

LEGO VERDE: LADRILLOS ECOLÓGICOS PARA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE*Green Lego: Eco-friendly bricks for sustainable construction*

Leidy Nataly Garzón-Castro^a, Luis Felipe Guzmán-Serrano^b, Evelyn Medina-Naranjo^c, Néstor Perico-Granados^d, Constanza Dorey García-Puentes^e, Néstor Rafael Perico-Martínez^f

^a Investigadora independiente, leidygc29@hotmail.com

^b Investigadora independiente, pipe11.maiden@gmail.com

^c Grupo de investigación Betancí, Corporación Universitaria Minuto de Dios UNIMINUTO, ecarolina.medinanaranjo@gmail.com

^d Grupo de Investigación Desarrollo Regional, Cursos Nacionales, Corporación Universitaria Minuto de Dios UNIMINUTO, nestor.perico@uniminuto.edu.co

^e Investigadora independiente, Universidad de la Salle, cogarcia@lasalle.edu.co

^f Grupo de investigación Betancí, Universidad Javeriana, nr.perico10@uniandes.edu.co

Recibido: 19 de febrero 2026. Aceptado: 05 de mayo 2026 Publicado: 12 de junio 2026.

Resumen— Tuvo como propósito elaborar ladrillos a partir de las tapas de las botellas de plástico fundidas, conocido como Polipropileno, PP. Se hizo con una investigación cuantitativa para establecer las diferencias en los parámetros de resistencia a la compresión, la tracción, el torque, peso y se sometieron los especímenes a procesos de humedad, para establecer las diferentes magnitudes. Se revisó su comportamiento frente a la humedad y se establecieron medidas sobre los pesos comparados con el ladrillo de arcilla convencional, tanto en seco como húmedos. Se llevó a cabo con método manual y artesanal, con tecnología básica, con procesos de ensayo y error. Entre las principales conclusiones están el que los ladrillos elaborados con tapas de botellas, PP, tienen mayor resistencia a la compresión y a la tracción, en cifras muy destacadas y una reducción en el peso de cerca de las dos terceras partes de los mampuestos de arcilla. Con ello se espera que se puedan usar en programas de vivienda, aspecto que reduce la carga muerta e incrementa la resistencia.

Palabras clave— Arcilla, Ladrillos, Plástico, Polipropileno, Tapas de botellas.

Abstract— The purpose of this project was to make bricks from melted plastic bottle caps, known as polypropylene (PP). Quantitative research was conducted to establish differences in compressive strength, tensile strength, torque, and weight. The specimens were subjected to moisture processes to determine the different magnitudes. Their behavior in the face of moisture was reviewed, and weight measurements were established compared to conventional clay bricks, both dry and wet. The project was carried out manually and by hand, using very basic technology. Several designs and tests were carried out, using trial and error, until those deemed appropriate were found, with positive results. Among the main conclusions are that bricks made from polypropylene bottle caps have significantly greater compressive and tensile strength, and a weight reduction of about two-thirds compared to clay masonry. This is expected to enable their use in housing programs, an aspect that reduces dead load and increases strength.

Keywords— Clay, Bricks, Plastic, Polypropylene, Bottle Caps.

I. INTRODUCCIÓN

El vertiginoso aumento de edificaciones e infraestructura hace que los procesos constructivos hoy no sean sostenibles. Adicionalmente, en las construcciones de viviendas de interés social no existen normas que exijan el cumplimiento de requisitos sobre sostenibilidad ambiental (Valencia, 2018). Entonces, cada vez más la extracción de materiales se incrementa y con ello el Cambio Climático, CC., se sigue exacerbando.

Al respecto, hoy se requieren esfuerzos compartidos entre los gobiernos, la academia y las personas de la sociedad civil, para hacer frente a la mitigación del CC. Para Cárdenas et al., (2021) es importante seguir con la motivación de la producción capitalista, a partir del mercado, con una alta intervención de los gobiernos y regulación profunda y con la colaboración de las comunidades para obtener resultados de adaptación y mitigación. Según Bello-Benavides (2019) y Cabrera et al., (2020) es un reto para los docentes actuar en la creación de escenarios de aprendizaje, para que los estudiantes tomen conciencia y actúen en consecuencia frente al fenómeno. Se requiere alta dosis de fundamentación para formar, a partir de la reflexión con el propósito que haya compromisos de los discentes y se construyan competencias humanas y responsabilidades ambientales (Tocora y Hernández, 2020; Perico-Granados et al., 2021; García Puentes, et al., 2022). En línea similar, para González-Gaudiano et al., (2020) sin perder tiempo la academia debe diseñar y construir planes de estudio de choque para hacer frente al CC. Entonces, la humanidad está frente a un reto que obliga a actuar para preservar la vida en el planeta.

Dentro de la etapa constructiva la selección de materiales es fundamental, no solo por los costos que implica la extracción y/o producción de determinado insumo, sino también, por el uso eficiente de la energía y el recurso hídrico necesario para su aprovechamiento. Para Schmidt (2024) la pendiente de la curva ascendente, de la temperatura en el planeta es cada vez más exagerada, con más de un grado y medio centígrados de incremento en los últimos cincuenta años. Con esta tendencia, sin puntos de inflexión de mitigación en unos años será demasiado tarde para la vida. Sin embargo, hay países que comienzan, aunque muy levemente, con la formación de conciencia para intentar soluciones (Stuhldreher, 2021). En este sentido, la construcción sostenible es un requisito ético para la sostenibilidad de esta y las siguientes generaciones y con ello evitar la huella de carbono, de manera creciente, como lamentablemente se hace en el mundo contemporáneo.

