



Concreto celular con espuma preformada y agregados ligeros

Cellular concrete with preformed foam and lightweight aggregates

Hugo U. Martínez Canales ¹, Eddisson F. Hernández ^{2*}, Analy Meneses Meneses ¹

¹ Instituto Tecnológico de Pachuca. Licenciatura de Arquitectura. Programa Delfín. Pachuca de Soto, México.

² Universidad Nacional de Ingeniería. Dirección de Investigación. Managua, Nicaragua.
*eddison.hernandez@ies.uni.edu.ni

(recibido/received: 28-junio-2023; aceptado/accepted: 14-agosto-2023)

RESUMEN

El propósito de este trabajo es desarrollar mezclas de concreto celular empleando espuma preformada y agregados ligeros, para la elaboración de bloques de concreto de acuerdo con lo indicado en la Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense. Se elaboraron seis mezclas de concreto, conteniendo cal, piedra pómez y fibra de polietileno, además de espuma fabricada a partir de una disolución presurizada de Texapon N70 con agua. Se elaboraron especímenes cúbicos y cilíndricos, los cuales fueron curados en húmedo y ensayados para conocer su resistencia a la compresión a los 28 días. Los resultados indican que la naturaleza de los agregados, así como el contenido de espuma en las mezclas influyó en sus densidades. Se observó que el porcentaje de material cementante usado es directamente proporcional a su resistencia final. Los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión son comparables con los requerimientos mínimos indicados en la norma para bloques estructurales, además de servir como aislante térmico y acústico gracias a su alto porcentaje de vacío.

Palabras claves: Concreto celular; Bloque estructural; Agregado ligero; Resistencia a la compresión, Espuma preformada.

ABSTRACT

The aim of this work is developed cellular concrete mixtures using preformed foam and lightweight aggregates, for the production of concrete blocks in accordance with the indicated in the Nicaraguan Mandatory Technical Standard. Six concrete mixtures containing lightweight aggregates like lime, pumice and polyethylene fiber were made; furthermore, foam made out of a pressurized dissolution of Texapon N70 in water. Cubes and cylindric specimens were cast and moist-cured for 7 days, and tested to know their compressive strength at 28 days. The results show that the nature of the aggregates, as well as the foam content in the mixtures influenced their densities. It was observed that the percentage of cementing material used is directly proportional to its final strength. The results obtained for compressive strength were comparable to the minimum requirements indicated in the standard for structural blocks, in addition to serving as thermal and acoustic insulation thanks to its high percentage of voids.

Keywords: Cellular concrete; Structural block; Lightweight aggregate; Compressive strength; Pre-formed foam.

1. INTRODUCCIÓN

En Nicaragua, como varios otros países, en los últimos años se ha registrado un aumento en el costo de materiales de construcción, tales como cemento, arena, acero, entre otros (INID, 2022) situación que ha traído consigo el surgimiento de sistemas constructivos alternativos más asequibles. De igual manera, las temperaturas tan variables y extremas que se experimentan hoy en día, producto del cambio climático (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2019), demandan que se diseñen y construyan espacios altamente aislantes que puedan retener el calor en épocas de frío y brinden frescura en los días de calor. Materiales que pueden ser empleados en cualquier región del planeta, ya sea fría o cálida, donde se requiera de esta propiedad para lograr un confort higrotérmico para sus usuarios (CORFO, 2016).

En este contexto, surgió el concreto celular hace más de 70 años, que es un concreto aligerado mediante la incorporación de aire o gases que generan una serie de vacíos en su estructura interna para así reducir su densidad. Al ser un material poroso, tiene una menor resistencia a la compresión que el concreto convencional, pero una mayor capacidad aislante tanto térmica como acústica (Nensok *et al.*, 2021), debido a que las burbujas de aire contenidas en su interior absorben las ondas sonoras y retardan la transferencia térmica entre dos medios con un gradiente de temperatura entre ellos (CORFO, 2016).

