

LADRILLOS REUTILIZANDO RESIDUO DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) EN BAJAS PROPORCIONES. ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Lucía A. Villalba¹, Herminia M. Alías², Pablo E. Martina³

¹ Becaria de investigación. Secretaría General de Ciencia y Técnica (SGCyT). Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). e-mail: lua.arqestudio@gmail.com

² Directora de beca de investigación. Docente e Investigadora. Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU). UNNE. Instituto para el Desarrollo de la Eficiencia Energética en Arquitectura (IDEEA). heralias@arq.unne.edu.ar

³ Codirector de beca de investigación. Docente e Investigador. Facultad de Ingeniería (FI). UNNE. Grupo de Investigación de Energías Renovables (GIDER). pablo@ing.unne.edu.ar

RESUMEN: Se exponen avances de un trabajo que tiene el objetivo de desarrollar prototipos de ladrillos para viviendas reutilizando el residuo de PET post consumo en el Área Metropolitana del Gran Resistencia (AMGR). Tras una sistematización de propiedades y beneficios asociados al uso del residuo de PET en la construcción, se realizaron: análisis de antecedentes, estudio de casos de reutilización del PET en la arquitectura, visitas a puntos de recolección de PET en la ciudad. Se definió un panorama de la situación local en cuanto al volumen del residuo y a sus posibilidades de reutilización. Luego se decidió realizar el estudio y primeros ensayos (de resistencia a compresión, según norma IRAM 11561-4, y de conductividad térmica mediante el aparato de placa caliente, según norma IRAM 11559:1995) de tres prototipos de ladrillos. Al tener los prototipos construidos un menor porcentaje de PET, según los primeros resultados obtenidos, no representan ventajas desde el punto de vista térmico ni mecánico, respecto a otros materiales que utilizan PET en su constitución, ni tampoco respecto a los ladrillos cerámicos comunes de uso habitual en muros de edificios en la región. Las ventajas detectadas residen en la reutilización de un residuo muy abundante regionalmente.

Palabras clave: AMGR, reutilización, residuos plásticos, bloques modulares.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se inserta en una investigación en curso que tiene el objetivo de proponer alternativas y lineamientos para la reutilización de residuos de Tereftalato de Polietileno (PET) para elementos constructivos modulares en el Área Metropolitana del Gran Resistencia. En ella se proponen materiales alternativos para la construcción a partir de la reutilización del PET, en la búsqueda de soluciones frente al impacto ambiental que este provoca como residuo vertido al ambiente, considerando que el consumo del PET aumenta año a año. El tiempo de descomposición del mismo es de 100 años en adelante, según en qué condiciones se encuentre. Su principal destino son vertederos de basura (Paz, 2016).

En la actualidad la tasa de reciclado es de 30%. Es decir que el 70% restante, enterrado o no, contamina el ambiente (Paz, 2016). En Argentina, cada habitante produce 1,15 kilogramos de residuos sólidos urbanos por día. Cada dos segundos, Argentina produce una tonelada de basura (MAYDS, 2020).

A partir de la situación planteada surge la propuesta de esta investigación, basada en la intención de reusar un residuo sólido de origen doméstico-industrial como las botellas de PET, que son 100% reciclables y no usan el Bisfenol A (compuesto tóxico) como aditivo. La propuesta consiste inicialmente en el desarrollo de lineamientos de alternativas tecnológicas para la reutilización de residuos de PET (botellas), para la conformación de elementos constructivos modulares para viviendas en la región

noreste de Argentina (NEA), considerando que el PET puede aportar beneficios no solo ambientales (si se parte de la recuperación de las botellas desechadas como residuos) sino también en cuanto a desempeño térmico, mecánico y acústico, si se lo usa bajo determinadas alternativas tecnológicas.

Como características principales, el PET es una resina sintética termoplástica, y como tal, es reciclablE. El primer paso para el reciclado es la separación por tipo de resina. Una fracción clasificada con mayor pureza significa mayor rendimiento y precio por tonelada. Para ello, la Sociedad de la Industria de Plásticos desarrolló en 1988 el Código de Identificación de Resinas. Se convino que los productos elaborados tengan un símbolo de aceptación universal que indique de qué tipo de material se trata (Figura 1). Las flechas que forman el triángulo son señal de que el producto plástico puede ser reciclado. Los números y letras identifican a cada tipo de plástico. Si el acrónimo lleva una "R" delante, significa que el producto lleva materiales plásticos reciclados (Paz, 2016).



Figura 1: Código de identificación universal de resinas plásticas. Fuente: Paz, (2016).

