

Aislación acústica de tableros elaborados con tetrabrik reciclado

Acoustic insulation of panels made from recycled tetrabrik

María Laura Gaetan , Lucas Ernesto Peisino ; Rosana Gaggino 

Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE)-CONICET, Asociación de la Vivienda Económica (AVE), Igualdad 3585, Córdoba. Argentina.

rgaggino@ceve.org.ar

RESUMEN

De los residuos sólidos urbanos, los envases de Tetrabrik poseen baja tasa de reciclaje. Últimamente han surgido varias alternativas de valorización de estos residuos como insumos en la fabricación de tableros aglomerados para uso en la industria de la construcción. En este trabajo se realiza un estudio teórico de la propiedad de aislación acústica de tableros de Tetrabrik reciclado y su aplicación en alternativas constructivas de cerramientos. Los cálculos se basaron en la Ley de Masa para la determinación del Índice de Reducción Acústica Ponderado (R_w) de tableros y diferentes cerramientos simples y dobles.

Los tableros compuestos de Tetrabrik muestran un mejor desempeño en relación a los tableros aglomerados derivados de madera. En cuanto a los requerimientos de la normativa vigente de Argentina, los cerramientos simples y dobles que contienen en su diseño tableros de Tetrabrik cumplen ampliamente con la exigencia solicitada mostrando valores de R_w mayores a 50 y 60 dB respectivamente.

ABSTRACT

Among urban solid waste, Tetrabrik containers have a low recycling rate. Recently, several alternatives for repurposing these materials have emerged, including their use as raw materials in the production of particleboards for the construction industry. This study presents a theoretical analysis of the acoustic insulation properties of recycled Tetrabrik panels and their application in different enclosure construction alternatives. The calculations were based on the Mass Law to determine the Weighted Sound Reduction Index (R_w) for panels and different single and double-wall enclosures.

The results indicate that Tetrabrik composite panels perform better than wood-based particleboards. Regarding Argentina's current regulatory requirements, both single and double enclosures incorporating Tetrabrik panels in their design significantly exceed the required standards, achieving R_w values above 50 dB and 60 dB, respectively.

PALABRAS CLAVE: Tetrabrik; Construcción Sostenible; Ley de Masa; Tecnología Social; Materiales Económicos; Producción.

KEYWORDS: Tetrabrik; Sustainable Construction; Mass Law; Social Technology; Affordable Materials; Production.

FECHA DE RECEPCIÓN: 02/07/25 | **FECHA DE ACEPTACIÓN:** 09/07/25

1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de las ciudades tiene dificultades para dar un destino sustentable a los residuos sólidos urbanos (RSU). Dentro del conjunto de los RSU desechados en los vertederos se encuentran los envases de Tetrabrik. Estos envases, desarrollados y comercializados por la empresa sueca Tetra Pak, se utilizan para productos alimenticios de “larga vida” (leche, vino de mesa, conservas, etc.). Están compuestos por capas de diversos materiales que protegen el contenido sin necesidad de conservantes químicos ni refrigeración. Esta multi-materialidad dificulta su reciclado cuando son descartados, por lo cual generalmente son arrojados en vertederos o incinerados.

Las cantidades producidas, y por ende desechadas, de este material son significativas: según datos que proporciona Tetra Pak, en Argentina hay una planta fabril en La Rioja, que tiene una producción de unos 4.000 millones de envases al año, equivalentes a 50.000 t/año, de los cuales solo se recicla entre el 10 y el 15 %. En cambio, el porcentaje de reciclado en el mundo es del 27 % y en los países de la Unión Europea es del 51% (Amato et al., 2022).

Esta diferencia en las tasas de reciclaje se explica por un vacío legislativo en el territorio Argentino. La Ley de Envases y Responsabilidad Extendida del Productor (REP) es una normativa crucial en la gestión de residuos, y ha sido adoptada por diversos países del mundo; mientras que en Argentina sólo existe un proyecto de ley presentado en el Congreso de la Nación aún sin aprobación. Mediante esta ley, se busca que los productores asuman la responsabilidad sobre los productos que insertan en el mercado, incluso después de su vida útil. Actualmente se aplica en España, Alemania, Bélgica y Japón (ReBits, 2021). También en América Latina, hay 11 países en los que existe esta legislación, entre los que se encuentran Brasil, Chile, Uruguay, Colombia y México (Inncontext, 2024). Los residuos de Tetrabrik que no se reciclan, tiene como destino habitual el enterramiento en predios sanitarios, o bien la acumulación o quema en basurales al aire libre, con consecuencias graves para el ambiente y la salud de las comunidades.

Por esta razón, en el Centro Experimental de Vivienda Económica (CEVE) del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y de la Asociación de Vivienda Económica (AVE), ubicado en Córdoba, Argentina, se está desarrollando un elemento constructivo factible de ser utilizado como cerramiento de viviendas u otras construcciones, compuesto por residuos de Tetrabrik, promoviendo de esta manera la valorización de este RSU. Se trata de un tablero apto para construcciones por vía seca tipo *wood frame* o *steel frame*, que puede formar parte de un panel multicapa compuesto por diversos materiales.

Es una tecnología ecológica que se enmarca en los paradigmas de la Construcción Sustentable y la Economía Circular. A su vez, se alinea con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la CEPAL - ONU (CEPAL & Unidas, 2018).

