

CONCRETO LIGERO TÉRMICO CON EPS Y MICROSILOXANO: ALTERNATIVA PARA MEJORA DEL CONFORT TÉRMICO Y REDUCCIÓN DE DEMANDA ENERGÉTICA EN VIVIENDA SOCIAL

Martínez Otiniano, Raúl Andree
e-mail: raul.martinez.o@uni.pe
Chira Huaman, Claudia Johana
e-mail: claudia.chira.h@uni.pe
Ticona Farfán, Pablo Aldair
e-mail: pablo.ticona.f@uni.pe
Segura Romero, José Fabián
e-mail: jose.segura.r@uni.pe

Grupo estudiantil: American Concrete Institute – UNI
Docente asesor: Mg. Ing. Carlos Alberto Villegas Martínez

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Civil

RESUMEN: El presente estudio evalúa un concreto ligero térmico elaborado con perlitas de poliestireno expandido (EPS) como reemplazo volumétrico del árido grueso y microsilice como adición mineral para mejorar su desempeño mecánico. Se diseñaron mezclas autocompactantes con diferentes porcentajes de EPS y se elaboraron probetas cilíndricas y paneles 30×30×5 cm. Los ensayos realizados incluyeron resistencia a compresión a 3, 8, 16 y 28 días, densidad aparente, permeabilidad y comportamiento térmico bajo radiación. Los resultados muestran una reducción significativa de la densidad y una mejora en la atenuación térmica de los paneles con EPS respecto al concreto convencional, manteniendo resistencias adecuadas para elementos estructurales. El estudio demuestra la viabilidad del concreto ligero con EPS como alternativa para mejorar el confort térmico y promover la reutilización de residuos en vivienda social.

Palabras clave: Concreto ligero, EPS, aislamiento térmico, vivienda social y eficiencia energética,

1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de concretos con baja conductividad térmica y baja densidad es una línea de investigación con fuerte impacto en eficiencia energética y sostenibilidad de la edificación. La incorporación de agregados aislantes como EPS y el uso de fillers minerales (microsilice) han mostrado reducir la conductividad térmica y mantener prestaciones mecánicas razonables. Este proyecto plantea una solución práctica y reproducible en 30 días, apoyando la valorización

de EPS residual y la manufactura de paneles prefabricados con mejor comportamiento térmico.

2 PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

En contextos urbanos y rurales del Perú, el confort térmico en la vivienda influye directamente en la demanda energética y bienestar de las familias. Las soluciones actuales (aislamientos orgánicos o mayor espesor de muros) pueden ser costosas o poco sostenibles. Además, EPS residual de actividades universitarias y construcción es un residuo con bajo aprovechamiento. Existe la necesidad de una mezcla de concreto que: aproveche EPS sobrante, reduzca conductividad térmica de elementos constructivos, y ofrezca resistencias adecuadas para elementos no estructurales/paneles prefabricados con implementación inmediata por la industria local.

Impacto en Ingeniería Civil: ahorro de energía en edificación, reducción de cargas muertas (ahorro en estructura y cimentación), y valorización de residuos — aspectos alineados con agendas de sostenibilidad y políticas de vivienda social.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar y validar, en 30 días, una mezcla de concreto ligero basada en EPS y microsilice que mejore el aislamiento térmico de paneles constructivos manteniendo resistencia adecuada para aplicaciones no estructurales.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Medir densidad aparente y resistencia a compresión a 3, 8, 16 y 28 días para las mezclas seleccionadas.

Determinar absorción y coeficiente de sorptividad como indicadores de transporte de humedad (ensayos de permeabilidad).

Evaluar el desempeño térmico de paneles 30×30×5 cm mediante el método de la aguja térmica (hot wire/sonda de hilo caliente)

Seleccionar la mezcla óptima y proponer recomendaciones de uso en prefabricación para vivienda social.