El concreto celular es un tipo de concreto ligero cuyo peso volumétrico en seco debe ser menor a 2000 kg/m³ (Soudais *et al.*, 2018). Éste es, en esencia, un concreto generado a partir de la inclusión de burbujas de aire o gas en una matriz cementante (Nensok *et al.*, 2021). La inclusión de las burbujas se hace al agregar un agente aerante a la mezcla mediante procesos mecánicos o químicos. En el caso de los concretos celulares generados por procesos mecánicos, el agente aerante se puede agregar sin preparar (es decir, que el mismo proceso de mezclado generará los vacíos), o bien, ya preparado. A este último se denomina “pre-formed foam” al agente aerante y por lo general es un espumante que se revuelve con la mezcla (Soudais *et al.*, 2018). En cambio, los concretos celulares generados a partir de procesos químicos se les incorpora un compuesto que reacciona en contacto con los compuestos de la matriz cementante formando burbujas de algún gas que quedan atrapadas durante el proceso de mezclado. Algunos ejemplos de dichos compuestos son el aluminio metálico (Al) y zinc (Zn) que forman un gas llamado dihidrógeno (H₂) (Fabien *et al.*, 2019).

El concreto celular por su particular condición de tener una menor concentración y mayor dispersión de sus diferentes agregados, a su vez tiene un bajo calor de hidratación y por ende su fraguado (proceso por el que alcanza su máxima resistencia) es más tardado. Por ello, se suele someter a un proceso de fraguado acelerado en autoclave a 180 °C y 1 MPa (Sinica *et al.*, 2012).

Debido a sus características físicas, en algunos estudios se ha propuesto como material para la elaboración de bloques (Ramírez Crescencio *et al.*, 2020), los cuales, si bien facilitan la construcción por su bajo peso, no cumplen con las normativas que demandan los bloques estructurales, limitando su uso a la elaboración de elementos decorativos o cerramiento de espacios.

El objetivo de este trabajo es desarrollar una mezcla de concreto celular con agregados ligeros (piedra pómez) o fibras (polietileno) y evaluar sus propiedades físico-mecánicas, para su potencial uso en la elaboración de bloques de concreto de conformidad con lo establecido en la norma técnica obligatoria nicaragüense NTON 12 008-09 (NTON, 2009).

2. METODOLOGÍA

2.1 Investigación y recopilación de información

Se revisó bibliografía diversa, tales como artículos científicos y trabajos de grado para conocer sobre el concreto celular y los procesos de diseño de mezclas de concreto (Kosmatka *et al.*, 2004).

2.2 Materiales

Se empleó cemento hidráulico Portland gris de uso general (GU) marca CEMEX en concordancia con la norma NTON 12 006-11 (NTON, 2011) y ASTM C1157 (ASTM, 2003a); y cal hidratada como agente cementante débil.

Tabla 1. Caracterización del cemento

Cemento	Peso específico (gr/cm ³)	Tiempo de fraguado inicial (min)	Tiempo de fraguado final (min)
Cemento hidráulico Portland gris de uso general (GU) marca CEMEX	2.84	168	270

Fuente: (Hernández, 2021)

Para el desarrollo de los experimentos se utilizó arena de río de granulometría fina y de la Mina Mostatepe. Por su parte, la piedra pómez tenía una granulometría mayor, sin llegar a exceder los 3/8”.

Tabla 2. Propiedades físicas de los agregados

Propiedades	Arena Mostatepe	Piedra pómez
Tamaño máximo de agregado (mm)	-	9.5
Densidad volumétrica (kg/m ³)	1491	755
Gravedad específica	2.82	1.33
Absorción de agua (%)	6.18	30.39
Módulo de finura	3.01	3.53

Fuentes: (Hernández, 2021; Arce Ruiz et al., 2009)

La caracterización de los agregados se realizó de acuerdo con lo indicado en las normas ASTM C29, ASTM C33, ASTM C70, ASTM C127, ASTM C128 y ASTM C566 (ASTM, 2003a).

Para la espuma se utilizó el compuesto denominado Texapon N70 como agente espumante, y como superplastificante SikaFluid, el cual cumple con la norma ASTM C494-05, como aditivo tipo F (ASTM, 2005). La fibra de polietileno utilizada se obtuvo a partir de mecate plástico cortado en secciones máximas de 4 mm de longitud.

