

Análisis de las propiedades acústicas de tabicón para uso no estructural elaborado con residuos de Noryl

Analysis of the acoustic properties of non-structural bricks made from Noryl waste

Maciel Vega-Vázquez ^a, Ulises Josué Oaxaca-Villegas  ^{a*}, Laura Angélica Lancón-Rivera  ^b, Uriel Victoria-Martínez  ^b, Iván Erick Castañeda Robles  ^a, Valeria Volpi-León  ^a Susana Deyanira Flores-Pérez  ^a

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

^b Departamento de Procesos y Técnicas de Realización, División de CAD de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, CDMX, México.

^b Departamento de Electrónica, División de CBI, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, CDMX, México.

Resumen

El confort acústico en edificaciones es un factor que impacta en la calidad de vida de las personas, al procurar las mejores condiciones de bienestar sonoro en el espacio habitable, situación que está intrínsecamente relacionada con los materiales que confinan dichos espacios. Por otro lado, la incorporación de residuos industriales en elementos constructivos ofrece una alternativa sostenible para mejorar las características de dichos elementos. En este estudio se diseñaron tabicones elaborados con residuos industriales de Noryl con el objetivo de analizar su comportamiento con respecto a sus propiedades acústicas para determinar su efectividad en términos de aislamiento y/o acondicionamiento acústico. Se fabricaron especímenes modificados para evaluar su capacidad mecánica como elemento no estructural y, posteriormente, se sometieron a ensayos acústicos para determinar su eficacia en la reducción de ruido exterior. Los resultados cuantitativos confirmaron un desempeño mecánico adecuado según las normas mexicanas aplicables y un comportamiento acústico favorable para control de ruido en frecuencias del habla y componentes agudos.

Palabras Clave: Tabicón de uso no estructural, desecho de Noryl, Propiedades acústicas, Resistencia mecánica.

Abstract

Acoustic comfort in buildings is a factor that impacts people's quality of life by ensuring optimal sound quality in living spaces, a situation that is intrinsically related to the materials that confine the spaces. Furthermore, the incorporation of industrial waste into construction elements offers a sustainable alternative to improve their characteristics. In this study, bricks made from industrial Noryl waste were designed to analyze their acoustic properties to determine their effectiveness in terms of insulation and/or acoustic conditioning. Modified specimens were manufactured to evaluate their mechanical capacity as a nonstructural element and subsequently subjected to acoustic testing to determine their effectiveness in reducing external noise. The quantitative results confirmed adequate mechanical performance according to applicable Mexican standards and favorable acoustic behavior for noise control in speech frequencies and high-pitched components.

Keywords: Non-structural brick, Noryl waste, Acoustic properties, Mechanical resistance.

1. Introducción

De acuerdo con el informe sobre la situación mundial de los edificios y la construcción 2022 (United Nations Environment Programme, 2022). La industria de la construcción es responsable de aproximadamente el 40% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, se estima que el mercado global de la construcción crecerá un 42% para el año

2030, sumado a esto, la operación y uso de edificios existentes contribuye con el 69 % de las emisiones totales a lo largo de la cadena de valor de la construcción. La demanda energética de los edificios aumentó alrededor de un 4 % con respecto a 2020, alcanzando los 135 exajulios (EJ), el mayor incremento de los últimos 10 años. Las emisiones de CO₂ derivadas de la operación de los edificios alcanzaron un máximo histórico de alrededor de 10 Gt CO₂, lo que representa un aumento de

*Autor para la correspondencia: oa439602@uaeh.edu.mx (Ulises Josué Oaxaca Villegas),

Correo electrónico: ve441229@uaeh.edu.mx (Maciel Vega Vázquez), oa439602@uaeh.edu.mx (Ulises Josué Oaxaca Villegas), lalr@azc.uam.mx (Laura Angélica Lancón Rivera), uvm@azc.uam.mx (Uriel Victoria Martínez), ivan_castañeda@uaeh.edu.mx (Iván Erick Castañeda Robles), volpi@uaeh.edu.mx (Valeria Volpi León), fl365977@uaeh.edu.mx (Susana Deyanira Flores Pérez)

Historial del manuscrito: recibido el 08/08/2025, última versión-revisada recibida el 19/09/2025, aceptado el 26/10/2025, publicado el 05/12/2025
DOI: <https://doi.org/10.29057/icbi.v13iEspecial3.15666>



aproximadamente el 5 % con respecto a 2020 y un 2 % superior al pico anterior de 2019. Si bien, las políticas públicas globales incentivan la adopción de prácticas sostenibles en el sector de la construcción para alcanzar los objetivos como el Acuerdo de París, el sector de la construcción y los edificios existentes no están en vías de alcanzar la descarbonización y tenemos avances pequeños con el fin de cumplir criterios avanzados de sostenibilidad (Hamilton et al. 2024).

A nivel mundial, la construcción sostenible se ha vuelto una necesidad urgente, especialmente en los países en desarrollo, donde el crecimiento urbano acelerado y los desafíos ambientales hacen de México un caso prioritario de atención y acción. Los consumidores ahora buscan propiedades que no solo les ofrezcan confort, sino también una huella ecológica reducida (Herrera y Arias, 2023). La sostenibilidad, debe moldear la construcción de viviendas en el mundo, desde la utilización de materiales ecológicos hasta la implementación de nuevas tecnologías que optimizan el uso de residuos sólidos (Magaña, 2023, Ruiz y Mack-Vergara, 2023). Por ello es importante desarrollar proyectos innovadores que apunten a reducir el consumo energético, el uso de agua, sobreexplotación de bancos de materiales pétreos naturales y las emisiones de carbono.

