

DOI: <https://doi.org/10.18359/rcin.4643>



Material ecológico para construcción en vidrio, arena y poliplásticos (VAPoli)*

Delma Esther Rocha Álvarez^a ■ Carol Pérez^b ■ Jorge Villanueva^c

Resumen: el presente artículo hace referencia a la realización de un nuevo material de construcción amigable con el medio ambiente; menciona conceptos de contaminación en Colombia donde se demuestra con cifras la falta de reutilización de materiales reciclables, y plantea sus objetivos y justificación de acuerdo con las necesidades o carencias esbozadas en el documento. En la investigación se efectúan estudios de modelos similares donde se muestran investigaciones relacionadas con el tema propuesto; igualmente se hace evocación de artículos y leyes tanto nacionales como internacionales que respaldan este trabajo.

Palabras clave: contaminación; ecológico; ecosistemas; plásticos; toxicidad; constructivo

Recibido: 09/03/2020 **Aceptado:** 16/07/2020

Disponible en línea: 09/12/2020

Cómo citar: D. E. Rocha Álvarez, C. Pérez, y J. Villanueva, «Material ecológico para construcción en vidrio, arena y poliplásticos (VAPoli)», *Cien.Ing.Neogradina*, vol. 30, n.º 2, jul. 2020.

* Artículo de investigación.

- a Docente adjunta, Facultad de Arquitectura, Universidad del Atlántico, Coordinadora del Grupo de investigación Enl@ce. Barranquilla, Colombia. Correo electrónico: delmarocha@mail.uniatlantico.edu.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8592-2554>
- b Joven investigadora, Facultad de Arquitectura, Universidad del Atlántico. Semillero de investigación. Grupo de investigación Enl@ce. Universidad del Atlántico. Barranquilla, Colombia.
Correo electrónico: eleineperez18@gmail.com
- c Docente adjunto, Facultad de Arquitectura, Universidad del Atlántico. Barranquilla, Colombia.
Correo electrónico: jorgevillanueva@mail.uniatlantico.edu.co
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2018-8958>

Ecological material for construction in glass, sand and polyplastics (VAPOLI)

Abstract: This article refers to the manufacturing of a new environmentally friendly construction material; it mentions concepts of pollution in Colombia where the lack of reutilization of recyclable materials is proven with figures. It bases its objectives and justification on the needs or deficiencies outlined in the document. In the investigation, similar models are carried out where investigations related to the proposed topic are presented. Likewise, there is an evocation of national and international articles and laws supporting the work in this research

Keywords: contamination; ecological; ecosystems; plastics; toxicity; constructive

Introducción

El presente artículo se define en el marco de la convocatoria Proyectos Internos Grupos de Investigación, jóvenes investigadores, trabajo de pregrado Facultad de Arquitectura, Universidad del Atlántico, Resolución 001025 de julio de 2019. El artículo se enmarca dentro de las líneas de Gestión de Nuevo Conocimiento, Innovación, Tecnología y Creatividad, en el área de construcción y diseño, como también en la búsqueda de nueva materialidad con condiciones de sostenibilidad, desarrollada en la Facultad de Arquitectura, Universidad del Atlántico.

Se expone el aspecto metodológico, donde se presenta el tipo de investigación realizada durante todo el proyecto: diseño de investigación, enfoque de investigación, diseño metodológico donde se describen sus fases y respectivas etapas; técnicas, instrumentos y equipos utilizados, con su respectiva ficha técnica. Se describen, así mismo, materiales seleccionados para la realización de ensayos y su clasificación por grados de toxicidad. Se describen los procedimientos utilizados del material en las probetas, como son: tiempo de inicio y finalización, peso del material, fotografías, entre otros. Se presenta, finalmente, el análisis e interpretación de resultados obtenidos a partir de ensayos de compresión, flexión, entre otros. También se presenta un cuadro comparativo entre ladrillos, bloques convencionales y el ladrillo ecológico propuesto en el presente documento. Por último, se exhibe la propuesta constructiva arquitectónica tanto para ladrillo como para columnas y diferentes componentes que se complementarán en la utilización de este sistema constructivo; además, se describe su aplicación y manejabilidad en distintas situaciones y escenarios.

Productos amigables con el medio ambiente

Relevancia de los productos amigables con el medio ambiente

En la actualidad, uno de los más grandes problemas que enfrenta el planeta está relacionado con

millones de toneladas de residuos producidos de desechos plásticos que van al mar, perturbando su fauna y flora. Es así como comienzan a crearse islas de plástico que vienen afectando el ecosistema marino. En Colombia, la contaminación por el uso descontrolado de plásticos afecta sectores tales como: calles, arroyos, lagos, lagunas, mares, produciendo un cambio en su equilibrio y funcionamiento.

Estudios realizados por el Ministerio de Ambiente colombiano revelan que los vertederos de basuras tienen un límite de uso, muy cerca de alcanzar; es por ello que se han creado proyectos y/o empresas con el fin de ayudar a la mitigación de este problema ambiental. Teniendo en cuenta lo anterior, en este proyecto se procedió a implementar el uso de plásticos reciclados como materia prima, con el fin de obtener un producto o material que pueda utilizarse en diversos campos de la construcción. Para ello, se realizaron diversos estudios del material propuesto, con el fin de obtener variables de comportamiento en la aplicación de las distintas fuerzas mecánicas.

Uso de elementos reciclables en la producción de nuevos materiales para la construcción y áreas afines

Estudios de la National Geographic [1] revelan lo que está sucediendo actualmente con las basuras, mostrando específicamente que a nivel mundial alrededor de cinco mil setecientos (5.700) millones de toneladas de residuos plásticos no son tratados apropiadamente. Además, alrededor de ocho millones de toneladas de estos desperdicios llegan al mar. Mantener niveles crecientes de producción de plástico, sin reutilizar lo que ya se tiene, implica la posibilidad enorme de continuar viviendo con incertidumbres sobre la problemática del calentamiento global, haciéndose importante centrar el interés en buscar soluciones de carácter universal. De esta manera, este trabajo de investigación presenta una propuesta de nuevas alternativas en la reutilización del material plástico.

Por consiguiente, se propone la elaboración de un nuevo producto para la construcción a partir de la reutilización de materiales como plásticos y

otros productos. De igual modo, el presente proyecto centra su búsqueda en fomentar nuevas alternativas con materiales de construcción que ayuden a desarrollar nuevas rutas en la arquitectura. Igualmente, la idea básica ha sido la de trabajar en forma permanente y progresiva, utilizando este material que permita minimizar la cantidad de residuos plásticos con la finalidad de contribuir a la preservación y conservación del planeta tierra, el único habitable que tenemos hasta ahora.

A nivel nacional, el Ministerio de Ambiente de Colombia ejecutó un estudio en la población, donde se determinó que el país genera “11.6 millones de toneladas de basuras” [2], de las cuales el departamento del Atlántico aporta “2.044 toneladas/día” [3], en toda la jurisdicción. Sin embargo, la Alcaldía de Barranquilla comenzó en el 2016 un programa denominado Red de Recuperadores Ambientales del Distrito de Barranquilla “*Barranquilla verde*”. Se realizó una entrevista con una de las personas beneficiadas del proyecto, la señora Diana Hernández Pertuz, donde se evidenció que la alcaldía efectuó una alianza con las casas recolectoras de plástico y otros materiales, con la finalidad de incentivar asociaciones que vendan elementos reciclables reduciendo los índices de desperdicio en la ciudad.

Existen proyectos que trabajan para fomentar efectos positivos con el medio ambiente, reconociéndose a nivel local y nacional y fortaleciéndose con socializaciones y búsqueda de concientización en las comunidades. Es así como a través de este proyecto se busca diseñar elementos de construcción a partir de la reutilización del material plástico y otros materiales. Este proceso es considerado innovador, no solo por el contenido del material, sino también por lo liviano, flexible y versátil. Dicho de otra manera, una vez que se haga el proceso con el material, es posible crear diferentes objetos útiles para satisfacer necesidades básicas de habitabilidad en las comunidades.