Por tratarse de un material en desarrollo, hay aspectos técnicos del mismo que están en proceso de estudio, entre ellos se encuentra la aislación acústica. En el presente trabajo se exponen los estudios teóricos llevados a cabo en relación a la propiedad de aislación acústica de este tablero, los resultados y conclusiones obtenidas. Se realizó el cálculo del Índice de Reducción Acústica¹ (R) y el Índice de Reducción Acústica Ponderado² (Rw) mediante una metodología teórica basada en la Ley de Masa. Luego, se compararon los resultados obtenidos para las seis frecuencias estándar establecidas por la normativa vigente en Argentina (Norma IRAM 4063-4: Acústica, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 4: Medición «in situ» del aislamiento al ruido aéreo entre locales, 2002) para los tableros de Tetrabrik desarrollados en CEVE, tableros aglomerados de virutas de madera convencionales y tableros comerciales elaborados en base a residuos de Tetrabrik. Posteriormente se presentan diferentes diseños de paneles multicapa, para los cuales se establecieron

¹El aislamiento acústico de una pared indica su capacidad de oposición a la transmisión del ruido aéreo.

²El aislamiento acústico ponderado sobre para las seis frecuencias estándar.

sus correspondientes R y R_w . Finalmente se seleccionó una alternativa que cumplimenta con los requerimientos de la normativa vigente en nuestro país sobre “Recomendaciones de aislamiento acústico mínimo en edificios” (Norma IRAM 4044: Protección contra el ruido en edificios. Aislamiento acústico mínimo de tabiques y muros., 2015).

1.1. Antecedentes

En los últimos años se han realizado propuestas para el uso de los residuos de tetrabrik en proyectos de arquitectura, algunos de ellos relevantes desde el punto de vista experimental como el “Pabellón de Tetrabriks” (CUAC, 2010) y otros relevantes desde el punto de vista de la arquitectura con fines sociales como es el proyecto Ecuaplastic (Expreso, 2015) y el uso de Tetrabriks como cerramiento asociado a estructuras de madera (Soriano Vivas, 2012).

Se analizaron antecedentes internacionales y nacionales de reciclado de Tetrabrik para la fabricación de elementos constructivos, que sirvieron de punto de partida para esta investigación. En los últimos 30 años se han construido en todo el mundo muchas fábricas, en su mayoría de pequeña escala, para fabricar paneles a partir de envases de Tetrabrik triturados, con marcas como Recioplak ® en Brasil, Tetrabuild ® en Chile, Chiptec en China, Ecoplak ® en Colombia, Novapak y PackWall en República Checa, Greenpak en Ecuador, Ecolink en India, Lamiboard en Kenia, saveBOARD en Nueva Zelanda, Green Board en Pakistán y Tailandia, TeRO ® en Polonia, Tetra K1 ® en Eslovaquia, Maplar ® en España, Yekpan en Turquía, y Everboard y Kelly Green Products en los EE. UU. Algunas procesan sólo envases de Tetrabrik, mientras que otras también incluyen productos de papel recubiertos de plástico, como vasos (Robertson, 2021).

La Fundación chilena PhoenixBrik desarrolla tableros que están elaborados con envases de Tetrabrik sin triturar, pero el proceso es diferente al del tablero desarrollado en CEVE, ya que la primera realiza la fusión dentro de un horno y en un último paso se prensa el tablero con una prensa en frío (Olfos et al., 2020).

En Argentina hay varios antecedentes de tableros con residuos de Tetrabrik triturados, por ejemplo las chapas sinusoidales producidas por la empresa T-Plak ® en Pilar, Buenos Aires, los tableros Ecotech producidos por la empresa SGE de Buenos Aires (SGE, 2024), las chapas ecológicas producidas por la empresa Bolteco de Tornquist, Buenos Aires (Noticias, 2015) y los tableros Bussle producidos por la empresa TBJ Desarrollo Sostenible de Rafaela, Santa Fe (Scalzo, 2022).

Exceptuando la Fundación PhoenixBrik, en todos los antecedentes presentados, los envases son triturados en partículas de tamaño de 1 a 5 mm, que luego se prensan en caliente y generalmente se agregan aditivos que mejoran la adherencia de las partículas. En cambio, en el tablero desarrollado en CEVE los envases de Tetrabrik no se trituran, ni tienen ningún otro material ligante incorporado; su conformación se logra por la fusión del polietileno contenido en las capas del residuo, utilizando una prensa de platos calientes. Este procedimiento tiene varias ventajas técnicas: en primer lugar, se evita el paso del triturado de las cajas para la obtención de partículas. En segundo lugar, se logran tableros rígidos, con una resistencia a la flexión superior a la de aglomerados convencionales de virutas de madera. También se ha determinado que con este procedimiento de fabricación con láminas enteras los componentes son resistentes a la flexión, tienen buen comportamiento ante el fuego y una absorción de agua notablemente menor que los tableros aglomerados de virutas de madera (Gaetan et al., 2022).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Los materiales que se utilizan para fabricar los tableros son en un 100 % residuos de Tetrabrik, los cuales se componen de diversos materiales: un 75 % de cartón, 20 % de polietileno y un 5 % de aluminio. El

procedimiento de elaboración de los tableros es el siguiente: Se condicionan los envases de Tetrabrik cortando sus extremos y abriendo las cajas. Luego se lavan y dejan secar a temperatura ambiente. El paso siguiente es el armado del tablero para lo cual se distribuye uniformemente la cantidad de envases de Tetrabrik, correspondiente al espesor que se desee, en el plato inferior de la prensa (120 x 60 cm) como puede observarse en la Figura 1a. A continuación se compactan aplicando una presión de 1,2 kg/cm² a 140 °C durante 1 hora. Finalmente se desmolda el tablero y se le cortan las rebabas de los bordes.