2.3 Preparación, mezclado y curado de especímenes

Mezclas preliminares

Se realizaron tres mezclas preliminares (M1, M2 y M3) (Tabla 3), que fueron empleadas para la elaboración de bloques sólidos de 12 cm x 25 cm x 60 cm. A los 28 días de edad se procedió a extraer cubos de 5 cm x 5 cm x 5 cm. De la mezcla M1 se obtuvieron tres especímenes, de la mezcla M2 cuatro y de la mezcla M3 dos.

Tabla 3. Proporciones para la elaboración de 1m³ de concreto

Componente	M1	M2	M3
Cemento (kg):	385.00	325.00	367.00
Cal (kg):	-	48.50	-
Arena (kg):	615.00	523.00	681.00
Agua (L):	176.00	149.00	159.00
Espuma (kg):	23.50	23.50	23.50
agua/cemento (a/c)	0.46	0.46	0.43
Densidad (kg/m ³):	1199.50	1069.00	1230.50

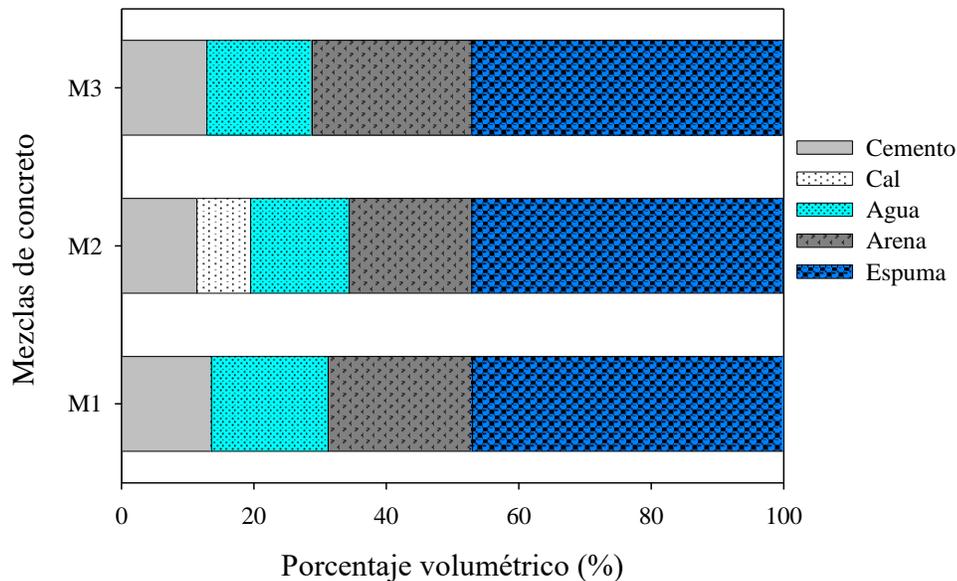


Figura 1. Porcentaje volumétrico de los componentes usados en las mezclas preliminares

Mezclas finales

Con base en lo observado en pruebas preliminares, se realizó una reformulación, dando lugar a tres nuevas mezclas (M4, M5 y M6) (Tabla 4). Se incorporaron nuevos materiales como piedra pómez, fibra de polietileno y aditivo superplastificante, con la finalidad de aligerar, dar mayor resistencia y aumentar la trabajabilidad de las mezclas. Para el caso de la cal, se le continuó agregando para compensar el lento fraguado inicial, sin necesidad de un proceso de autoclave.

Tabla 4. Proporciones para la elaboración de 1m³ de concreto

Componente	M4	M5	M6
Cemento (kg):	318.00	333.00	373.00
Cal (kg):	47.50	40.00	-
Arena (kg):	872.00	750.00	678.00
Piedra pómez (kg):	-	89.00	-
Agua (L):	147.00	233.00	124.00
Fibra de polietileno (kg):	-	-	0.80
Superplastificante (L):	2.80	-	2.50
agua/cemento (a/c)	0.46	0.70	0.33
Espuma (kg):	17.50	12.50	25.00

