

Caracterización mecánica del plástico reciclado compuesto de polietileno de alta densidad y polipropileno, para la construcción de adoquines

Laura Alejandra García Montealegre
 Karol Jimena Trujillo Hortua
 Camilo Andrés Cerquera Vargas

Facultad de Ingeniería, Universidad Surcolombiana
 E-mail: ingemaresemillero@gmail.com



RESUMEN

Actualmente el mundo se está enfrentando a una sobreproducción de residuos plásticos, es por esto que surge la necesidad de que el hombre busque alternativas para el reciclaje y transformación de esos productos en otros que tengan un valor útil para la sociedad. La investigación que se presenta a continuación, se centra en estudiar las características mecánicas de los materiales plásticos reciclables, para que estos puedan ser transformados en adoquines cumpliendo los estándares mínimos propuestos por la normativa colombiana vigente. Esto con el fin de diseñar un prototipo de adoquín compuesto a base de polipropileno y polietileno de alta densidad, generando una alternativa ecológica, eficiente, durable, de fácil montaje y amigable con el ambiente.

Este estudio podría dar un paso libre a nuevos adoquines que pueden ser utilizados en andenes y vías terciarias, reemplazando a materiales de construcción convencionales, pues en los ensayos de flexión y compresión se obtuvieron resultados técnicos favorables.

ABSTRACT

At present the world is across an overproduction of plastic waste, this is why the need arises for man to seek alternatives for recycling and the transform of those products into others that have a useful value for society. The research presented below, focuses on studying the mechanical characteristics of recyclable plastic materials, to transform them into cobblestones complying with the minimum standards proposed by current regulations. In this order, is proposed design a prototype of a cobblestones made of polypropylene and polyethylene, generating an ecological alternative, efficient, durable, and easy to assemble and friendly to the environment. Based on this study, new cobblestone designs could be developed that can be used on platforms and tertiary roads, replacing used construction materials, since in the flexion and compression tests favorable technical results were obtained.

PALABRAS CLAVE:

Propiedades mecánicas, Adoquines, Plástico, Reciclaje.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la Tierra está pasando por una sobreproducción de materiales plásticos donde se estima, según Greenpeace, que se ha producido 8.300 millones de toneladas de este material alrededor del mundo [1]. Los Angeles Times ha informado que desde 1950 hasta 2015, el consumo mundial de plástico se disparó de 2 a 440 millones de toneladas, y que este es uno de los materiales artificiales más utilizados en el área de la construcción siendo aproximadamente el 19% del plástico usado en el mundo [2].

Los residuos de construcción y demolición (RCD) son desechos, materiales inertes y no inertes, los cuales se derivan de los procesos de construcción, renovación y demolición de una determinada obra. Entre los materiales inertes se pueden encontrar residuos de envases, plástico, etc., por lo cual se evidencia que la industria de la construcción genera la mayor parte de los desechos presentes en los vertederos, estimando que el promedio global de RCD es de aproximadamente el 35%.

70 Sin embargo, la mayoría de estos desechos se pueden reutilizar y reciclar después de los trabajos de demolición, siendo una de las estrategias más efectivas para mitigar el impacto ambiental que genera actualmente la industria constructiva. Hay varios beneficios del reciclaje de RCD, entre estos se tiene una disminución en la emisión de gases de efecto invernadero, ahorro de energía, reducción de emisiones de CO₂ y de los desechos que terminan en los vertederos [3]. Colombia no es la excepción para la producción y consumo de este insumo, debido al informe de disposición final de residuos sólidos del 2017 [4], se verifica que el país cuenta con déficit en el reciclaje de residuos sólidos, y que en la mayoría de las ciudades simplemente estos residuos van a parar a los rellenos sanitarios tardando años en su descomposición, afectando consigo al medio ambiente.

Por otro lado, las vías regionales terciarias de Colombia cumplen el papel fundamental de conectar el sector rural con el urbano, es decir, ayudan a impulsar las actividades agrí-

colas y el sector turismo del país. Sin embargo, actualmente Colombia vive en una problemática de desarrollo, debido a la falta de infraestructura vial. Esto se evidencia en que los agricultores grandes y pequeños, frecuentemente se quejan de que sus productos no alcanzan a llegar a los centros de distribución o que llegan en mal estado debido a la lamentable condición de las carreteras [5].