Sistematización de propiedades:

El PET tiene una baja velocidad de cristalización y puede encontrarse en estado amorfo-transparente o cristalino. En general se caracteriza por su elevada pureza, alta resistencia y tenacidad. De acuerdo a su orientación presenta propiedades de transparencia y resistencia química. Este polímero no se estira y no es afectado por ácidos ni gases atmosféricos, es resistente al calor y absorbe poca cantidad de agua, forma fibras fuertes y flexibles, también películas. Su punto de fusión es alto, lo que facilita su planchado y, es resistente al ataque de polillas, bacterias y hongos (Biéc et al, 2020). Sus características principales, son (Paz, 2016): Alta resistencia. No se estira. Puede formar fibras y películas fuertes y flexibles; Transparencia. Admisión de colorantes. Brillo; Resistencia química. No es afectado por ácidos ni gases atmosféricos; Resistencia térmica al calor (80 – 120°C) debido al alto punto de fusión (244 – 254°C); Baja absorción de agua; Procesable para soplado, inyección y extrusión; Apto para producir botellas, películas, láminas, planchas y piezas; Aprobado para el uso con contacto alimenticio; Reciclable; Liviano (densidad: 1,34 – 1,39 g/cm³).

Tras considerar las propiedades y potencialidades asociadas al uso del residuo de PET en la construcción, se realizaron visitas a puntos de recolección de PET en el Área Metropolitana del Gran Resistencia (AMGR), provincia del Chaco, para delinear una situación local en el marco de la economía circular. Luego se elaboraron, artesanalmente, los primeros prototipos y se realizaron sus primeros respectivos ensayos.

Análisis de antecedentes

1. Antecedente internacional: Se destaca el "Estudio de las características físico - mecánicas de ladrillos elaborados con plástico reciclado en el municipio de Acacias" (Restrepo, Cagüeña y Santamaría, 2007), en Colombia, en el que se describe el ladrillo con una composición: 70% de polietileno tereftalato PET y 30% de polietileno de alta densidad PEAD, presentándose las siguientes características y resultados (Tabla 1 y 2):

Tabla 1: Pesos y densidades de los Ladrillos 70% PET y 30% PEAD.

LADRILLOS	ANCHO	LONG.	ALTO	VOLUMEN	PESO	DENSIDAD
	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(gr)	(gr/cm ³)

PROMEDIO	11,05	22,10	5,10	1245,45	1081,2	0,87
----------	-------	-------	------	---------	--------	------

Tabla 2: Resultados de los ensayos de los Ladrillos 70% PET y 30% PEAD.

LADRILLOS	CARGA MAX.DE ROTURA	TENSION DE ROTURA	ABSORCION DE AGUA
	(KN)	(MPa)	%
PROMEDIO	132,3	23,4	0,29

- Conductividad térmica: Los elementos constructivos obtenidos proveen muy buen aislamiento térmico, superior al de otros ladrillos tradicionales.
 - Resistencia al fuego: Por su alta composición de PET tienen buena resistencia al fuego, por ser un material combustible de muy baja propagación de llama.
 - Módulo de rotura: Soportan una presión promedio de 831.312,88 Pa, lo que lo hace un ladrillo altamente resistente a la rotura.
 - El ladrillo de plástico reciclado estándar tiene alto grado de resistencia a la compresión: de 239 Kg/cm² = 23,4 Mpa
2. Antecedente nacional: Proyecto en la provincia de Córdoba junto del Centro Experimental de la Vivienda Económica y la Asociación del a Vivienda Económica (CEVE-AVE) y CONICET, referido al “*Emprendimiento de fabricación de ladrillos con plástico reciclado involucrando actores públicos y privados*” (Gaggino, Kreiker, Mattioli y Argüello, 2015). El proceso de fabricación de este ladrillo se realiza teniendo como materia principal al plástico PET, empleando 1 kg del mismo en cada ladrillo, con lo que se estima un 50% de PET, utilizando como ligante al cemento portland común (cuantía de 224,5 kg/m³), al que se le agrega un aditivo químico en el agua de mezclado (consistente en polímeros acrílicos en suspensión), que mejora la adhesividad de las partículas plásticas con el cemento. Se realiza una síntesis de los resultados (Tabla 3).

Tabla 3: Síntesis de resultados de los ensayos de los Ladrillos 50% PET y cemento.

LADRILLOS	DENSIDAD	CONDUCTIVIDAD TERMICA	RCIA. A LA COMPRESION	ABSORCION DE AGUA
	(gr/cm ³)	(W/mK)	(MPa)	%
PROMEDIO	1,15	0,15	2	19,1