Figura 1. (a) Envases de Tetrabrik distribuidos en prensa de platos calientes. (b) Ley de Masa. Índice de reducción acústica R en función de la masa por unidad de superficie M.

Fuente: Elaboración propia.

2.2. Metodología de cálculo

Para el cálculo del Índice de Reducción Acústica (R) se utilizó una metodología teórica basada en la Ley de Masa. Esta ley, ampliamente utilizada en acústica, también se denomina Ley de Berger, pues fue descrita por primera vez en su tesis doctoral del año 1911 (Berger, 1911; Heckl, 1981). Establece que la efectividad del aislamiento acústico de un cerramiento depende de la masa superficial (masa por unidad de superficie) y la frecuencia del sonido (Yan Li and Shuxia Ren, 2011). Si se tiene una onda acústica que incide perpendicularmente sobre una pared, el aislamiento de ésta puede estimarse por medio de sus propiedades mecánicas. Así, la Ley de Masa para incidencia normal permite calcular dicha magnitud y se expresa como:

$$(1) R = 20 * \log \log \left(\frac{Mnf}{Z} \right) \text{ dB}$$

donde M es la masa por unidad de superficie (kg/m²), f la frecuencia de la onda sonora incidente (Hz) y Z la impedancia acústica del medio que rodea a la pared (rayls). Cabe aclarar, que esta relación se cumple siempre y cuando la frecuencia de la onda incidente sea mucho mayor que la de los modos propios de vibración de la pared y la incidencia del sonido sea perpendicular a la pared. Como se puede observar en el gráfico de la Figura 1b, la Ley de Masa indica que al duplicar la masa por unidad de superficie del material, el aislamiento acústico mejora en 6 dB. Otra alternativa para aumentar el aislamiento acústico es aumentar el grosor del material utilizado para un cerramiento. Por otra parte, dicha Ley indica que a medida que aumenta la frecuencia de la onda de sonido incidente sobre el material, la reducción acústica también aumenta, en una relación de 6 dB cada vez que se duplica la frecuencia (ver Figura 1b).

Esta metodología de cálculo teórico predictivo es válida tanto para cerramientos simples (construidos con un solo material) como para cerramientos múltiples (construidos con varias capas). Los valores de aislamiento calculados según la Ley de Masa deben considerarse como valores de referencia u orientativos, ya que sólo tienen en cuenta la masa del cerramiento y no otros factores que se presentan al ejecutar el edificio y que disminuyen el aislamiento teórico calculado (Alton Everest, 2001). Cabe destacar que la Ley de Masa sólo se cumple en un rango restringido de frecuencias. En baja frecuencia predomina la elasticidad, y en alta frecuencia, el efecto de coincidencia (Estellés Díaz, 2005).

Con la metodología aquí presentada fue posible diseñar distintas variantes de cerramientos simples o multicapa y estimar sus respectivos valores de R y R_w , antes de la construcción del muro, para seleccionar la propuesta que mejor se ajusta a los requerimientos exigidos en nuestro país bajo Norma IRAM 4044 evitando costos y tiempos de ensayos (Norma IRAM 4044: Protección contra el ruido en edificios. Aislamiento acústico mínimo de tabiques y muros., 2015). En un trabajo futuro la propuesta seleccionada se someterá al ensayo de aislación acústica en laboratorio (Norma IRAM 4061: Acústica. Frecuencias normales para utilizar en mediciones., 1991; Norma IRAM 4063-3: Acústica, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 3: Medición en el laboratorio del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción, 2022)

Utilizando la Ley de Masa, se establecieron los valores de R y R_w para un cerramiento simple elaborado con tableros de diferentes materiales, para las seis frecuencias estándar de 125; 250; 500; 1000; 2000; y 4000 Hz que establece la Norma IRAM 4063 y representan las principales frecuencias que pueden percibir el oído humano (Norma IRAM 4063-3: Acústica, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 3: Medición en el laboratorio del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción, 2022).

Se define pared simple como aquella en la que todos sus puntos de la masa sobre una misma normal no varían la distancia entre sí cuando la pared vibra. Esto no significa que la pared tenga que ser homogénea, sino que puede estar formada por varias capas de distintos materiales mientras cumpla la condición anterior. Si el medio es el aire ($Z = 415$ rayls) y teniendo en cuenta las condiciones habituales, la expresión derivada de la ecuación 1 que se ajusta mejor para calcular la reducción acústica es presentada en la ecuación 2 (Estellés Díaz, 2005):

$$(2) R = 20 * \log \log (Mf) - 47 \text{ dB}$$

En el caso de una pared múltiple o doble, formadas por dos paredes separadas por un espacio de aire o de un material de relleno como lana de vidrio, responde a la Ley de masa-resorte-masa, que es más efectiva para aislar que la Ley de masa, en donde cada pared actúa como una masa, y el aire estanco o el material absorbente entre ambas, como un resorte.

