



**Prototipo de adoquín sustentable con plástico reciclable para la construcción de pavimentos articulados en el municipio de Girardot Cundinamarca**

**Iván Fernando Alzate Arango**  
**Paula Andrea García Gallardo**

**Corporación Universitaria Minuto de Dios**

**Rectoría Cundinamarca**

**Sede Girardot (Cundinamarca)**

**Programa Ingeniería Civil**

**Noviembre de 2022**

**Elaborar un prototipo de adoquín sustentable con plástico reciclable para la construcción de pavimentos articulados en el municipio de Girardot Cundinamarca**

**Iván Fernando Alzate Arango**

**Paula Andrea García Gallardo**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil**

**Asesor**

**Jaime Moreno Loaiza**

**Ingeniero civil**

**Corporación Universitaria Minuto de Dios**

**Rectoría Cundinamarca**

**Sede Girardot (Cundinamarca)**

**Programa Ingeniería Civil**

**noviembre de 2022**

## Dedicatoria

*Esta monografía está dedicada a mis padres Hernan Garcia y Raquel Gallardo, a mi hermana quienes me apoyaron de manera incondicional para que yo cumpliera esta meta.*

*A mi esposo David Melo e hijos, ellos me dan fuerza para ser cada día mejor persona.*

*A mis amigos, que fueron una compañía fundamental en este proceso y quienes me brindaron apoyo en los momentos difíciles.*

***Paula Andrea García Gallardo***

*Dedico este trabajo a mis padres Henry Alzate Díaz y Laura rosa Arango, a mi hermana Laura Liliana Alzate Arango y a las personas que me ayudaron brindándome su apoyo moral en este proceso, quienes siempre me inspiraron a seguir, a pesar de las vicisitudes durante este periodo.*

*Espero poder devolverles todo lo aportado en un futuro.*

*Todo se los debo a ellos.*

***Iván Fernando Alzate Arango***

## Agradecimientos

*Quiero agradecer principalmente a Dios el cual nos regala a diario la posibilidad de culminar todo lo que nos proponemos, a la universidad Minuto de Dios y con ello a mis profesores quienes con su enseñanza han logrado formarme como profesional, también a nuestro tutor el ingeniero Jaime Moreno Loaiza por guiarnos para culminar esta investigación con éxito. A mi compañero de monografía Iván Fernando Alzate por ser apoyo y un gran equipo desde el inicio para lograr con éxito esta investigación.*

**PAULA ANDREA GARCIA GALLARDO**

*Agradezco principalmente A Dios porque me dio la fuerza y la sabiduría necesaria para llevar a cabo este trabajo. Las personas que me ayudaron de una u otra manera para materializar este sueño. A mi docente de tesis el ingeniero Jaime Moreno Loaiza, por ayudarnos en este proceso. A mi compañera de tesis paula Andrea García que desde el principio nos apoyamos y ayudamos logrando ejecutar este proyecto.*

**IVAN FERNANDO ALZATE ARANGO**

## Contenido

Resumen.....	10
Abstract.....	11
Introducción.....	12
1 Planteamiento del problema.....	13
1.1 Contexto del problema.....	13
1.1.1 Pregunta de investigación.....	17
2 Justificación.....	17
2.1 Antecedentes.....	19
3 Objetivos.....	22
3.1.1 Objetivo general.....	22
3.1.2 Objetivos específicos.....	23
4 Marco referencial.....	23
4.1 Marco contextual.....	23
4.2 Marco conceptual.....	23
4.3 Estado del arte.....	27
4.4 Marco legal.....	31
4.5 Marco teórico.....	32
5 Marco Metodológico.....	36
5.1 Técnicas para recopilar datos e información.....	37
5.2 Procedimientos en la fabricación de prototipo de adoquín en material reciclable (Pet-PP, PP).....	37
5.3 Cronograma.....	38
5.4 Materiales y equipos.....	39
5.5 Elaboración de prototipos de adoquines con material reciclable.....	39
5.6 Ensayo de resistencia a compresión.....	49
5.7 Presupuesto.....	50
6 Resultados.....	50
7 Análisis.....	61
8 Conclusión.....	62
9 Recomendaciones.....	63