El hombre en el campo de la construcción se dio cuenta que puede jugar un papel importante en el aprovechamiento de estos residuos plásticos, en la innovación de sistemas constructivos gracias a avances industriales y tecnología sofisticada, convirtiendo los plásticos obtenidos de los RCD en elementos constructivos, cumpliendo así la función y requisito que se exige.

Anteriormente, se han realizado estudios similares acerca del polipropileno (PP) y polietileno (PE) [6], donde se fabricaron muestras a partir de residuos plásticos mixtos tomados de diferentes fuentes ya sea de construcción o de residuos municipales, los cuales fueron separados y se reciclaron solamente los que tuvieran los tipos de plástico mencionados. En estos estudios, las muestras fueron analizadas por sus propiedades mecánicas y análisis de absorción térmica y de agua, realizando una ficha técnica o caracterización de lo denominado "madera plástica". También se tienen investigaciones acerca de la utilización de este tipo de plástico ya sea en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del concreto [7] o en la realización de ladrillos en arcilla usando aditivos poliméricos, con el fin de obtener mejores resultados en cuanto a compresión [8].

Teniendo presente lo anterior, surge la necesidad de implementar y darle una solución a la producción y reciclaje del material plástico derivado de los RCD, con el fin de utilizarlo como materia prima en la elaboración de adoquines. Es por esto, que el objetivo de esta investigación es evaluar sus propiedades mecánicas para verificar que estos cumplan con las normas que rigen a los adoquines tradicionales en cuanto a su resistencia a com-

presión y flexión. Además de esto, se podría suplir la necesidad de realización de vías terciarias, o la realización de andenes, mediante la implementación de pavimentos articulados con este material.

El material plástico que se analiza en esta investigación es producto del reciclaje en Neiva, Huila, Colombia, donde elementos que contengan tipos de plásticos como polietileno de alta densidad y polipropileno son seleccionados, recolectados y demolidos por medio de una trituradora y luego son moldeados por el método de extrusión.

DESARROLLO

Según la NTC 2017 [9], un adoquín se define como “Elemento no aligerado en su masa, prefabricado, con forma de prisma recto, cuyas bases son polígonos tales que permiten conformar una superficie que se utiliza como capa de rodadura en los pavimentos”.

Características Polipropileno (PP)

El polipropileno es un material termoplástico atractivo debido a sus características de no toxicidad, peso ligero, bajo costo de producción y facilidad de procesamiento, y lo más importante de todo, el PP es reciclable a las preocupaciones ambientales, puede ser procesado por varios procesos como moldeo por inyección, extrusión de película, y compresión ya que pueden recalentarse, fundirse y remodelado para tener un nuevo ciclo de vida [2], irrompible, de alta cristalinidad y elevado punto de fusión, resistente a la temperatura (hasta 135°C), presenta alta resistencia a la abrasión, excelente resistencia química y baja densidad. En la construcción este tipo de plástico es de gran utilidad en alfombras y bases de alfombras, caños e instalaciones para agua fría y caliente, cajas de electricidad, enchufes, perfiles, muebles, membranas para rellenos sanitarios, sacos, bolsas de rafia tejidas para cargar cemento, arena, y otros materiales granulados o en polvo, membranas de asfalto modificado para techos comerciales, fibras de PP para reforzar el concreto, baldes de pintura y caños corrugados [10]. Lo

cual hace que el sector constructor genere gran cantidad de desechos de este tipo.

Características Polietileno de Alta Densidad (PEAD)

Es un plástico con excelentes propiedades mecánicas, abundantes materias primas y de bajo costo, el PEAD tiene mayor resistencia a la tracción, resistencia a trabajar bajo temperaturas y la capacidad de producción, pero su tenacidad es menor comparada con otros tipos de plástico como PVC o polietileno de baja densidad [11], resistente a las bajas temperaturas, irrompible, liviano, impermeable, los paneles con un núcleo sinusoidal de PEAD no son afectados por la humedad, son resistentes al agua y además son durables, de fácil instalación, livianos, económico, de bajo mantenimiento. En la construcción este tipo de plástico es de gran utilidad en cañerías y tuberías, revestimiento de cables, caños para gas, telefonía, agua potable, minería, drenaje y uso sanitario, elementos decorativos, paneles, geo membranas, geotextiles, recubrimientos de arcilla geosintéticos, para rellenos sanitarios y otros centros de disposición de residuos [10]. Por tanto, el sector de la construcción es un generador de grandes cantidades de desechos de este tipo de plástico.