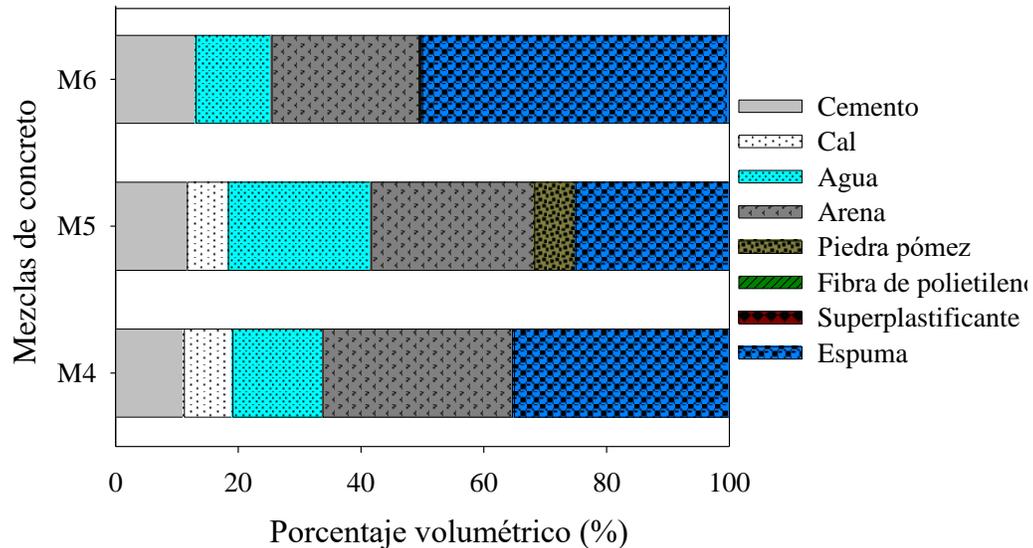


Figura 2. Porcentaje volumétrico de los componentes usados en las mezclas finales

De cada mezcla se llenaron seis probetas cilíndricas estandarizadas con medidas de 20 cm de altura por 10 cm de diámetro. El curado se realizó por siete días en húmedo y condiciones ambientales hasta la edad de prueba.

Para las pruebas de densidad aparente, porcentaje de absorción y porcentaje de vacíos en estado endurecido, se emplearon rodajas de concreto de 5cm de espesor. Para la prueba de espectroscopia con luz infrarroja (IR), se molió la muestra de concreto empleando acetona para evitar la contaminación en un mortero de porcelana hasta quedar obtener un polvo fino. Este polvo posteriormente fue tamizarlo en un tamiz No. 230. Para la prueba IR, las muestras fueron mezcladas individualmente con bromuro de potasio dentro de un mortero de ágata, para ser luego ser encapsuladas.

2.4 Velocidad de pulso ultrasónico

Los ensayos de Velocidad de Pulso Ultrasónico (VPU) se realizaron únicamente a las mezclas M1, M2 y M3. Se empleó un aparato de pulso ultrasónico marca Controls modelo 58-E4800 con transductores de 54KHz. El procedimiento se realizó según lo indicado en la norma ASTM C597 (ASTM, 2003a). El promedio de VPU para cada tipo de mezcla se obtuvo aplicando la fórmula (1).

$$VPU = \frac{l}{t} \quad (1)$$

Donde:

- VPU es la velocidad de pulso ultrasónico, dada en m/s.
- l , es la longitud del espécimen (m).
- t , es el tiempo de recorrido de onda (s).

2.5 Resistencia a la compresión

Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión a los 28 días de edad, por triplicado, empleando una prensa hidráulica marca ELE International modelo Accu-Tek 250 con capacidad de 10,000 PSI. A los valores obtenidos se les realizó la corrección por relación altura/diámetro conforme lo indicado en la norma ASTM C39 (ASTM, 2003b).

Con los resultados, se hizo un análisis comparativo entre las tres mezclas para determinar la más conveniente según sus características para desarrollar bloques estructurales con este material.

2.6 Densidad aparente, porcentaje de absorción y porcentaje de vacíos en estado endurecido

Se emplearon tres probetas de concreto de cada tipo de mezcla (M4, M5 y M6), con volumen aproximado de 392.7 cm³. El procedimiento se realizó según lo indicado en la norma ASTM C642-97 (ASTM, 1997).

2.10 Espectroscopia infrarroja (IR)

Se realizó ensayos de IR a las mezclas M4, M5 y M6, para identificar los productos de hidratación. Se empleó un espectrómetro FT-IR compacto de rango medio modelo ALPHA-T marca Bruker. El procedimiento de prueba se realizó según la norma ASTM E1252 (ASTM, 2013).