Propiedades técnicas de los ladrillos

- Resistencia acústica: 41 db, en un muro de 0,15 m. de espesor revocado de ambos lados.
 - Resistencia al envejecimiento: Son resistentes a la acción de rayos ultravioleta y humedad.
 - Resistencia al fuego: Material combustible de muy baja propagación de llama.
 - Adherencia de revoques: 0,25 Mpa.
 - Resistencia al corte y aserramiento: Son fáciles de cortar y aserrar.
3. Antecedente en el NEA: Se consideró el trabajo realizado en la Facultad de Ingeniería de la UNNE sobre “*Módulo de Fabricación automática de ladrillos PET*” (Castro, Palacios y Conci, 2021), en el que se realizó el diseño y el cálculo de una trituradora con cuchillas para plásticos, acompañado de un informe comparativo de distintos productos a fin de darle al PET una finalidad óptima. Las dimensiones propuestas del ladrillo a producir serían las convencionales (5,5 cm x 12,5 cm x 26,2 cm), con forma de paralelepípedo de base rectangular. Para mejorar

la adherencia, los mismos poseen en las superficies de los lados mayores dos posibles tipos de rugosidades: estrías longitudinales o círculos rehundidos. El peso promedio por unidad es del orden de 1,4 Kg. Los ladrillos elaborados con plásticos reciclados son livianos por el bajo peso específico de la materia prima (dependiendo, por supuesto, del porcentaje de uso del plástico).

METODOLOGIA

Se realizaron las siguientes actividades:

Análisis de la cantidad de residuo PET en el AMGR

El conjunto de municipios que comprende el AMGR actualmente concentra poco más de un tercio del total de la población de la provincia del Chaco: 385.726 habitantes según el Censo Nacional de 2010 (Alberto et al, 2018). Si se considera que la generación de residuo sólido urbano (RSU) per cápita es igual a 0,777 kg/hab/día (INDEC, 2010), multiplicado por la cantidad de personas da un total de 300 tn por día aproximadamente, lo que por mes daría 9000 tn de RSU en el AMGR. Para ampliar la información respecto a la situación y características del residuo de PET en el AMGR (tipo, volumen, etc.), se trabajó en la identificación de puntos de recolección, de tratamiento de residuos locales y de sectores que pudieran dedicarse específicamente al reciclaje y reutilización de PET. En ese sentido, se realizaron visitas y entrevistas a:

- “Inplastico” (2022) de la ciudad de Resistencia (Chaco): se estima que recolecta un aproximado de 100 toneladas de plástico por mes de HDPE, LDPE, entre otros.
- “Sembrando conciencia” (2022) también de la ciudad de Resistencia, recauda 1 tonelada de PET por mes aproximadamente, de la cual el 30% se vende, el 50% se dona a “madera plástica Ecoqiru” y el resto se dona a la municipalidad.
- “Ecoqiru” (2022) es una empresa chaqueña localizada en la ciudad de Margarita Belén (Chaco) que se dedica a la fabricación de lo que denominan “maderas plásticas”. Actualmente cuentan con más de 2 toneladas de PET recaudadas mediante donaciones.

Se puede estimar así que el plástico reciclado en el AMGR (102 Tn mensuales aprox.) sólo representa el 1,13% del total de RSU existente en el área. A su vez, considerando un informe de la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2021), según el cual el plástico representa el 85% aproximadamente de los residuos que llegan al mar, se puede inferir que en tierra podría ocurrir lo mismo, o incluso en mayor medida. En la figura 2 se expone una comparación de la cantidad de RSU en el AMGR, su porcentaje de plástico y la cantidad que es reciclada.

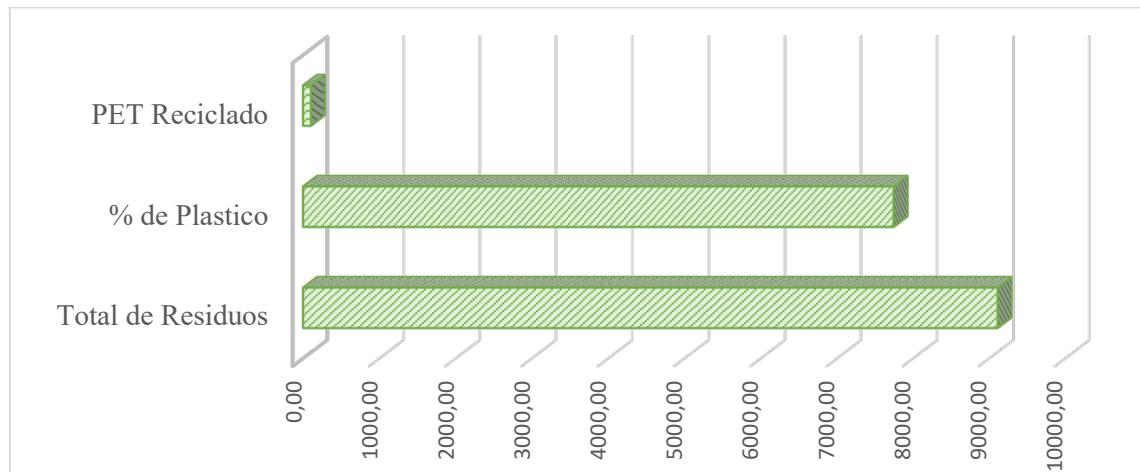


Figura 2. Residuos sólidos mensuales en el AMGR. Fuente: elaboración propia.