10 Referencias bibliográficas..... 65

## Lista de tablas

Tabla 1. Requisitos físicos .....	32
Tabla 2. tabla muestra la resistencia de compresión y flexión .....	32
Tabla 3. Lista de materiales, herramientas y equipos .....	39
Tabla 4. Peso y dimensiones de adoquín en PP .....	45
Tabla 5. Peso y dimensiones de adoquín en PP .....	45
Tabla 6. Peso y dimensiones de adoquín en PP .....	46
Tabla 7. Peso y dimensiones de adoquín en PP .....	46
Tabla 8. Peso y dimensiones de adoquín en PP .....	46
Tabla 9. Peso y dimensiones de adoquín en PP .....	47
Tabla 10. Peso y dimensiones de adoquín en PP .....	47
Tabla 11. Peso y dimensiones de adoquín en PP .....	47
Tabla 12. Peso y dimensiones de adoquín en PP .....	48
Tabla 13. Peso y dimensiones de adoquín en PP .....	48
Tabla 14. Peso y dimensiones de adoquín en PP .....	48
Tabla 15. Peso y dimensiones de adoquín en PP .....	49
Tabla 16. Resistencia a la compresión y flexión .....	49
Tabla 17. Presupuesto prototipo adoquín en PET Y PP .....	50
Tabla 18. Resultados ensayos a compresión de prototipo con material PP muestra #1 .....	51
Tabla 19. Resultados ensayos a compresión de prototipo con material PP muestra #2 .....	51
Tabla 20. Resultados ensayos a compresión de prototipo con material PP muestra #3 .....	52
Tabla 21. Resultados ensayos a compresión de prototipo con material PET y PP muestra #1 .....	53
Tabla 22. Resultados ensayos a compresión de prototipo con material PET y PP muestra #2 .....	53

Tabla 23. Resultados ensayos a compresión de prototipo con material PET y PP muestra #3.....	54
Tabla 24. Resultados ensayos a flexión de prototipo con material PET y PP muestra #1 .....	55
Tabla 25. Resultados ensayos a flexión de prototipo con material PET y PP muestra #2 .....	56
Tabla 26. Resultados ensayos a flexión de prototipo con material PP muestra #1 .....	56
Tabla 27. Resultados ensayos a flexión de prototipo con material PP muestra #2 .....	57
Tabla 28. Resultados ensayos a flexión de prototipo con material PP muestra 3 .....	58
Tabla 29. Resultados ensayos a compresión de adoquín convencional (arcilla).....	58
Tabla 30. Comparación resultados de ensayos a flexión entre material PP y PET-PP .....	59
Tabla 31. comparación resultados de ensayos a compresión entre material PP.....	60



## **Lista de fotografías figuras**

Figura 1. Comparación de resultados de ensayo a flexión.....	60
Figura 2. Comparación de resultados de ensayo a compresión.....	61

## **Lista de Ilustraciones**

Ilustración 1. Tipos de Plástico .....	35
--	----

## **Lista de fotografías**

Fotografía 1. los materiales PET y PP .....	40
Fotografía 2. Proceso de fundición del material PET .....	41
Fotografía 3. Vaciado en formaleta de madera .....	41
Fotografía 4. Vaciado en formaleta de madera .....	42
Fotografía 5. Proceso de fundición de material PET .....	43
Fotografía 6. formaleta de adoquín .....	44
Fotografía 7. Vaciado en molde metálico y sellado .....	45