Metodología

Para realizar los ensayos de laboratorio se trabaja con un material plástico compuesto 76.7% de polipropileno, 18.63% de polietileno de alta densidad y 4.67% de aditivos, tal y como se muestra en la Figura 1. Para cada ensayo se van a utilizar dimensiones de probetas que satisfagan las especificaciones de la ASTM para materiales plásticos verificando que cumplan con las normativas de los adoquines, para esto fue necesario evaluar su resistencia a flexión y a compresión.

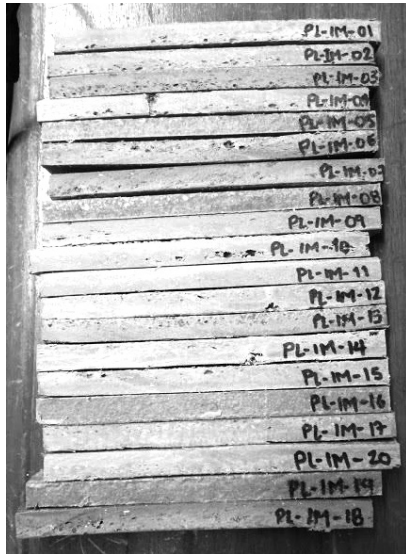


Figura 1: Especímenes de material plástico.

Para realizar estas pruebas se utilizó la Máquina Universal de ensayos del laboratorio de estructuras de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Surcolombiana.

Ensayo de flexión

En esta prueba la carga se aplicó como fuerza concentrada en el medio de la distancia entre los puntos de apoyo, como se muestra en la Figura 2.



Figura 2: Ensayo a flexión en laboratorio.

El esfuerzo convencional normal de una fibra extrema flexionada es también llamado módulo de rotura, para el cual la NTC 2017 establece unos límites de mínimo 5 MPa para el promedio de 5 especímenes, o 4.2 MPa para cada probeta individual. [9]

Dado que se va a trabajar con plástico, este

ensayo se realiza según la norma ASTM D 790-03 [12].

En esta investigación se analizaron 10 probetas, 5 aplicando la carga en la sección transversal mayor y las restantes en la sección transversal menor. Las dimensiones de las probetas se muestran a continuación (Tabla 1).

Tabla 1: Dimensiones de los especímenes. Ensayo a flexión.

Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Soporte inferior
Unidad	mm	mm	mm
PL-IM-06	9	20	60
PL-IM-07	10	18	60
PL-IM-08	9	19	60
PL-IM-09	9	19	60
PL-IM-10	11	20	60
PL-IM-11	19	10	60
PL-IM-12	19	10	60
PL-IM-13	19	9	60
PL-IM-14	19	10	60
PL-IM-15	19	10	60

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2: Resultados ensayo a flexión.

Parámetros	Máxima Fuerza	Máximo desplazamiento	Máxima Flexión
Unidad	N	mm	N/mm2
PL-IM-06	418,9	7,6	24,2
PL-IM-07	306,8	3,3	15,0
PL-IM-08	355,4	3,2	19,6
PL-IM-09	367,7	3,2	20,0
PL-IM-10	556,4	3,4	22,9
PL-IM-11	694,0	3,2	22,6
PL-IM-12	577,9	3,5	20,9
PL-IM-13	554,9	3,6	19,4
PL-IM-14	401,0	3,3	13,7
PL-IM-15	580,6	3,5	19,7

El diagrama esfuerzo (N) vs deformación (mm) permite lograr una mejor apreciación de los resultados como se muestra en las Figuras 3 y 4.

A partir del ensayo se obtienen una fuerza máxima media y un módulo de rotura promedio como se muestran a continuación (Tabla 3).

Tabla 3: Fuerza máxima media y módulo de rotura promedio.

Parámetros	Máxima fuerza	Máximo desplazamiento	Máxima Flexión
	N	mm	N/mm ²
Media	481,4	3,8	19,8
Desviación estándar	126,9	1,4	3,3
Rango	387,2	4,5	10,4

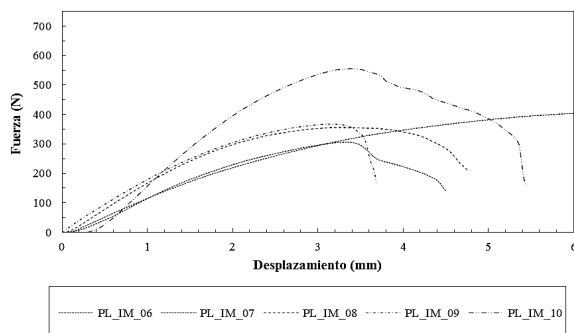


Figura 3: Diagrama de esfuerzo (N) vs deformación (mm). Ensayo a flexión probeta 6 a la 10