Elaboración de los primeros prototipos artesanales

En vista de las indagaciones y consideraciones expuestas, se decide encarar el estudio del primer prototipo en el Departamento de Mecánica, Electricidad y Electrónica y Termodinámica de la FI-UNNE,

utilizando para construirlo un molde de 13,5cm por 15cm, por 6cm de espesor (Figura 3), siendo este el equivalente a medio ladrillo, para realizar a posteriori los ensayos necesarios.

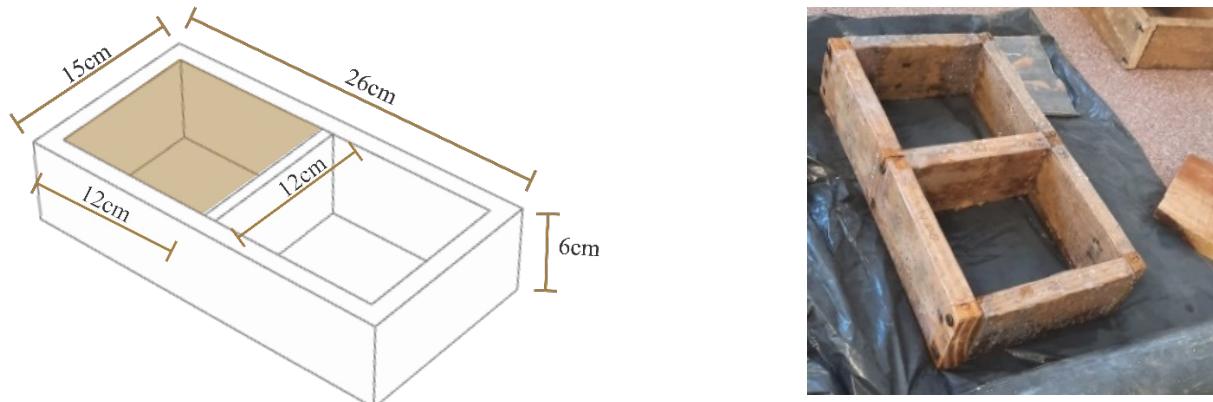


Figura 3. Molde para realizar los ensayos. Fuente: elaboración propia.

Para realizar la mezcla, se realizó el triturado manual de botellas PET cortando estas en tiras y luego en secciones más pequeñas, cuadradas, de aproximadamente 5 mm. de lado, por el espesor del plástico (0,1 a 0,2 mm.). A continuación, se procedió a tamizar y pesar el cemento, la arena y la tierra. Una vez obtenidos los componentes se realizó la mezcla con diferentes dosajes para cada prototipo (Figura 4 a).



Figura 4. Mezcla y prototipos realizados. Fuente: fotografías propias.

Para el dosaje del primer prototipo (P1), que se muestra en la Figura 4 b, se consideraron los siguientes materiales por peso: 350gr. de Cemento, 700gr. de Arena y 30gr de PET (equivalente al 3% del mortero), más 350ml de Agua. El bloque finalizado, una vez dejado reposar una semana, pesó 1106,17gr.

Para el segundo dosaje (P2), se agregó mayor porcentaje de PET, quedando la mezcla con una proporción en peso de: 400gr. de Cemento, 800gr. de Arena y 120gr de PET (equivalente al 10% de la mezcla), más 350ml de Agua. El bloque finalizado pesó 1252,21gr.

Por último (Figura 4 c), se realizó un tercer prototipo (P3) con la combinación de tierra, arena y PET. En este prototipo los pesos de materiales utilizados fueron: 470gr de tierra, 235gr de Arena, 70gr de PET (equivalente al 10% de la mezcla) y 300ml de Agua, resultando un peso final, luego del secado, de 900gr.

Las mezclas de cemento para los prototipos se prepararon manualmente. El mezclado se inició incorporando el agregado fino (arena) y el PET junto con un tercio del agua de mezclado. Ellos se mezclaron por 45 segundos para saturar los agregados. Luego se añadió el cemento y se continuó el mezclado manual durante 5 a 7 minutos, añadiendo lentamente el agua restante. Con la mezcla preparada se llenaron los moldes, que se movieron reiteradas veces en horizontal sobre su superficie de apoyo, a efectos de lograr el compactado. Posteriormente se cubrieron con plásticos y permanecieron en reposo durante 5 días a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, después de los cuales los prototipos se desmoldaron y se les realizó un curado seco durante 30 días, que consistió en dejarlos al aire libre a una temperatura

de 20 ± 4 °C y una humedad relativa entre 40-60%. El ensayo de resistencia a la compresión se realizó a los 60 días de haberse realizado los prototipos.

Estos primeros resultados de pesos finales de los prototipos elaborados se exponen en una tabla síntesis (Tabla 4), con sus pesos y densidades correspondientes.

Tabla 4: Pesos y densidades de los prototipos realizados.