En sentido similar, con el método de proyectos se pretende impactar positivamente a las personas con menos recursos y

promover la equidad en la sociedad (Henríquez, 2016) y (Perico-Granados et al., 2022). Así, este proyecto tiene importantes contribuciones a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): al tercero de Salud y bienestar, porque disminuye la contaminación; al séptimo, energía asequible y sin contaminación, porque evita la quema de carbón; al noveno de industria innovación, dado que hace importantes avances frente al uso de materiales; al decimoprimer de ciudades sostenibles, por su aporte a la construcción; al decimosegundo, de consumo responsable, por su disminución en el uso de materiales, y al decimotercero, acción por el clima, por sus aportes significativos en la disminución de la huella de carbón. A su vez, contribuye con otros ODS, de manera indirecta.

En general los plásticos por sus propiedades son ideales para la producción de una variedad de aplicaciones para el transporte, telecomunicaciones, construcción, textiles, envases, embalaje, entre otros. Sin embargo, la contaminación que produce hoy a la tierra y a los mares tiene en proceso de colapso a varias especies animales y de plantas (Leonard, 2020; Rodríguez-Carreón, 2021). Adicionalmente, la legislación sobre la materia es mínima y la que existe no se hace cumplir (Da Silva Ribeiro Gomes Chediek y Muliterno, 2023). Así se siguen acumulando estos materiales y en el siglo XXI los plásticos son considerados como uno de los más contaminantes para el planeta.

Según Geyer et al., (2017) hasta la década pasada se había producido más de ocho mil trescientas toneladas de plástico en el mundo, en estado virgen, lo que equivale a más de una tonelada por persona. De ellos el 80% se acumulan en vertederos y menos del nueve por ciento se reciclan (Geyer et al., (2017). En este sentido, los consumidores tienen muy pocas opciones para escoger envases ecológicos, dado que en la gran mayoría de empaques están elaborados en los plásticos descritos. Para Rodríguez-Carreón (2021) y Pinto Torres, et al., (2023) se siguen usando plásticos de un solo uso, que duran hasta cincuenta años, con consecuencias contaminantes, producidos con materiales provenientes de origen de los fósiles. Estos son de fácil obtención y no permanecen mucho tiempo en la cadena productiva, pues fácilmente son desechados. Lamentablemente el mercado, con poco interés por los procesos ambientales, sigue creciendo a expensas del aumento de la población mundial, que será más de ocho mil quinientos millones de personas cerca del año 2030.

Los residuos que van a los vertederos o rellenos siguen un proceso de contaminación, a partir de los lixiviados, por los diferentes químicos que se descomponen y de ellos un porcentaje cercano al 80, de los plásticos, tienen ese destino en el presente (Rodríguez-Carreón, 2021; Pinto Torres, et al., 2023). Con ello continúan contaminando los suelos, las aguas

subterráneas y los daños se ven en los entornos y con el tiempo en el mismo planeta. Para Leonard, (2020) y Pinto Torres, et al., (2023) el proceso de incineración de los plásticos tiene tantos daños para el ambiente, como el mismo proceso de enterrarlos en los vertederos. Para estos mismos autores el proceso de reutilizar los plásticos y el reciclaje es una opción, pero lamentablemente sus posibilidades son por ahora muy pocas. Sin embargo, es pertinente insistir en estas acciones, a pesar que su impacto sea leve en la sostenibilidad del ambiente (Leonard, 2020; Pinto Torres, et al., 2023).

A nivel mundial, con mediciones precisas para el año 2014, las tasas de reciclaje de plástico han aumentado entre el 18% y el 24%. Para este mismo año Europa presentó las tasas más altas de reciclaje de plástico con un 30%. Sin embargo, en la producción China aporta el 25%, mientras que en Estados Unidos ha sido del 9% (Geyer et al., 2017). En esos países las tasas de reciclaje son menores. En este aspecto, el reciclaje de bioplásticos es diferente y con buena programación y organización se puede reusar o reciclar prácticamente en un 100%, para elaborar otros elementos (Pinto Torres, et al., 2023; Moscoso-Gama, 2024). En los vertederos los bioplásticos pueden tener un efecto similar a los otros plásticos en contaminación, dado que contribuyen a la formación de metano, altamente dañino para el ambiente. Entonces, esta posibilidad no es una opción. Sin embargo, la cantidad de bioplásticos que hoy se producen apenas llega al uno por ciento. Entonces, es necesaria la acción inmediata para contribuir en su solución desde todas las instituciones, especialmente desde la academia.

De otro lado, muchos de los productos aditivos con los que se produce el plástico son altamente tóxicos y contaminantes, los cuales tienen efectos adversos para las personas y para la biodiversidad, con afectaciones principalmente de los entornos terrestres y acuáticos, especialmente los marinos. Para Rodríguez-Carreón (2021) en las descargas de aguas residuales se liberan grandes cantidades de microplásticos que son insolubles, con ello afectan toda la cadena trófica, y en este intercambio de nutrientes entre las diferentes especies, también se intercambian estas sustancias tóxicas. Sin embargo, según Rodríguez-Carreón (2021), Pinto Torres, (2023) y Moscoso-Gama, (2024) los bioplásticos tienen aspectos positivos como el que permiten procesos de biodegradación, a partir de compostaje y formación de lombrihumus, para elaboración de abonos orgánicos. Esos procesos se pueden hacer de forma industrial y en los hogares, con procesos previos de separación de elementos contaminantes. Para Rodríguez-Carreón (2021) se pueden hacer procesos de biodegradación con base en larvas de insectos, de las cuales hay varias especies que han sido probadas, sobre las que se proponen seguir en acciones investigativas para optimizar los procesos.