Para combatir este desafío ambiental, es imperativo optimizar las propiedades de los materiales de construcción para satisfacer las necesidades del mundo moderno. Esto incluye abordar los requisitos funcionales y de confort, considerando también aspectos de sostenibilidad como la eficiencia energética y la reducción de las emisiones de CO₂ (Fatma, 2023). Actualmente, se presenta una gran oportunidad de optimización de algunas propiedades para la construcción mediante la incorporación de materiales destinados a vertederos como son los residuos sólidos. Así, varios artículos de revisión han analizado los efectos de diferentes incorporaciones en productos basados en desechos sólidos durante la última década. Gran parte de estas investigaciones proporcionan una visión global de los materiales alternativos con potencial sostenible en bloques de construcción para muros divisorios (Villagómez, 2024 y Bourbia, 2023). Otros estudios se enfocan específicamente en la incorporación de materiales naturales, como fibras vegetales, en busca de soluciones ecológicas y de bajo impacto (Adilson, 2024). En este contexto de exploración de nuevos compuestos, también resulta pertinente considerar materiales industriales como el Noryl, un termoplástico que combina poliestireno y polifenileno, ampliamente valorado por sus propiedades mecánicas y térmicas. Aunque tradicionalmente empleado en aplicaciones industriales (Sabic, 2025), el Noryl genera residuos cuyo manejo responsable abre una nueva vía de investigación orientada a su reutilización en productos de construcción no estructurales, contribuyendo así a la economía circular y a la sostenibilidad del sector.

A partir de esta perspectiva, la transformación de residuos sólidos de Noryl en sustitutos parciales de materiales pétreos representa una alternativa prometedora para la fabricación de bloques de concreto destinados a muros divisorios. Esta estrategia no solo contribuye a la reducción del volumen de residuos industriales, sino que también permite explorar nuevas composiciones que podrían mejorar ciertas propiedades del concreto, como su ligereza o su comportamiento frente a la transmisión sonora. Para validar su

viabilidad como material de construcción, es fundamental llevar a cabo una caracterización integral de los bloques elaborados, enfocándose principalmente en sus propiedades mecánicas como la resistencia a compresión y en su desempeño acústico, dada la función que desempeñan los muros divisorios en la compartimentación de espacios. La evaluación comparativa con bloques convencionales permitirá establecer el potencial de estos nuevos compuestos y su adecuación normativa, sentando las bases para su incorporación en aplicaciones constructivas sostenibles y funcionales.

Diversos estudios han evidenciado que la incorporación de materiales de desecho en mezclas de concreto y geopolímeros no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también mejoran propiedades como el aislamiento acústico y térmico. Otras investigaciones destacan que la adición de residuos como caucho, plástico, vidrio, cerámica y cenizas volantes en materiales compuestos con cemento pueden mejorar la absorción acústica y el aislamiento térmico mediante la generación de microporos y macroporos interconectados, optimizando la microestructura del concreto (Wijesinghe et al., 2025). En el ámbito de los geopolímeros, Villaquirán-Caicedo et al. (2022) evaluaron la incorporación de residuos orgánicos como poliestireno expandido (EP), corcho (CK) y caucho de neumáticos (RB) en porcentajes del 2, 4 y 6 % en geopolímeros a base de metacaolín. Los resultados mostraron que los compuestos con 4 % de EP y RB lograron resistencias a la compresión de 32 y 45 MPa, densidades aparentes de 1853 y 1922 kg/m³, conductividades térmicas bajas (0,316 y 0,344 W/mK) y coeficientes de absorción sonora de 0,70 y 0,50 a 500 Hz, evidenciando la viabilidad de su uso en paneles aislantes térmicos y acústicos, con un bajo impacto ambiental. En el caso del concreto de agregados preempacados reforzado con fibras (PAFRC), Alyousef et al. (2022) demostraron que la inclusión de fibras de polipropileno de desecho incrementa significativamente la resistencia a la tracción y el coeficiente de absorción acústica, alcanzando valores superiores al 60 % en frecuencias medias y altas, aunque con una ligera disminución en la resistencia a la compresión. Una investigación sobre el uso de caucho de neumáticos de desecho en elementos constructivos de concreto, como ladrillos, vigas y bloques huecos, evidenciaron que mezclas con 10 % y 20 % de caucho logran un aislamiento más eficiente frente a sonidos de baja frecuencia, mientras que las mezclas intermedias y estándar muestran un mejor desempeño ante frecuencias medias y altas (Fraile-García et al., 2016). En conjunto, estos hallazgos resaltan el potencial de los concretos y geopolímeros modificados con residuos para satisfacer simultáneamente criterios de eficiencia energética, confort acústico y sostenibilidad ambiental, consolidando su aplicabilidad en la construcción de edificaciones más funcionales y responsables con el medio ambiente.

A través de una revisión de diversas investigaciones, Feduik et al. (2021), recopilaron y analizaron datos acústicos de distintos tipos de concreto modificados (Figura 1), en muchos de los casos con la adición de residuos orgánicos o materiales reciclados, que al combinarse se ve modificada por ejemplo la porosidad y densidad del concreto, alterando a su vez propiedades acústicas como la absorción sonora, la reflexión sonora o la transmisión sonora.

La Figura 1 demuestra la relación entre el coeficiente de absorción y el de reflexión sonora. Cuando se tiene una baja absorción, la reflexión es alta y viceversa. En el caso del concreto normal, al existir poca porosidad, los valores de absorción son bajos y los de reflexión altos.