3. RESULTADOS

En la Tabla 5 se muestran los resultados de las densidades de las mezclas elaboradas. Se observa un aumento en la densidad a partir de la reformulación de las mismas, que está relacionada con su resistencia mecánica final.

Tabla 5. Densidades de las mezclas de concreto

Mezcla	Densidad (kg/m ³)
M1	902.808
M2	1068.107
M3	1009.021
M4	1620.651
M5	1428.833
M6	1683.264

En la Tabla 6 se observa que el valor de VPU de la mezcla M2 es mayor que el de la mezcla M1. El comportamiento de estos resultados es similar al observado en los valores de densidad.

Tabla 6. Velocidad de pulso ultrasónico de las mezclas de concreto

Mezclas	VPU (m/s)
M1	1151.0
M2	1350.50

En la Tabla 7 se muestran los resultados de densidad aparente, porcentaje de absorción, porcentaje de vacíos y contenido de humedad en estado endurecido de las mezclas M4, M5 y M6. Se observa que el porcentaje de vacíos es similar en las tres mezclas. La mezcla M5 presenta el mayor porcentaje de absorción y la menor densidad, esto debido a la capacidad de absorción de la piedra pómez incluida. El contenido de agua a la edad de prueba fue similar en todas las mezclas.

Tabla 7. Densidad aparente, porcentaje de absorción, porcentaje de vacíos y contenido de humedad en estado endurecido de las mezclas de concreto

Mezcla	Porcentaje de absorción (%)	Porcentaje de vacíos (%)	Densidad volumétrica seca (kg/m ³)	Contenido de humedad (%)
M4	27.03	39.01	1443.45	6.97
M5	31.22	40.35	1292.77	7.84
M6	25.48	39.34	1544.52	6.74

En la Tabla 8 se muestran los valores de resistencia a la compresión de las mezclas de concreto. Similar a lo observado en la densidad, la resistencia mecánica aumentó a partir de la reformulación de las mezclas. Las mezclas M6 fueron las que presentaron el mayor valor de resistencia (Figura 3), debido a la mayor cantidad de cemento y la menor cantidad de agua agregada, en comparación con el resto de mezclas.

Tabla 8. Resistencia a la compresión de las mezclas de concreto

Mezcla	Resistencia (kg/cm ²)	Desviación estándar (kg/cm ²)	Error (%)
M1	34.45	1.40	4.08
M2	60.22	6.53	10.85
M3	46.05	6.46	14.03
M4	87.10	5.24	6.01
M5	73.80	1.37	1.85
M6	143.85	1.74	1.21

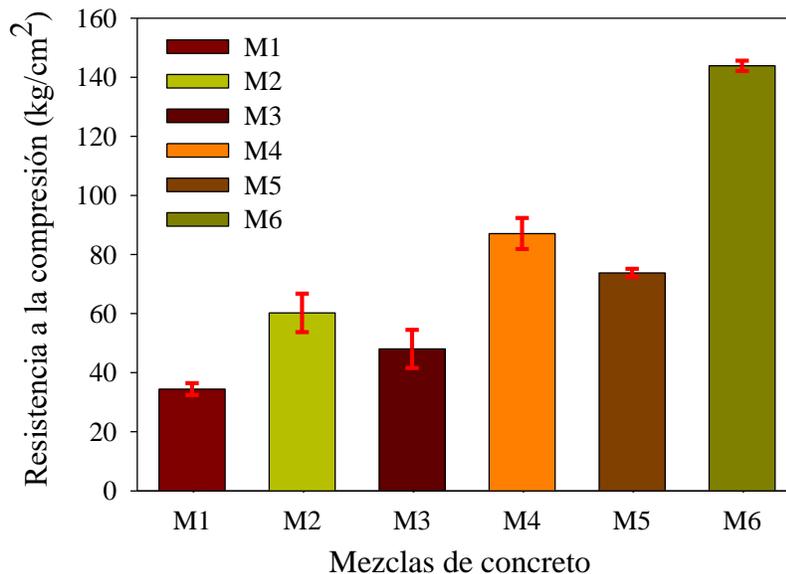


Figura 3. Resistencia a la compresión de mezclas de concreto elaborado. Las barras de error indican una desviación estándar