Según Rodríguez-Carreón (2021) y Pinto Torres, (2023) hoy se observa una leve mejoría en los procesos de los plásticos con el uso de materiales biodegradables. Es un proceso que promueven los científicos parcialmente, pero en general las comunidades con conciencia ambiental no están de acuerdo. Ellos contribuyen en mejorar con eficiencia energética y disminuyen la huella de carbón, dado que provienen de materiales vegetales como el maíz, la yuca y la caña de azúcar, entre otros (Moscoso-Gama, 2024). Igualmente, hay evidencia que los derivados de la yuca son procesados, en laboratorio, por una bacteria que permite la generación de bioplásticos (Moscoso-Gama, 2024). En este caso específico el proceso de compostaje produce muy baja contaminación al ambiente. Sin embargo, hasta ahora tienen dificultades en su uso masivo, por los costos de producción, poca eficiencia en su recolección para el reciclado, poca capacidad para la producción de las materias primas para su elaboración, una pobre legislación para favorecer su uso hasta el momento (Pinto Torres, et al., 2023; Moscoso-Gama, 2024). Igualmente, son muy pobres los resultados en la contención y reglamentación sobre uso de los plásticos en el mundo (Moscoso-Gama, 2024).

De otro lado, hoy se usan de forma permanente las tapas de botellas para distintos envases, dado que su valor es relativamente bajo, son livianas, resistentes y maleable. Esta investigación se hizo como propuesta para disminuir del impacto ambiental producido por los plásticos en el planeta y la sobreproducción de éste y se podría disminuir la producción del ladrillo de arcilla. Se llevó a cabo con el método de proyectos que proponen Perico-Granados et al., (2020), dado que su relación es directa en procesos de ingeniería, para proyectos con este tipo de materiales. Se construyeron ladrillos con base en el material de PP, con tapas de botellas, como una propuesta que permita usar los nuevos ladrillos en muros divisorios y posiblemente en construcciones para viviendas. La investigación se hizo en la Corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO, en Girardot, Cundinamarca, Colombia, por Ingenieros, en el año 2021.

Antecedentes

Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadística, (DANE, 2020) el país tenía aproximadamente un total de 14.060.645 hogares, de los cuales el 36,6% presenta déficit habitacional. Entonces, es necesario plantear propuestas orientadas a desarrollar materiales para muros que sean económicos, resistentes y versátiles, de tal modo que facilite el proceso constructivo de la vivienda y en lo posible que tengan origen del reciclado.

Para Ojeda, Mercante, (2021) se requiere mayor compromiso de los gobiernos y de la academia para investigar sobre los

potenciales usos de los materiales reciclados del PP, dado que hoy se sabe que se usa para la obtención de materiales, como agregados para la construcción y con ello se disminuye la explotación de materiales. En este caso puede producir materiales alargados y aplanados, pero también esferoides para su uso en concretos (Ojeda y Mercante, 2021).

Con respecto al proceso de producción artesanal de ladrillos se utilizan los chircales, los cuales emplean leña y carbón como combustibles. Así, la producción convencional de ladrillos conlleva principalmente un alto consumo de carbón, con todos los daños directos y externalizados que produce y estos aspectos llevan a la conclusión de la imperiosa necesidad para investigar y resolver el problema, para evitar más daños al ambiente (Velandia et al., 2019; Leonard, 2020). Igualmente, los materiales para construir viviendas como el concreto para hacer bloques, la explotación de arcilla y el consumo de combustibles, en general son altos en costos económicos y ambientales (Pérez y Molina, 2021). Entonces, el uso del PP, como las tapas de las botellas para hacer mampuestos, con los procesos previos de recolección, son una alternativa posible para disminuir la huella de carbono.

Además, Restrepo-Zapata y Cadavid-Restrepo, (2019) insisten en que los procesos actuales para elaborar ladrillos para la construcción conllevan un alto costo, especialmente en lo ambiental, con la explotación de los materiales, transporte y proceso de cocción. En este sentido se han analizado diferentes alternativas, como el uso de materiales de Residuos de Construcción y demolición (RCD), con excelentes resultados en costos y en propiedades físicas del mampuesto resultante, como ladrillos con distintas modificaciones (Restrepo-Zapata y Cadavid-Restrepo, 2019). En investigaciones similares Gareca et al., (2020) han encontrado excelentes condiciones técnicas de otros plásticos e incluso también con el propileno. Estos mampuestos tienen capacidades para resistir los ensayos de laboratorio y quedan dentro de las normas de construcción de países como Colombia, Perú y Chile, que son exigentes en este aspecto.

En varios centros de investigación se buscan alternativas que sean sustitutos de los ladrillos de arcilla, dada su alta contaminación y entre ellos se tiene el uso de los que provienen de los celulares, computadores y otros aparatos (Kreiker et al., 2020). Igualmente, se encontró que con el uso de desperdicios de la palma de aceite se pueden elaborar estructuras para que los campesinos que trabajan los ladrillos en el departamento del Cesar las puedan emplear, como combustible. Los resultados han sido muy alentadores (Bastidas-Barranco et al., 2022). Estos enfoques reflejan la importancia de buscar soluciones innovadoras y sostenibles para abordar los desafíos ambientales asociados con la elaboración artesanal de ladrillos.

Salazar et al., (2013) desarrollan mampuestos y columnas para la construcción de viviendas, a partir de la recuperación de elementos reciclados. Con ellos fabrican viviendas para personas de escasos recursos, especialmente personas en alto grado de vulnerabilidad. En el proceso hacen las mezclas y funden los materiales para obtener productos con muy buena capacidad de resistencia. En la fundación llevan a cabo el proceso para desarrollar la construcción con elementos machos y hembras, para facilidad en la construcción. Según Cardona et al., (2020) el uso de ladrillos con el uso de vidrio o de plásticos disminuyen de forma significativo las emisiones de dióxido de Carbono, en cerca de la tercera parte, y mejoran las condiciones de resistencia de los mampuestos.