Enfoques colaborativos para la creación de productos con material reciclable

La problemática medioambiental generada por los plásticos incide cada día en la vida de los seres

humanos, lo que ha llevado a través de estudios realizados por expertos a señalar que “parte de estos residuos ya están entrando en la cadena alimenticia humana” [4]. Igualmente, otro estudio realizado por el Departamento Nacional de Planeación colombiano (DNP) determinó que “la vida útil de los rellenos sanitarios de 321 municipios de Colombia se terminará en cinco años” [3].

Dicho de otra manera, los vertederos de basuras están casi llenos y el uso desmedido del plástico ha creado una sobreproducción de objetos y materiales que en la actualidad demoran años en desintegrarse. La propuesta innovadora de este proyecto apunta a contribuir, para el sector de la construcción, con un material amigable con el medio ambiente. Con ese fin, se plantea el siguiente interrogante: ¿qué acciones y materiales se hacen necesarios para mitigar la problemática ambiental en el contexto local, regional, nacional e internacional?

La idea básica ha sido proponer un material ecológico con elementos de plásticos reciclables y otros materiales para procesos constructivos en general. Igualmente se consideró necesario lo siguiente: 1) identificar elementos constructivos amigables con el medio ambiente, con el fin de conocer su aplicabilidad en distintos procesos de construcción; 2) analizar diferentes componentes constructivos mediante un estudio, teniendo en cuenta las características y procesos de construcción, y 3) proponer un material ecológico, resistente y apto en la aplicación de la Norma Sismo Resistente de Colombia NSR-10.

Apuntes colaborativos para la producción de nuevos elementos amigables con el medio ambiente

Todas las construcciones realizadas generan un impacto en el medio ambiente, puesto que parte de los recursos naturales se implementan en esta industria, como lo explica el doctor en derecho y arquitecto técnico de la Universidad Nacional de Educación a Distancia, Francisco Arenas, cuando expresa:

si bien es cierto que el procesado de materias primas y la fabricación de los materiales generan un alto coste energético y medioambiental, no es menos cierto que

la experiencia ha puesto de relieve que no resulta fácil cambiar el actual sistema de construcción y la utilización irracional de los recursos naturales, donde las prioridades de reciclaje, reutilización y recuperación de materiales brillan por su ausencia frente a la tendencia tradicional de la extracción de materias naturales [5, párr. 10].

Este proyecto de material reciclable, cuyo enfoque se direcciona a la construcción con líneas medioambientales, tiene un propósito más allá de la creación del producto: busca contribuir a la sociedad, fomentando el uso alternativo de elementos nuevos para la construcción, al promover la reutilización de materiales desechados. Entre los efectos positivos del proyecto que se debe tener en cuenta, podemos contar la disminución de residuos plásticos en la ciudad de Barranquilla y la concientización del reciclaje.

Con el material planteado, se tiene la intención de hacer parte de las propuestas en la fabricación de casas y otros tipos de edificaciones, con bajos costos y acortando el tiempo de construcción. Este proyecto investigativo experimental trae beneficios en lo relacionado a costos y presupuestos, brindando la oportunidad de ofrecer materiales accesibles a una comunidad con necesidades básicas. Según estudios de modelos y métodos similares, en esta propuesta no es necesaria la utilización de material adicional para su ubicación y manejo. La unión de unas piezas con otras puede realizarse de manera sencilla, igualmente el armado de un muro, lo que reduce de manera considerable el costo total de la obra.

En la actualidad, para construir una casa usando materiales tradicionales se ha aumentado el costo a un 2.6%. Igualmente, dentro de las ofertas se encontraron variaciones inferiores a la media relacionada con materiales (2.29%), maquinaria y equipo (1.39%) de costo elevado, significando que entre menor sea el impacto de los costos de las construcciones y otras variables, el mercado tendrá un mejor desempeño.

La propuesta cuenta con el uso del plástico y otros elementos reciclables que, según la página ecológica *Econoticias.com*, necesitan como mínimo cuatrocientos cincuenta (450) años para degradarse [6]. Una de las propuestas será el ladrillo, con

un método de ensamblaje parecido a las fichas de tipo lego, que ofrece un sistema de fácil armado.

Las viviendas históricamente se han construido con materiales como cemento, cal, yeso, entre otros. Pero en la actualidad, con su evolución y el apoyo de la tecnología, se ha llegado a crear e implementar nuevos materiales, siguiendo distintos criterios de bioconstrucción como los que presenta J. Van Lengen, para evitar el deterioro medioambiental, ya sea por extracción, manufactura, instalación o uso [7].

El grupo de la construcción se encuentra comprometido con un tercio del consumo de la energía del mundo, por su proceso de habitabilidad y uso de las edificaciones. Esto mismo sucede con el 17% del agua potable [8], el 10% de la tierra [9] y el 25% de la madera cultivada [8], valor que asciende al 70% si se considera el total de los recursos madereros [10].

A nivel nacional, se han desarrollado proyectos innovadores en el área de la construcción, como el caso de la pintura ecológica de Kolor, formulada con resina vinil acrílica, aditivos de alta calidad para mayor durabilidad y pigmentos para mayor solidez a la luz y estabilidad de color. Otro proyecto ambiental es el de la empresa Conceptos Plásticos, de bloques ecológicos a base de plástico reciclable.

Con estudios realizados sobre materiales para la construcción, se han desarrollado ladrillos ecológicos en diferentes partes del mundo. Uno de los materiales usados en estos productos son los plásticos reciclados, abundantes y de lenta degradación; así mismo, se continúa recolectando información de referentes relacionados con los plásticos como producto básico y su uso en el sector de la construcción tanto nacional como internacional.

El Ladrillo Ecomat, desarrollado en Bérnago, Italia, es un material de construcción que funciona como piezas de Lego, hecho de plástico reciclado de los vertederos. Con estos ladrillos se pueden construir paredes rápida y fácilmente, no necesitan mortero ni conocimientos especiales, además tienen excelentes propiedades de sismorresistencia y resistencia superior al fuego, pesan poco, y son buenos aislantes del ruido y la temperatura [12].

Los ladrillos son elaborados con maquinaria que produce altas temperatura. Estos hornos

funden el plástico para su posterior vertimiento en moldes especializados. Estos ladrillos tienen dos medidas estándares, el primer prototipo con medida de 8 cm x 25 cm x 33 cm, con un peso de 1.49 kg, y el segundo con medidas de 16 cm x 25 cm x 33 cm, con un peso de 3.35 kg.

El sistema de construcción Ecomat permite a cualquier tipo de edificio la posibilidad de un ahorro real en la realización e instalación de los muros y en la gestión de la obra, en comparación con los sistemas tradicionales de construcción [12].

Los ladrillos hechos con residuos plásticos de uso doméstico se elaboraban artesanalmente. Dentro de una botella PET (por sus siglas en inglés, *polyethylene terephthalate*), como las utilizadas para bebidas gaseosas o de agua, se introduce caucho, arena o plásticos hasta llenarla. Su peso no es estándar, debido a que puede variar según el material utilizado para el relleno. Para la construcción de estos ecoladrillos, no es necesario la utilización de un horno, sino que se utiliza otro tipo de mecanismo de construcción.

Los ladrillos artesanales son compactados con un material rígido, lo cual dificulta que quede con la severidad necesaria para no ceder al ser usado en alguna construcción. No obstante, los valores exactos de resistencia, rapidez y otras variables aún son materia de estudio [13].

Los ecoladrillos han sido utilizados en diversos contextos, teniendo en cuenta que en la construcción de casas su tiempo de ubicación es de 20 días, específicamente para una casa estándar de 38 m². En el 2015, se construyeron “10 casas con características particulares y un aula multifuncional en un colegio de Pico del Monte, Bolivia” [14]. Su sistema constructivo es diferente al de los bloques o ladrillos tipo lego, ya que al momento de construir se coloca un envase junto al otro y se une con cemento.