Tipos de concreto	Coeficiente máximo de absorción sonora	Coeficiente de reflexión sonora	Disminución máxima del nivel de sonido en frecuencias (Hz)
Concreto normal	0.05-0.10	alto	3,000-5,500
Concreto celular	0.15-0.75	bajo	250-2,500
Concreto espumado	0.13-0.50	bajo	100-2,000
Concreto con caucho granulado	0.30-0.70	medio	400-2,500
Concreto con poliuretano	0.08-1.0	bajo	150-1,400
Concreto con cenizas de fondo de carbón	0.05-0.31	medio	500-3,500
Concreto con fibras de coco	0.42-0.80	medio	1,250-3,200
Concreto con agregados reciclados	0.01-1.0	medio	1,500-2,000
Concreto con agregados de residuos de concha de ostra	0.43-0.53	bajo	1,000-1,800
Concreto polimérico	0.90-1.0	bajo	64-1,600
Concreto a base de vidrio	0.20-0.37	alto	250-3,150

Figura 1. Propiedades acústicas de distintos tipos de concreto. Fuente: retomado y traducido de Feduik et al. (2021)

Con base en lo anterior y hasta el momento, el Noryl como material propuesto, no había sido evaluado en cuanto a sus propiedades acústicas ni su posible aplicación en bloques de concreto no estructurales. En este sentido, el presente estudio representa una aportación científica novedosa. La presente investigación se orienta a evaluar el desempeño mecánico (a través de la resistencia a la compresión) y acústico de bloques de concreto no estructurales en los que se sustituyen total o parcialmente los agregados gruesos y finos por residuos industriales de Noryl. El objetivo principal es verificar que los especímenes elaborados alcanzan la resistencia a la compresión indicada por normativa para su uso en muros divisorios, así como analizar su capacidad de aislamiento acústico frente a diversas configuraciones de compósitos. Esta evaluación se complementará con una comparativa directa frente a tabiques de concretos comerciales, con el fin de determinar el grado de competitividad del nuevo material propuesto, no solo desde el punto de vista técnico, sino también en términos de sostenibilidad, funcionalidad y posible aplicación en entornos constructivos reales.

2. Materiales y métodos

2.1. Caracterización física y química del residuo Noryl

El Noryl es un polímero sintetizado, específicamente, polioxido de fenileno producido por la combinación de polifenileno éter (PPO) y Poliestireno (PS), se clasifica como material termoplástico de baja densidad (1.06 g/cm^3), soporta temperaturas elevadas, su temperatura de transición vítrea es 215°C ; como resina en sus diferentes presentaciones muestra rangos de resistencia al ablandamiento (temperatura Vicat) entre los 95 y 148°C (SABIC, 2025); tiene baja absorción de humedad (0.06 a 0.10%), buena resistencia química y mecánica. El Noryl más común y ampliamente utilizado es el estándar (PPO modificado sin refuerzo), específicamente los grados Noryl SE1 o Noryl 731.

Los materiales Noryl (basados en PPO/PS modificado) son generalmente seguros para aplicaciones industriales y de consumo, pero como muchos plásticos, pueden liberar sustancias potencialmente tóxicas bajo condiciones extremas

(combustión, procesamiento a alta temperatura o degradación química).

Los principales riesgos en el uso del Noryl se relacionan con su etapa de fundición, durante la combustión libera monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos aromáticos como estireno (tóxico por inhalación); en el moldeo a altas temperaturas puede emitir vapores de estireno y fenol (irritantes respiratorios). En incendios o altas temperaturas libera gases tóxicos como CO, estireno, formaldehído (en menor medida). El contacto con la piel no es irritante, únicamente, si el tamaño de partícula es polvo pudiera causar picazón; no obstante, su grado de toxicidad es nulo en condiciones normales de uso, no se considera tóxico a temperatura ambiente.

Una vez que el Noryl se ha fundido en determinadas ocasiones sus propiedades decrecen para ciertos usos, por lo que se convierte en desecho post industrial que puede ser utilizado para usos diversos. En el ámbito de construcción, por sus características físicas y mecánicas funciona como sustituto de agregados pétreos.

3. Fabricación de prototipos

3.1. Diseño de mezcla

En este trabajo, se analizaron dos diseños de bloques, uno creado con el 20% de sustitución de agregados pétreos por Nykioryl y otro con el 57%. El porcentaje de 20 se eligió basado en (Velazco, D. J. M., et al; 2021), (Akhtar, A., & Sarmah, A. K. 2018) donde se menciona que, los porcentajes de sustitución de reciclados en elementos de concreto oscilan entre el 5 y 20% del peso de los agregados.

El criterio para utilizar el 57% se sustenta en el trabajo de investigación de (Volpi et al., 2021). En él se optimizaron los porcentajes respecto a tres aspectos: peso, absorción y resistencia mecánica. Con los resultados obtenidos de los prototipos elaborados con el 20, 40, 60, 80 y 100% se entrenó una red neuronal para modelar el comportamiento de los sistemas, posteriormente se utilizó un algoritmo de círculo de partículas (PSO) para encontrar la mezcla óptima. El resultado arrojó una sustitución de 57% de agregados pétreos por Noryl.

3.2. Elaboración de prototipos

El diseño de la mezcla para los prototipos consideró las proporciones 1:5:2 (cemento, agregado grueso y agregado fino respectivamente). Se utilizó pumicita como agregado pétreo proveniente de un banco de material de la región; y noryl como agregado reciclado. Ambos materiales fueron tamizados para obtener partículas finas y gruesas entre las mallas de $\frac{1}{2}$ " y 149 micras. Se agregó el 15% de agua potable con relación a la masa total de los agregados en estado seco conforme a la normativa NMX-C-122-ONNCCE-2019. La calidad de los agregados se verificó desde banco de materiales bajo los estándares de la norma NMX C-111-ONNCCE 2014. Se utilizó cemento portland ordinario comercial correspondiente a las normativas ASTM C150-07 y la normativa NMX-C-414 ONNCCE-2017.

El molde se construyó de madera con dimensiones interiores de $10*14*28 \text{ cm}$, como lo marca la normativa NMX-C-038-ONNCCE 2013. En la elaboración de los prototipos, se siguieron los estándares de la normativa NMX-C-441-

ONNCCE-2013 para cumplir las especificaciones para los métodos de ensayo (Figura 1).