Gironda-Alarcón, y Reyes-Torres (2022) expresan que, para la construcción de viviendas para una familia, con el uso de ladrillos fabricados con ladrillos elaborados con base en plásticos, resulta atractivo, dado el peso del mampuesto y su uso para muros divisorios. Así, existen muchos proyectos que permiten observar la viabilidad de la presente investigación para proponer soluciones a la disposición del plástico, disminuir la contaminación en los chircales y proveer de vivienda a muchas personas.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Las actividades se llevaron a cabo en diferentes sitios, con el uso de laboratorios de UNIMINUTO, de la ciudad de Girardot y laboratorios certificados de la ciudad de Ibagué. Se hicieron los procesos con lo propuesto por Perico-Granados et al., (2020) sobre proyectos para ingeniería. Se hicieron revisiones semanales por parte del equipo de investigadores para analizar cifras, datos y estadísticas, durante cerca de once meses. Dos ingenieros estuvieron frente a los desarrollos de los ensayos de laboratorios, con base en las herramientas dispuestas en ellos. Los moldes se hicieron con las medidas propuestas y al finalizar el proceso, el uso de la inyectora permitió el mejoramiento del mampuesto final. Para la construcción de los mampuestos, presentaron la descripción de los procesos y resultados parciales, cada ocho días, al equipo. Con base en las experiencias del proceso se llevaron a cabo reflexiones y revisión constante de la literatura. El equipo completo de investigadores, posteriormente elaboraron el artículo con base en todo el proceso.

Para el diseño se privilegió el bajo peso del material, con el fin de obtener facilidad en la utilización y colocación, como tipo lego, en la potencial construcción de viviendas. Se hicieron varias propuestas de diseño que fueron descartadas por la valoración del comité de expertos consultado, conformado por ingenieros con experiencia en la materia. En uno de los casos se

descartó, dada la dificultad para montar los elementos, en los muros del lego, de la parte de entrada del agua del acueducto y salida de las aguas servidas y para los servicios como la luz. Otra propuesta se descartó porque con los cálculos se encontró que su peso estaría cerca de 2646 gr., con un peso muy parecido al ladrillo convencional de arcilla.

Un tercer diseño, con base en los aprendizajes de las propuestas hechas, con similares dimensiones del ladrillo convencional, se hizo con acoples macho y hembra en cuatro caras. Es un mampuesto tipo lego, con acoples para su instalación de forma fácil como se puede ver en la Figura 1. Se observó que se podían unir los muros a noventa grados uno del otro con relativa facilidad en el proceso.

Según la Norma Técnica Colombiana NTC 4205 del Instituto Colombiano de Normas Técnicas Colombianas y de Certificación (ICONTEC), se estableció la resistencia del mampuesto de arcilla, para compararla con los datos obtenidos. Allí se definen los requisitos para los mampuestos de los que se tomó como referencia el ladrillo macizo, que no contiene perforaciones. El proceso inicial fue de forma manual, en un molde metálico artesanal con la construcción de seis ladrillos. Se hizo la recolección de tapas de botellas de plástico para el lavado y secado. Se construyó el molde metálico con las medidas definidas, como un promedio de las que tienen los ladrillos que se encuentran en el comercio (Figura 1). Se fundieron las tapas a 160 grados, con cerca de 1300 gr para cada ladrillo construido y se vació el plástico fundido en el molde.

Para la Introducción, antecedentes, materiales y métodos y análisis de resultados se consultaron fuentes de investigadores que tienen publicaciones en Scopus, Scielo, principalmente, más una tesis, libros producto de investigación y artículos de Latindex y Dialnet. Tal como se observa entre Scopus, Scielo y libros producto de investigación se tiene el 84%, consultados y revisados para extraer aportes para el artículo, como se ve en la Tabla 1.

Tabla 1.
Origen e indexación de los artículos

Referencia	Scopus	Scielo	de Tesis grado	Libros producto de investigación	Textos entidades oficiales	Redalyc, Latindex, Dialnet y
Número	7	12	1	6	1	3

Porcentaje	23	41	3	20	3	10
------------	----	----	---	----	---	----

Fuente: Autores.

III. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Los ladrillos de las versiones uno y dos, como se muestran en las Figuras 1 y 2, tuvieron un comportamiento cercano al diseño propuesto, pero presentaron en unos casos ligeras fracturas. Este aspecto merma la posibilidad de resistir a los diferentes esfuerzos. De la misma manera, los ladrillos presentaron hormigueo, aspecto que llevó a la decisión de intentar con un método mecánico y dejar de lado el método manual.



Fig 1. Ladrillo versión final 1. Fuente: Autores



Fig. 2. Ladrillo versión final 2. Fuente: Autores

Entonces, se procedió a inyectar el plástico fundido a presión, con una máquina especializada para esta labor. Se hizo el procedimiento desde la ubicación en la tolva de las tapas plásticas molidas y allí se fundió el plástico a una temperatura constante promedio de 160°C. Se inyectó el material en el molde aprestado con lubricación y cerrado a presión. Una vez enfriado el mampuesto se puso en agua, por un tiempo de un cuarto de hora y así se obtuvo un ladrillo moldeado, solidificado, sin cristalizaciones y sin fisuras, como se observa en la Figura 3 del ladrillo fundido con inyectora.



Fig. 3. Ladrillo plástico fundido con inyectora. Fuente: Autores

De esta misma manera, se hizo el procedimiento con los demás especímenes de ladrillos plásticos que se fundieron. Estos cada vez salieron mejor contruidos en casi todas sus características. El proceso de construcción de los mampuestos se fue mejorando de forma continua y permitió una vez desencofrados llevarlos al laboratorio para someterlos a los diferentes ensayos y pruebas. Se elaboraron diez (10) muestras de ladrillos plásticos con este método.