Se encuentran también los ladrillos de plástico reciclado desarrollados en Cali, Colombia. Este tipo de ladrillo es de plástico reciclado; su diseño le permite ser ensamblado en obra y minimiza el tiempo de construcción a solo cinco días. Para su elaboración se emplea plástico de la basura. Este plástico,

a través de un proceso de extrusión, se derrite y se vacía en un molde final, creando un ladrillo de tres kilos de peso (...). Con un costo final de 20 millones de pesos colombianos por unidad de vivienda, la compañía construye en cinco días y con cuatro personas una vivienda de 40 metros cuadrados con dos habitaciones, sala de estar, comedor, baño y cocina [15, párr. 4-5].

El material es elaborado con maquinaria de alta temperatura para fundir el plástico, los ladrillos tienen unas medidas de 50 cm x 7 cm x 13 cm y un peso de 3kg. Su unión no necesita de pegamento pues utiliza un sistema de ensamblaje tipo lego.

En Cali, Colombia, se pueden encontrar los ladrillos HomeCell. Estos ladrillos están compuestos en un 50% de polímero, producto de desecho de actividad industrial, y el otro 50% “por residuos naturales como cascarilla de arroz, de café, y elementos tales como colorantes protectores UV para evitar el impacto de los rayos solares (...). Cada metro cuadrado construido con bloques modulares HomeCell tiene un costo de \$650.000” pesos colombianos [16].

Para realizar estos ladrillos se utilizan maquinarias de alta temperatura para fundir el plástico. Las medidas de cada ladrillo son de 10 cm X 10 cm X 20 cm; su sistema constructivo es tipo lego, no necesita de aditivos para unirlos. Actualmente hay una vivienda construida con este sistema constructivo, ubicada en el corregimiento de Pance en Cali. “En la actualidad se desarrollan dos proyectos para estratos 5 y 6 en la represa del Lago Calima, ubicado en el Municipio de Calima El Darién” [16, párr. 16].

Evolución de los materiales constructivos

En la antigüedad, los materiales utilizados y predominantes en las construcciones eran la piedra, el ladrillo de barro cocido, entre otros. Estos fueron evolucionando, presentándose actualmente otras propuestas constructivas en las ciudades. Actualmente la construcción se ha convertido en un indicador de desarrollo económico a nivel mundial; por ello, los materiales utilizados en las edificaciones han ido desarrollándose de tal manera que hoy

se construye con materiales ligeros pero resistentes, como es el caso de los prefabricados.

Según la página web *Centro Urbano*, los materiales se dividen en tres principales categorías: la primera categoría son los metálicos, por ejemplo, níquel, hierro, cobre, aluminio y titanio; los segundos materiales son cerámicos, donde se encuentran ladrillos, vidrios, aislantes y abrasivos; por último, tenemos los materiales poliméricos, como caucho, plásticos y otros tipos de adhesivos [17]. A continuación, se detallan algunos de los materiales más usados en construcción en la actualidad: piedra, arena, cemento, plástico y vidrio.

Piedra

Es uno de los materiales más comunes y usados de la tierra. Su uso en la construcción ha estado presente en todas las etapas de la civilización, pues desde la prehistoria se comenzó a utilizar sin tallar para la elaboración de viviendas, muros, entre otros. Las piedras son consideradas como material pétreo y pueden encontrarse en cualquier tipo de tamaño. Estos materiales han sido utilizados para la construcción de pirámides, acueductos, templos, entre otros.

Las piedras o rocas más utilizadas han sido: granito, pizarra y mármol. Según la página web *Construmática*, este material utilizado para la construcción ha estado perdiendo importancia debido a materiales como concreto y acero, que para su ejecución se requiere más tiempo [18].

Arena

La arena, como la piedra, es uno de los materiales que más se ha utilizado en la construcción. Ha estado presente en todas las etapas de la civilización. La arena se conoce como un material cuyas partículas de tamaño varían entre 0,063 y 2 milímetros [19]. Se emplea en el hormigón mezclas según la exigencia de uso: por ejemplo, S1, S2, S3, P1 y C2; donde S es la resistencia a sulfatos, P es la permeabilidad y C es la resistencia a la corrosión [52, C4.2.1]. Así mismo, es uno de los más abundantes del planeta y debido a sus características se puede comprimir con facilidad y utilizarse para reforzar estructuras.

Según la revista *ARQHYS. Arquitectura*, la granulometría de las arenas se clasifica en arenas gruesas, medias y finas. Las gruesas son aquellas que pasan por una malla de 5 mm, pero son retenidas por malla de 2 mm; las arenas medias pasan por una malla de 2 mm y son retenidos por otra malla de 0.5 mm; las arenas finas pasan por una malla de 0.5 mm, pero son retenidas por malla de 0.2 mm [20].

Cemento

En la actualidad, el cemento es uno de los principales materiales de la construcción, utilizado para viviendas, edificios y puentes. Según estudios realizados por el Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), el cemento se originó alrededor de los años 1.600 a. C., como resultado de una mezcla de calizas, agua, arena y áridos agua, arena y áridos. Este nuevo material se podía moldear mientras estuviera húmedo, ya que al secar se endurecía teniendo como características una solidez y resistencias notables [21].

Con la creación del cemento se originó también lo que hoy se denomina hormigón. Actualmente, el cemento está presente en casi todas las construcciones del mundo. Un concepto de evolución del cemento, encontrado en la página web *Arquigráfico*, expone que el cemento surge de la molienda o trituración de algunas piedras cementantes y cambia cuando en Inglaterra en 1824 se crea el cemento portland, que es el producido de la combinación de la caliza y la arcilla. Actualmente el cemento portland está expandiendo su uso, ya que algunos lo denominan como la versión mejorada del cemento tradicional [37].

Plástico

El primer plástico se originó en 1860 por Phelan and Collander, que ofreció una recompensa de 10.000 dólares a quien consiguiera un sustituto aceptable del marfil natural. El inventor norteamericano Wesley Hyatt, el primer inventor del celuloide plástico (2009), fue quien desarrolló “un método de procesamiento a presión de la piroxilina, un nitrato de celulosa de baja nitración tratado previamente con alcanfor y una cantidad mínima de disolvente de alcohol” [22, párr. 1].

Con el celuloide desarrollado por Wesley se comenzaron a fabricar objetos como mangos de cuchillo, armazones de lentes y películas cinematográficas. En los años treinta del s. xx, químicos ingleses descubrieron que el gas etileno actuaba bajo la acción del calor y la presión, formando un material al que llamaron polietileno (PE), mientras que en esos mismos años en Alemania también se desarrolló el poliestireno (PS). También en los años treinta, el químico Wallace Carothers creó la primera fibra artificial, el nailon. En los años cincuenta apareció el polipropileno (PP) [22]. Después de la Segunda Guerra Mundial muchos químicos comenzaron a desarrollar nuevos tipos de plástico.

El plástico se utiliza en muchos productos de la construcción desde colas y resinas hasta tableros o ventanas, y una vez el edificio está construido, el plástico también es utilizado como elemento base para diversos complementos u objetos decorativos dentro de nuestras viviendas [23, párr. 2].

Igualmente, en la actualidad existen variedades de productos plásticos, pero la principal aplicación en la construcción la constituyen

las tuberías y ductos para transporte, no solo de agua sino también de gas, efluentes y otro tipo de fluidos, así como de aislamiento de cables y restauración. En este caso, las tuberías plásticas reemplazan a las tuberías galvanizadas, ya que presentan menos fallas, son más fáciles de manipular y no sufren de problemas de corrosión o sedimentación [24, párr. 2-3].

El plástico en general es un material formado por moléculas denominadas macromoléculas. El concepto tiene su origen en el hecho de que estas moléculas gigantes “se forman por reacciones en las que se unen muchas unidades de otras moléculas pequeñas (monómeros) formando largas cadenas (polímeros)” [25, párr. 1]. Como se observa en la Figura 1, las reacciones moleculares a este proceso se le denomina polimerización.

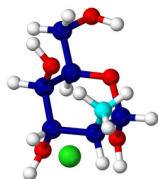


Figura 1. Macromoléculas sintéticas.