Los bloques se dejaron fraguar por 24 horas para retirar el molde y posteriormente se humedecieron una vez al día durante 7 días para favorecer el proceso de resistencia inicial. Permanecieron inmóviles por 28 días a temperatura ambiente antes de someterse a las diferentes pruebas.

Tabla 1. Proporciones para elaboración de tabiques.

Proporción (%)	agu a (%)	agregado fino (g)	agregado grueso (g)	cemento (g)	noryl fino (g)	noryl grueso (g)
20, 80	.588	1,475.35	600.59	1,374.8	297.	178.67
57, 43	.588	793.0	322.82	1,374.8	848.	509.21



Figura 1. Tabiques con 20% y 57% de sustitución de agregados pétreos por Noryl.

4. Ensayos realizados

4.1. Prueba de resistencia a la compresión

En la prueba de compresión se define la calidad estructural y resistencia al intemperismo de los prototipos; es una de las características mecánicas más valoradas, ya que se relaciona con la durabilidad. Para determinar la resistencia mecánica de los prototipos, se sometieron a la prueba de compresión como lo indica la normativa NMX-C-036-ONNCCE-2013 y NMX-C-441-ONNCCE-2011. Los parámetros indican que para uso no estructural deben alcanzar un f_p Min= 24 kg/cm² y su resistencia media f_p = 30kg/cm² a los 28 días de haberse elaborado.

4.2. Ensayo Acústico

Para evaluar el comportamiento de las propiedades acústicas de los materiales propuestos, se utilizaron tres métodos de tubos de impedancia, cada uno con un diámetro distinto, los cuales consideran normativas internacionales: ISO 10534-2, ASTME1050, ASTM E2611 y ASTM C384-04. Las pruebas se realizaron al interior de una cámara semi-anecoica, para reducir los efectos de ruido ambiental. El primer tubo empleado tiene un diámetro interno de 38 mm, abarca un rango

de frecuencias de 250 Hz a 5,000 Hz y está construido a partir de un tubo hidráulicohoneado (acero al carbón). En este tubo se determinó únicamente el coeficiente de absorción sonora. El segundo tubo cuenta con un diámetro interno de 16.1 mm y cubre un rango de frecuencias de los 100 Hz a los 10,000 Hz. Este sistema está construido por un tubo de PVC de 16 m de largo en forma de espiral y se determinaron los coeficientes de absorción y reflexión sonora, así como la pérdida por transmisión sonora. El tercer tubo utilizado cuenta con dos distintos diámetros internos (29 mm y 100 mm) y pertenece a la marca: HOLMARC, modelo: HOAEITA219. Este último tubo está diseñado con aluminio anodizado y se determinaron tanto el coeficiente de absorción acústica como la pérdida por transmisión según las normas de ensayo descritas en un rango de frecuencias de los 100 Hz a los 6,300 Hz (Figura 2).

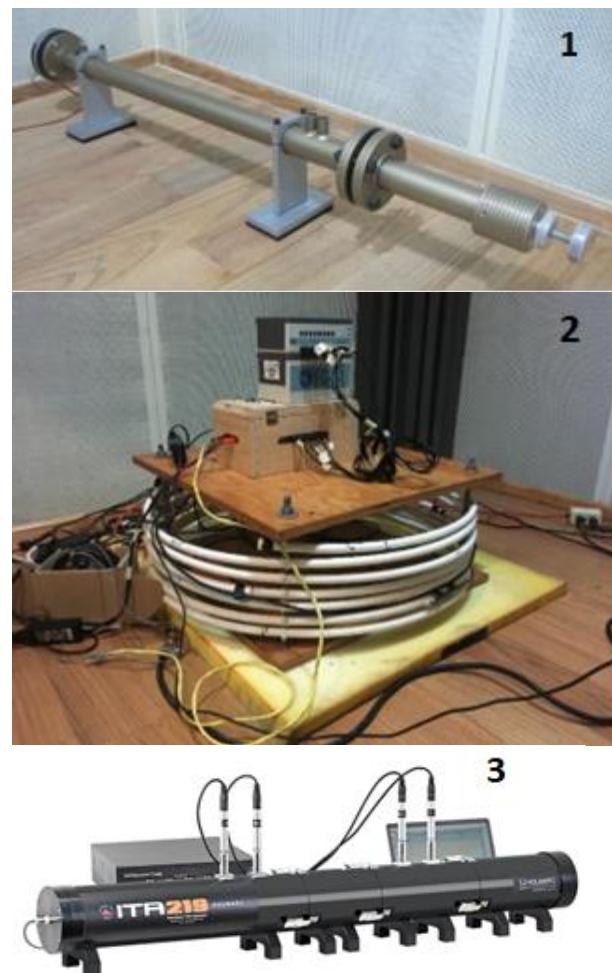


Figura 2. Tubos de impedancia empleados para la determinación de parámetros acústicos como: coeficiente de absorción sonora, coeficiente de reflexión sonora y pérdida por transmisión sonora. Fuente: Laboratorio UAM-A.

Para la descripción de las propiedades acústicas, se hace referencia a frecuencias bajas (graves), medias y altas (agudas), lo que corresponderá a un rango de los 100 Hz a los 250 Hz para frecuencias bajas; de los 250 Hz a los 2,000 Hz para frecuencias medias y de los 2,000 Hz a los 10,000 Hz para frecuencias altas.

Se caracterizaron 3 grupos con diferencia en espesor y diámetro (Figura 3), obteniéndose diversos parámetros acústicos: (A) 29 mm y 100 mm / coeficiente de absorción

sonora y pérdida por transmisión sonora, (B) 38 mm / coeficiente de absorción sonora, (C) 16.1 mm / coeficiente de absorción sonora, pérdida por transmisión sonora y coeficiente de reflexión sonora.