En la Figura 4 se muestra la correlación entre la densidad y resistencia a la compresión de las mezclas M4, M5 y M6; y en la Figura 5 la correlación entre su porosidad y resistencia. En la Figura 4 se observa que existe un buen coeficiente de determinación entre la densidad y la resistencia, R^2 de 0.80, indicando que al incrementar la densidad de las mezclas se incrementa su resistencia a la compresión (Mehta y Monteiro, 2006). Para el caso de la Figura 5, el coeficiente de determinación R^2 fue de 0.20. Esta baja correlación obtenida se debe a que el valor de la porosidad de las tres mezclas fue similar, mientras que la resistencia a la compresión fue distinta.

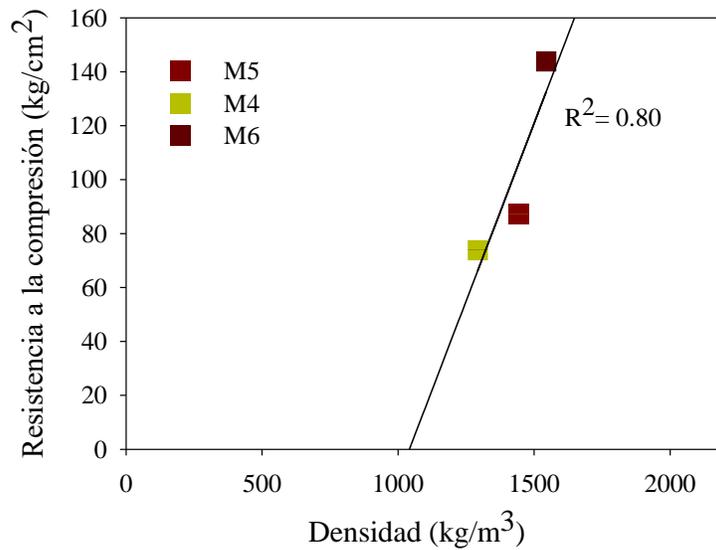


Figura 4. Correlación entre la densidad y resistencia a la compresión de las mezclas de concreto

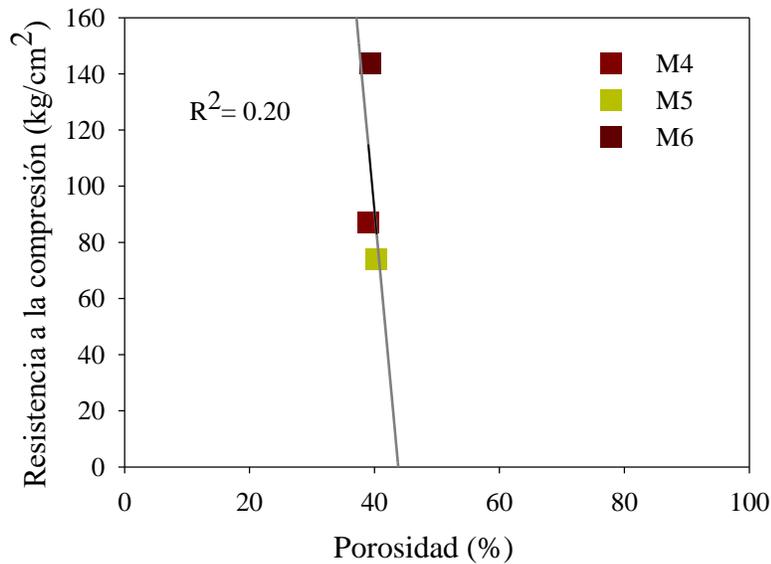


Figura 5. Correlación entre la porosidad-resistencia a la compresión de las mezclas de concreto

En la Figura 6 se presentan los espectros IR de las mezclas M4, M5 y M6, que muestran los principales compuestos formados durante el proceso de hidratación del cemento. Se observa que en la mezcla M5, el pico correspondiente a la Alita, es mayor en comparación con el resto de mezclas, indicando que hay una mayor cantidad de este material sin hidratar. La intensidad del pico de la calcita es más intenso en las mezclas M4 y M5, que en la mezcla M6, posiblemente por la incorporación de cal a estas mezclas. En la mezcla M4, se observa que el pico relacionado con los silicatos de calcio hidratados (CSH), es más intenso y definido que al resto de mezclas. Finalmente, en el pico relacionado con la Etringita, se observa que en la mezcla M6 fue de mayor intensidad.