## Resumen

El presente trabajo emerge desde una problemática la cual abarca la población a nivel mundial, como futuros ingenieros pretendemos contribuir con la conservación y sostenibilidad del medio ambiente. Esta investigación se realiza con el objetivo de realizar un prototipo de adoquín que sea sustentable hecho de material reciclado PET y PP, reemplazando los adoquines tradicionales, para mitigar el daño causado a la corteza terrestre mediante la explotación de las canteras para la obtención de la materia prima. Para la elaboración de esta investigación fue empleada la metodología experimental. Se elaboraron 12 prototipos de adoquín en material reciclado de PET y PP los cuales fueron sometidos a pruebas de laboratorios como lo es el ensayo de flexión y compresión con el fin de ser comparados con un adoquín convencional también evaluado en el mismo ensayo, seguido se compararon los resultados obtenidos los cuales permiten manejar estudios en un futuro los cuales permitan llegar a un adoquín adecuado realizando un mayor número de pruebas con el fin de poder implementarlo y que tenga tanto excelentes características físicas y mecánicas el cual pueda disminuir el impacto al medio ambiente y sea seguro su implementación.

***Palabras clave:*** sustentable, reciclado, adoquín, PET, prototipo.

## **Abstract**

The present work emerges from a problem which covers the population worldwide, as future engineers we intend to contribute to the conservation and sustainability of the environment. This research is carried out with the objective of making a sustainable cobblestone prototype made of recycled PET material, replacing traditional cobblestones, to mitigate the damage caused to the earth's crust by exploiting the quarries to obtain the raw material. For the elaboration of this research, the experimental methodology was used. 12 paver prototypes were made in recycled PET and PP material, which were subjected to laboratory tests such as the bending and compression test in order to be compared with a conventional paver also evaluated in the same test, followed by comparison the results obtained which allow managing studies in the future which allow reaching a suitable paver by performing a greater number of tests in order to be able to implement it and that it has both excellent physical and mechanical characteristics which can reduce the impact on the environment and its implementation is safe.

**Keywords:** sustainability, recycling, cobblestone, PET, prototype.

## Introducción

El crecimiento desmesurado de la población a nivel mundial ha disparado la contaminación y el deterioro ambiental. Factores como la sobreexplotación de recursos, la deforestación, la producción de desechos de todo tipo y la incapacidad para su aprovechamiento, la escasa o nula consciencia ambiental tanto de grandes fabricantes de diversos productos como de pequeños consumidores, el consumo cada vez mayor de diversos tipos de energías, confluyen en la contaminación del aire, de los recursos hídricos, la destrucción de flora y fauna y la afectación de la salud y la calidad de vida de las personas.

En ese contexto, la Organización Mundial de la Salud ha sugerido que se deben tomar medidas en lo que se refiere a contaminantes del aire como ozono (O<sub>3</sub>), dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO), principalmente. Otro factor contaminante, son los plásticos, sobre lo cual la cuarta Asamblea de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente no ha logrado acuerdos ni compromisos contundentes por parte de los países miembros. Una de las propuestas es al menos lograr la reducción importante de los llamados plásticos de un solo uso para el año 2030. Así, aparte de insistir en reducir el consumo de este tipo de plásticos se propone implementar todo tipo de medidas que contribuyan con estos fines.

Es por ello que, preocupados por este estado de cosas en el planeta, la presente investigación busca establecer aspectos técnicos que permitan la fabricación de adoquín a base de polímeros de plástico reciclado para pavimento articulado. Se busca con ello aprovechar las botellas plásticas de PET y así bajar los costos de la construcción hasta un 60% frente a la construcción con materiales tradicionales.