Figura 3. Probetas obtenidas de los tabiques con adiciones de Noryl, para la evaluación del comportamiento acústico del material a través de diferentes tubos de impedancia.

Los datos del coeficiente de absorción sonora por lo general se expresan en valores entre 0 a 1, donde 0 indica que el material no absorbe nada, mientras que el 1 señala que el material es altamente absorbente. Sin embargo, en algunos resultados se expresarán en porcentaje, debido a que el sistema arroja los datos de tal forma, entendiéndose que los valores cercanos a 0% indican nula absorción y los próximos a 100% señalan una alta absorción.

5. Resultados

5.1. Mecánicos

Se elaboraron tres tabiques por cada porcentaje propuesto (20% y 57%). Después del periodo de 28 días, donde alcanzaron su máxima resistencia, se sometieron al ensayo en una prensa de compresión simple de 130 ton/cm² de capacidad, marca Controls. Los especímenes presentaron fallas en la zona media, lo que refiere a una falla común. Los tabiques diseñados con el 57% de sustitución cumplieron con los estándares establecidos en la norma NMX-C-083-ONNCCE, el tabique con 57% de sustitución mostró resultados superiores ratificando su capacidad para su uso no estructural (Tabla 2, Figura 4).

Tabla 2. Características físicas y mecánicas de los tabiques

Sustitución Noryl - agregados pétreos (%)	dimensiones (cm)	Peso promedio (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)
57 - 43	10.0*28.2*14.2	3.95	40.00
	09.9*28.5*14.2	4.12	42.56
	09.9*28.5*14.1	3.86	39.25
	10.1*28.2*14.3	3.68	27.4
	09.9*28.2*14.4	3.43	24.8
	10.0*28.4*14.2	3.76	28.05



Figura 4. Pruebas de resistencia mecánica a los tabiques modificados.

5.2. Acústicos

Con el objetivo de determinar el desempeño acústico de los tabiques, se evaluaron sus propiedades acústicas mediante tres parámetros: el Coeficiente de Reducción Sonora, la Pérdida por Transmisión Sonora y el Coeficiente de Reflexión Sonora. Estos indicadores permiten caracterizar la capacidad del material para atenuar el sonido, tanto en términos de absorción como de aislamiento acústico. Los ensayos se realizaron bajo condiciones controladas, siguiendo normativas estándar.

5.2.1. Configuraciones de ensayo

Se caracterizaron acústicamente compósitos de concreto reforzado con Noryl mediante tres configuraciones de tubo de impedancia (ISO 10534-2, ASTM E1050, ASTM E2611, ASTM C384-04) en cámara semi-anecoica. Las muestras analizadas presentaron diferentes dimensiones: Grupo 1 ($\varnothing 29$ -100 mm, $\lambda=96$ -100 mm), Grupo 2 ($\varnothing 38$ mm, $\lambda=69$ -78 mm) y Grupo 3 ($\varnothing 16.1$ mm, $\lambda=31$ -32 mm). Las micrografías de las muestras revelaron la microestructura heterogénea característica de estos compósitos, identificando claramente las partículas de Noryl y la pasta de cemento fraguada (Figura 5).

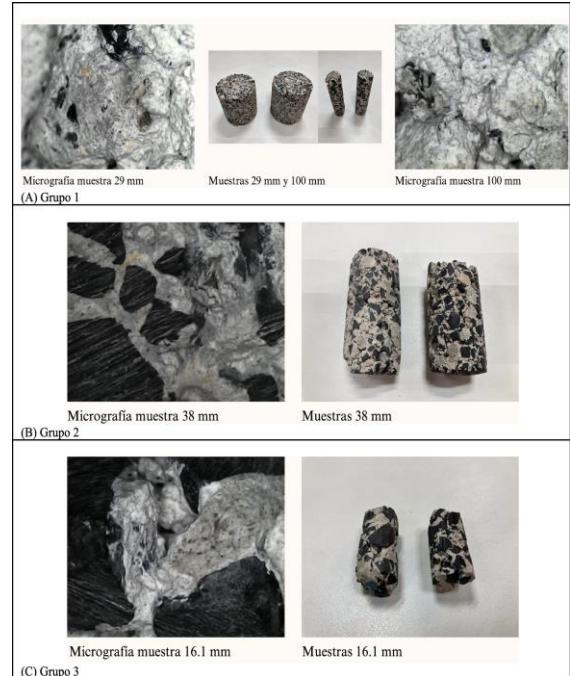


Figura 5. Especímenes propuestos de tabique y su microestructura característica de estos compósitos

5.2.2. Coeficiente de Absorción Sonora

La siguiente gráfica (Figura 6) muestra la comparación de compósitos entre la cara frontal y la cara posterior, del Grupo 1 ($\varnothing 29-100$ mm, $\lambda=96-100$ mm), según el parámetro acústico del coeficiente de absorción sonora, en relación con la capacidad de absorción sonora, ambas caras presentan un comportamiento similar entre las frecuencias de 100 Hz a 200 Hz. La cara posterior obtuvo un mejor desempeño a partir de la frecuencia de 400 Hz.