Fuente: [11].

Tipos de plásticos

A nivel general, existen dos grandes tipos de plásticos, los termoplásticos y los termoestables. De una parte, los termoplásticos

no sufren cambios en su estructura química durante el calentamiento. Se pueden calentar y volver a moldear cuantas veces se desee. Por ejemplo, el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el poliestireno expandido (EPS), el policloruro de vinilo (PVC), el politereftalato de etilenglicol (PET), entre otros [26, párr. 2].

De otra parte, están los termoestables que “sufren un cambio químico cuando se moldean y, una vez transformados por la acción del calor, no pueden ya modificar su forma. Por ejemplo, las resinas epoxídicas, las resinas fenólicas y amínicas y los poliuretanos” [26, párr. 2].

Actualmente, con el paso de los años y la evolución científica, se han desarrollado nuevos materiales poliméricos como los bioplásticos, elastómeros, plásticos biodegradables, poliolefinas, plásticos de ingeniería, entre otros [27].

Vidrio

El vidrio es un material cristalino que se funde a gran temperatura. Sus inicios se remontan a la edad antigua, donde era utilizado para la bisutería. Igualmente, a este material se le mezclaban distintos minerales para así obtener variedad de colores. “La fabricación del vidrio floreció en Egipto y Mesopotamia hasta el 1200 a. C., posteriormente cesó casi por completo durante varios siglos. Egipto produjo un vidrio claro, que contenía sílice pura; lo coloreaban de azul y verde” [28, párr. 1].

Con el paso de los años, el vidrio empezó a ser utilizado en catedrales góticas; su fabricación revolucionó gracias a un método ideado por el químico francés Nicolás Leblanc. Desde ese momento,

comenzaron a fabricarse vidrios de alta calidad para ser utilizados en instrumentos ópticos; a la vez pudo popularizarse su aplicación dando nacimiento a objetos de uso corriente tales como: vasos, espejos, botellas, arañas, y otros utensilios, que le brindaban al ser humano una mejora en su calidad de vida [29, párr. 6].

El vidrio se convierte en material en constante evolución por sus capacidades de transformación, haciéndose un elemento necesario en cualquier construcción. “Es el material más empleado para iluminar cualquier tipo de estancia” [30, p. 119]. El vidrio en la construcción tiene diversas aplicaciones, tales como: vidrios de seguridad, vidrios con tratamiento UV, vidrios antiacústicos, vidrios opacos, antireflexivos, entre otros.

El vidrio es material “amorfo producido por la fusión de sílice y aditivos a muy altas temperaturas” [31]. Se considera amorfo por no ser líquido ni sólido, mostrándose en estado vítreo, donde sus unidades moleculares poseen excelente rigidez mecánica. El vidrio se puede clasificar según su compuesto químico, en: a) vidrio sodocálcico, usado para envases o ventana; b) vidrio plomado, usado para pulido y tallados de decoración de superficies; c) vidrio borosilicato, usado para utensilios de laboratorios, y d) vidrios especiales, compuestos de varios químicos según su uso.

El vidrio utilizado en esta propuesta es el sodocálcico, ya que según documento expedido por la Cámara del Vidrio Plano y sus manufacturas de la República Argentina [31] es el “más común y el menos costoso”. Este material se encuentra en botellas, jarros, vasos de uso diario, entre otros. Para profundizar en ello, a continuación se presentarán algunos resultados de dos estudios hechos sobre este material.

Ensayo “Influencia de la incorporación de vidrio triturado en las propiedades y el comportamiento a alta temperatura de morteros de cemento” [32]

Este ensayo fue realizado por Vicente Flores-Alés y Víctor Jiménez-Bayarri, profesionales de la Universidad de Sevilla, España, y Alexis Pérez-Fargallo, de la Universidad del Bio-Bio en Concepción, Chile. El artículo fue publicado en el *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, en marzo de 2018. Trata sobre la incorporación de vidrios a los morteros de cemento, presentando un alto grado de recuperación y reutilización. Su objetivo principal ha sido comprobar el comportamiento que tiene el cemento, al ser sustituido de forma parcial el árido.

Igualmente, en el artículo presentado se bajan las medidas de mortero de referencia 1:3 (cemento / arena) con proporciones de un 25% de cemento y 50% de arena con relación al peso. Es así como se deducen “sensibles diferencias en las muestras, que se reflejan en un mejor comportamiento para los materiales que incorporan fracciones de vidrio en su composición” [32, p. 257].

Ensayo con gránulos de plástico reciclado y desechos de demolición como materiales de construcción

Este ensayo fue realizado por Arul Arulrajah y Ehsan Yaghoubi, miembros del Departamento de Ingeniería Civil y Construcción, de la Universidad Swinburne de Tecnología, Hawthorn, Australia; Yat Choy Wong, miembro del Departamento de Ingeniería Mecánica y Diseño de Producto, de la Universidad Swinburne de Tecnología, Hawthorn, Australia, y Suksun Horpibulsuka, miembro del Departamento de Ingeniería Civil y Construcción, de la Universidad Swinburne de Tecnología, Hawthorn, Australia y de la Escuela de Ingeniería Civil y del Centro de Excelencia en Innovación para el Desarrollo de Infraestructura Sostenible, de la Universidad Suranaree, Nakhon Ratchasima, Tailandia.

El artículo fue publicado en la revista científica *Journal of Materials in Civil Engineering*, en noviembre de 2016. Habla sobre las grandes cantidades de desechos plásticos y de demolición producidas a nivel mundial. Así mismo, sobre el uso sostenible y alternativo de estos materiales; además, sobre la mitigación de los desechos en los vertederos y ventajas tanto ambientales como económicas que se obtienen a través de este método. En el artículo

se evaluaron tres tipos de gránulos de residuos plásticos reciclados: polietileno lineal de baja densidad relleno con carbonato de calcio (LDCAI), polietileno de alta densidad (HDPE) y polietileno de baja densidad (LDPE) en mezclas con ladrillos triturados (cb) y asfalto reciclado Pavimento (rap); evaluándose tanto resistencia, rigidez como módulo elástico; dando como resultado gránulos plásticos de polietileno con un 5% de contenido resultaron ser adecuados como material

de construcción de carreteras, cuando se mezclan en cantidades suplementarias con desechos de demolición [33, p. 7].

Leyes físicas de resistencia y elasticidad de los materiales

Ley de Hooke

La Ley de Hooke surgió en el siglo XVII, formulada por el físico Robert Hooke cuando observaba el comportamiento elástico de los resortes y de otros tipos de materiales. El físico “observó que para muchos materiales la curva de esfuerzo vs deformación tiene una región lineal. Dentro de ciertos límites, la fuerza requerida para estirar un objeto elástico, como un resorte de metal, es directamente proporcional a la extensión del resorte” [34, párr. 9]. A continuación, se describe la fórmula encontrada en la página *Fiscalab*, donde se habla sobre la ley de Hooke y presenta como ejemplo la Figura 2 del presente documento. “La ley de Hooke establece que el alargamiento de un muelle es directamente proporcional al módulo de la fuerza que se le aplique, siempre y cuando no se deforme permanentemente dicho muelle” [35, párr. 2].

$$F = k \cdot (x - x_0)$$

F equivale al módulo de la fuerza aplicado sobre el muelle, k representa “la constante elástica del muelle, que relaciona fuerza y alargamiento. Cuanto mayor es su valor más trabajo costará estirar el muelle. Depende del muelle, de tal forma que cada uno tendrá la suya propia” [35, párr. 3]. Finalmente, x_0 equivale a la longitud del muelle sin aplicar la fuerza y x es la longitud del muelle con la fuerza aplicada.

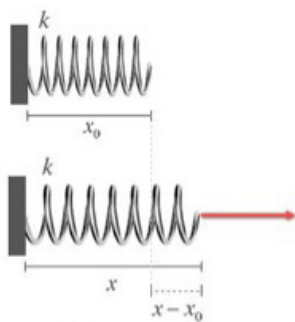


Figura 2. Ley de Hooke.