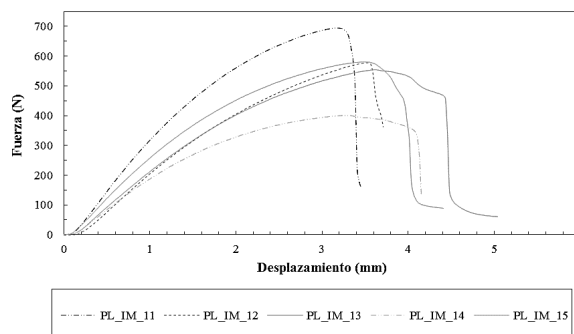


Figura 4: Diagrama de esfuerzo (N) vs deformación (mm). Ensayo a flexión probeta 11 a la 15

Según los resultados logrados en el laboratorio, se obtuvo un módulo de rotura promedio de 19.8 MPa, es decir, se cumple con la

especificación de la NTC 2017 donde se especifica que el promedio de las probetas debe tener un módulo de rotura mínimo de 5 MPa. Por lo tanto, se logra a cabalidad el esfuerzo requerido en la normativa, obteniendo valores muy superiores.

Debido a su composición el material es de tipo anisotrópico, es por esto que en las Figuras 3 y 4 se evidencian diferencias según la posición en que se examina la muestra.

Ensayo de compresión

La resistencia a la compresión surge del cociente entre la carga máxima del ensayo (carga de rotura por compresión) y la superficie transversal del elemento ensayado, como se muestra en la Figura 5.

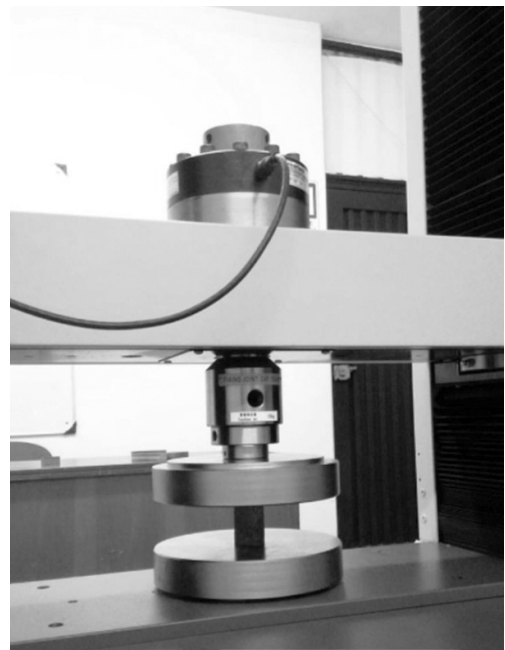


Figura 5: Ensayo a compresión en laboratorio

Según la norma INVIAS en el capítulo 5, Artículo 510-13, en los requisitos de calidad para adoquines, se debe tener una resistencia a la compresión mínima de 55 MPa en promedio de los 5 especímenes y una individual de 50 MPa [13].

Como se va a trabajar con un material plástico, la prueba se deberá hacer en la máquina universal de ensayos según la ASTM D 695-15, el cual narra las dimensiones mínimas del elemento plástico para la realización de dicho ensayo [14].

Las dimensiones de las probetas se muestran en la Tabla 4 y los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 5.

Tabla 4: Dimensiones de los especímenes. Ensayo a compresión.

Nombre de muestra	Espesor	Anchura	Altura
Unidad	mm	mm	mm
MD_PL001	25	26	51
MD_PL002	25	26	51
MD_PL003	25	26	51
MD_PL004	25	26	51
MD_PL005	25	26	51
MD_PL006	25	26	50
MD_PL007	25	26	51
MD_PL008	25	25	50
MD_PL009	25	26	51
MD_PL010	25	26	51

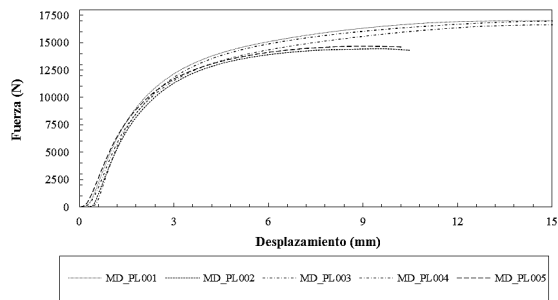


Figura 6: Diagrama de esfuerzo (N) vs deformación (mm). Ensayo a compresión probeta 1 a la 5