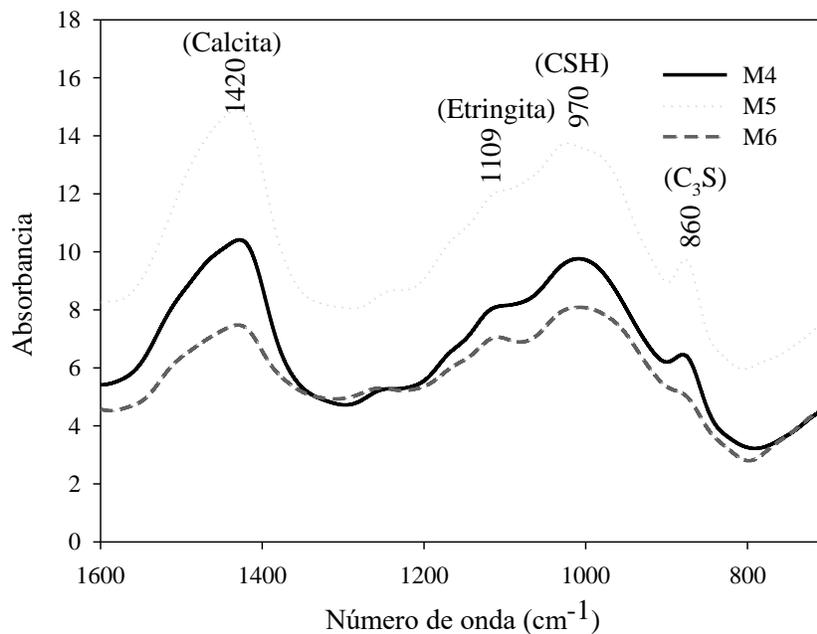


Figura 6. Espectros IR de las mezclas de concreto

4. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos se detallan las siguientes conclusiones:

- La mezcla M6 fue la que presentó el mayor valor de densidad y la M1 la menor. Los resultados de resistencia a la compresión indican que fueron afectados por esta propiedad física. El mayor valor obtenido fue el de la mezcla M6.
- Las mezclas M4, M5 y M6, presentaron porcentajes de vacíos similares. Sin embargo, la mezcla M5 muestra mayor porcentaje de absorción de agua en comparación con el resto de mezclas, como resultado de la piedra pómez agregada.
- La correlación entre los valores de densidad y resistencia a la compresión, indica que a mayor densidad es mayor la resistencia mecánica.
- Los espectros IR, indican que en las mezclas M4 y M5 hay una mayor formación de calcita, debido a la cal agregada. La mezcla M4 presentan una mayor formación de silicatos hidratados de calcio en comparación con el resto de mezclas, que mejora su resistencia mecánica. Esta mezcla presentó el segundo mayor valor de resistencia a la compresión.
- Los valores de resistencia a la compresión de las mezclas M4 y M6, cumplen con lo valores requeridos en la NTON 12 008-09, para su uso potencial en la fabricación de bloques estructurales tipo 2 y 1, respectivamente.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al MSc. Arq. Jairo Martínez Páramo, Vicerrector de Investigación y Desarrollo (VRID) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Especiales agradecimientos al Dr. Néstor López Irías de la Dirección de Investigación (DI) por el apoyo en la gestión de préstamo de los equipos e instalaciones empleadas para el desarrollo del proyecto, y al MSc. José Manuel Arcia Salmerón, por la colaboración técnica y valiosas contribuciones. Se agradece también al Ing. Miguel Fonseca, decano de la

Facultad de Tecnología de la Construcción (FTC), al MSc. Silvano Cruz, director de PIENSA, Ing. Onell Morales Cortéz, MSc. Johana Oconor y MSc. Rafaela Edic Guzmán.