Las pruebas de laboratorio a los ladrillos se hicieron para establecer su resistencia a la compresión, la flexión y la resistencia de un muro elaborado con los mampuestos con base en la NTC 4017. Las pruebas fueron aplicadas a los ladrillos plásticos y a los de arcilla, para posteriormente llevar a cabo el análisis y la comparación de la resistencia.

Con base en la NTC 4017 se desarrollaron los ensayos. Los resultados son presentados para tres mampuestos de ladrillos plásticos en la Tabla 2. La resistencia a la compresión se calculó:

f'_{cu} = Carga máxima de rotura/Promedio de áreas brutas, en (o kgf/cm²)

El grado de absorción para los especímenes, sumergidos por 24 horas en agua, se calculó así:

El % absorción = (masa sumergida en agua del ladrillo saturado - masa seca del espécimen antes de inmersión/ masa seca del espécimen antes de inmersión)*100

Ensayo a compresión (seco)

Los mampuestos se llevaron a carga de compresión, hasta la rotura. Para ello se determinó el peso y se garantizó que los mampuestos no tuvieran contenido de humedad. Se obtuvieron las medidas largo, ancho y espesor y se limpiaron con una brocha. Se procedió a poner en la maquina universal, con base en la NTC 4017. Los resultados encontrados para los mampuestos de arcilla y plástico, ambos con dimensiones de 20X10X6cm cúbicos, fue de 2,64 y 2,05 Mpa, para el mampuesto de plástico y para el de arcilla respectivamente.

Entonces, se encontró una mayor resistencia en el mampuesto de plástico sobre el de arcilla. Igualmente, el primero pesa solamente 700 gramos y el de arcilla tres mil ciento quince gramos. Significa que el de arcilla es cuatro veces más pesado que el de plástico.

Se hizo el siguiente ensayo para establecer la resistencia con los mampuestos húmedos. En este ensayo, los mampuestos se dejaron sumergidos en agua por 24 horas y se les aplicó una carga puntual de aplastamiento para obtener el esfuerzo máximo que soportaron. Igualmente, se tomaron los pesos de los ladrillos antes y después de la inmersión para obtener la tasa de absorción de agua. También, se tomaron las dimensiones y se limpiaron con brocha antes de ponerlos en la máquina de compresión. Se aplicó la carga hasta llegar al punto de rotura como lo plantea la norma NTC 4017.

Las resistencias obtenidas en este nuevo ensayo pasaron a 6,44 y 5,46 Mpa, del plástico y del de arcilla respectivamente. Allí se muestra un incremento en más del 100% en los dos especímenes de ladrillo, tanto en el de plástico como en el de arcilla, respecto a sus homólogos del ensayo de resistencia a la compresión en seco. Se evidencia que el espécimen de ladrillo plástico obtiene una mayor resistencia que el ladrillo en arcilla. Adicionalmente, los especímenes aumentan su peso al ser sometidos a la inmersión en agua durante 24 horas. Los pesos subieron en dos gramos y cinco gramos respectivamente. Esto ocurre tanto en el ladrillo plástico, con un incremento de absorción de 0,4% y en el de arcilla con un incremento de absorción de 0,2%. El mampuesto que más absorbe agua es el ladrillo plástico.

A partir del ensayo de flexión se identifica el módulo de rotura de una unidad de mampostería, propiedad importante en el criterio de durabilidad del ladrillo. Consiste en someter al ladrillo a una carga, apoyado en unos soportes, para lo cual se debe tomar el peso y las dimensiones de la pieza: largo, ancho y espesor, con base en lo establecido en la NTC 4017. Así se obtuvieron las resistencias a la flexión de cada espécimen de plástico con un valor de 60,52 Mpa y para el de arcilla de 37,18 Mpa. El ladrillo plástico tiene una buena resistencia a la flexión, sin sufrir ningún tipo de falla o deformación. En cuanto al ladrillo en arcilla este se fracturó al llegar al esfuerzo máximo.

El ensayo a flexión húmedo, es similar al anterior, a partir de dejar sumergidos en agua por 24 horas los mampuestos. Igualmente, se aplica la carga en el mampuesto, apoyado en soportes en sus extremos. Así se tomaron los pesos de los ladrillos antes y después de la inmersión en agua, las dimensiones de largo, ancho y del espesor y se limpiaron bien con una brocha. Entonces, se sometieron en el equipo a la carga hasta llegar al punto de rotura con base en lo establecido en la

NTC 4017.

De esta manera se establecieron las resistencias a la flexión de cada mampuesto. El ladrillo plástico aumenta cerca de cuatro gramos y el de arcilla en cinco gramos en su peso. La resistencia se incrementó de forma considerable en el ladrillo de plástico y llegó a 86,61 Mpa y en cambio en el de arcilla se quedó en 4,46 Mpa, que disminuyó de 37 Mpa. Entonces, en el ensayo a flexión si afectó la humedad en el ladrillo de arcilla de forma considerable y se convirtió en un mampuesto muy frágil.

De otro lado, se elaboraron dos muros, el primero con seis ladrillos plásticos y el segundo seis de arcilla. Cada uno de ellos se conformó en dos hiladas montados en soga. Se estableció la resistencia del muro de arcilla, en conjunto con el mortero de pega. En el muro con mampuestos de plástico, sin pega, se hizo el procedimiento igual y se obtuvieron la resistencia, de 16,68 Mpa. Para el de arcilla fue de 10,1 Mpa, con una resistencia mayor en el de plástico.

Se encontró que el muro con mampuestos de arcilla falló con una resistencia máxima de 10.1Mpa y allí se presentaron fracturas de algunas unidades. En cambio, en el muro de mampuestos de plástico se encontró la falla con 16,68Mpa. Éste no se deformó (Figura 4). Entonces, se observó que el muro compuesto por mampuestos de plástico presentó mejores resultados que el de arcilla, en forma semejante que en los resultados de todas pruebas anteriores.