## **1 Planteamiento del problema**

### **1.1 Contexto del problema**

Durante décadas, los materiales utilizados en la ingeniería han superado todos los límites, ignorando el bienestar del ser humano y el respeto por el medio ambiente. Esto se debe a que los métodos utilizados en la construcción de diferentes obras son unos de las causas que actualmente impacta el medio ambiente. En lo que respecta a la producción de adoquines de ladrillo los impactos ambientales son diversos. Por una parte, se genera gran cantidad de material particulado, se trata de una mezcla de partículas muy pequeñas, en estado sólidas a líquidas que alteran la calidad del aire. Es un gran contaminante pues al ser respiradas partículas de PM<sub>2,5</sub> son la que producen mayor cantidad de afecciones respiratorias. No obstante, de acuerdo con Tarazona (2018) son las partículas tamaño de 0,1  $\mu\text{m}$  las que ocasionan irritación e inflamación alveolar. Las partículas menores a 10  $\mu\text{m}$  ingresan a través de la respiración a las vías respiratorias y se adhieren a los pulmones.

La producción de adoquines de ladrillo también genera un impacto ambiental en cuanto a la modificación de terrenos por la explotación de canteras, deforestación, erosión e inestabilidad por arrastre de aguas, desertificación de suelos, alteración de fuentes de agua, pérdida de capa húmica y eliminación de ecosistemas de flora y fauna. Así mismo se afectan fuentes y cursos de agua debido a vertimientos de residuos sólidos, cambios en sus dinámicas y sedimentación por aporte de arcillas, arenas y limos.

Finalmente, el empleo de hornos es otro factor de alteración pues la emisión de humo y hollín altera los entornos faunísticos, flora y cuerpos de agua. Dependiendo del tamaño y tipo de horno, se emplean combustibles o fuentes de energía contaminante que aporta elementos

contaminantes al aire. “Estos hornos, según cifras del CAEM, son los responsables de la emisión aproximada de 3 millones de toneladas anuales de CO” (Tarazona, 2018, p. 22).

Por otra parte, otro factor causante de altos índices de contaminación es el plástico polietilentereftalato (PET), cuyo uso se empieza a masificar en la década de 1970 principalmente en la fabricación de envases livianos, transparentes y resistentes. Su gran auge se debe a sus características de maleabilidad, impermeabilidad, aislante acústico y eléctrico. Dadas esas particularidades, aparte de su economía, se hace un enorme consumo de este material, sin entrar a considerar su carácter no biodegradable, esto es, que puede tardar hasta cien años su descomposición.

Esto ocasiona una enorme cantidad de plástico copando en cantidad y capacidad de absorción los rellenos sanitarios a nivel mundial e incluso las conocidas islas de plástico flotante que hoy suman ocho islas con tamaños equivalente al área de España o Francia y con varios miles de toneladas de plástico. Estas islas amenazan la vida marina y contribuyen de manera significativa con el cambio climático. En su proceso de descomposición en los acuíferos (ríos o mares) afectan la vida de miles de animales a ser ingerido. Así mismo, al ser incinerado, este tipo de material, ya sea en los vertederos de basura o para efectos de reciclaje de otros materiales, produce grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, metales pesados y antimonio que terminan en la atmósfera. De ese modo, la afectación que produce el PET se acumula en el suelo, el aire y el agua.

De acuerdo con datos de Greenpeace (2017) el aumento en la producción de plástico se ha visto multiplicado de tal manera que en la última década se ha producido más que en toda la historia de la humanidad

De los 400 millones de toneladas de plástico que se producen en el mundo y solo el 9% se recicla; Asia es el mayor productor de plástico en el mundo con el 50,1 % de lo cual el

país chino aporta el 2,4 %; Europa 18,5 %; África 7,1 %; Norte América 17,7 % y América Latina 4%. (p. 2)

Los cuatro principales tipos de plástico que se producen en mayor cantidad son polietilenos, empleados para bolsas, láminas, películas, botellas, micro esferas de cosméticos y productos abrasivos; polyester como materia prima de botellas, envases ropa y películas de rayos X; el polipropileno para la fabricación de electrodomésticos, muebles de jardín y autopartes; y cloruro de polivinilo, conocido como PVC, empleado para tuberías y accesorios, válvulas, ventanas, etc. (Greenpeace, 2017, p. 2).