La ecuación que describe el R , en este caso es la siguiente:

$$(3) R \cong \{R_1 + R_2 + 20 * \log \log \left(\frac{4\pi f L}{c} \right) \text{ dB} \quad \text{si } f < \frac{c}{2\pi L} \quad R_1 + R_2 + 6 \text{ dB} \quad \text{si } f > \frac{c}{2\pi L}$$

donde R_1 y R_2 son los Índices de reducción acústica de los materiales de cerramiento (dB), f la frecuencia de la onda sonora incidente (Hz), L la separación (m), y c es la velocidad del sonido (m/s).

2.2.1. Opciones de tableros analizados en su comportamiento acústico

Los tableros con los cuales se realizaron los cálculos son listados a continuación:

1. Tablero de Tetrabrik reciclado desarrollado en CEVE. Está compuesto por láminas enteras de Tetrabrik reciclado, siguiendo el procedimiento descrito en el método.
2. Tablero Aglomerado de madera sin revestimientos. Es un tipo de tablero económico. Las partículas de madera están ligadas con resina ureica. Se utiliza en recubrimientos de muros y pisos que no están expuestos a la humedad, en instalaciones comerciales y en mobiliario. Marca comercial: Faplac (Faplac, 2025).
3. Tablero MDF (*Medium Density Fibers*) sin revestimientos. Tablero elaborado con fibras de madera de pino ligadas con la resina urea-formaldehído. Se aplica en muebles y molduras. Es fácil de pintar, permite excelentes acabados, con un ahorro significativo en pintura y en herramientas. Marca comercial: Egger (Egger, 2025).
4. Tablero OSB (*Oriented Strand Board*). Es un panel estructural fabricado con tiras de madera orientadas perpendicularmente entre sí en capas alternadas, lo que aumenta su resistencia mecánica y

rigidez. Las partículas están ligadas con resinas. Aplicaciones: para refuerzos laterales, pisos, escaleras, vigas, plataformas, muebles. Marca comercial: Egger (Egger, 2025).

5. Tablero Fenólico. Se fabrica con partículas de madera aglomeradas con resinas fenólicas. Este tablero es resistente a la humedad, agua, ácidos, soluciones alcalinas y solventes. Aplicaciones: pisos, cercas, embalajes, altillos. Marca comercial: MaderWil (MaderWil, 2025).

6. Tablero de Polialuminio: Es un material obtenido con Hidropulper, donde los envases de Tetrabrik se sumergen en agua y por agitación se separan y recuperan el polietileno y aluminio, los cuales sirven de materia prima para elaborar “chapas” acanaladas. Está compuesto por 20% de aluminio y 80% de polietileno de baja densidad (Zawadiak, 2017). En Argentina la empresa que los fabrica es Recytec, ubicada en Tornquist, provincia de Buenos Aires.

7. Tablero T-Plak: Los tableros T-Plak, son fabricados mediante un proceso de clasificación, separación, triturado y secado de rezagos industriales no contaminados de los envases de Tetrabrik, los que son volcados en moldes y sometidos a alta presión y temperatura. Así se obtiene un tablero aglomerado para múltiples aplicaciones (T-Plak, 2025).

Teniendo en cuenta el peso específico (PE) de cada uno de los tableros y el espesor de los mismos fue posible obtener el valor de M para cada uno de ellos (ver Tabla 1).

Tabla 1. Valores de peso específico, espesores y masa por unidad de superficie de los diferentes tableros analizados.

Designación	Tablero	PE (kg/m ³) ^a	Espesor (mm)	M (kg/m ²)
1	Tetrabrik	850	18	15,3
2	Aglomerado	677	18	12,2
3	MDF	770	18	13,9
4	OSB	615	18	11,1
5	Fenólico	516	18	9,3
6	Polialuminio	811	18	14,6
7	T-Plak	906	18	16,3

^a Determinado bajo Norma IRAM 9705 (Norma IRAM 9705: Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad., 2001).

Fuente: elaboración propia.

3. ANALISIS Y RESULTADOS

En la Tabla 2 se presentan los valores calculados de R y sus respectivos R_w utilizando la ecuación 2 para los diferentes tableros, asumiendo que las condiciones son las habituales (campo reverberante) y tomando en cuenta el aislamiento en tercios de octava para las seis frecuencias estándar de 125; 250; 500; 1.000; 2.000; y 4.000 Hz (Norma IRAM 4063-3: Acústica, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 3: Medición en el laboratorio del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción, 2022).

Según la Ley de Masa, el aislamiento aumenta con la densidad superficial de la pared y con la frecuencia, de modo que si duplicamos M o f, el aislamiento aumenta 6 dB, lo cual puede observarse en los datos de la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de R y Rw para las seis frecuencias estándar, de los tableros estudiados.

Designación	Tablero	R (dB)						Rw (dB)
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	
1	Tetrabrik	18,6	24,7	30,7	36,7	42,7	48,7	33,7
2	Aglomerado	16,7	22,7	28,7	34,7	40,7	46,8	31,7
3	MDF	17,8	23,8	29,8	35,8	41,9	47,9	32,8
4	OSB	15,8	21,8	27,9	33,9	39,3	45,9	30,9
5	Fenólico	14,3	20,3	26,3	38,4	38,4	44,4	29,3
6	Polialuminio	18,2	14,2	30,3	36,3	42,3	48,3	33,3
7	T-Plak	19,2	25,2	31,2	37,2	43,3	49,3	34,2

Fuente: elaboración propia.

Los datos obtenidos (Tabla 2) muestran que la aislación acústica de los tableros de Tetrabrik desarrollados en CEVE ($R_w = 33,7$ dB) supera a la de los tableros aglomerados de virutas de madera convencionales, especialmente este tablero de envases reciclados, genera una aislación de casi 3 dB más que el tablero de OSB ($R_w = 30,9$ dB) y más de 4 dB que un tablero fenólico ($R_w = 29,3$ dB) que habitualmente son utilizados para el emplacado en los sistemas de construcción en seco y techos de madera. Por otro lado, el tablero de Tetrabrik desarrollado en CEVE posee una aislación acústica similar al tablero de Polialuminio y es 0,5 dB menos aislante que el tablero producido por T-Plak ($R_w = 34,2$ dB).

3.1. Diseño y evaluación de cerramientos con empleo de tableros Tetrabrik

Una vez calculado el Índice de reducción acústica ponderado (R_w) del tablero de Tetrabrik desarrollado en CEVE y de los tableros comerciales, se elaboraron propuestas de diseño de una serie de cerramientos verticales de vivienda de dos tipos: muros simples formados por varias capas de materiales diferentes, y muros dobles utilizando el sistema constructivo *steel frame*. Luego se determinó su R a las diferentes frecuencias estándar y el R_w ; finalmente los resultados se contrastaron con la resistencia acústica mínima de 50 dB establecida por la norma IRAM 4044 (Norma IRAM 4044: Protección contra el ruido en edificios. Aislamiento acústico mínimo de tabiques y muros., 2015) y se seleccionaron las propuestas que mejor desempeño lograron.

3.1.1. Cerramientos simples

A modo de referencia se estableció el R y R_w de un muro simple utilizado habitualmente en la construcción. En la representación axonométrica de la Figura 2a se puede observar la composición del cerramiento simple 1, el mismo está compuesto por una capa de ladrillos huecos de 120 mm de espesor ($PE = 1200$ kg/m³) revocado en ambas caras con revoque grueso de mortero de cemento de 10 mm de espesor ($PE = 1900$ kg/m³) y revoque fino de mortero de cemento de 3 mm de espesor ($PE = 1700$ kg/m³).

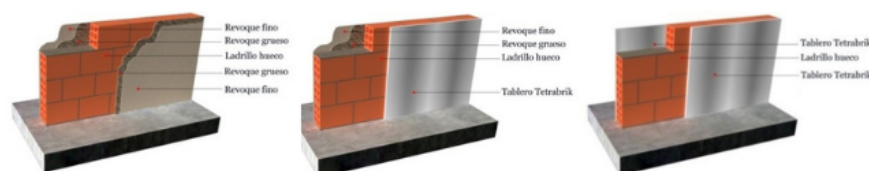


Figura 2. (a) Propuesta de cerramiento simple 1; (b) propuesta de cerramiento simple 2; (c) propuesta de cerramiento simple 3.

Fuente: elaboración propia.

El cerramiento simple 2 está compuesto por una capa central de ladrillos huecos de 120 mm de espesor ($PE = 1200$ kg/m³), capa exterior de revoque grueso y revoque fino, y capa interior de tableros de Tetrabrik ($PE = 850$ kg/m³) (ver representación axonométrica en la Figura 2b).

En la representación axonométrica de la Figura 2c se presenta la última propuesta de cerramiento simple, el cerramiento simple 3, se compone de una capa central de ladrillos huecos de 120 mm de espesor ($PE = 1200 \text{ kg/m}^3$) y capas exterior e interior de tableros de Tetrabrik desarrollados en CEVE ($PE = 850 \text{ kg/m}^3$).

Tabla 3. Composición de los cerramientos simples, masa por unidad de superficie (M) e Índice de reducción acústica ponderado (Rw).

Cerramiento simple	Capas					M total (kg/m ²)	Rw (dB)
	1	2	3	4	5		
1	Revoque fino	Revoque grueso	Ladrillo Hueco	Revoque grueso	Revoque fino	192,2	55,7
2	Revoque fino	Revoque grueso	Ladrillo Hueco	Tetrabrik	---	183,4	55,3
3	---	Tetrabrik	Ladrillo Hueco	Tetrabrik	---	174,6	54,8

^a M calculado a partir de la sumatoria de la masa por unidad de superficie de cada una de las capas.

^b Rw calculado a partir de ecuación (2).

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Cerramientos dobles

Se realizaron 8 propuestas de cerramientos dobles basados en el sistema de construcción *steel frame* (ver representación axonométrica de la Figura 3a). El cerramiento doble 1 está compuesto por una capa externa de revoque plástico de 3 mm de espesor ($PE = 1000 \text{ kg/m}^3$), una capa de EPS de 20 mm ($PE = 30 \text{ kg/m}^3$), seguida de una capa de OSB de 18 mm de espesor ($PE = 615 \text{ kg/m}^3$), posteriormente se coloca una capa de lana de vidrio, en este caso de 70 mm de espesor ($PE = 12 \text{ kg/m}^3$) y finalmente una capa externa de yeso de 12,5 mm de espesor ($PE = 710 \text{ kg/m}^3$). Esta última capa será remplazada por los distintos tableros estudiados en este trabajo, para realizar un estudio comparativo. Estas variaciones dan lugar a las distintas propuestas de tableros dobles: tablero de Tetrabrik de 18 mm de espesor ($PE = 850 \text{ kg/m}^3$) (cerramiento doble 2); aglomerado de 18 mm de espesor ($PE = 677 \text{ kg/m}^3$) (cerramiento doble 3), MDF de 18 mm de espesor ($PE = 770 \text{ kg/m}^3$) (cerramiento doble 4), Fenólico de 18 mm de espesor ($PE = 516 \text{ kg/m}^3$) (cerramiento doble 5), Polialuminio de 18 mm de espesor ($PE = 811 \text{ kg/m}^3$) (cerramiento doble 6), T-Plak de 18 mm de espesor ($PE = 906 \text{ kg/m}^3$) (cerramiento doble 7) (ver Figura 3a).

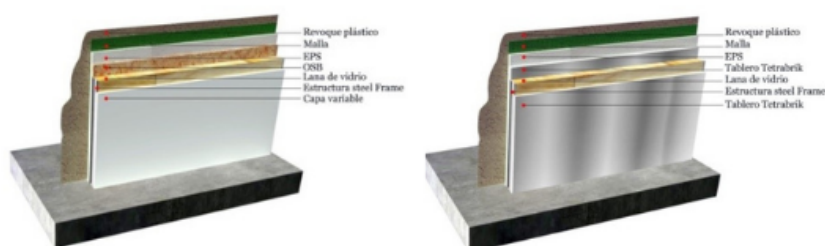


Figura 3. (a) Propuesta de cerramiento doble 1-7; (b) propuesta de cerramiento doble 8.

Fuente: elaboración propia.

Se planteó una última propuesta de cerramiento doble (cerramiento doble 8) en el cual la capa de OSB exterior fue reemplazada por una capa de Tetrabrik de 18 mm de espesor ($PE = 850 \text{ kg/m}^3$), y la capa interna también es de Tetrabrik de 18 mm de espesor, la representación axonométrica de esta propuesta se puede observar en la Figura 3b.

Tabla 4. Composición de los cerramientos dobles, masa por unidad de superficie (M) e Índice de reducción acústica ponderado (Rw).

Cerramiento doble	Capas					M total (kg/m ²)		Rw (dB)
	1	2	3	4	5	M1	M2	
1	Revoque plástico	EPS	OSB	L ^b =70 mm	Yeso	14,7	8,9	63,3
2	Revoque plástico	EPS	OSB	L=70 mm	Tetrabrik	14,7	15,3	68,1
3	Revoque plástico	EPS	OSB	L=70 mm	Aglomerado	14,7	12,2	66,1
4	Revoque plástico	EPS	OSB	L=70 mm	MDF	14,7	13,9	67,2
5	Revoque plástico	EPS	OSB	L=70 mm	Fenólico	14,7	9,3	63,7
6	Revoque plástico	EPS	OSB	L=70 mm	Polialuminio	14,7	14,6	67,7
7	Revoque plástico	EPS	OSB	L=70 mm	T-Plak	14,7	16,3	68,6
8	Revoque plástico	EPS	Tetrabrik	L=70 mm	Tetrabrik	18,9	15,3	70,3

^a Rw calculado a partir de la ecuación (3).

^b L es la separación entre los dos muros la cual está rellena de lana de vidrio.

Fuente: elaboración propia.

El cálculo del Índice de reducción acústica ponderado (Rw) de cada variable de cerramiento se comparó con los valores establecidos en la normativa vigente. Esto nos permitió seleccionar el panel multicapa con los materiales y espesores apropiados.

La aislación acústica mínima ha sido establecida por organismos del gobierno nacional y municipal: A nivel Nacional, existe la disposición N° 18 del 05/04/2000 en el Plan Federal de Infraestructura y Vivienda, referido a los Estándares mínimos de calidad para viviendas de interés social, que en el apartado 4.3.4 *Aislación acústica recomienda que en viviendas apareadas o en tiras*, los muros divisorios entre unidades tengan en toda su altura una resistencia acústica mínima de 48 dB (Estándares Mínimos De Calidad Para Viviendas De Interés Social, 2000).

Por otra parte, en la Tabla 5 se presentan los valores informados en el Anexo A de la Norma IRAM 4044 que establece los valores mínimos de aislamiento acústico internos, medidos *in situ* según el tipo de ruido (Norma IRAM 4044: Protección contra el ruido en edificios. Aislamiento acústico mínimo de tabiques y muros., 2015).

Tabla 5. Valores Mínimos de aislamiento *in situ* al ruido aéreo para viviendas familiares, Anexo A de la Norma IRAM 4044 (Norma IRAM 4044: Protección contra el ruido en edificios. Aislamiento acústico mínimo de tabiques y muros., 2015)

Descripción	Escala I ^a Rw (dB)	Escala II ^b Rw (dB)
Entre unidades de un mismo edificio	50	56
Entre unidades de edificios linderos	50	56
Entre viviendas linderas	50	56
Entre departamentos y espacios de uso común	50	56
Entre habitaciones y sala de ascensores	54	60
Entre habitaciones de una misma vivienda sin aberturas en el tabique divisorio	42	48
Entre habitaciones de una misma vivienda con aberturas en el tabique divisorio	35	41
Puertas	27	33
Entre viviendas y locales públicos	54	60

^a Escala I de protección acústica: valores mínimos necesarios para preservar la salud mediante la protección acústica. Se pueden percibir ruidos que proceden del exterior, o de ambientes cercanos.

^b Escala II de protección acústica: valores que permiten que los habitantes de diferentes recintos logren un nivel adecuado para la actividad intelectual, de recreación o de descanso, y la protección de la privacidad en el caso de elevar moderadamente la voz.

Por último, según el Código de Edificación de la ciudad de Córdoba (Argentina), en el punto 5.3.3: *Aislación Acústica (Ord.9387/95)*, los elementos de envolvente como de particiones interiores, deberán cumplir con las condiciones de aislación acústica adecuadas a la función de cada local, determinadas por los métodos y en las condiciones estipuladas en las Normas IRAM 4061 y 4063, en lo referido a exigencias mínimas de aislación sonora entre viviendas (Norma IRAM 4061: Acústica. Frecuencias normales para utilizar en mediciones., 1991; Norma IRAM 4063-3: Acústica, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 3: Medición en el laboratorio del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción, 2022).

La comparación R_w de los cerramientos diseñados con tableros de Tetrabrik y los valores indicados por la normativa vigente a nivel nacional arrojaron las siguientes observaciones: El cerramiento simple 2, compuesto por una capa central de ladrillos huecos de 120 mm de espesor, una capa exterior de revoque grueso y fino, y una capa interior de Tetrabrik, cuyo R_w es de 55,3 dB, cumplimenta con la normativa nacional en Escala I ($R_w \geq 50$ dB) pero no en Escala II ($R_w \geq 56$ dB). Lo mismo ocurre con el cerramiento simple 3, compuesto por una capa central de ladrillos huecos de 120 mm de espesor, y tanto la capa exterior como la interior de Tetrabrik, cuyo R_w es de 54,8 dB. En cambio, en el caso de los cerramientos dobles, encontramos dos alternativas que cumplen con la normativa nacional, tanto en Escala I como en Escala II. El cerramiento doble 2, compuesto por una capa externa de revoque plástico, seguido por una capa de EPS, un tablero OSB y una capa interior de Tetrabrik, que posee un R_w de 68,1 dB y que supera por 8 dB a la solicitud más exigente. Cuando el tablero OSB es reemplazado por uno de Tetrabrik (cerramiento doble 8) el aislamiento acústico aumenta 2 dB, con lo cual se comporta aún mejor que el anterior para aislar el ruido ($R_w = 70,3$ dB). Por otra parte, cuando la capa interior de un cerramiento doble estándar, como es la placa de yeso (cerramiento doble 1) se reemplaza por un tablero de Tetrabrik el desempeño acústico mejora en casi 5 dB. También se logran mejoras sobre el sistema estándar si el tablero interior del cerramiento doble es aglomerado, MDF, polialuminio o tablero de partículas de Tetrabrik como T-Plak. Los cerramientos que se seleccionaron en este trabajo para continuar con el estudio son el cerramiento simple 2, compuesto por una capa central de ladrillos huecos de 120 mm de espesor, capa exterior de revoque grueso y fino, y capa interior de Tetrabrik; y el cerramiento doble 2, compuesto por una capa externa de revoque plástico, seguido por una capa de EPS, un tablero OSB y una capa interior de Tetrabrik. Ambos tipos de cerramientos cumplen con las exigencias de la normativa vigente. Los próximos pasos a seguir en la investigación son la realización de los ensayos de conductividad térmica y de resistencia a la intemperie (rayos ultravioleta y humedad) y los diseños de los encastrés entre los tableros, estos aspectos serán analizados en trabajos futuros.

4. CONCLUSIONES

El tablero de Tetrabrik desarrollado en CEVE es una alternativa válida para utilizar en cerramientos de distintos tipos de construcciones, por su desempeño técnico. Desde el punto de vista acústico, se ha establecido que no se puede utilizar el tablero desnudo ($R_w = 33,7$ dB) por no verificar con la normativa nacional vigente ($R_w \geq 50$ dB). Pero sí es posible utilizarlo en combinación con otras capas de materiales en cerramientos simples, consistentes en mampostería de ladrillos cerámicos huecos revocado de un lado, y con la capa de Tetrabrik del otro lado, según el cálculo presentado en este trabajo, utilizando una metodología teórica basada en la Ley de Masa ($R_w = 55,3$ dB); y también en cerramientos múltiples de tipo *steel frame*, compuestos por una capa externa de revoque plástico, seguido por una capa de EPS, un tablero OSB y una capa interior de Tetrabrik ($R_w = 68,1$ dB).

Los diseños propuestos pueden ser de interés en el mercado de la construcción, ya que cumplimentan con la normativa en materia de aislación acústica vigente en nuestro país.

Además de esta ventaja de tipo técnica, los tableros de Tetrabrik suman beneficios desde el punto de vista ambiental ya que proponen el reciclaje de residuos locales y evitan el uso de recursos no renov-

ables, a diferencia de otros componentes constructivos tradicionales, en consonancia con los postulados de la economía circular y la construcción sustentable.

Como dificultad desde el punto de vista de la producción en escala, no están implementados los programas de recolección diferenciada de Tetrabrik en todos los municipios de Argentina. Sería importante la concientización de la población sobre la separación en origen de este residuo para facilitar su reciclado. Este proyecto es un aporte para la construcción de viviendas sociales, de bajo costo. Es posible impactar positivamente en el ambiente, en la producción de trabajo y en el incentivo a la promulgación de leyes tendientes a regular la gestión de residuos de manera racional y eficiente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al CONICET por el financiamiento del proyecto en el cual se enmarca este trabajo y por la Beca de Doctorado otorgada a la DI María Laura Gaetan. Los autores agradecen al personal técnico de CEVE que colaboró en la fabricación de moldes, adaptación de la prensa, corte de los tableros y medición de los ensayos; en especial a la DI. Vanina Greppi, al Dr. Julián Gonzáles y a los técnicos Miguel Alberto González y Luis Alberto Sosa (h).

REFERENCIAS

- Alton Everest, F. (2001). *Master handbook of acoustics* (4.^a ed.). McGraw-Hill.
- Amato, C. N., Buraschi, M., Peretti, M. F., & González, S. D. (2022). *Economía Circular. Mapeo de cadenas de valor de materiales reciclados de la ciudad de Córdoba*. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Córdoba.
- Berger, R. (1911). *Über die Schalldurchlässigkeit*. München.
- CEPAL, & Unidas, N. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Naciones Unidas. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- CUAC. (2010). *Pabellon de Tetrabriks*. <https://www.cuacarquitectura.com/#!/archivo/trabajo/pabellon-de-tetrabriks/>
- Egger. (2025). *Productos de construcción*. <https://www.egger.com/es/productos-de-construccion/?country=AR>
- Estellés Díaz, R. (2005). Aislación Acústica. En U. de la República (Ed.), *Facultad de Arquitectura de Montevideo*.
- Expreso. (2015). *El Tetra Pak se transforma en una opción inmobiliaria*. <https://www.pressreader.com/ecuador/diario-expreso/20150209/281908771569585>
- Faplac. (2025). *Tableros Faplac*. <https://www.faplaonline.com.ar/home/>
- Gaetan, M. L., Gaggino, R., Peisino, L. E., & Baronetto, C. (2022). Placas de cerramiento a partir de plásticos reciclados para uso en viviendas sociales. *AJEA*, 15. <https://doi.org/10.33414/ajea.1047.2022>
- Heckl, M. (1981). The Tenth Sir Richard Fairey Memorial Lecture: Sound transmission in buildings. *Journal of Sound and Vibration*, 77(2), 165-189. [https://doi.org/10.1016/S0022-460X\(81\)80018-1](https://doi.org/10.1016/S0022-460X(81)80018-1)
- Inncontext. (2024). *El avance de la Responsabilidad Extendida del Productor en América Latina*. <https://inncontext.net/141-el-avance-de-la-responsabilidad-extendida-del-productor-en-america-latina/>
- Norma IRAM 4061: Acústica. Frecuencias normales para utilizar en mediciones., (1991).
- Norma IRAM 9705: Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad., (2001).

Norma IRAM 4063-4: Acústica, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 4: Medición «in situ» del aislamiento al ruido aéreo entre locales, (2002).

Norma IRAM 4044: Protección contra el ruido en edificios. Aislamiento acústico mínimo de tabiques y muros., (2015).

Norma IRAM 4063-3: Acústica, Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 3: Medición en el laboratorio del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción, (2022).

MaderWil. (2025). *Placas y Maderas MaderWil*. <https://www.maderwilonline.com.ar/>

Estándares Mínimos De Calidad Para Viviendas De Interés Social, 1 (2000).

Noticias, T. (2015, agosto 31). *Proyecto regional de viviendas sustentables entre Tornquist y La Madrid*. <https://www.noticiastornquist.com.ar/2015/08/31/proyecto-regional-de-viviendas-sustentables-entre-tornquist-y-la-madrid/>

Olfos, L., Valdes, F., Sarabia, G., & Barros, P. (2020). Thermal Insulating Panels Based on Recycled Tetra-Pak® Packaging Materials. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 503(1), 012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/503/1/012076>

ReBits. (2021). *Ley REP en el mundo: Ejemplos internacionales*. <https://rebits.cl/2023/05/28/ley-rep-en-el-mundo-ejemplos-internacionales/>

Robertson, G. (2021). Recycling of Aseptic Beverage Cartons: A Review. *Recycling*, 6(1), 20. <https://doi.org/10.3390/recycling6010020>

Scalzo, J. C. (2022, junio 21). *En Rafaela le encontraron la vuelta al reciclado de tetra pak*. https://www.ellitoral.com/regionales/en-rafaela-le-encontraron-la-vuelta-al-reciclado-de-tetra-pak_0_gSaTbQOTbv.html

SGE. (2024). *Chapas y Placas Fibroplásticas EcoTech*. <https://www.sge.com.ar/ecotech.html>

Soriano Vivas, M. (2012). *Construir con residuos y otros materiales alternativos* (1.^a ed.). EcoHabitat Sociedad Microcooperativa.

T-Plak. (2025). *T-PLAK PLACAS ECOLÓGICAS*. <https://www.instagram.com/tplakplacasok/?hl=en>

Yan Li and Shuxia Ren. (2011). Acoustic and Thermal Insulating Materials. En *Building Decorative Materials* (pp. 359-374). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857092588.359>

Zawadiak, J. (2017). Tetra Pak Recycling – Current Trends and New Developments. *American Journal of Chemical Engineering*, 5(3), 37. <https://doi.org/10.11648/j.ajche.20170503.12>