Fig. 4. Fallas a los dos muros. Fuente: Autores

Otros análisis de lo encontrado

Se hicieron los análisis y comparaciones con otros ladrillos plásticos que se han construido. Se toman mampuestos que en el 100% de su producción solo se usa algún tipo de plástico reciclado, es decir el plástico no es una adición o complemento de la mezcla para elaborar los ladrillos. Entre estos se encuentran el de Bloque BRICKARP elaborado por Castillo-Moncayo (2018) y el de conceptos plásticos, elaborado por Salazar et al., (2013), quienes desarrollan varias opciones para viviendas para las personas vulnerables. Teniendo en cuenta

estos referentes, se tomó la información consultada del bloque BRICKARP y la de conceptos plásticos, por sus características similares al elemento propuesto. Tabla 2.

Para el ladrillo plástico elaborado objeto de esta investigación se tomó como materia prima tapas plásticas de PP, puesto que es un plástico más flexible. En este sentido, en la resistencia a la compresión se observa que es un poco mayor con el ladrillo plástico de PP, elaborado en esta investigación, comparado con los elaborados o hechos por Salazar et al., 2013. Ambos mampuestos están constituidos con material proveniente del PP. Con el mampuesto propuesto por Castillo-Moncayo (2018) no se compara dado que las dimensiones y características son diferentes.

Tabla 2.

Ladrillo	Dimensiones (cm)	Peso (gr)	Compresión (Kg/cm ²)	Tracción (Kg/cm ²)
Propuesta Ladrillo plástico (PP)	20x10x6	699,2	264	N/A
BRICKARP (PET) (Castillo-Moncayo, 2018)	53x13x7	2513	2039,5	1892,3
Ladrillo Plástico (PET y PP) (Salazar et al., 2013)	55x28x5	7000*	244	94

Nota: *Este valor fue calculado a partir de la densidad del plástico 910kg/m³ (Salazar et al., 2013)

Entonces, con los resultados encontrados frente a las competencias desplegadas por el ladrillo de PP, hechos en esta investigación en las diferentes pruebas son muy atractivas para procesos constructivos. Esta se encuentra dentro de los parámetros de la norma para la construcción de muros. Entonces, se asume que estos muros pueden tener una mayor estabilidad y resistencia, menos peso y baja probabilidad de deformaciones con respecto a un muro en mampostería en arcilla. Además, se cumplió la hipótesis respecto a los resultados del ladrillo plástico y su uso en la construcción de vivienda, específicamente con las exigencias técnicas y normativas a las que se someten los materiales de construcción, dada la seguridad y estabilidad que toda obra civil debe tener.

Con más precisión, en los resultados de las diferentes pruebas hechas a los ladrillos de PP, comparados con los ladrillos de arcilla, siempre fueron superiores, con una importante variación cuando fueron sometidos los mampuestos a la humedad, en los

que se incrementó de forma sustancial la resistencia. En cuanto a los resultados de las pruebas de cada espécimen de PP fueron sustancialmente mayores con respecto a los de arcilla en la flexión. Se evidencia que el ladrillo plástico tiene una buena resistencia a la flexión, sin sufrir ningún tipo de falla o deformación. En cuanto al ladrillo en arcilla, este sí se fracturó al llegar al esfuerzo máximo y su resistencia disminuyó considerablemente en la prueba húmeda en relación con la prueba en seco, en una relación de diez a uno. Entonces, los ladrillos de PP tuvieron un mejor desempeño en los ensayos aplicados, con la enorme ventaja de tener un peso que facilita su uso en la construcción.

Igualmente, hay un mayor rendimiento en el muro de ladrillo plástico, de acuerdo con las pruebas a flexión y compresión de cada espécimen. Entonces, el diseño propuesto de ladrillo plástico de esta investigación es una opción adecuada y aceptable técnicamente para que se use en la construcción de vivienda, cumpliendo los parámetros básicos establecidos en las normas colombianas. Con estos resultados es posible comenzar programas de vivienda por autoconstrucción, para que se puedan elaborar los ladrillos y de manera comunitaria se construyan las casas, dada la facilidad en la ubicación de los mampuestos. Los mampuestos de plástico también se pueden usar para construir gaviones transitorios, en taludes que amenacen deslizamientos, mientras se desarrollan estabilizaciones de bioingeniería. De esta manera, los ladrillos contruidos con tapas de plástico contribuyen a la mitigación del CC., con sus aportes a los ODS 2030, son más baratos por el uso de la materia prima y disminuye costos en construcción de viviendas, porque disminuye el peso de los muros edificados con ellos.

Sin embargo, de acuerdo con Bello-Benavides (2019), González-Gaudiano et al., (2020) y Orduz-Quijano, et al., (2021) la transformación para el beneficio del planeta requiere con carácter urgente una educación orientada a la sostenibilidad ambiental, social y económica y para ello los retos son muy amplios, desde políticas que deben ejecutar los gobiernos y con acciones concretas desde las aulas en que se formen nuevos liderazgos para reorientar el desarrollo y crecimiento humano. Aquí se involucran las propuestas de Leonard (2020) sobre responsabilidad del productor, reutilización, disminución del consumo, pero especialmente como en este caso reciclar materiales para un segundo uso. Siempre es más importante invertir tiempo, recursos y esfuerzos para la formación de las personas para mitigar el cambio climático, que formar para el crecimiento económico.

IV. CONCLUSIONES

Se usó el PP, con base en las tapas de botellas procesadas y

fundidas para la elaboración de los mampuestos y fueron sometidos a pruebas de compresión, con rendimientos sobresalientes. En la prueba seca tuvo resistencias de 2,64 Mpa y el de arcilla de 2,05 Mpa. Entonces para muros divisorios y muros de carga es una buena alternativa usar los mampuestos de PP por la resistencia que presentan.