PROTOTIPO	ANCHO	LONGITUD	ALTURA	VOLUMEN	PESO	DENSIDAD
Nº	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)	(gr)	(gr/cm ³)
P1	11,3	12,0	5,40	732,24	1106,17	1,51
P2	11,4	12,0	4,70	642,96	1252,17	1,95
P3	10,6	11,6	4,00	491,84	900	1,83

Realización de los primeros ensayos

1. Ensayos de resistencia mecánica y absorción de agua

Una vez realizados los tres prototipos, equivalentes a medio ladrillo común aproximadamente (11,10cm x 11,86cm x 4,70cm), se procedió a realizar con ellos los ensayos de resistencia mecánica y la determinación de absorción de agua, en el Laboratorio de Estabilidad de la Facultad de Ingeniería (FI) de la UNNE, en abril de 2023.

La maquinaria utilizada para los ensayos de compresión fue la prensa hidráulica (Figura 5), según la Norma IRAM 11561-4 para ensayos de compresión en bloques de hormigón. Esta prensa se compone de dos cilindros que se conectan entre sí. El sistema funciona generando presión sobre la placa, lo que genera presión sobre el líquido hidráulico. Esta presión se distribuye posteriormente dentro del cilindro y empuja el pistón, generando presión, a partir de la cual se obtuvieron los resultados expuestos (Tabla 5).



Figura 5. Prensa hidráulica. Fuente: fotografías propias.

La velocidad de deformación, durante la aplicación de la carga, fue de 0,4 Mpa*seg para bloques de hormigón.

2. *Ensayo de conductividad térmica*

Se construyeron las probetas para el ensayo de conductividad térmica mediante el aparato de placa caliente, según Norma IRAM 11559:1995, realizando para ello moldes de 30cm x 30cm x 2cm de espesor, en el Depto. de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería (FI) de la UNNE, en abril de 2023.

La dosificación de estas dos probetas correspondió al equivalente del primer prototipo (Figura 6), por lo que el dosaje de cada probeta fue: cemento = 1200gr, arena = 2400gr, agua = 900gr, PET = 108gr (3% de cemento + arena). Una vez fraguadas ambas probetas se realizó en una de ellas un calado de tres ranuras en cada cara, de aproximadamente 3mm de profundidad y ancho, y 150mm de largo. Ello se realizó para permitir la colocación 6 sensores RTD (Resistance Temperatura Detector) de platino tipo Pt100, 3 en la cara caliente (se toma un promedio) y 3 en la fría (se toma un promedio).

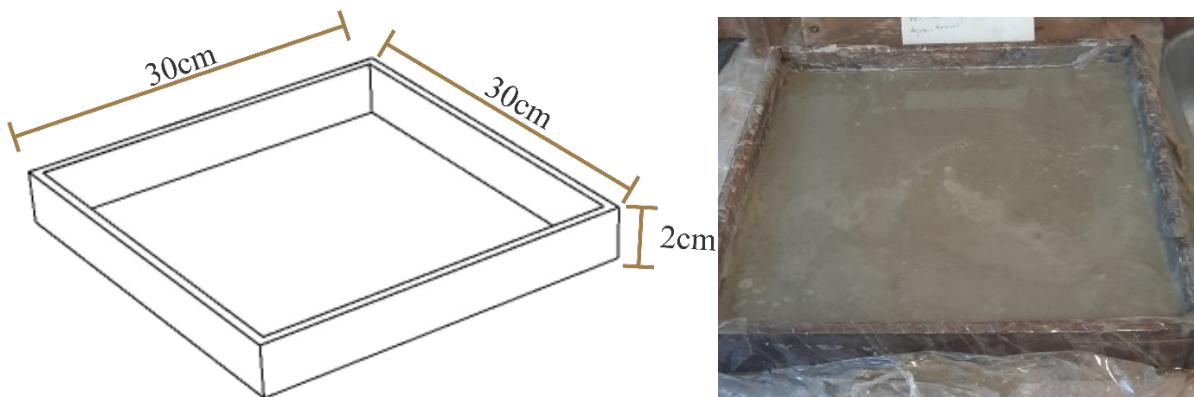


Figura 6. Probetas realizadas. Fuente: elaboración propia.

Finalizadas las dos probetas (agosto de 2023), se inició el procedimiento para la determinación de la resistencia térmica en régimen estacionario. El método utilizado es aquél en el cual, a través del “*equipo de placa caliente*” se entrega calor a la placa caliente mientras se hace circular agua por la placa fría, trasmitiéndose el calor a través de la probeta del material ensayado ubicado entre ambas placas. La figura 7 ilustra estas diferentes partes del dispositivo. Para la conformación de la placa caliente se utilizó una resistencia eléctrica que constituyó una única fuente caliente central y para colaborar a la distribución del calor en toda la cara caliente de la probeta se utilizó una plancha de cobre. Para la conformación de la placa fría se utilizaron dos fuentes frías formadas por serpentines de aluminio de espesor =38mm cada uno con agua en circulación ubicados en los 2 extremos exteriores (2 fuentes frías). Boca de salida y entrada de agua: diámetro = 10mm con agua en circulación, ubicados en los 2 extremos exteriores. El caudal de agua utilizada en la fuente fría fue de 1,65 lt/min en cada serpentín, es decir 3,30 lt/min en total. Para evitar pérdidas o ganancias de calor durante el proceso de ensayo, se conformó una envolvente para la probeta y ambas placas, construida en poliestireno expandido de 2 cm. de espesor (Figura 8).