REFERENCIAS

- ASTM. (1997). *Designation C642-97: Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete* (pp. 1–3).
- ASTM. (2003a). *Annual Book of ASTM Standards 2003*.
- ASTM. (2003b). *Designation C39/C39M-03: Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens* (pp. 1–7).
- ASTM. (2005). *Designation C494/C494M-05a: Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*.
- ASTM. (2013). *Designation E1252-98: Standard Practice for General Techniques for Obtaining Infrared Spectra for Qualitative Analysis* (Issue Reapproved, pp. 1–13). <https://doi.org/10.1520/E1252-98R13.2>
- CORFO. (2016). *Manual de (Re) Acondicionamiento Térmico* (F. Schepp Ferrada (ed.); Primera). El Sur Impresores.
- Fabien, A., Sebaibi, N., & Boutouil, M. (2019). Effect of several parameters on non-autoclaved aerated concrete: use of recycling waste perlite. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 0(0), 1–18. <https://doi.org/10.1080/19648189.2019.1647465>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2019). *Calentamiento global de 1,5 °C*.
- INID. (2022). *REPORTE DEL ÍNDICE DE PRECIOS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN (IPMC)*.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto* (Primera). Portland Cement Association.
- Mehta, K. P., & Monteiro, P. J. . (2006). Concrete - Microstructure, properties and materials. In *McGraw-Hill* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Nensok, M. H., Mydin, A. O., & Awang, H. (2021). Optimization of mechanical properties of cellular lightweight concrete with alkali treated banana fiber. *Revista de La Construcción*, 20(3), 491–511. <https://doi.org/10.7764/RDLC.20.3.491>
- NTON. (2011). *NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO* (Issue 243, pp. 6946–6949). La Gaceta Diario Oficial.
- Ramírez Crescencio, F., Parra Véjar, J., Loera Castañeda, V., & Aguilar Pérez, L. A. (2020). MANUFACTURE OF LIGHTWEIGHT PREFABRICATED PANELS EMPLOYING MINE TAILINGS. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(4), 1019–1025. <https://doi.org/10.20937/RICA.53648>
- Sinica, M., Sezemanas, G., Mikulskis, D., & Kligys, M. (2012). Journal of Environmental Engineering and Landscape Management Investigation of Sorption Properties in Crushed Autoclaved Aerated Concrete Waste. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 20(1), 67–75. <https://doi.org/10.3846/16486897.2012.662750>
- Soudais, P. R. N., Camacho, J. S., & Parsekian, G. A. (2018). Influence of transverse rebars on bond between steel reinforcement and cellular concrete with very low compressive strength. *Revista Ibracon de Estruturas e Materiais*, 11(3), 620–643. <https://doi.org/10.1590/S1983-41952018000300011>

SEMBLANZA DE LOS AUTORES



Hugo U. Martínez Canales: Estudiante de séptimo semestre de la Licenciatura en Arquitectura en el Instituto Tecnológico de Pachuca, donde actualmente es secretario general del capítulo estudiantil de su carrera. Ha participado en proyectos de investigación sobre la línea de materiales nanoestructurados e hidrocromáticos aplicados como recubrimientos inteligentes y la incorporación de fibras naturales como revestimiento en mobiliario interior. Sus intereses de investigación abarcan arquitectura vernacular, diseño bioclimático, re-arquitectura y materiales de construcción.



Eddisson F. Hernández: Investigador de la Dirección de Investigación, Universidad Nacional de Ingeniería. Obtuvo el grado de Arquitecto e Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua, y los grados de maestría y doctorado en el Instituto Politécnico Nacional de México. Ha realizado estancias de investigación en la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad Marista de Querétaro. Sus intereses de investigación incluyen la ciencia y tecnología de materiales base cemento, así como la corrosión del acero de refuerzo en estructuras de concreto.



Analy Meneses Meneses: Estudiante de décimo semestre desarrollando de la Licenciatura en Arquitectura en el Instituto Tecnológico de Pachuca, con especialidad en diseño de interiores. Acreditación en Diplomado sobre Sistemas Constructivos en la Escuela de Arquitectura y Diseño de la Universidad La Salle. Actualmente miembro del Programa Interinstitucional para el Fortalecimiento de la Investigación y el Posgrado del Pacífico, realizando una estancia de investigación en la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua.