenes de concreto. Se utilizó residuo minero como sustituto de cemento en proporciones de 0%, 5%, 10% y 15% (Tabla 2). Se realizaron un total de 24 especímenes cilíndricos de concreto de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto. Se elaboraron 3 cilindros de concreto para cada proporción propuesta con la finalidad de asegurar la eficacia de los resultados. Se sustituyó el material cementante por el residuo minero para una resistencia de f'c= 90 y 120 kg/cm^2. Esto, con el objetivo de tomar un rango entre las resistencias mínimas y máximas reportadas en la bibliografía (Ayala-López et al., 2022). En la tabla siguiente se muestran las proporciones para cada prototipo.

Tabla 2: Dosificaciones de materiales para la elaboración de la mezcla de concreto con jal por cilindro.

Diseño de mezcla para f'c= 90 kg/cm^2				
Jal como cementante	Agua (kg/m3)	Agregado grueso (kg/m3)	Cemento (kg/m3)	Jal (kg/m3)
0 %	0.669	6.09	1.674	0
5 %			1.591	0.083
10 %			1.507	0.167
15 %			1.423	0.251
Diseño de mezcla para f'c= 120 kg/cm^2				
Jal como cementante	Agua (kg/m3)	Agregado grueso (kg/m3)	Cemento (kg/m3)	Jal (kg/m3)
0 %	0.892	8.12	2.232	0
5 %			2.220	0.011
10 %			2.209	0.022
15 %			2.198	0.033

4. Ensayos y resultados

4.1. Resistencia a la compresión

Las pruebas de resistencia a la compresión se realizaron con una prensa de cilindros de concreto, marca Controls, modelo 50-C43C04. La determinación de la resistencia a la compresión de todos los especímenes de concreto permeable se realizó de acuerdo con la norma ASTM C39 (2002). Por cada mezcla de concreto se ensayaron tres especímenes. Este método de ensayo consiste en la aplicación de una carga de compresión uniaxial los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad de carga especificada (0.25±0.05 MPa/s). La resistencia a la compresión del espécimen se calculó dividiendo la carga máxima obtenida durante el ensayo entre el área de la sección transversal del espécimen (ASTM, 2002). Las figuras 4 y 5 muestran la comparación de la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto permeable con 0, 5, 10 y 15 % de jal en sustitución del cemento para un f'c= 90 kg/cm^2 y f'c= 120 kg/cm^2 respectivamente.

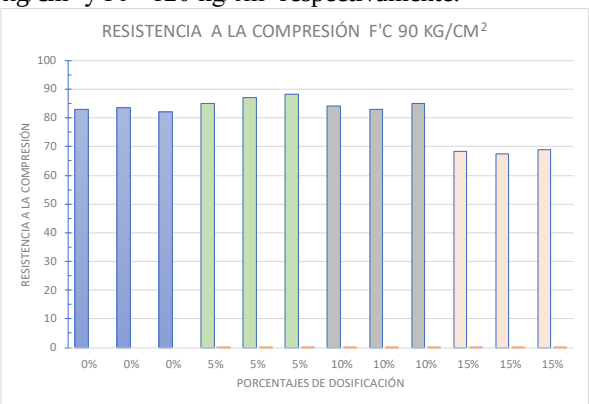

Figura 4: Resistencia a la compresión de especímenes de concreto permeable elaborados con jal como cementante para un f'c= 90 kg/cm2.

Aceptado/Accepted

Este manuscrito ha sido aceptado después de una revisión a doble-ciego por pares y será publicado en una futura edición de esta revista. Su contenido es definitivo y únicamente cambiará en la versión final la información relativa al volumen, número, fecha de publicación y paginado.

En la figura 4 se observa que los especímenes correspondientes al 5% de sustitución de cementante por jal mostraron resistencias más altas, con un promedio de 86.7 kg/cm^2, mientras que los especímenes con 15% reflejaron resistencias más bajas, con un promedio de 68.3 kg/cm^2.

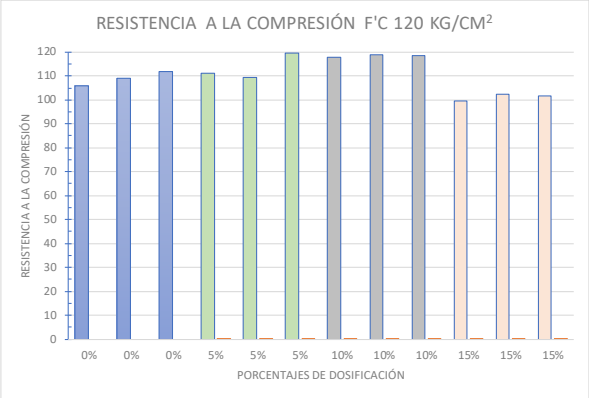

Figura 5: Resistencia a la compresión de los especímenes de concreto permeable elaborados con jal como cementante para un f'c= 120 kg/cm2.