En las pruebas de compresión con los mampuestos húmedos su desempeño fue excelente, dado que la resistencia subió a 6,44 Mpa., el mampuesto de plástico y el de arcilla húmedo presentó 5,46 Mpa. Prácticamente los mampuestos de arcilla tienen un menor desempeño. Entonces, el mampuesto de plástico puede ser usado, aún en condiciones de alta humedad para viviendas en circunstancias difíciles.

En los ensayos a flexión los mampuestos tuvieron también un excelente rendimiento, en los que se observó que el mampuesto de plástico superó al de arcilla, con 60,52 del primero y de 37, 18 Mpa., el segundo. Es una condición muy importante para diferentes tipos de construcción en los que se requiera este tipo de usos para los mampuestos.

Frente a la flexión en los ladrillos húmedos fue excelente el desempeño de los de plástico con 86,81 Mpa frente a 4,46 de los de arcilla. Se confirma la conclusión anterior para usar los mampuestos plásticos en diferentes condiciones.

Los pesos son muy deferentes mientras el mampuesto de plástico pesa 700 gramos el de arcilla llega 3115 gramos. Estos aspectos reducen en una edificación las cargas muertas producidas por la mampostería y permiten su utilización en muros divisorios, de mampostería o de carga, por la alta resistencia que demuestra.

Esta alternativa permite el uso de cantidades apreciables de tapas de botellas plásticas en el proceso, evitando que se desperdicien en los rellenos sanitarios o que se incineren, lo cual genera gran impacto al ambiente de forma positiva. Entonces, la elaboración de ladrillos ecológicos lego, se constituyen en un aporte significativo en los ODS y en la mitigación del CC.

1. Agradecimientos

Los autores agradecen a la UNIMINUTO, Girardot, por facilitar los laboratorios para el desarrollo de la investigación.

2. Referencias

- [1] Bastidas-Barranco, Marlon, Valera-Restrepo, Robert, y Serrano-Florez, Dario. (2022). Producción de briquetas a partir de raquis residual de la palma africana para las comunidades alfareras del norte del Cesar (Colombia). *Información tecnológica*, 33(1),

- 193-202. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000100193>
- [2] Bello Benavides, Laura Odila. (2019). Educación ambiental y cambio climático en el bachillerato tecnológico de México. *Educación química*, 30(3), 3-14.
<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2019.3.67965>
- [3] Cabrera, Santiago Pedro, Aranda-Jiménez, Yolanda Guadalupe, Suárez-Domínguez, Edgardo Jonathan, y Rotondaro, Rodolfo. (2020). Bloques de tierra comprimida (BTC) estabilizados con cal y cemento. Evaluación de su impacto ambiental y su resistencia a compresión. *Revista hábitat sustentable*, 10(2), 70-81.
<https://dx.doi.org/10.22320/07190700.2020.10.02.05>
- [4] Cárdenas, Juan Camilo., Caballero, Carlos., Eslava, Marcela., Fergusson, Leopoldo., Hofstetter, Marc., Nupia., Oskar., Pérez Reyna, David., Vélez, María., Zambrano, Andrés, y Zuleta, Hernando. (2021). Buscar recursos priorizando la justicia, la recuperación y la sostenibilidad. Facultad de Economía - Universidad de los Andes.
<https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/044ea426-e578-4f60-a29d-b4b9c546d713/content>
- [5] Castillo Moncayo, D. (2018). Análisis de la implementación de ladrillos fabricados, a partir de plástico reciclado, como material de construcción, [Tesis de pregrado] Universidad Santo Tomás, Bogotá.
<http://hdl.handle.net/11634/14462>
- [6] Da Silva Ribeiro Gomes Chediek, Juliana, y Muliterno, Thais. (2023). La contaminación por plásticos en el mar: notas sobre la regulación jurídica internacional, europea y española. *Revista de Derecho (Universidad Católica Dámaso A. Larrañaga, Facultad de Derecho)*, (28), e3079.
<https://doi.org/10.22235/rd28.3079>
- [7] Departamento Nacional de Estadística (2020). Informe de estadísticas por demografía y población.
- [8] García Puentes, Constanza., González Díaz, Laura., Perico Granados, Néstor., Pérez Rodríguez, César, y Hernández Romero, Juan. (2022). Pensamiento crítico y los objetivos de desarrollo sostenible: comunidades y ciudades sostenibles. *Ingenio Magno*, (13),1, 59-79.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10104466>
- [9] Gareca, Mireya, Andrade, Marcial, Pool, Diana, Barrón, Fara, y Villarpando, Hugo. (2020). Nuevo material sustentable: ladrillos ecológicos a base de residuos inorgánicos. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, 18(21), 25-61.
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-87872020000100003&lng=es&tlng=es.
- [10] Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 3(7), e1700782.
[10.1126/sciadv.1700782](https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782)
- [11] González Gaudiano, Édgar J., Meira Cartea, Pablo Á., y Gutiérrez Pérez, José. (2020). ¿Cómo educar sobre la complejidad de la crisis climática? Hacia un currículum de emergencia. *Revista mexicana de investigación educativa*, 25(87), 843-872.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-66662020000400843&lng=es&tlng=es.
- [12] Henríquez, Cristián. (2016). Impactos, vulnerabilidades y desafíos frente al cambio climático. *Revista de geografía Norte Grande*, (63), 5-8.
<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34022016000100001>
- [13] Kreiker, J., Peisino, L., Gaggino, R., Gómez, M., y Laria, J. (2020). Árido sintético de plásticos de raee. una alternativa sustentable para morteros y componentes constructivos. *Arquitecto*, (10), 58.
<https://doi.org/10.30972/arq.0104218>
- [14] Leonard, Annie (2020). La historia de las cosas, de cómo nuestra obsesión por las cosas está destruyendo el planeta. Editorial FCE.
- [15] Moscoso-Gama, Johanna Marcela, Sanabria-Cuervo, Maria Camila, y Sanchez-Rubiano, Ana Maria. (2024). El desarrollo de plástico biodegradable a partir del cáñamo por estímulo microbiano. *Revista Tecnología en Marcha*, 37(2), 82-94.
<https://dx.doi.org/10.18845/tm.v37i2.6712>
- [16] Ojeda, Juan Pablo e Mercante, Irma Teresa (2021). Reciclaje de residuos plásticos para la producción de agregados livianos, *Rev. Int. Contam. Ambie.* 37, 489-499. <https://doi.org/10.20937/RICA.54081>
- [17] Orduz-Quijano, M., Sánchez-Suárez, O., Baquero-Rosas, L., Perico-Granados, N., Tuay-Sigua, R, y Blanco Portela, N. (2021). La educación, las ciencias sociales y la interculturalidad. Una mirada desde la formación posdoctoral, en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/43596/libro%20educaci%C3%B3n,%20las%20ciencias%20sociales.pdf?sequence=1>
- [18] Pérez, S. y Molina, M. (2021). Uso de la metodología de la tierra comprimida estabilizada para la fabricación de ladrillos. *Cátedra Villarreal*, 9(1), 82-88.
<https://doi.org/10.24039/cv202191854>
- [19] Perico-Granados, N., Galarza, E., Díaz-Ochoa, M., Arévalo-Algarra, H., Perico-Martínez, N. (2020). Guía práctica de investigación en ingeniería: apoyo a la formación de docentes y estudiantes. Corporación Universitaria Minuto de Dios-UNIMINUTO.
<https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/10822>
- [20] Perico-Granados, Néstor., Tovar-Torres, Carolina., Reyes, Carlos., Perico-Martínez, Camilo Andrés. (2021). Formación de docentes y transformaciones desde la Ingeniería, Bogotá: Corporación universitaria