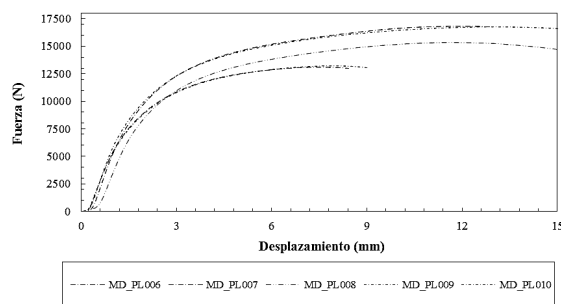


Figura 7: Diagrama de esfuerzo (N) vs deformación (mm). Ensayo a compresión probeta 6 a la 10

Tabla 5: Resultados ensayo a compresión.

Parámetros	Máxima fuerza	Máximo desplazamiento	Módulo elástico
Unidad	N	mm	N/mm ²
MD_PL001	17425,4	21,0	523,4
MD_PL002	14425,5	9,5	484,5
MD_PL003	16968,5	15,2	549,3
MD_PL004	16651,4	14,9	520,1
MD_PL005	14673,4	9,1	483,7
MD_PL006	13121,0	7,5	447,6
MD_PL007	16797,1	11,9	542,4
MD_PL008	15317,5	11,7	493,4
MD_PL009	13207,3	7,9	436,0
MD_PL010	16727,4	13,0	553,1

El diagrama esfuerzo (N) vs deformación (mm) permite lograr una mejor apreciación de los resultados como se muestra en las Figuras 6 y 7.

A partir del ensayo se obtienen una fuerza máxima media, un máximo desplazamiento promedio y un módulo de elasticidad promedio, esto se puede observar en la Tabla 6.

Tabla 6: Fuerza máxima media, máximo desplazamiento promedio y módulo de elasticidad promedio.

Parámetros	Máxima fuerza	Máximo desplazamiento	Módulo elástico
	N	mm	N/mm ²
Media	15531,5	12,2	503,4
Desviación estándar	1604,0	4,1	41,2
Rango	4304,4	13,6	117,1

Se obtuvo una resistencia a la compresión media de 503.4 MPa y una individual mínima de 436.0 MPa, debido a que se está trabajando con un material plástico los resultados se encuentran en el régimen plástico, dando valores muy superiores a los que se obtendrían con una muestra de concreto. También,

se puede evidenciar en las Figuras 6 y 7 que el comportamiento de este material a compresión es uniforme entre las probetas.

Según la norma INVIAS en el Capítulo 5, Artículo 510-13 [13], en los requisitos de calidad para adoquines, se debe tener una resistencia a la compresión mínima de 55 MPa en el promedio de los 5 especímenes y una individual de 50 MPa.

Por lo tanto, se cumple a cabalidad con lo especificado en la norma.

CONCLUSIONES

El material plástico compuesto de polipropileno y polietileno de alta densidad analizado en la investigación, cumple con las normativas que rigen a este tipo de adoquines, superando en gran porcentaje los valores mínimos de resistencia a la compresión y flexión que estas exigen. En el ensayo a compresión, se excede en un 296% a la resistencia mínima exigida, y en el ensayo a flexión, en un 815%. Esto quiere decir que este tipo de material es eficiente en sus propiedades mecánicas de compresión y flexión.

Al cumplir con las exigencias mínimas de la normativa, es posible suponer que este material compuesto de polietileno de alta densidad y polipropileno puede ser apto como una alternativa para la realización de pavimentos articulados en vías terciarias y andenes en cuanto a solicitudes de este tipo, permitiendo suplir una necesidad que está afectando actualmente al sector rural, como lo es el mal estado de sus vías y a su vez dar una solución a la problemática de sobreproducción de plásticos y aprovechamiento de materiales llamados equivocadamente desechos en algunos elementos del sector construcción, para así generar nuevas alternativas de materiales de construcción tradicionales.

Al ser un material con un buen comportamiento mecánico, el riesgo de daño del elemento durante su transporte, ensamblaje y periodo de diseño será menor, a su vez reduciendo la probabilidad de desperdicios.