En la figura 5 se aprecia que los especímenes con 10% de sustitución de cementante por jal mostraron resistencias más altas, con un promedio de 118.6 Kg/cm^2 , mientras que los especímenes con 15% reflejan resistencias más bajas con promedio de 101.2 kg/cm^2

En los gráficos de resistencia a la compresión de concreto permeable en especímenes de f'c 90 y 120 muestran que al incorporar jal en 5 y 10% se obtienen los mejores resultados con valores promedio de 86.7 kg/cm^2 y 118.6 kg/cm^2 respectivamente. Se puede inferir que al agregar mayor cantidad de cemento en combinación con jal propicia mayor efecto puzolánico debido a la cantidad de ciertos elementos presentes en los jales como la sílice. No obstante, al incrementar la cantidad de jal, este efecto disminuye considerablemente.

4.2. Prueba de permeabilidad

Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para filtrar el agua a través de la matriz. Esta capacidad se conoce también como permeabilidad y se mide en l/min/m^2 (Tabla 3).

Tabla 3: Prueba de Permeabilidad Promedio en Especímenes de diferentes porcentajes

Resistencia	Jal (%)	Gasto promedio (l/min/m^2)
f'c= 90 kg/cm^2	0	88.967
	5	97.656
	10	108.695
	15	90.579
f'c= 120 kg/cm^2	0	83.652
	5	87.412
	10	98.333
	15	91.001

La permeabilidad en cada mezcla ensayada en este análisis varió. En las muestras con 10% de residuo minero se obtuvo mayor permeabilidad y las de 0% obtuvieron menor permeabilidad. A pesar de esta variación entre los distintos porcentajes de sustitución del jal, los tres resultados (5, 10 y 15%) están dentro de los parámetros esperados (entre 81 a 730 l/min/m2) especificados en la norma ACI 522 R-06 (Flores, 2010). Estos valores indican que, los especímenes con adición de jal como sustituto parcial del cemento, se encuentran dentro del rango permisible, por lo cual, se afirma que las muestras de concreto cumplen con los requerimientos de permeabilidad.

5. Conclusiones

Este estudio resalta la importancia de considerar con sumo cuidado la inclusión de partículas finas en las mezclas de concreto permeable, con el fin de evitar obstrucciones en los poros interconectados de la estructura del concreto, lo que podría comprometer su funcionalidad.

Los resultados obtenidos en las investigaciones sobre las mezclas de concreto permeable que incorporan un 5% y 10% de residuos mineros demuestran su funcionalidad para cumplir con las propiedades mecánicas y de permeabilidad necesarias para su aplicación en pavimentos con tráfico ligero, áreas peatonales y otros usos similares con una resistencia a la compresión entre 70 a 140 kg/cm^2.

No obstante, es crucial destacar que las mezclas que incluyen un 15% de residuos mineros presentaron resistencias y permeabilidades más bajas en comparación con otros sistemas evaluados (0%, 5% y 10%). Además, se evidenció que el concreto elaborado con jales como cementante exhibe un comportamiento mecánico equiparable al de un concreto sin residuo minero, especialmente hasta una dosificación del 10%.

Estos hallazgos no solo resaltan la viabilidad de utilizar residuos mineros en la construcción de concreto permeable, sino también subrayan la importancia de abordar consideraciones específicas al aplicarlos, lo que puede contribuir de manera sustancial a la reducción del impacto ambiental y a la preservación de la salud de la población local en áreas como Pachuca de Soto, Hidalgo.

Agradecimientos

Agradecemos el apoyo de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo por hacer posible la realización de este proyecto, principalmente por la prestación del equipo e instalaciones para la experimentación.

Referencias

ASTM. (2005). *39/C 39M Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. Annual book of ASTM standards, 4.

Arrieta, R. F., & Carro, A. N. (2011). *Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. Infraestructura vial*, (24), 40-49.

Ayala-López, J. E., Gil-Ahumada, E., Cornejo-Ramos, R. D., & Muñoz-Pérez, S. P. (2022). Metodologías empleadas para la producción de concreto permeable usando parcialmente materiales reciclados como agregados: una revisión literaria. TecnoLógicas, 25(53).