En lo que respecta a Colombia, según la Clínica Jurídica de Medio Ambiente y Salud Pública (MASP), la Universidad de los Andes y Greenpeace Colombia (2019) citando al Dane (2017), la fabricación de bolsas plásticas con y sin marcas superó las 60 toneladas, 23 millones de tapas plástica y dos mil toneladas de plásticos de un solo uso; en Colombia en promedio, se dispusieron alrededor de 30.081 Ton/día de residuos sólidos, los residuos en Bogotá fueron 2.2 millones de toneladas, es decir, el 21% del total; “Cali, Medellín, Barranquilla produjeron 657 mil toneladas de residuos en el mismo periodo de tiempo y; ciudades como Cartagena, Bucaramanga, Santa Marta y Pasto generaron en promedio 200 mil toneladas” (SSP, 2018, citado en MASP, et al, 2017). Bogotá, la principal ciudad del país se generó diariamente 6.265 toneladas, de las cuales el 56 % correspondió. Del total de los residuos sólidos producidos en el país, se reciclan al rededor del 17, incluidos los plásticos.

En 2016 se creó la Ley de Impuesto Nacional al Consumo (INC) de bolsas plásticas cuyo fin es desestimular el consumo de estas y que fueran reemplazadas en su totalidad en 2020, dicha ley entró en vigencia el 1 de julio de 2017. De ese modo, de acuerdo con las cifras, en el año

2015 entregaban más de mil millones de bolsas plásticas en tiendas y supermercados en todo el país, ya en el año 2020 se dejaron de comprar 714 millones.

No obstante, existen varios inconvenientes para lograr las metas en el corto plazo. Por una parte, muchas personas están dispuestas a pagar por las bolsas y, por otro lado, existe una preocupante “disminución en la capacidad de carga de los rellenos sanitarios y su vida útil; el consumo excesivo e innecesario de plásticos de un solo uso, la deficiencia en los programas de reciclaje y reutilización eficiente de los plásticos” (p. 5).

Así mismo, de acuerdo con la Revista Semana (2018) la industria del plástico sigue creciendo con un 2,5 % en producción y 2 % en ventas. Acoplásticos dijo a la revista que las exportaciones llegaron a los US\$417 millones, un incremento de entre 14 % y 10 %. En lo que atañe al departamento de Cundinamarca, de acuerdo con informe para el periódico El Tiempo el corresponsal Cruz (2018) solo se han implementado Planes de Manejo de Residuos en 14 de los 116 municipios del departamento. Cabe mencionar que en Cundinamarca se producen 47 mil toneladas de residuos PET al mes, de los cuales en 80 % llega al relleno sanitario Nuevo Mondoñedo.

En ese contexto se identifica una serie de problemáticas como muy bajo nivel de reciclaje, no existe una infraestructura adecuada para tales fines ni una pedagogía oportuna y masificada, a lo que se debe sumar la falta de articulación del trabajo de los recicladores quienes actúan de manera atomizada. De acuerdo con Andrea García, subdirectora de Costos Ambientales se el enfoque de solución para dicha problemática en el departamento consiste en la adquisición de vehículos compactadores, pero no se dimensiona que, si no se reduce la cantidad de residuos, es decir, si no se realizan programas eficientes de reciclaje y compostaje (elementos orgánicos), ningún relleno será suficiente. Finalmente, sí hay que subrayar que los municipios



más pequeños han adelantado procesos de reciclaje de papel, cartón y en menor proporción, plástico.

En ese contexto, dada la situación de daño ambiental que se hace a nivel mundial, nacional y regional con residuos plásticos, la presente investigación surge la pregunta de cuál es la mejor manera de elaborar un adoquín 100 % PET que sea de útil en diversos usos en el contexto de la ingeniería civil en procedimientos constructivos. Se busca con ello contribuir en la reducción del impacto ambiental tanto en lo concerniente al daño en la explotación de recursos naturales (canteras, daño de bosques, deforestación, desertificación, afectación de fuentes de agua, etc.) y en relación con las deficiencias en cuanto al manejo final y reciclaje de material plástico.