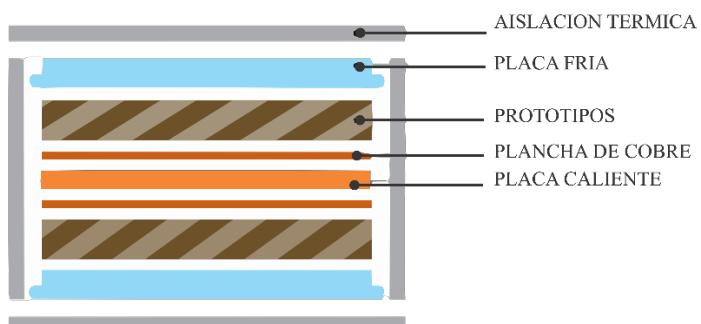


Figura 7: Esquema funcional del equipo de Placa Caliente. Fuente: elaboración propia.



Figura 8: Equipo de Placa Caliente. Fuente: fotografías propias.

RESULTADOS

Resistencia mecánica y absorción de agua

Los resultados obtenidos de los tres prototipos se exponen en las tablas 5 y 6.

Tabla 5: Compresión en Bloques de Hormigón según Normas IRAM 11561-4.

MUESTRA	ANCHO	LONG.	ALTURA	SECCION	CARGA DE ROTURA	TENSION DE ROTURA
Nº	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(KN)	(MPa)
P1	11,3	12,0	5,40	135,6	116,62	8,60
P2	11,4	12,0	4,70	136,8	129,36	9,46
P3	10,6	11,6	4,00	123,0	19,60	1,59

Donde:

P1= Primer Prototipo

P2= Segundo Prototipo

P3= Tercer Prototipo

Tabla 6: Determinación de absorción de agua.

MUESTRA	ABSORCION
Nº	(%)
P1	0,83
P2	0,96
P3	(*)

(*) No se pudo realizar el ensayo de absorción por degradación del material. Se trataba del prototipo realizado con tierra, arena y 10% de PET, que se desgranó al inicio del ensayo a compresión.

Conductividad térmica

A partir de las mediciones realizadas una vez que las placas alcanzaron el régimen estacionario se pudieron obtener datos de temperatura final de equilibrio de placa caliente (tp_c) igual a 44,38 °C y temperatura final de equilibrio de la placa fría (tp_f) igual a 29,11 °C. Esto determinó una variación de temperatura entre ambas placas (dt) equivalente a 15,27°C. Asimismo, se registró una potencia eléctrica, colocando un amperímetro y un voltímetro en el circuito interno y externo, el producto de ambos resultados (Ampere x Voltios) da la potencia entregada. La cual es en la placa caliente, en su parte externa (pce) de 64,486 watt y en su parte interna (pci) de 77,336 watt. Con estos valores pudo determinarse la conductividad térmica del ladrillo entero a partir de la siguiente fórmula (1):

$$\lambda = \frac{e * (pce + pci)}{(2 * \Delta t * sup)}$$

$$\lambda = \frac{0,02 * (64,486 + 77,336)}{(2 * 15,27 * 0,09)} = 1,032 \text{ J / s m K}$$
(1)

Dónde:

λ = Coeficiente de Conductividad Térmica Total de Probeta obtenida de ensayo, en joule/seg*m*°C

e = Espesor Total de Probeta de Ensayo, en metros

pce = Potencia eléctrica entregada a la placa caliente en su parte externa, en Watt

pci = Potencia eléctrica entregada a la placa caliente en su parte interna, en Watt

Δt = Diferencia de Temperatura entre Placa Caliente y Fría, en °C

La conductividad térmica real del material obtenida de manera experimental a partir del método del “equipo de placa caliente” es de **1,032 W / m K**, que resulta un valor levemente inferior al del mortero de cemento (1,13 W / m K) y superior al de un ladrillo cerámico macizo común de fabricación artesanal (0,81 W / m K), según norma IRAM 11601 (1996) lo que determina que el prototipo ensayado no aportaría ventajas considerables desde el punto de vista térmico, al menos en la proporción de PET utilizada.