Fuente: [35].

Módulo de Young

El módulo de Young o módulo de elasticidad es el “número que mide la resistencia de un material al ser deformado elásticamente” [34, párr. 16]. Esta medida fue observada y estudiada por el físico Thomas Young, y determina la relación existente entre deformación simbolizada como “ $d\epsilon$ ” y la tensión como “ $d\sigma$ ”. La fórmula para el Módulo de Young se describe a continuación:

$$E = \frac{d\sigma}{d\epsilon}$$

Donde:

E = módulo de Young – Pascal

σ = tensión o fuerza – Pascal

ϵ = Deformación

Un concepto del módulo de Young, expresa que “el módulo de elasticidad indica la rigidez de un material: cuanto más rígido es un material mayor es su módulo de elasticidad” [36].

Aplicabilidad de la fuerza de flexión de los materiales

Se denomina flexión a los esfuerzos aplicados para la deformación de un elemento constructivo que presenta forma alargada. Otro concepto relacionado es el del momento flector:

un objeto sometido a flexión presenta una superficie de puntos llamada fibra neutra tal que la distancia a lo largo de cualquier curva contenida en ella no varía con respecto al valor antes de la deformación. El esfuerzo que provoca la flexión se denomina momento flector [38].

La flexión se describe, en términos de esfuerzo, como una “acción de encorvamiento transitorio que experimenta un sólido elástico por la acción de una fuerza que lo deforma” [39].

La empresa *Instron*, experta en ensayos de materiales, especifica la realización de este tipo de ensayos de la siguiente manera:

la probeta está soportada por dos cuchillas como viga simple y la carga se aplica en su punto medio.

El esfuerzo máximo de la fibra y la deformación máxima se calculan en incrementos de carga. Los resultados se trazan en un diagrama carga-deformación y el esfuerzo máximo de la fibra es la resistencia a la flexión. Se presenta la resistencia de fluencia de la flexión en aquellos materiales que no se rompen. Los procedimientos de ensayo estándares se especifican en ASTM D-790 (plásticos) y ASTM C-674 (cerámica blanca cocida). ASTM D-797 (elastómeros), ASTM A-438 (hierro fundido) y ASTM D-86 (vidrio) [40].

Aplicabilidad de la fuerza de compresión de los materiales

El ensayo de compresión determina a la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de aplastamiento. Los materiales son sometidos bajo cargas de presión. La probeta se comprime y se registra la deformación con distintas cargas. El esfuerzo y la deformación de compresión se calculan y se trazan como un diagrama carga-deformación, utilizado para determinar el límite elástico, el límite proporcional, el punto de fluencia, el esfuerzo de fluencia y, en algunos materiales, la resistencia a la compresión. Se proporcionan ensayos de compresión estándar en ASTM C-773 (cerámica de gran resistencia), ASTM E-9 (metales), ASTM E-209 (metales a elevadas temperaturas) y ASTM D-695 (plásticos) [45].

En la actualidad, para construir casas en Colombia hay que regularse por la Norma Sismo Resistente (10). Esta norma surge a raíz del incidente sísmico de Popayán, en 1983. Con respecto a ese suceso, el Congreso de la República expidió la Ley 11 de 1983, donde se determinaron los pasos para la reconstrucción de la ciudad. El gobierno nacional, en uno de los artículos, autorizó reglamentación obligatoria para la construcción sismorresistente, extendiéndose por todo el territorio nacional, siendo “la primera normativa nacional sobre sismo resistencia por medio del Decreto 1400 de junio 7 de 1984, denominado Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes” [41, p. 5].

La Ley 400 del 19 de agosto de 1997 fue el resultado de la expedición de una ley que permitiera actualizar la normativa por decreto en el futuro, ya que facultades conferidas al Presidente de la República duraban solo un año. “Al amparo de esta

ley se crearon los Decretos 33 de 1998, 34 de 1999, 2809 del 2000, y 52 del 2002, los cuales fueron denominados Reglamento de Construcciones Sismo Resistentes NSR” [41, p. 5]. Este reglamento se ajusta a lo establecido en la Ley 400 de 1997, así como el Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismo resistentes NSR-10, en sus artículos 46, 47 y 48.

Con el desarrollo del Decreto 926 de 2010 se aplicó en todo el país el uso obligatorio de la normativa sismorresistente. Después, con el Decreto 2525 de 2010, “por el cual se modifica el Decreto 926 de 2010 y se dictan otras disposiciones, se difirió la obligatoriedad de la aplicación de la NSR-10, hasta el 15 de diciembre de 2010” [41, pp. 5-6].

Gestión del conocimiento y análisis

Inicialmente, en la organización del material se trabajó la experimentación utilizando elementos plásticos combinados con otros materiales. Igualmente, se realizaron estudios a nivel ambiental y constructivo, observándose que en el aspecto ambiental se presenta una creciente contaminación generada por residuos plásticos que cada día van en aumento, debido a su alta utilización y a la incorrecta reutilización. Se obtuvo también información mediante entrevistas relacionadas con los programas iniciados por la alcaldía de Barranquilla, que viene trabajando para contrarrestar y mitigar la contaminación generada por estos residuos. En el ámbito constructivo se observó y analizó los avances tecnológicos aplicados a la construcción ecosostenible a nivel local, regional, nacional e internacional.

Se establecieron estándares de clasificación entre lo tecnológico y la innovación, fundamentando el proyecto a nivel gubernamental categorizado según *Colciencias* como “Investigación, Desarrollo Tecnológico e innovación”, conocida también por sus siglas I+D+i [42]. De acuerdo al Plan Nacional de Investigación y Desarrollo Español, se afirma que el I+D+i “es un nuevo concepto a los estudios relacionados con el avance de la sociedad, siendo una de las partes más importantes dentro de las tecnologías informativas” [50, párr. 1].

Se reconoce la importancia de desplegar este tipo de investigación en la región, siendo en este caso la Facultad de Arquitectura de la Universidad del Atlántico, soporte y apoyo para su desarrollo y contribución significativa a la sociedad en general.

Debido a lo anterior, se utilizaron distintos tipos de fórmulas y materiales con el fin de experimentar y obtener diversos resultados para posteriormente analizarlos y elegir el adecuado, según sus capacidades y cualidades.

La utilización de elementos ecológicos constructivos, su composición, su comportamiento, arrojó una información organizada, estableciendo variables que permitieron organizar los datos y facilitar la realización del trabajo de campo; igualmente, se logró hacer seguimiento y observación de los ensayos, y de esa forma establecer la propuesta de diseño, su composición y material propuesto.

Análisis y selección de materiales

Con la información de los plásticos se procedió a analizar cada componente de estos materiales. De ellos se estudiaron resistencias mecánicas, resistencias a la humedad, al calor, entre otros. Se llegó a la conclusión de que los mejores plásticos para trabajar son el tipo uno conocido como Pet o Pete (PET), el tipo dos conocido como polietileno de alta densidad (HDPE o PEAD), el tipo cuatro conocido como polietileno de baja densidad (LDPE o PEBD), y el tipo cinco conocido como polipropileno (PP), ya que todos estos aportan buenas características para ser usados en la creación de un ladrillo ecológico.

Ensayo prueba y error

En la producción del material ecológico se procedió a comenzar ensayos con materiales plásticos reciclados, comprados en la empresa recolectora llamada Iron Crap Corp Colombia, ubicada en la avenida circunvalar en el barrio La Paz, de la ciudad de Barranquilla. Los ensayos marcaron una diferencia en la evolución del producto, buscando demostrar de forma sintetizada la evolución de las pruebas realizadas al material. Con los diferentes

ensayos realizados se procedió a someterlos a pruebas mecánicas como la flexión y compresión en un laboratorio especializado [43]. Así mismo, se procedió a realizar ensayos específicos apoyando la posibilidad de la creación de este nuevo producto.