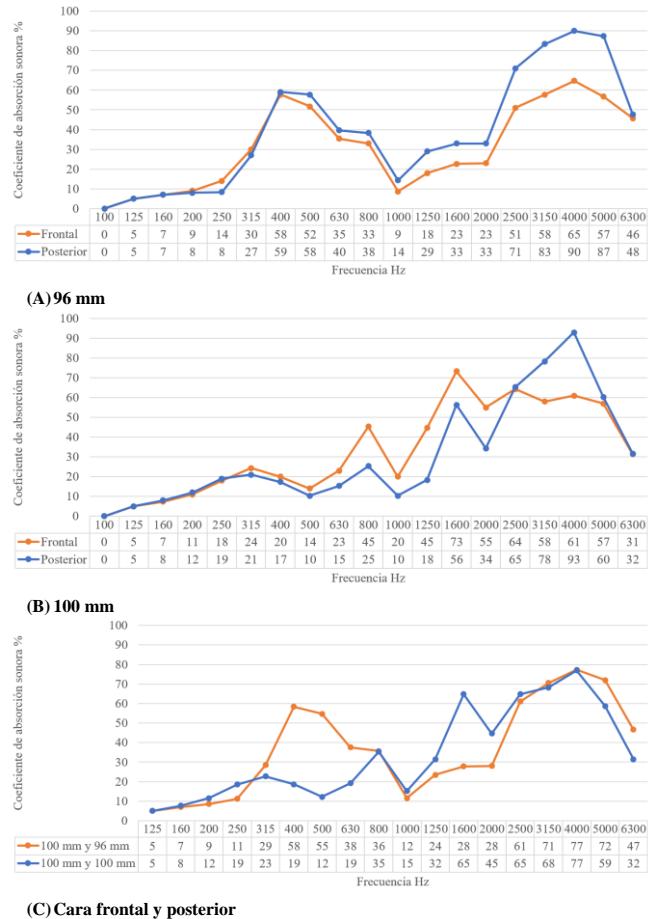


Figura 6. Gráficas comparativas del coeficiente de absorción sonora entre configuraciones.

El grafico C, de la figura 6, muestra el promedio de la cara frontal y posterior de cada configuración de compósitos, según el parámetro del coeficiente de absorción sonora. Si se comparan ambas configuraciones de compósitos, puede apreciarse que a frecuencias bajas se tienen valores bajos, sin embargo, la configuración 2 (Gráfico B) absorbe ligeramente más. A frecuencias medias, la primera configuración es más eficiente entre las frecuencias de 315 Hz a 800 Hz, mientras que la configuración 2 es más eficaz entre los 1,000 Hz a los 2,500 Hz. A frecuencias altas hay variaciones entre ambas, pero tiende a ser mejor la capacidad de la configuración 1 (Gráfico A).

5.2.3. Coeficiente de Reducción Sonora, NRC

Se obtuvieron datos del coeficiente de absorción sonora para frecuencias específicas. Sin embargo, también se hace

referencia al NRC (Noise Reduction Coefficient), que en español se traduce como Coeficiente de Reducción Sonora y que representa un promedio de las frecuencias de 250 Hz, 500 Hz, 1,000 Hz y 2,000 Hz. El NRC involucra frecuencias del habla y es una medida útil para ofrecer una estimación rápida de la capacidad de absorción del material evaluado.

Los compósitos exhibieron un comportamiento acústico selectivo en frecuencia, con valores de NRC, y que representa un promedio de las frecuencias de 250 Hz, 500 Hz, 1,000 Hz y 2,000 Hz, variables entre 0.19-0.58 dependiendo de la configuración. El Grupo 1 mostró NRC bajos (0.19-0.28), indicando características predominantemente reflectantes, con absorción deficiente en frecuencias bajas (0-14% a 100-250 Hz) y mejores prestaciones en altas frecuencias (46-90% a 2-10 kHz). Los compósitos del Grupo 2 presentaron el mejor desempeño absorbente con NRC de 0.44-0.58, alcanzando valores máximos de absorción de 0.87-0.90 en frecuencias medias (630-800 Hz). El Grupo 3 demostró capacidad moderada (NRC=0.48-0.54) con comportamiento creciente hacia altas frecuencias, alcanzando 0.97 a frecuencias superiores a 8 kHz. Las comparativas entre evidenciaron la influencia significativa del espesor en la respuesta absorbente.

5.2.4. Pérdida por Transmisión Sonora

En la figura 7 se muestran los resultados de la pérdida por Transmisión Sonora, que identifica las propiedades de aislamiento acústico, el cual los resultados, mostraron dependencia tanto del espesor como de la frecuencia (Figura 7). Los compósitos del Grupo 1 presentaron atenuaciones de 22-34 dB en frecuencias bajas-medias y 28-50 dB en altas frecuencias, con mejor desempeño en configuraciones de mayor espesor (diferencias de 2-10 dB). Los especímenes del Grupo 3 exhibieron limitada capacidad de bloqueo en bajas frecuencias (~5 dB) pero incremento significativo en altas frecuencias, alcanzando 22-23 dB a 10 kHz para muestras de 31 mm y 15-16 dB para 32 mm de espesor. Las gráficas de comparación directa entre espesores demostraron claramente el efecto de las dimensiones en el comportamiento aislante.

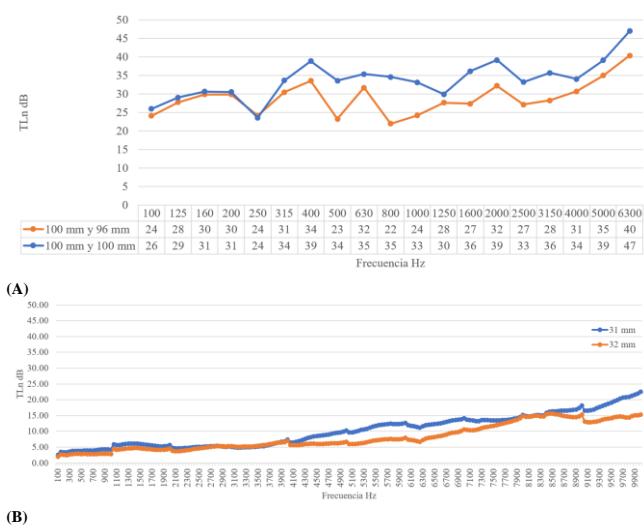


Figura 7. Pérdida por transmisión sonora - comportamiento espectral por grupos.