DISCUSIÓN

Una vez obtenidos los resultados de los prototipos se realizó una comparación con las propiedades descriptas de los ladrillos con PET mencionados en los antecedentes (Ver Tablas 1, 2 y 3), realizados en Colombia, que cuentan con 70% PET y 30% PEAD (Restrepo, Cagüeño y Santamaría, 2007) y los realizados en Córdoba con 50% PET y cemento (Gaggino, Kreiker, Mattioli y Argüello, 2015). También se realizó la comparación con los ladrillos comunes cerámicos macizos, usados tradicionalmente.

Para esto, se consideraron las propiedades de los ladrillos cerámicos macizos, que deben cumplir con la Norma IRAM 12566-1 y tener una resistencia característica a la compresión mínima, basada en su área bruta de: $f' u = 5,0 \text{ MPa}$ (CIRSOC 501E, 2023). Dichos ladrillos poseen una conductividad térmica de 0,81 w/m K y un porcentaje de absorción de agua de: 21,6 % (Gaggino, Kreiker, Mattioli y Argüello, 2015).

Los resultados obtenidos se exponen, a modo comparativo, en la Tabla 7, para valorizar los desempeños de los prototipos realizados en este trabajo. Es necesario destacar que las dimensiones promedio de los prototipos ensayados corresponden a medio ladrillo común, aproximadamente (11,10cm x 11,86cm x 4,70cm), mientras que los considerados en los antecedentes tienen las dimensiones de un ladrillo común entero (5,5 cm x 12,5 cm x 26 cm).

A partir de las comparaciones se puede observar que los prototipos cuentan con una densidad similar a los ladrillos cerámicos, mientras que presentan una densidad mayor a los ladrillos con PET realizados en los antecedentes Internacionales, como Nacionales. Como también cuentan en promedio con un peso superior a los antecedentes y menor al ladrillo cerámico.

En cuanto a la conductividad térmica, se verifican altos valores comparando con los antecedentes y los ladrillos cerámicos, debido a la baja proporción de PET en mezcla. Pero se puede valorar como el ladrillo con PET Nacional, que contiene mayor porcentaje de PET, resulta mucho más aislante por su baja conductividad térmica.

La resistencia a la compresión del primer y segundo prototipo resulta mayor que el ladrillo de PET Nacional y los ladrillos cerámicos. Sin embargo, se destaca el Ladrillo de PET Internacional que es realizado con 100% de plástico, con una resistencia tres veces mayor.

Por último, la absorción de agua de los prototipos es significativamente menor que los ladrillos cerámicos utilizados tradicionalmente.

Tabla 7: Comparación de resultados de los ensayos.

	ENSAYOS	PESO	DENSIDAD	CONDUTIVIDAD TERMICA	RCIA. A COMPRESION	ABSORCION DE AGUA
U		(gr)	(gr/cm ³)	(w/ m.k)	(MPa)	%
PROTOTIPOS	P1	1106,17	1,51	1,032	8,60	0,83
	P2	1252,17	1,95	-	9,46	0,96
	P3	900	1,83	-	1,59	-
ANTECEDENTE	70%PET 30%PEAD	1081,2	0,87	-	23,4	0,29
	50% PET y Cto.	-	1,15	0,15	2	19,1
	LC	3100	1,80	0,81	5,0	21,6

Donde:

P1= Primer Prototipo

P2= Segundo Prototipo

P3= Tercer Prototipo

70% PET y 30% PEAD = Ladrillo con 70% PET y 30% PEAD, Colombia.

50% PET y Cto. = Ladrillo con 50% PET y cemento, Córdoba, Argentina.

LC. = Ladrillo cerámico

CONCLUSIONES

El reuso o reciclado de un residuo sólido muy abundante en el AMGR (y en la región en general), como el PET, para la conformación de elementos constructivos modulares para la construcción de viviendas (como alternativa al uso de otras materias primas de “primera mano” habituales), representaría una opción tecnológica factible y ventajosa desde el punto de vista ambiental, por posibilitar una alternativa de destino final del material de residuo, en lugar de su vertido al ambiente.

Frente a la limitación de no contar con la maquinaria necesaria para el triturado del PET, con la consecuencia de haber tenido que realizar el triturado de forma manual, no fue posible lograr una gran producción de PET triturado, en el tiempo disponible, lo que también incidió en los porcentajes de PET usados en los prototipos (del 10% máximo).

De cualquier modo, existen amplios antecedentes nacionales e internacionales de ladrillos ejecutados con porcentajes de PET superiores al 30%, por lo que las indagaciones realizadas en este trabajo, al exponer los desempeños frente a porcentajes menores de uso del PET, al no contar con tantos antecedentes, introducen un aporte a partir de los resultados obtenidos. Ellos evidentemente no representan ventajas comparativas desde el punto de vista térmico y mecánico, en comparación a otros materiales de uso habitual en la ejecución de muros y cerramientos de edificios en la región.

El ensayo de conductividad térmica obtenido (1,032 W/ mK) arrojó un valor que no resulta ventajoso comparando con los ladrillos cerámicos comunes macizos (0,81 W/ mK). No obstante, se advierte que el ladrillo con 50% PET y cemento (Gaggino, Kreiker, Mattioli y Argüello, 2015), resulta mucho más aislante por su baja conductividad térmica (0,15 W/ mK).

Desde el punto de vista de la resistencia a la compresión del primer y segundo prototipo, que están realizados con cemento (8,60 Mpa y 9,46 Mpa), logran una resistencia mayor que los ladrillos cerámicos macizos (5 Mpa), por lo que podrían ser utilizados con total confiabilidad en cerramientos, con estructura independiente antisísmica (si el caso lo requiere). El tercer prototipo, que utilizó tierra en lugar de cemento, registró una carga de rotura a compresión muy baja (1,59 Mpa), no siendo apto para cerramientos.

Eventualmente, la conformación de un prototipo que utilice mayores proporciones de PET en su dosaje podría derivar en un menor valor de conductividad térmica, aunque correspondería en ese caso correlacionar y valorar el resultado con el valor que se obtenga de resistencia mecánica.

Como desarrollo futuro de la investigación se prevé considerar la reutilización de otros plásticos de descarte, así como de otros dosajes de los mismos (superiores a los ya ensayados). En estos casos, se considerarán especialmente las posibilidades de adherencia de los plásticos a los otros materiales ligantes de la mezcla. También se considera la posibilidad de analizar otros formatos de elementos constructivos modulares (diferentes al bloque mampuesto habitual), de factible aplicación en otros componentes constructivos (diferentes de las paredes o cerramientos verticales).

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Federico Solari, Jefe del Laboratorio del Departamento de Estabilidad de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste (FI – UNNE), por la disponibilidad y amplia colaboración prestada para la realización de los ensayos a compresión de los prototipos.

Al Ing. Franco Milich y a la Lic. Raquel Aeberhard, del Departamento de Termodinámica de la FI – UNNE, por el asesoramiento y la amplia colaboración brindada para la realización de los ensayos de conductividad térmica.

REFERENCIAS

- Alberto, J.; Mignone, A.; Arce, G.; López, S. (2018). *Dinámica y Desarrollo Urbano del Área Metropolitana del Gran Resistencia: Organización espacial en las primeras décadas del s. XXI*. UNNE. Resistencia. Chaco. Disponible en: https://gaea.org.ar/contribuciones/CONTRIBUCIONES_2018/CC2018ALBERTOMIGNONEARCELOPEZ.pdf
- Biéc, M.; Curzel, H.; Martorelli L.; López E.; Piedrafita G.; Fioretti C. (2020). *Aprovechamiento Del PET Como Estrategia De Mejoramiento Socio Ambiental*. Equipo de Extensión e Investigación Energía Desarrollo Sustentable y Alimentación (EDESA) Villa Regina -Río Negro. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/138508/Aprovechamiento_del_PET_como_estrategia_de_mejoramiento_socio_ambiental.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Castro, D., Palacios, S. y Conci, P. (2021). *Módulo de Fabricación automática de ladrillos PET*. Facultad de Ingeniería de la UNNE. Chaco, Argentina.
- Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles [CIRSOC] 501 E (2023). *Reglamento Empírico para Construcciones de Mampostería de Bajo Compromiso Estructural*. Buenos Aires: autor. Disponible en: <https://www.inti.gob.ar/assets/uploads/files/cirsoc/04-Reglamentos-en-discusion-publicacion-nacional/CIRSOC501E-Reglamento.pdf>
- Gaggino, R., Kreiker, J., Mattioli, D. y Argüello, R. (2015) Emprendimiento de fabricación de ladrillos con plástico reciclado involucrando actores públicos y privados. CONICET y CEVE-AVE. Córdoba. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/56370>

BRICK PROTOTYPES REUSING POLYETHYLENE TEREPHTHALATE RESIDUE (PET) IN LOW PROPORTIONS. FIRST ESSAYS AND RESULTS

ABSTRACT: The progress of a project aimed at developing prototypes of bricks for housing by reusing post-consumer PET waste in the Greater Resistencia Metropolitan Area (AMGR) is presented. After a systematization of the properties and benefits associated with the use of PET waste in construction, the following were carried out: background analysis, case studies of PET reuse in architecture, visits to PET collection points in the city. An overview of the local situation was defined in terms of the volume of waste and its possibilities for reuse. Then it was decided to carry out the study and first tests (of compressive strength, according to IRAM standard 11561-4, and of thermal conductivity using the hot plate apparatus, according to IRAM standard 11559:1995) of three brick prototypes. Since the prototypes are made from a lower percentage of PET, according to the first results obtained, they do not represent thermal or mechanical advantages compared to other materials that use PET in their composition, nor compared to common ceramic bricks commonly used in building walls in the region. The advantages detected reside in the reuse of a waste material that is very abundant in the region.

Keywords: AMGR, reuse, plastic waste, modular blocks.