Bravo Callao, I. L. (2021). *Evaluación de las propiedades físicas del concreto poroso para pavimento rígido elaborado con aditivo en Jaén.*

Cruz-Palafox, C., Segovia-López, A., González-Sandoval, M., Lizárraga-Mendiola , L., Olguín-Coca, F. J., y Rangel-Martínez, Y. (2014). *Diseño de un concreto permeable para la recuperación de agua.* UAEH.

Aceptado/Accepted

Este manuscrito ha sido aceptado después de una revisión a doble-ciego por pares y será publicado en una futura edición de esta revista. Su contenido es definitivo y únicamente cambiará en la versión final la información relativa al volumen, número, fecha de publicación y paginado.

Recuperado de https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/6287/diseno_de_un_concreto_permeable_para_la_recuperacion_de_agua.pdf

Drake, J. A., Bradford, A., y Marsalek, J. (2013). *Review of environmental performance of permeable pavement systems: State of the knowledge*. Water Quality Research Journal of Canada, 48(3), 203-222.

Enshassi, A., Kochendoerfer, B., & Rizq, E. (2014). *Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción*. Revista Ingeniería de construcción, 29(3), 234-254.

Fassman, E. A., y Blackbourn, S. (2010). *Urban runoff mitigation by a permeable pavement system over impermeable soil*. Journal of hydrologic engineering, 15(6), 475-485.

Flores Prieto, J. R. (2010). *Caracterización del concreto permeable usando el módulo de ruptura y el porcentaje de desgaste*.

Hernández, E., Mondragón, E., Acevedo, D., y Robledo, E. (2009). *Vegetation, mining tailings and potentially toxic elements of a jal from Pachuca, Hidalgo, México.*

Hidrocreto (2018). *Sistema para infiltrar o recuperar el agua pluvial por medio de pisos y pavimentos porosos*. Recuperado de: https://docplayer.es/60017949-Concreto-permeable-ecologico-ecocreto-hidrocreto.html

Jiménez Pesantes, H. J. (2019*). Evaluación del concreto permeable como una alternativa sostenible para el control de las aguas pluviales en la ciudad de Castilla, provincia Piura y departamento de Piura.*

Maynard. D. P. (1970). *"A no-fines road."* Concrete Construction. 15(3). 116-117.

Moss, J. K. (1979). *No-fines building gives energy-conserving homes*. International Construction, Surrey.

Oggu, A., & Madupu, L. S. (2022). *Study on properties of porous concrete incorporating aloevera and marble waste powder as a partial cement replacement*. Materials Today: Proceedings, 52, 1946-1951.

Ortega-Villar, R., Lizárraga-Mendiola, L., Coronel-Olivares, C., López-León, L. D., Bigurra-Alzati, C. A., y Vázquez-Rodríguez, G. A. (2019). *Effect of photocatalytic Fe2O3 nanoparticles on urban runoff pollutant removal by permeable concrete*. Journal of environmental management, 242, 487-495.

Patiño, O. (2013). *El concreto permeable: uso y estándares*. Mente & Materia, 4(1), 22-23.

Pérez Ramos, D. (2009). *Estudio experimental de concretos permeables con agregados andesíticos.*

Puertas, F., Alonso, M. M., y Palacios, M. (2020). *Construcción sostenible. El papel de los materiales.*

Senado de la República (2021). *El 50 por ciento de las emisiones contaminantes pertenecen al sector de la construcción*. Coordinación de Comunicación Social, Senado de La República. Obtenido de https://comunicacion.senado.gob.mx/index.php/informacion/boletines/50135-el-50-por-ciento-de-las-emisiones-contaminantes-pertenecen-al-sector-de-la-construccion.html

Solano-Cerdas, C. (2009). *Análisis de la flexo tracción del concreto permeable*

Suriya, S., y Mudgal, B. V. (2012). *Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed–A case study*. Journal of hydrology, 412, 210-219.

Tan, Y., He, Y., Cui, X., y Liu, L. (2022). *Design and performance optimization of alkali-activated waste coal bottom ash/slag porous concrete*. Construction and Building Materials, 359, 129413.

Teymouri, E., Mousavi, S. F., Karami, H., Farzin, S., y Kheirabad, M. H. (2020). *Municipal Wastewater pretreatment using porous concrete containing fine-grained mineral adsorbents*. Journal of Water Process Engineering, 36, 101346.

Volpi León, V. (2017). *Efecto de corrosión en concreto reforzado elaborado con desecho minero (jal)* (Master's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).

Aceptado/Accepted