4.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el presente trabajo de investigación, se realizaron cuatro diseños de mezcla:

Una mezcla patrón (PS0), se diseñó con las características de un concreto convencional; otras dos mezclas (PS20 y PS40), se diseñaron con porcentajes de reemplazo del agregado grueso en 20 y 40% respectivamente por EPS; y la última mezcla (EPS40M15) se diseño con un reemplazo del agregado grueso por 40% de EPS, pero reemplazando también 15% del cemento por microsilice. Para todos los casos, la relación agua/cemento fue de 0.50 con adición de un aditivo superplastificante al 1% en peso del cemento.

Se presenta un resumen en la Tabla 1, donde se detallan las proporciones de cada material en la mezcla de concreto.

4 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

Tabla 1. Diseños de mezclas en kg para 1m³ de concreto

Material	EPS0	EPS20	EPS40	EPS40M15
Cemento	400.00	400.00	400.00	340.00
Microsilice	-	-	-	60.00
Agua	210.25	209.11	207.97	207.87
Grava	844.10	675.28	506.46	500.14
EPS	-	1.90	3.80	3.75
Arena	905.54	905.54	905.54	894.24
Plastificante	4.00	4.00	4.00	4.00

4.2 MÉTODOS PROCEDIMIENTO

Y

4.2.2 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA

Previamente, se tamizó el cemento y la microsilice a utilizar (15% respecto al peso del cemento), por la malla N°30. Esto para desechar las partículas retenidas, dado que estas ya se humedecieron y tuvieron su proceso de reacción.

Luego, se empezó a diseñar cada mezcla ligera para vaciar en un día las 4 mezclas. Para ello, se consideraron las proporciones indicadas en la Tabla 1.

Primero, se pesaron las cantidades requeridas de cemento, agua, agregado grueso, agregado fino, microsilice, y aditivo superplastificante.

4.2.1 PREPARACIÓN DEL EPS

En primer lugar, se procedió a realizar unos tratamientos previos al aserrín para mejorar su compatibilidad con la pasta de cemento. Esto consiste en la separación por tamaños, tamizándola por la malla N° 8 (2.36 mm) y lo retenido en dicha malla se extrajo para ser usado directamente en la mezcla, asegurando partículas del mismo tamaño en la mezcla y una mejor distribución.

El protocolo de mezclado debe considerar dos aspectos fundamentales: la secuencia de colocación de los materiales y el tiempo de mezclado.

Respecto a la secuencia de mezclado, no es recomendable colocar el material cementante al inicio ya que esto no permitirá un correcto mezclado de los finos producto de su aglomeración (Yataco, 2022). Asimismo, es de suma importancia definir el momento en el cual se deben adicionar los aditivos. Según Domone y Jin (1999), para poder aprovechar al máximo el desempeño de los aditivos, se recomienda adicionarlos luego de 30 segundos a 2 minutos del contacto agua – cemento.

Finalmente, se siguieron las recomendaciones previamente detalladas, así como también las experiencias prácticas en el laboratorio donde se va ajustando el protocolo de mezclado final, el cual se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Protocolo de mezclado del concreto

Secuencia de mezclado	Tmezclado (min)
A.F. (100%) + Agua (15%)	1.00
A.G. (100%) + Agua (15%)	1.00
Cemento (100%) + Agua (50%)	1.00
Microsílice (100%)	1.00
Aditivo (100%) + Agua (10%)	2.00
Mezclado de materiales	8.50
Reposo de mezcla	1.50
Agua (10%)	2.00
Descarga del concreto	0.50



Figura 1. Mezcla lista dentro de la betonera

4.2.3 MOLDEO DE LOS ESPECÍMENES

Se utilizaron moldes de plástico normalizados de 4*8 pulgadas para las probetas cilíndricas destinadas para los ensayos de resistencia a la compresión; de 6*12 pulgadas para las probetas cilíndricas para los ensayos de permeabilidad, y moldes prismáticos fabricados de 30*30*5 cm a base de Triplay Fenólico Film Ecopanel de 18 mm de espesor.



Figura 2. Moldes para muestras cilíndricas y muestras placas

Previamente, se untó superficialmente el interior de los moldes con desmoldante a base de aceite, esto para permitir un desmolde más sencillo y que las muestras no presenten vacíos superficiales. Luego, las mezclas fueron introducidas a los moldes cuidadosamente, siguiendo el moldeo especificado en la norma peruana. Para las probetas cilíndricas de 4*8 pulgadas, se realizaron en dos capas y 25 apisonadas con la varilla entre cada capa, además de golpes a los lados con martillos de goma; para las cilíndricas de 6*12 pulgadas fue el mismo procedimiento anterior solo que en tres capas; y para las placas, se realizaron en dos capas y 60 apisonadas debido a que por cada 15 cm² de área es una apisonada. Al final de llenar los moldes, se deben enrasar bien y limpiar los bordes para evitar roturas en el desmolde, luego se dejarán secar en una superficie completamente nivelada por 24 horas, tiempo en el cual ocurrirá el fraguado óptimo para luego pasar a curado.



Figura 3. Placa de diseño patrón (EPS0)

4.2.4 DESMOLDE DE LOS ESPECÍMENES

Luego del paso de las 24 horas, que es el tiempo esperado de fragua para las muestras, se procedió a desmoldarlos. Las muestras cilíndricas se desmoldaron con una compresora de aire, introduciendo el aire por la abertura que propiamente tiene el molde; y los moldes prismáticos solo se desarmaron para recuperar las muestras.



Figura 4. Muestras cilíndricas de 4*8 pulgadas

4.2.5 CURADO

Una vez fabricados y desmoldados los especímenes, se procedió a dejarlos en curado en una poza con una solución de agua y cal a una concentración de 2 g/L y dejarlos por el tiempo determinado para sus próximos ensayos.

4.3 ENSAYOS REALIZADOS

Cada grupo de seis muestras cilíndricas de 4*8 pulgadas fueron ensayadas a compresión a los 3, 8, 16 y 28 días; las muestras cilíndricas de 6*12 pulgadas y los paneles fueron ensayados a los 28 días.

4.3.1 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

Este ensayo se realizó de acuerdo con el procedimiento establecido en la NTP 339.046.

El ensayo consistió en llenar un recipiente normalizado (olla washington) y determinar el peso del concreto sin el peso del recipiente y dividirlo entre el volumen del recipiente.

4.3.2 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Este ensayo se realizó de acuerdo con el procedimiento establecido en la NTP 339.034.

Se retiran las probetas del curado dejándolas secar por un tiempo determinado hasta que su superficie esté seca para evitar variaciones en su peso. Luego, determinamos el peso y las dimensiones de diámetro y altura de las probetas para luego realizar el cálculo de la resistencia a la compresión que presentan. Se introducen en la

máquina de ensayo y se anota el valor de la carga soportada.



Figura 5. Ensayo de compresión

4.3.3 DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD

El ensayo de permeabilidad del concreto al agua, regido principalmente por la norma UNE-EN 12390-8, mide la capacidad de resistencia del material a la penetración de fluidos bajo presión. El procedimiento para probetas cilíndricas estándar (15x30 cm) implica curarlas durante 28 días, instalar la muestra en un aparato sellado y aplicar una presión hidrostática de 0.5 MPa sobre una de sus caras durante 96 horas. Transcurrido este tiempo, la probeta se retira y se rompe por la mitad (ensayo brasileño) para medir visualmente la profundidad máxima de penetración del agua, registrando el resultado en milímetros. Una menor profundidad de penetración indica un concreto más denso, menos permeable y, por ende, más durable.

4.3.4 DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La conductividad térmica se determinó mediante el método de la Aguja Térmica siguiendo ASTM D5334. Cada panel se acondicionó a temperatura controlada y se perforó un orificio guía para insertar la sonda a media profundidad. Tras estabilizar la temperatura inicial, el equipo aplicó un flujo de calor constante durante algunos segundos y registró el aumento de temperatura en función del logaritmo del tiempo. Con la pendiente de la curva obtenida, el equipo calculó automáticamente la conductividad térmica. Se efectuaron mediciones en varios puntos del panel, verificando la estabilidad de las lecturas y la repetibilidad del ensayo.