El material obtenido se dirigió a la construcción de un modelo de ladrillo ecológico, teniendo presentes todas las fases y etapas solicitadas. En esta búsqueda no solo se tuvo en cuenta el material, sino también los diseños propuestos en diferentes elementos constructivos planteados. Es por ello que, al diseñar el ladrillo, se buscaron varias opciones. La que más llamó la atención fue el modelo de ladrillo rojo hueco convencional. De esta idea partió el modelo planteado en el presente documento. Para la elaboración del elemento constructivo, se tuvo en cuenta que cumpliera con las normas sismorresistentes colombianas NSR-10.

Se aplicó observación y experimentación. Igualmente, con el apoyo de las entrevistas se logró aclarar dudas para ayudar a bajar los índices de desechos plásticos, específicamente en la ciudad de Barranquilla. Además, se hizo uso de fotografías y videos, con apoyo de la web y la documentación necesaria, para la comprobación de ciertas hipótesis que serían sometidas a pruebas de laboratorio, de compresión y flexión.

Material seleccionado para los ensayos

Tereftalato de Polietileno (PETE O PET)

El plástico PETE O PET es utilizado para contener agua, gaseosas, entre otros líquidos. Es un polímero que se obtiene de la mezcla de varios componentes.

Un kilogramo de PET está compuesto por 64% de petróleo, 23% de derivados líquidos de gas natural y 13% de aire. El paraxileno, extraído del petróleo crudo, permite la obtención del ácido tereftálico al oxidarse con el aire. Por su parte, el etileno, derivado del gas natural, se oxida con aire para la obtención del etilenglicol. El PET resulta de la combinación del ácido tereftálico y el etilenglicol. [46, p. 125].

Tabla 1. Propiedades del plástico PET (-CH₂-CH₂-)n

Característica	
Punto de fusión	Entre 244 - 254 °C
Resistencia a tracción	900 kg/cm ²
Resistencia a tensión	Entre 59 MPa y 72 MPa
Resistencia a compresión	Entre 76 y 128 MPa
Absorción de agua	0.16
Límite plástico	Entre 50% y 150%
Presión	Entre 55 MPa y 75 MPa
Densidad	Entre 1,34 y 1.39 g/cm ³
Prueba de impacto	3,6 kJ/m ²
Conductividad térmica	0.24 W/(m*K)
Coefficiente de dilatación lineal	7X10 ⁻⁵ /K
Módulo de elasticidad (Módulo de Young)	E= 2800 - 3100 MPa
Índice de refracción	1.57

Fuente: elaborado a partir de [47], [44], [25] y [51].

Polietileno de Alta Densidad (HDPE o PEAD)

Es un polímero que se produce como resultado de la polimerización del etileno. Perteneció a la familia de los olefinicos y es un material considerado como termoplástico. Se le conoce como HDPE por sus siglas en inglés (*High Density Polyethylene*) o como PEAD (Polietileno de Alta Densidad) [47].

Tabla 2. Propiedades del plástico HDPE (C₁₀H₈O₄)n

Característica	
Punto de fusión	Entre 130 - 137 °C
Resistencia a tracción	Entre 22.1 - 31 kg/cm ²
Resistencia a compresión	Entre 18.6 - 24.8 MPa
Resistencia a flexión	Entre 30.9 - 43.4 MPa
Tenacidad a fractura	Entre 1.52 - 1.82 MPa·m ^{1/2}
Densidad	Entre 0.952 - 0.965 g/cm ³
Cristalinidad	Entre 70% - 80%
Coefficiente de Poisson	Entre 0.41 - 0.427
Conductividad térmica	Entre 0.461 - 0.502 W/m·K
Coefficiente de dilatación lineal	Entre 60e-6 - 110e-6 1/ °C
Módulo de elasticidad (Módulo de Young)	Entre 1.07 - 1.09 GPa
Índice de refracción	Entre 1.53 - 1.55

Fuente: elaborado a partir de [51].

Polietileno de Baja Densidad (LDPE o PEBD)

El polietileno de baja densidad es también conocido como LDPE (por sus siglas en inglés, *Low Density Polyethylene*) o PEBD (Polietileno de baja densidad). Es un polímero que resulta de la polimerización de las olefinas. Este material “está conformado por repetidas unidades de etileno. Se le considera un polímero de adición y su proceso de polimerización suele realizarse bajo presiones de 1500 a 2000 kg/cm²” [48, párr. 4].

El polietileno de baja densidad es considerado como un termoplástico. Al igual que el polietileno de alta densidad, es uno de los plásticos más usados en el mundo, ya que con él se realizan bolsas plásticas, películas para invernadero, juguetes, bases para pañales, entre otros.

Tabla 3. Propiedades del plástico LDPE (-CH₂-CH₂-)n

Características	
Punto de fusión	Entre 98 - 115 °C
Resistencia a tracción	Entre 13.3 - 26.4 MPa
Resistencia a compresión	Entre 10.8 - 17.4 MPa
Tenacidad a fractura	Entre 1.21 - 3.39 MPa .m ^{1/2}
Resistencia al agua (%)	<0,015
Densidad	Entre 0.917 - 0.932 g/cm ³
Cristalinidad	Entre 40 - 50 %
Coefficiente de Poisson	Entre 0.439 - 0.457
Conductividad térmica	Entre 0.322 - 0.348 W/m·K
Coefficiente de dilatación lineal	Entre 100e-6 - 200e-6 1/ °C
Módulo de elasticidad (Módulo de Young)	Entre 0.172 - 0.283 GPa
Índice de refracción	1.57

Fuente: elaborado a partir de [51].

Polipropileno (PP)

Este material es un termoplástico que “se obtiene mediante la polimerización del propileno o propeno, en presencia de catalizadores en alquil metálico” [47]. Igualmente se puede encontrar en prótesis, componentes para laboratorios, tanques para depósitos de elementos químicos, utensilios de higiene, juguetes, utensilios domésticos, entre otros.

Tabla 4. *Propiedades de Polipropileno (-CH₂-CH(CH₃))_n*

Características	
Punto de fusión	Entre 150 - 175 °C
Resistencia a tracción	Entre 27.6 - 41.4 MPa
Resistencia a compresión	Entre 25.1 - 55.2 MPa
Tenacidad a fractura	Entre 3 - 4.5 MPa·m ^{1/2}
Resistencia al agua (%)	0,03
Densidad	Entre 0.89-0.91 g/cm ³
Cristalinidad	Entre 50 - 60%
Coefficiente de Poisson	Entre 0.405 - 0.427
Conductividad térmica	Entre 0.113 - 0.167 W/m·K
Coefficiente de dilatación lineal	Entre 80e-6 - 100e-6 1/°C
Módulo de elasticidad (Módulo de Young)	Entre 0.896 - 1.55 GPa
Índice de refracción	Entre 1.48 - 1.5

Fuente: elaborado a partir de [51].

Clasificación del plástico según su toxicidad

Los plásticos tienen una clasificación del 1 al 7, como se vio. Esta categorización es para especificar el material según su uso, pero no según su toxicidad. Es así como se clasifican los plásticos en menos y más tóxicos.

Los plásticos menos tóxicos

El Tereftalato de Polietileno (PETE O PET) es un material comúnmente utilizado para hacer botellas de bebidas de agua, zumos, entre otros. Con este material hay discrepancias, ya que algunos lo consideran seguro y otros no. Estos últimos alegan de que “este tipo de plástico es conocido por permitir que las bacterias y el sabor se acumulen” [49, párr. 6].

El Polietileno de Alta Densidad (HDPE) es un material usado comúnmente para cajas de leche, botellas de limpiadores, botellas de champú, botellas de detergente, entre otros. “Este plástico es uno de los tres plásticos que se consideran seguros, y tienen bajo riesgo de filtrado” [49, párr. 8]. El Polietileno de Baja Densidad (LDPE) es usado para la creación de bolsas para la compra y algunos

envoltorios de alimentos. Este plástico es “fuerte, flexible y transparente” [49].

El Polipropileno (PP) es considerado como el plástico “más seguro” [49, párr. 16]. Es empleado para la realización de botellas de yogurt, sorbetes de botellas, entre otros.