5.2.5. Coeficiente de Reflexión Sonora

La caracterización de este parámetro solo se realizó para el Grupo 3, debido a las dimensiones requeridas de los especímenes en el equipo. A través de su representación en la figura 8, reveló amplitudes de reflexión <0.05 en frecuencias bajas, incrementándose hasta 0.24-0.30 en frecuencias medias y altas. Las muestras de 31 mm presentaron dos bandas de reflexión (500-3,100 Hz y 4,250-6,800 Hz), mientras que las de 32 mm mostraron una banda única (900-3,850 Hz), sugiriendo influencia del espesor en la respuesta reflexiva. Las gráficas comparativas de reflexión ilustraron claramente estas diferencias espectrales entre configuraciones.

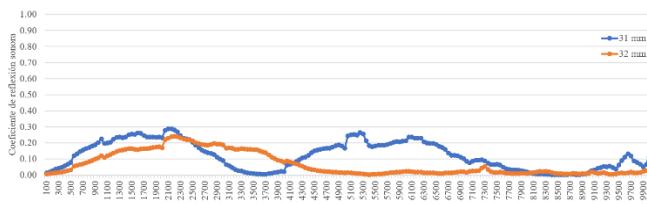


Figura 8. Coeficiente de reflexión sonora - análisis comparativo de espesores

5.2.6. Discusión de resultados

Con los resultados obtenidos de los especímenes elaborados, se observa que las sustituciones del 20% y 57% de agregados pétreos por Noryl cumplen con los requisitos dimensionales establecidos en la norma NMX-C-038-ONNCCE para piezas de mampostería, tanto estructurales como no estructurales. Además, para garantizar que los especímenes resistan su propio peso, cargas menores de divisiones, tránsito e instalación, se evaluó la resistencia a la compresión mínima, conforme a la norma NMX-C-441-ONNCCE. Estos resultados sugieren que el Noryl puede constituir una alternativa viable para la sustitución parcial de agregados pétreos en bloques no estructurales.

Por otra parte, la caracterización acústica de los compósitos concreto-Noryl reveló un comportamiento híbrido con propiedades dependientes de la frecuencia y geometría del material. Los resultados demuestran que estos compósitos no funcionan como materiales acústicos convencionales, sino como sistemas selectivos con capacidades diferenciadas según el rango espectral. La variabilidad en los valores de NRC (0.19-0.58) y la eficiencia limitada en bajas frecuencias (≤ 5 dB de atenuación) contrastan con su desempeño superior en frecuencias medias y altas (hasta 90% absorción, 50 dB atenuación).

La relación espesor-respuesta acústica establece un parámetro de diseño crítico, donde incrementos mínimos (1-2 mm) generan cambios significativos en los patrones de reflexión y transmisión sonora. La anisotropía documentada entre caras sugiere influencia de la heterogeneidad microestructural inherente a estos materiales compósitos (Fediuk et al. 2021), ya que ciertas caras mostraron una mayor absorción en frecuencias medias-altas, mientras que otras presentaron menor atenuación, efecto asociado a la heterogeneidad microestructural y a la distribución no uniforme del Noryl en la matriz de cemento. Este fenómeno abre oportunidades para la optimización direccional de propiedades en aplicaciones específicas.

6. Conclusiones

En esta investigación se analizaron tabiques elaborados con desecho de Noryl como material sustituto de agregados pétreos con el fin de evaluar sus propiedades físicas para el confort acústico. Inicialmente se fabricaron los especímenes para verificar que su resistencia mecánica cumpliera con la normativa establecida. El parámetro mecánico evaluado fue la resistencia a la compresión, en concordancia con lo establecido por la norma NMX-C-441-ONNCCE, dado que los tabiques, en su aplicación práctica, trabajan principalmente a esfuerzos compresivos derivados de su propio peso y de cargas menores de servicio. Otros modos de falla (tensión, flexión, corte o torsión) no son normativamente considerados en este tipo de elementos, ya que no corresponden a sus condiciones de uso. Por ello, la resistencia a la compresión constituye el criterio esencial y suficiente para evaluar sus propiedades mecánicas. Posteriormente, se realizaron pruebas acústicas para caracterizar sus propiedades.

En el ámbito del confort acústico, las propiedades físicas de un material están vinculadas con su capacidad de absorber o reflejar el sonido. Los compósitos evaluados mostraron un desempeño híbrido con propiedades absorbente-reflectantes selectivas en frecuencia y con mejoras en relación con un concreto normal. La eficiencia limitada en bajas frecuencias (20–300 Hz), propias del tráfico y la maquinaria pesada, los hace inadecuados para estas aplicaciones, ya que la atenuación máxima fue ≤ 5 dB. Sin embargo, presentaron un comportamiento favorable en frecuencias medias y altas (500–4000 Hz), correspondientes al habla humana y componentes agudos, donde alcanzaron hasta un 90% de absorción y 50 dB de atenuación. Estos resultados indican que son materiales apropiados para aplicaciones arquitectónicas donde se requiera mejorar la inteligibilidad del habla y el control del ruido en interiores.

En cuanto al aspecto económico, aunque no fue evaluado en esta investigación, se reconoce que el uso de Noryl reciclado puede implicar variaciones en el costo. En contextos donde el desecho se encuentre disponible localmente, se podría reducir el precio de fabricación del prototipo. Por el contrario, si su recolección y procesamiento demandan logística adicional, los costos podrían incrementarse entre un 10–20% respecto a ladrillos comunes. Dicho incremento podría justificarse en proyectos donde los beneficios acústicos aporten valor agregado, como en aulas, oficinas, auditorios o viviendas con requerimientos de confort acústico.