5 RESULTADOS

Luego de ensayar las probetas, obtuvimos los valores de las propiedades físicas y mecánicas de las muestras. Estos se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados de los ensayos en las muestras

Diseño	ρ (kg/m ³)	f'_c (kgf/cm ²)	k (W/mK)	k_p ($\times 10^{-12}$ m/s)
EPS0	2490	480	1.45	10
EPS20	2370	450	1.05	75
EPS40	2200	220	0.72	250
EPS40M15	2160	300	0.65	25

Asimismo, se obtuvieron gráficas de comparación entre las propiedades mecánicas de todas las diseños. Esto permitió evaluar la influencia del EPS en proporción en la resistencia a la compresión, permeabilidad y conductividad térmica.

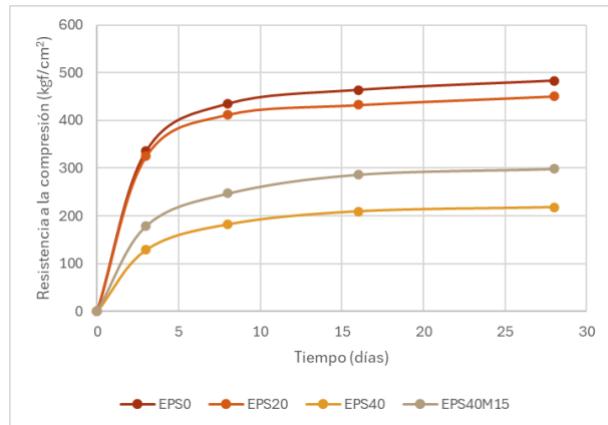


Figura 6. Gráfica del desarrollo de f'_c de los diseños

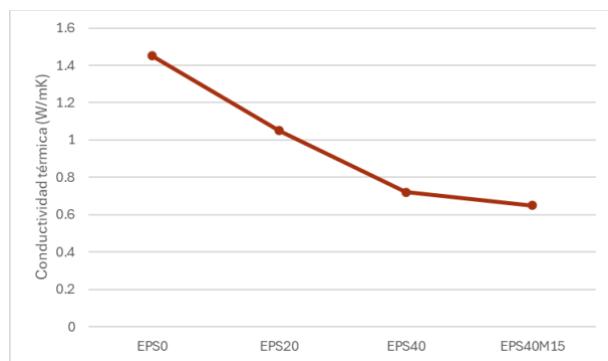


Figura 7. Conductividad térmica de las muestras

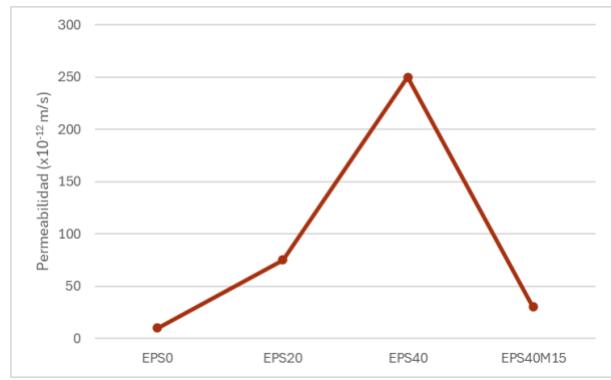


Figura 8. Permeabilidad de las muestras

6 CONCLUSIONES

El estudio permitió evaluar el comportamiento mecánico, térmico y de permeabilidad de paneles de concreto ligero fabricados mediante el reemplazo volumétrico del agregado grueso por perlitas de EPS, así como el efecto de la incorporación de microsílice como adición mineral. Los resultados mostraron que la densidad disminuyó proporcionalmente al incremento de EPS, confirmando la eficiencia del aligeramiento: desde 2490 kg/m³ en la mezcla control hasta 2160 kg/m³ en la mezcla con 40% de EPS y microsílice. La resistencia a compresión evidenció una tendencia decreciente con el aumento de EPS; sin embargo, a 20% de reemplazo la reducción fue mínima respecto al control, lo que demuestra que es posible obtener concretos ligeros con buen desempeño mecánico. Para 40% de EPS, la resistencia disminuyó significativamente, pero la adición de 15% de microsílice mejoró la cohesión de la matriz y permitió una recuperación notable del valor final.