Los plásticos más tóxicos

El Cloruro de Polivinilo (PVC) es uno de los más contaminantes y hay que evitar su uso [49]. Se encuentra en los tubos de PVC de plomería, algunas botellas de detergente, algunas envolturas de alimento, paquetes de carne y embutidos, juguetes, entre otros. Este tipo de material tiene como efecto negativo el uso de sustancias tóxicas como el DEHA o Dietilhidroxilamina, que puede ser un agente cancerígeno con su exposición a largo plazo. Estos plásticos utilizados contienen ftalatos, que están vinculados a numerosos problemas de salud que van desde problemas de desarrollo hasta abortos involuntarios. “Los ftalatos son un grupo de plásticos que hacen que algunos machos de muchas especies se hagan femeninos” [49, párr. 11].

El Poliestireno (PS) es un material considerado como peligroso. Este tipo de plástico surge del “Styrofoam que es famoso por ser difícil de reciclar, y por lo tanto, malo para el medio ambiente” (Biosalud, 2018). Este material, conocido como el corcho blanco, es utilizado para tazas o bandejas desechables.

El número 7 de la clasificación de los plásticos es considerado como el peor de los plásticos. Según la Clínica Internacional de Medicina Biológica, *Biosalud*, de España, este plástico es mortal, ya que “se compone de una mezcla de policarbonato y bisphenol-A (BPA)” [49, párr. 18], es decir, de todas las resinas que no pudieron ser clasificadas dentro de las anteriores mencionadas y que tienen como efecto negativo “la infertilidad, hiperactividad, problemas reproductivos y otros problemas de salud” [49, párr. 19].

Procedimiento

Se realizaron 10 ensayos durante los meses de julio a diciembre de 2018; así mismo, en enero y febrero de 2019. Lo anterior, con el fin de buscar la mejor

resistencia y textura del material, eligiendo algunos resultados de ensayos más significativos. En estos ensayos se muestran poco a poco los avances del trabajo de campo y evolución de los materiales/productos, para determinar sus propiedades de resistencia mecánica, resistencia a tracción, resistencia a flexión, humedad y cantidad de temperatura que soportan los ladrillos antes de derretirse en caso de incendio.

Análisis e interpretación de resultados

Con base en la revisión de investigaciones y ensayos ejecutados durante todas las pruebas del segundo semestre de 2018, comprendida entre julio y diciembre, e igualmente el tiempo extra comprendido entre enero a febrero de 2019, se observó, durante los primeros ensayos de plásticos, solo plástico PET. Se revisó el momento en que comenzó a ablandarse el material a un punto de temperatura de 100 °C y terminando de fundirse en un rango de temperatura de 250 °C a 300 °C.

En los ensayos realizados con plástico PET, se notó que se necesitaba de constante movimiento de la mezcla para evitar su cristalización rápida. En el proceso del material derretido, llama la atención que, después de tomar una consistencia líquida, al enfriarse se presentan grietas. Los ensayos, aunque mostraban cierta dureza del material, evidenciaron que este no resistió lo suficiente la fuerza de impacto y se quebraba inmediatamente.

Esto llevó a enfocar la investigación en los demás plásticos, es decir, el plástico polietileno de alta densidad (HDPE o PEAD), el plástico polietileno de baja densidad (LDPE o PEBD) y el plástico polipropileno (PP), a los cuales se realizaron las pertinentes pruebas, dando como resultado un material más resistente al impacto, con buenas características y resultados de resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

Conclusión

Se concluye que, en el prototipo para el ladrillo, debe tenerse en cuenta los diversos estudios realizados en el presente documento. Se determinó que

las medidas del ladrillo son 20 cm de alto x 12 cm de ancho x 40 cm de largo y su diseño se realizó en el programa Sketchup. En cuanto a la aplicabilidad del material, se considera que el producto conformado por plástico y otros materiales complementarios tiene una variedad en su aplicabilidad, ya que es un material que se puede moldear según su necesidad. Los estudios realizados demuestran que este material cuenta con buena resistencia ante las pruebas de compresión y flexión. Además, se puede estucar sin ningún problema y posteriormente pintar. El producto se puede moldear para usar y construir muros de carga y de jardinería, muros divisorios, baldosas, adoquines, entre otros.

Referencias

- [1] (2018, jun. 8). “National Geographic y la lucha contra el plástico”. [Internet] Disponible en http://www.nationalgeographic.com/es/mundo-ng/actualidad/national-geographic-y-lucha-contra-plastico_12710
- [2] (2016, oct. 18). “11,6 millones de toneladas de basura produce Colombia al año”. [Internet]. Disponible en <http://hsbnoticias.com/noticias/nacional/11-6-millones-de-toneladas-de-basura-produce-colombia-al-ano-245078>
- [3] Minambiente. (2016, oct. 17). “En cuenta regresiva para limpiar Colombia”. [Internet] Disponible en <http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2512-en-cuenta-regresiva-para-limpiar-colombia>
- [4] S. Laville y M. Taylor (2017, jun. 30). “El mundo compra un millón de botellas de plástico por minuto que acaban en vertederos o en el mar”. [Internet]. Disponible en https://www.eldiario.es/theguardian/compra-botellas-plastico-mayoria-vertederos_0_659684375.html
- [5] F. J., Arenas. (2008) “Los materiales de construcción y el medio ambiente”, *Med. Amb. y Der.: Rev. electr. de der. amb.* [Internet]. N.º 17. Disponible en http://huespedes.cica.es/gimadus/17/03_materiales.html#2.
- [6] (2012, oct. 16). “¿Cuánto tarda nuestra basura en descomponerse?”. [Internet]. Disponible en <https://www.ecoticias.com/residuos-reciclaje/71460/pila-bolsa-plastico-lata-cerveza-cuanto-tardan-desintegrarse>
- [7] J. Van Lengen, *Manual del arquitecto descalzo*, México, Editorial Pax, 2002.
- [8] World Green Building Council [WorldGBC], *Construction and WorldGBC to Collect Global Green Trends Data to Advance the Sharing of Green Information and Intelligence*, New York, McGraw- Hill, 2008.

