

# Mitigación de la Permeabilidad en Concretos Ligeros con Agregados Plásticos: El Rol de la Microsílice como Agente Densificador de la Interfase Pasta-EPS

Pablo Aldair Ticona Farfán

José Fabián Segura Romero

Raúl Andreé Martínez Otiniano

Claudia Johana Chira Huaman

*Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería*

*Grupo Estudiantil American Concrete Institute - UNI*

27 de octubre de 2025

## Resumen

**Resumen:** La inclusión de agregados ligeros de Poliestireno Expandido (EPS) en el concreto mejora sus propiedades térmicas, pero introduce una vulnerabilidad crítica: el aumento de la permeabilidad debido a la porosidad en la Zona de Transición Interfacial (ITZ) entre la pasta de cemento y el plástico hidrofóbico. Este estudio evalúa la durabilidad potencial de concretos ligeros mediante ensayos de permeabilidad al agua bajo presión (UNE-EN 12390-8). Se compararon cuatro mezclas con diferentes niveles de sustitución de EPS (0 %, 20 %, 40 %) y una mezcla optimizada con 15 % de microsílice. Los resultados mostraron que el concreto con 40 % de EPS alcanzó una permeabilidad crítica de  $250 \times 10^{-12}$  m/s. Sin embargo, la incorporación de microsílice en la mezcla EPS40M15 redujo este valor drásticamente a  $25 \times 10^{-12}$  m/s, una disminución del 90 %, restaurando la estanqueidad del material a niveles comparables con un concreto convencional y garantizando su vida útil ante agentes agresivos.

**Palabras clave:** Permeabilidad, Durabilidad, Microsílice, Zona de Transición Interfacial (ITZ), EPS.

## 1 Introducción

La durabilidad de las estructuras de concreto está intrínsecamente ligada a su capacidad para resistir el ingreso de fluidos y agentes agresivos (cloruros, sulfatos, carbonatación). En concretos convencionales, la permeabilidad depende de la red de poros capilares de la pasta. En concretos ligeros con agregados plásticos como el EPS, surge un nuevo mecanismo de transporte: la interfase pasta-agregado.

El EPS es un material hidrofóbico y liso, lo que dificulta la adherencia química con el cemento hidratado. Esto tiende a crear una Zona de Transición Interfacial (ITZ) más porosa y débil alrededor de cada perla, actuando como canales preferenciales para el flujo de agua. Si no se controla, un muro de concreto ligero podría comportarse como una esponja, absorbiendo humedad y comprometiendo la salubridad de la vivienda.

La hipótesis de esta investigación es que el uso de microsílice, un material puzolánico ultrafino (partículas 100 veces más pequeñas que el cemento), puede bloquear físicamente estos canales intersticiales y densificar la ITZ mediante la formación de C-S-H secundario. El objetivo es demos-

trar que es posible obtener un concreto ligero que sea, a la vez, impermeable y durable.

## 2 Materiales y Métodos

### 2.1 Diseño Experimental

Se evaluó la resistencia a la penetración de agua bajo presión en las cuatro mezclas del estudio matriz:

- **EPS0:** Referencia (Concreto normal).
- **EPS20 y EPS40:** Concretos con reemplazo progresivo de grava por EPS, sin adiciones.
- **EPS40M15:** Concreto con 40 % de reemplazo de EPS y 15 % de Microsílice.

### 2.2 Ensayo de Permeabilidad (UNE-EN 12390-8)

Se emplearon probetas cilíndricas de  $15 \times 30$  cm curadas durante 28 días. El ensayo consistió en someter una cara de la probeta a una presión de agua constante de 5 bares (0.5 MPa) durante 72 horas. Posteriormente, las probetas se fracturaron mediante tracción indirecta (Ensayo Brasileño) y se midió la profundidad máxima de penetración del frente húmedo. A partir de la profundidad, se calculó el coeficiente de permeabilidad ( $K_p$ ) utilizando la ecuación de Valenta modificada.

## 3 Resultados

### 3.1 Incremento de la Permeabilidad con EPS

La Figura 1 muestra claramente cómo la inclusión de EPS sin medidas correctivas afecta la estanqueidad.