- Minuto de Dios-UNIMINUTO.
<https://repository.uniminuto.edu/server/api/core/bitstreams/c87067c3-d13f-4cb6-8f5a-a52458123db7/content>
- [21] Perico-Granados, Néstor., Tovar-Torres, Carolina., Reyes, Carlos, y Perico-Martínez, Lina. (2022). La experiencia, la reflexión y la mediación en la construcción de conocimientos, *Revista Publicaciones*, 52(3), 323-356, <https://doi.org/10.30827/publicaciones.v52i3.22276>
- [22] Pinto Torres, Camilo Andrés, Cardona Gómez, Juanita, y Polanco Puerta, Manuel Francisco. (2023). Percepción de consumidores y perspectivas de industrias de alimentos de Cali sobre el uso de bioplástico en sus empaques. *Revista Universidad y Empresa*, 25(44), e3. <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.12506>
- [23] Restrepo-Zapata, Gloria, y Cadavid-Restrepo, Carlos. (2019). Mejora del desempeño ambiental y energético de la vivienda de interés prioritario en Medellín con el uso de ladrillos cerámicos modificados. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 18(35), 33-49. <https://doi.org/10.22395/rium.v18n35a3>
- [24] Rodríguez-Carreón, Anlui, Ortiz-Rivera, Yuridia, Hernández-Peña, Claudia Carolina, y Figueroa, Coyolxauhqui. (2021). Biodegradación de espumas plásticas por larvas de insectos: ¿una estrategia sustentable? TIP. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 24, e311.
- [25] Salazar Marín, Edgar Alonso; Arroyave Londoño, Juan Felipe; Yepes, Carlos Rene (2013) Desarrollo de un módulo habitacional a partir de materiales reciclados *Scientia Et Technica*, 18 (1), 247-252
- [26] Schmidt, Gavin., Schmunk, Robert., y Ruedy, Reto (2024). Estudio de visualización científica de la NASA. Anomalías de la temperatura global. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/?intent=121>
- [27] Stuhldreher, Amalia Margarita. (2021). Cambio climático y gobernanza multinivel en Uruguay: percepciones tras diez años del Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático. *Perfiles latinoamericanos*, 29(58), 00004. <https://doi.org/10.18504/pl2958-004-2021>
- [28] Tocora, Milena Alcocer, y Hernández, Carola Hernández. (2020). Investigación en enseñanza de las ciencias en Colombia: estudio desde sus cosificaciones. *Educación y Educadores*, 23(1), 47-68. <https://doi.org/10.5294/edu.2020.23.1.3>
- [29] Valencia, Diana Elizabeth, (2018). La vivienda sostenible, desde un enfoque teórico y de política pública en Colombia, *Revista Ingenierías Universidad de Medellín* | 17 (33) 39-56.
- <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7517285>
- [30] Velandia, K., Sánchez-Bernal, R., Pita-Castañeda, D., y Pérez-Navar, L. (2019). Caracterización de las propiedades mecánicas de un ladrillo no estructural de tierra como soporte de material vegetal en muros verdes. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 20(3), 1-9. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n3>
- [31] F. S. Cardona Howard, L. F. Rengifo Rojas, J. F. Guarín Martínez, D. G. Mazo Castro and O. F. Arbeláez Pérez, (2020) “Evaluación de las propiedades mecánicas de ladrillos elaborados con residuos de vidrio y plástico. Análisis de las emisiones de dióxido de carbono”, *Lámpsakos*, 24 60-73, 10.21501/21454086.3725
- [32] Gironde-Alarcón, M., y Reyes-Torres, M. (2022) Evaluación de producción de ladrillos ecológicos a base de plástico reciclado como alternativa para la construcción de viviendas en la ciudad de Sucre, Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, *Revista Ingeniería comercial*, 5(5), <https://revistas.usfx.bo/index.php/rcbi/article/view/844/1051>