- [9] United Nations Environment Programme [unep], “Sustainable Buildings and Construction Initiative”. Meeting Report, 2006 [en línea]. Disponible en http://www.unepie.org/shared/uploads/events/docs/459_01.pdf
- [10] B. Edwards y P. Hyett, *Guía básica de la sostenibilidad*, Barcelona, Gustavo Gili S.A., 2001.
- [11] Macromoléculas sintéticas. Disponible en <http://macrosinteticas.blogspot.com/p/polimeros.html>.
- [12] (2019, sep. 19). “Construcciones con ladrillos de plástico tipo Lego”. Disponible en <https://renovables.wordpress.com/2012/09/19/casas-a-partir-de-ladriillos-de-plastico-tipo-lego/>
- [13] D. Zambrano. (2017, oct. 23). “El invento paisa para elaborar ladrillos ecológicos”. [Internet]. Disponible en <http://www.elcolombiano.com/antioquia/maquina-paisa-acelera-la-produccion-de-ecoladriillos-DX7541984>
- [14] E. Valldecabres. (2015, nov. 5). “Construir casas con botellas de plástico”. [Internet]. Disponible en <http://www.elmundo.es/economia/2015/11/05/55f6e61ee2704e0c4b8b4582.html>
- [15] Valencia, N. (2016). Centro Cultural Casona Quilapilún, nuevo proyecto de Pezo von Ellrichshausen en Chile. Disponible en <https://www.archdaily.co/co/792028/en-5-dias-se-construyo-esta-vivienda-con-ladriillos-de-plastico-reciclado>
- [16] (2016, nov. 5). “Liderazgo Colaborativo”. [Internet]. Disponible en <https://www.ccc.org.co/revista-accion-ccc/liderazgo-colaborativo/>
- [17] P. Díaz. (2017, abr. 5). “Evolución en los materiales de construcción: vivienda”. [Internet]. Disponible en <https://centrourbano.com/2017/04/05/evolucion-los-materiales-construccion-vivienda/>
- [18] Construmática. “La piedra natural en construcción para el desarrollo”. [Internet]. Disponible en https://www.construmatica.com/construpedia/La_Piedra_Natural_en_Construccion_para_el_Desarrollo
- [19] D. Sánchez, *Tecnología del concreto y del mortero*, 5ª edición, Bogotá, Pontificia Universidad Javeriana, 2001.
- [20] Arqhys Artículos, equipo editorial. (2012). “Tipos de arena”. [Internet]. Disponible en <https://www.arqhys.com/articulos/arenas-tipos.html>
- [21] Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones [IECA]. “Historia del Cemento”. [Intranet]. Disponible en <https://www.ieca.es/historia-del-cemento/>
- [22] (2009, feb. 6). “Origen y evolución de los plásticos”. [Internet]. Disponible en <https://plasticoperu.wordpress.com/2009/02/06/origen-y-evolucion-de-los-plasticos/>
- [23] Vilssa, equipo editorial. “Distintos tipos de plásticos usados en construcción”. [Internet]. Disponible en <http://vilssa.com/distintos-tipos-de-plasticos-usados-en-construccion>
- [24] I. Jiménez. (2005, sep.). “Plásticos en la construcción: materiales innovadores”. [Internet]. Disponible en <http://www.plastico.com/temas/Plasticos-en-la-construccion,-materiales-innovadores+3042436>
- [25] (2007, dic. 24). Naturaleza de los plásticos. [Internet] Disponible en <http://aliso.pntic.mec.es/cm10029/PLASTICOS/Generalidades.html>
- [26] Cámara Argentina de la Industria Plástica [caip]. “¿Qué sabemos sobre los materiales plásticos?”. [Internet]. Disponible en <https://www.caip.org.ar/tipos-de-plasticos/>
- [27] R. Castillo, E. Escobar, D. Fernández, R. Gutiérrez *et al.*, *Bioplástico a base de la cáscara del plátano*. Licenciatura en Ingeniería Industrial, Centro Regional de Veraguas, Universidad Tecnológica de Panamá. [En línea]. Disponible en <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/346/html>
- [28] (2015, sep. 21). “El vidrio en la antigüedad”. [Internet]. Disponible en http://dvidrio.com/site_02/el-vidrio-en-la-antiguedad/
- [29] (2015, nov. 25). “El vidrio: transparente elegancia”. [Internet]. Disponible en <http://www.abcpedia.com/construccion-y-materiales/vidrio>
- [30] J. Calderón, *El vidrio en la construcción: tipologías y usos*, tesis ba, Universidad Politécnica Valencia, Escuela Técnica Superior de Gestión en la Edificación, Valencia, 2010. Disponible en <https://es.scribd.com/doc/39824717/El-vidrio-en-la-construccion>.
- [31] Cámara del Vidrio Plano y sus Manufacturas de la República Argentina [Caviplan], Manual del Vidrio Plano, 4ª edición, Buenos Aires, Caviplan, 2013. Disponible en https://www.caviplan.org.ar/media/pdf/Manual_VP___4a.edici%C3%B3n.pdf
- [32] V. Florez-Alés, V. Jiménez-Bayari y A. Pérez-Falgallo, “Influencia de la incorporación de vidrio triturado en las propiedades y el comportamiento a alta temperatura de morteros de cemento”, *Bol. de la Soc. Esp. de Cer. y Vidr.*, n.º 57, pp. 257-265, 2018. Bajado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0366317518300153>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.bse-cv.2018.03.001>

- [33] Arulrajah, Yaghoubi, Choy y Horpibulsuk, “Stiffness Properties of Recycled Concrete Aggregate with Polyethylene Plastic Granules in Unbound Pavement Applications”, *Jour. of Mat. in Civ. Eng.*, vol. 29, n.º 4, 2016. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/310391089_Stiffness_Properties_of_Recycled_Concrete_Aggregate_with_Polyethylene_Plastic_Granules_in_Unbound_Pavement_Applications. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001821](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001821)
- [34] Khan Academy. “¿Qué es la ley de Hooke?”. [Internet]. Disponible en <https://es.khanacademy.org/science/physics/work-and-energy/hookes-law/a/what-is-hookes-law>
- [35] J. Fernández y G. Coronado. “¿Cómo medir fuerzas?”. [Internet]. Disponible en <https://www.fiscalab.com/apartado/ley-hooke>
- [36] A. Pérez, (2014, jun. 24). “Módulo de Elasticidad”. [Internet]. Disponible en http://www.mecapedia.uji.es/modulo_de_elasticidad.htm
- [37] (2018, feb. 19). “¿Cuál fue el origen del cemento?”. [Internet]. Disponible en <https://arquigrafico.com/cual-fue-el-origen-del-cemento/>
- [38] F. P. Beer, J. T. Dewolf y E. R. Johnston, *Mecánica de materiales*, México, d.f., McGraw-Hill, 2010. Disponible en https://www.academia.edu/34453780/Mecanica_de_Materiales_5ta_Ed_Beer_Johnston_DeWolf_Mazurek_McGraw_Hill
- [39] Real Academia Española. (2018). Flexión. *Diccionario de la lengua española*. Disponible en <https://dle.rae.es/flexi%C3%B3n?m=form>
- [40] Instron (2019). Líderes en ensayo de materiales. Disponible en <https://www.instron.com.ar/es-ar/our-company/library/glossary/f/flexure-test>
- [41] C. A. Díaz, J. A. Ramírez, *Las normas aplicables en el desarrollo de vivienda de interés social*, Serie Guía 3, Bogotá, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2011. Disponible en http://www.minvivienda.gov.co/Documents/guia_asis_tec_vis_3.pdf.
- [42] Colciencias (2018). Tipología de proyectos calificados como de carácter científico, tecnológico y de innovación, versión 5. Disponible en <https://minciencias.gov.co/sites/default/files/upload/convocatoria/anexo3-tipologiaproyectos-conv769-2016.pdf>
- [43] Incosuelos. “Control de calidad”. [Internet]. Disponible en <http://incosuelos.com/control-de-calidad/>
- [44] S. Betancourt, J. Daylin y J. Solano, “Síntesis y caracterización de la mezcla polipropileno-poliestireno expandido (Icopor) reciclado como alternativa para el proceso de producción de autopartes”, *Luna azul*, n.º 43, pp. 286-310, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.17151/luaz.2016.43.13>
- [45] S. Gutiérrez, “Ciencia de los materiales”, Universidad de la Rioja. Disponible en <https://es.slideshare.net/suniva/p-6-ensayo-compresinchispa>
- [46] L. Mansilla y M. Ruiz, “Reciclaje de botellas PET para obtener fibra de poliéster”, *Ing. Ind.*, n.º 27, pp. 123-137, 2009. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428493008.pdf>. DOI: <https://doi.org/10.26439/ing.ind2009.n027.627>
- [47] (2011, may. 30). “Tecnología de los plásticos”. [Internet]. Disponible en blog: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/05/pet.html>
- [48] (2012, en. 11). “Características y aplicaciones del polietileno de baja densidad (LDPE)”. [Internet] Disponible en <https://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-y-aplicaciones-del-polietileno-de-baja-densidad-ldpe-2663472.htm>
- [49] Biosalud (Clínica Internacional Medicina Biológica). “¿Qué plásticos son seguros y cuáles hay que evitar?”. [Internet]. Disponible en <https://biosalud.org/blog/plasticos-seguros-cuales-evitar/>
- [50] Plannacionalidi. “¿Qué es el I+D+i?”. [Internet]. Disponible en <http://www.plannacionalidi.es/que-es-idi/>
- [51] Universidad de Barcelona. Polietileno de alta densidad. Disponible en <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/polietileno-de-alta-densidad#:~:text=Son%20ramificaciones%20con%20cadenas%20cortas,%2D-density%2Dpoly%2DEthylene>.
- [52] Presidencia de la República de Colombia, Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, Requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismorresistentes 10. Diario Oficial n.º 47663. Disponible en <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=39255>