- La mezcla patrón **EPS0** obtuvo un coeficiente de  $10 \times 10^{-12}$  m/s (Baja permeabilidad).
- La mezcla **EPS20** subió a  $75 \times 10^{-12}$  m/s.

- La mezcla **EPS40** se disparó a  $250 \times 10^{-12}$  m/s.

Este aumento exponencial en la mezcla EPS40 indica que las perlas de EPS, al estar muy juntas, comenzaron a interconectar sus zonas de interfase porosa, creando una red de percolación continua que facilita el paso del agua.

### 3.2 Efecto "Sellador" de la Microsílice

El hallazgo más relevante se observó en la mezcla **EPS40M15**. Al añadir un 15 % de microsílice, la permeabilidad cayó abruptamente de 250 a  $25 \times 10^{-12}$  m/s. Esto representa una \*\*reducción del 90 %\*\* en la velocidad de ingreso de agua respecto a su contraparte sin microsílice (EPS40). El valor de 25 está muy cerca del concreto patrón (10), lo que califica al material como "de baja permeabilidad" según los estándares internacionales.

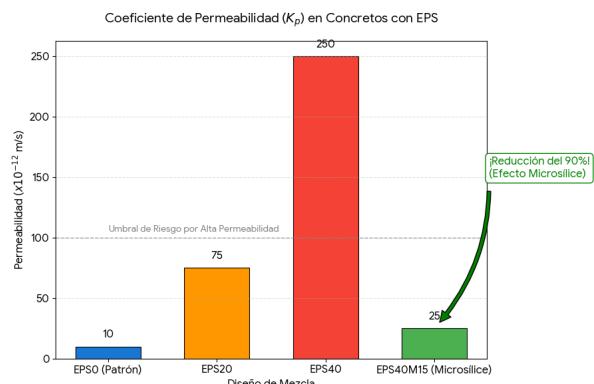


Figura 1: Coeficiente de Permeabilidad ( $K_p$ ). La microsílice reduce drásticamente la permeabilidad en la mezcla con 40 % de EPS.

## 4 Discusión

### 4.1 Mecanismo de Densificación de la ITZ

El éxito de la mezcla EPS40M15 se atribuye al .Efecto Fillerz a la reacción puzolánica de la microsílice. Las partículas nanométricas de sílice se alojan en la superficie de las perlas de EPS, llenando los huecos microscópicos que el cemento

no puede ocupar. Al hidratarse, reaccionan con el hidróxido de calcio (portlandita) para formar gel C-S-H adicional, sellando la interfase hidrofóbica. Esto transforma la "debilidad" del EPS (su superficie lisa) en una unión hermética.

#### 4.2 Implicaciones para la Vida Útil

Un concreto con alta permeabilidad (como el EPS40) permitiría el paso de humedad hacia el interior de la vivienda, causando moho, eflorescencias y corrosión del acero de refuerzo. La mezcla optimizada EPS40M15 garantiza que, a pesar de ser ligera, la envolvente de la vivienda actuará como una barrera efectiva contra la lluvia y la humedad ambiental, asegurando una durabilidad superior a los 50 años típica de estructuras de concreto armado.

### 5 Conclusiones

1. La incorporación de altos volúmenes de EPS (40 %) sin adiciones minerales incrementa la permeabilidad del concreto en un 2400 % respecto al patrón, volviéndolo vulnerable al ingreso de agua.
2. La adición de un 15 % de microsílice demostró ser una estrategia correctiva altamente eficaz, reduciendo la permeabilidad en un \*\*90 %\*\* (de  $250 \times 10^{-12}$  m/s) en concretos con alto contenido de EPS.
3. Se valida que es técnicamente posible producir un concreto ligero térmico que sea simultáneamente impermeable y durable, apto para exposiciones en exteriores y climas lluviosos, siempre que se incorpore una adición puzolánica reactiva como la microsílice.

### Referencias

1. UNE-EN 12390-8. *Ensayos de hormigón endurecido. Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión.*

2. Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. McGraw-Hill Education.
3. ACI Committee 201. (2008). *Guide to Durable Concrete (ACI 201.2R-08)*. American Concrete Institute.
4. Remesar, J., et al. (2017). *Assessing and understanding the interaction between mechanical and thermal properties in concrete*. Construction and Building Materials.