Finalmente, como trabajo futuro, se sugiere ampliar la caracterización mecánica (flexión, tensión, corte), evaluar diferentes tipos de Noryl como desecho, y realizar un estudio comparativo directo con tabiques comunes, incluyendo un análisis económico detallado que permita valorar integralmente la viabilidad de esta propuesta. Así como el uso de diferentes tipos de Noryl como desecho para identificar las diferencias mecánicas y acústicas de cada tipo.

Agradecimientos

Agradecemos a las instituciones de la UAEH y UAM-A, por el uso de sus instalaciones para el desarrollo de esta investigación.

Referencias

- Alyousef, R., Mohammadhosseini, H., Ebid, A. A. K., Alabduljabbar, H., Poi Ngian, S., Huseien, G. F., & Mustafa Mohamed, A. (2022). Enhanced acoustic properties of a novel prepacked aggregates concrete reinforced with waste polypropylene fibers. *Materials*, 15(3), 1173. <https://doi.org/10.3390/ma15031173>
- Akhtar, A., & Sarmah, A. K. (2018). Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective. *Journal of Cleaner Production*, 186, 262-281.
- Bourbia, S., Kazeoui, H. & Belarbi, R. A review on recent research on bio-based building materials and their applications. *Mater Renew Sustain Energy* 12, 117–139 (2023).
- Fatma S. Hafez, Bahaaeddin Sa'di, M. Safa-Gamal, Y.H. Taufiq-Yap, Moath Alrifae, Mehdi Seyedmehmoudian, Alex Stojcevski, Ben Horan, Saad Mekhilef, Energy Efficiency in Sustainable Buildings: A Systematic Review with Taxonomy, Challenges, Motivations, Methodological Aspects, Recommendations, and Pathways for Future Research, *Energy Strategy Reviews*, Volume 45,2023, 101013, ISSN 2211-467X,<https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.101013>.
- Fediuk, R., Amran, M., Vatin, N., Vasilev, Y., Lesovik, V., & Ozbakkaloglu, T. (2021). Acoustic Properties of Innovative Concretes: A Review. *Materials*, 14(2), 398. <https://doi.org/10.3390/ma14020398>
- Fraile-García, E., Ferreiro-Cabello, J., Defez, B., & Peris-Fajanes, G. (2016). Comportamiento acústico de bloques y ladrillos huecos de hormigón dopado con caucho de neumáticos de desecho. *Materials*, 9(12), 962. <https://doi.org/10.3390/ma9120962>
- Hamilton, I., Kennard, H., Rapf, O., Amorochio, J., Steuwer, S., Kockat, J., & Toth, Z. (2024). Global Status Report for Buildings and Construction-Beyond foundations: Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector.
- Herrera-González, D., & Arias-Valencia, S. (2023). El perfil del comprador frente a una vivienda sostenible: estudio descriptivo. *Revista de Arquitectura* (Bogotá), 25(2), 36-46.
- Magaña Herrera, P. P. (2023). Producción de materiales ecológicos reciclados con escombros de construcción.
- ONNCCE. (2013). NMX-C-036-ONNCCE-2013: Industria de la construcción – Agua para concreto – Especificaciones y métodos de prueba. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- ONNCCE. (2013). NMX-C-038-ONNCCE-2013: Industria de la construcción – Concreto hidráulico – Preparación, curado y conservación de especímenes. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- ONNCCE. (2013). NMX-C-441-ONNCCE-2013: Industria de la construcción – Concreto hidráulico – Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- ONNCCE. (2014). NMX-C-111-ONNCCE-2014: Industria de la construcción – Agregados para concreto hidráulico – Especificaciones y métodos de prueba. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- ONNCCE. (2017). NMX-C-414-ONNCCE-2017: Industria de la construcción – Cementantes hidráulicos – Especificaciones y métodos de prueba. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C.
- Ruiz, M. A., & Mack-Vergara, Y. L. (2023). Resilient and Sustainable Housing Models against Climate Change: A Review. *Sustainability*, 15(18), 13544.
- Sabic. (2025). NORYL™ Resin. Recuperado el 27 de mayo de 2025, de <https://www.sabic.com/en/products/specialties/noryl-resins/noryl-resin>
- United Nations Environment Programme (2022). 2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. Nairobi.<https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>
- Velazco, D. J. M., Pirela, M. C. P., Rodríguez, M. E. R., & Montero, S. A. O. (2021). Bloques de concreto con sustitución de residuos sólidos de polietileno de alta densidad. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería*, Universidad del Zulia, 44(1), 29-35.
- Villagómez Tapia, X. J., & García Sosa, N. (2024). Comparación de alternativas sustentables para bloques de concreto en muros divisorios. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 31, 5–14.
- Villaquirán-Caicedo, M. A., Perea, V. N., Ruiz, J. E., & Gutiérrez, R. M. (2022). Mechanical, physical and thermoacoustic properties of lightweight composite geopolymers. *Ingeniería y Competitividad*, 24(1), e207e10985. <https://doi.org/10.25100/iyc.24i1.10985>
- Volpi-León, V., Ortiz-Quiroga, C. H., Seck-Tuoh-Mora, J. C., & Medina-Marín, J. (2021). Metodología basada en técnicas físicas y computacionales para la optimización de un tabicón elaborado con desecho industrial. *Pádi Boletín Científico De Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI*, 9(17), 121–128. <https://doi.org/10.29057/icbi.v9i17.7144>
- Wijesinghe, K. A. P., Lanarolle, G., Gunasekara, C., et al. (2025). Rendimiento térmico y acústico de compuestos a base de cemento con residuos sólidos incorporados: una revisión analítica. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 25, 106. <https://doi.org/10.1007/s43452-025-01160-3>