Por lo tanto, este tipo de material es apto para ser usado como adoquín en pavimento

articulado y andenes en cuanto a sus propiedades mecánicas, pero es recomendable que además de la presente investigación, se realicen diversos tipos de ensayos que permitan evaluar la durabilidad con el fin de asegurar su correcto funcionamiento a la intemperie y a la radiación UV. Algunos de estos consisten en el análisis de termogravimetría en atmosfera TGA en la que se podrá conocer la temperatura al cual el material pierde peso, relacionando está perdida al momento en el cual algún componente comienza a degradarse; también se podrá realizar el ensayo de calorimetría diferencial de barrido y Ensayo de desgaste o resistencia a la abrasión.

Con los resultados de dichas pruebas se podría analizar la eficiencia de este material de tal forma que sea posible aplicarlo a las vías terciarias del país y de América latina, fortaleciendo la red vial y aportando al desarrollo económico, social y ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Se desea expresar agradecimientos a la Universidad Surcolombiana, debido a que los ensayos de flexión y compresión antes mencionados se realizaron en el laboratorio de estructuras de la Facultad de Ingeniería de esta Universidad en su sede Neiva, Huila, Colombia.

A la empresa Maderas plásticas de la ciudad de Neiva, Huila, Colombia por permitir trabajar con su material.

Al Ing. Jackson Andrés Gil Hernández por su trabajo como tutor del Semillero INGEMARE, el cual motivó, apoyó y aportó para el desarrollo de esta investigación.

REFERENCIAS

- [1] Greenpeace, San Bernardo. (2018). *Un millon de ideas contra el plástico*. Greenpeace España. Recuperado de <https://www.greenpeace.org.es>
- [2] Lin, T.; Lin, J.; Bao, L. (2020). Polypropylene/ thermoplastic polyurethane blends: mechanical characterizations, recyclability and sustainable development of thermoplastic materials. *Journal of Materials Research and*

Technology. Recuperado de <https://www.jmrt.com.br/>

[3] Kabirifar, K.; Moitahedi, M.; Wang, C.; Tam, V. (2020). Construction and demolition waste management contributing factors coupled with reduce, reuse, and recycle strategies for effective waste management: A review. *Journal of Cleaner Production*, 263, Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-cleaner-production/vol/263/suppl/C>

[4] Informe de Disposición Final de residuos sólidos 2017. (2017). Recuperado de https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2018/Dic/2._disposicion_final_de_residuos_solidos_-_informe_2017.pdf

[5] Delgado, P. (2018). *Colombia: con pocas vías terciarias y en mal estado*. El espectador. Recuperado de <https://www.elespectador.com/economia/colombia-con-pocas-vias-terciarias-y-en-mal-estado-articulo-827134>

[6] Turku, I.; Keskisaari, A.; Kärki, T.; Puurtinen, A.; & Marttila, P. (2017). Characterization of wood plastic composites manufactured from recycled plastic blends. *Composite Structures*, 161, 469-476.

[7] Ramesh, B.; Gokulnath V.; Kumar, M. (2020). Detailed study on flexural strength of polypropylene fiber reinforced self-compacting concrete. *Materials Today: Proceedings*, 22, 1054-1058.

[8] Houssame, L.; Manssouri, I.; Cherkaoui, K.; & Khaldoun, A. (2020). Study of the suitability of unfired clay bricks with polymeric HDPE & PET wastes additives as a construction material. *Journal of Building Engineering*, 27, Recuperado de <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-building-engineering>.

[9] NTC 2017 (2018). Norma sobre *adoquines de concreto para pavimentos*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Bogotá, Colombia Recuperado de <https://tienda.icontec.org/gp-adoquines-de-concreto-para-pavimentos-ntc2017-2018.html>

[10] CIT (2007). *Plásticos en la Construcción, su contribución a la Salud y el Medio Ambiente*. *Plastivida Argentina*. Recuperado de <http://ecoplas.org.ar/pdf/15.pdf>

[11] Wu, W.; Wang, Y. (2019). High density polyethylene film toughened with polypropylene and linear low density polyethylene. *Materials Letters*, 257, Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/journal/materials-letters/vol/257/suppl/C>

[12] ASTM-D790. (2003). *Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials*, ASTM International, West Conshohocken, PA. Recuperado de www.astm.org.

[13] INVIAS (2013). *Norma para pavimento de adoquines de concreto*. Instituto Nacional de Vías. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://www.invias.gov.co/>

[14] ASTM-D695. (2015). *Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics*. ASTM International, West Conshohocken, PA. Recuperado de <https://www.astm.org>