En cuanto al comportamiento térmico, la conductividad disminuyó de forma constante conforme aumentó la cantidad de EPS, alcanzando los valores más bajos en las mezclas con mayor contenido de EPS, lo que confirma el aporte aislante del material. La incorporación de microsílice no revirtió esta reducción, por lo que el beneficio térmico se mantuvo aun con una matriz más densa. En términos de permeabilidad, los resultados mostraron incrementos claros conforme aumentó el contenido de EPS, asociados a la mayor porosidad y a la continuidad de vacíos; no obstante, la mezcla con microsílice presentó una disminución importante de este parámetro respecto a la mezcla con 40% EPS sin adición, indicando que la microsílice es efectiva reduciendo la conectividad capilar y mejorando la durabilidad potencial del material. En conjunto, los resultados confirman que

el uso controlado de EPS permite obtener concretos más ligeros y térmicamente eficientes, y que la microsílice puede compensar parcialmente las pérdidas de desempeño mecánico y de durabilidad generadas por altos porcentajes de reemplazo.

7 RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos, se recomienda emplear porcentajes moderados de EPS, particularmente el 20% de reemplazo volumétrico del agregado grueso, cuando se busquen concretos ligeros que mantengan una resistencia adecuada y presenten mejoras apreciables en el desempeño térmico. Para aplicaciones donde se priorice la reducción de conductividad térmica y peso por encima del desempeño mecánico, es viable la incorporación de 40% de EPS; sin embargo, estas mezclas deben destinarse a elementos no estructurales de alta resistencia. En situaciones donde se requiera mejorar la durabilidad o controlar la permeabilidad en concretos con porcentajes elevados de EPS, se recomienda la inclusión de microsílice en torno al 15%, ya que demostró reducir significativamente la permeabilidad y mejorar la cohesión interna del material.

Finalmente, se sugiere que, para futuras investigaciones, se amplíe el estudio hacia ciclos de exposición ambiental y evaluación a largo plazo del desempeño térmico y de permeabilidad, con el fin de establecer criterios más robustos para el uso de estos materiales en envolventes arquitectónicas y elementos de cerramiento. Asimismo, sería conveniente analizar el comportamiento estructural de paneles con mayor contenido de EPS y microsílice, considerando su posible aplicación en sistemas constructivos industrializados.

8 REFERENCIAS

ASTM D5334 Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity

Domone, P., & Jun, J. (1999). Properties of mortar for self-compacting concrete. 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete. https://www.researchgate.net/publication/291062905_Properties_of_mortar_for_self-compacting_concrete

Heidrich, M. C.; Müller, K. (2019). Development of thermal insulating concrete for improved energy efficiency of buildings. Journal of Building Engineering.

Mater Builders Solutions (2021). *Ficha Técnica: MasterEase 3900*. <https://assets.master-builders-solutions.com/es-pe/masterease%203900.pdf>

NTP 339.033 (2009) Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto

NTP 339.046 (2008) Método de ensayo para determinar la densidad, rendimiento y contenido de aire del concreto

NTP 339.034 (2015) Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas

Oktay, H.; Yumrutaş, R.; Akpolat, A. (2015). Mechanical and thermophysical properties of lightweight aggregate concretes. Construction and Building Materials.

Song, J. K. (2017). Thermal properties and microstructure of concrete with EPS beads for building energy saving. Energy and Buildings.

Unión Andina de Cementos UNACME (2012). *Ficha técnica: Cemento Sol Tipo I*: https://cementosol.com.pe/img/Ficha_Cemento_Sol.pdf

UNE-EN 12390-8 Profundidad de penetración de agua bajo presión

Remesar, J.; Vera, S.; López, M. (2017). Assessing and understanding the interaction between mechanical and thermal properties in concrete. Construction and Building Materials.

Yataco, J. M. (2022) Diseño de concretos autoconsolidantes de alta resistencia inicial para pavimentos rígidos con M.R. > 40 kg/cm².