### ***1.1.1 Pregunta de investigación***

¿Cómo elaborar un prototipo de adoquín sustentable hecho con plástico reciclado para ser empleados en la construcción de pavimentos articulados en el municipio de Girardot?

## **2 Justificación**

En Colombia la contaminación ambiental la cual se origina de la mala o inapropiada disposición de los desechos plásticos. Se busca dar un desarrollo a un material alternativo de construcción para pavimentos que sea económico, ligero, fácil de transportar el cual no requiera mano de obra especializada y que sea respetuoso con el medio a ambiente.

Se parte de la idea de que el reciclaje de materiales que en la actualidad no tienen una disposición final adecuada contribuya a mejorar aspectos de tipo humano, social, ambiental y tecnológico. A nivel humano genera un impacto positivo pues requiere del empleo de mano de obra no especializada, lo cual redundaría en la generación de empleo para esas personas de bajos recursos, recicladores. Dicha actividad contribuye, así mismo, en su formalización y tecnificación lo cual le aporta un valor agregado e implica un ingreso económico más estable y mejor remunerado, es decir una vida más digna.

A nivel social, como ya se mencionó, existe un impacto negativo en lo referente a los niveles de contaminación, las dificultades con la disposición final de estos residuos que, contribuyen a la saturación de rellenos sanitarios con las implicaciones que ello tiene tanto para la salud, la organización social, costos, etc. Con la fabricación de adoquines con este material reciclado se estaría aportando en términos de generación de conciencia de que nosotros como seres humanos tenemos una gran responsabilidad con el cuidado del planeta.

Desde luego, todo lo anterior tiene un impacto ambiental pues el proyecto busca aprovechar un gran porcentaje de residuos de material PET que no alcanzan a ser reciclados. Cabe señalar que, dadas las características de este material, su uso puede ser más diverso que solo en adoquines, se puede emplear en diferentes áreas de la construcción.

Finalmente, con la presente investigación se busca, por una parte, aprovechar la disponibilidad de material para la elaboración de adoquines a partir de material PET, por otra parte, se busca establecer que el adoquín con PET no minimice su resistencia, sino que, probablemente, pueda llegar a ser más resistente que el tradicional.

## 2.1 Antecedentes

Aunque no se tiene una información precisa, se puede decir que el uso de bloques en la construcción de carreteras data de alrededor de 20 siglos. Esto se debió a la necesidad de la comunidad de contar con caminos duraderos y seguros los cuales no presentaran dificultades en ninguna estación del año; entonces, a medida que evolucionaron los carros de animales, también lo hicieron las superficies sobre las que viajaban. Estos bloques se denominaron adoquines, que se deriva de la palabra árabe “*addukkan*”, que significa cuadrado o piedra cuadrada. Los primeros adoquines estaban hechos únicamente de piedra y, a pesar de ello, sobrevivieron, aunque ya no se utilizan (Hiperpiedras, 2020).

La razón por la que disminuyó el uso de adoquines de solo piedra fue por la aparición de los automóviles y la urbanización del siglo XIX. Esto provocó un aumento de la demanda, y no era posible cortar una gran cantidad de piedras, sino que para abastecerla era necesario utilizar cantos rodados de otro material, como arcilla cocida o madera. La madera se suspendió debido a su corta vida útil, mientras que la arcilla cocida se usó en diferentes procesos constructivos (Castillo, Salazar, Seminario, Camacho y Zapata, 2015).

Su popularidad fue evidente en todo el mundo, ya que es adecuada para múltiples andenes, áreas peatonales, plazas, calles, bulevares y pequeñas comunidades. Actualmente, el objetivo es que los productos más utilizados contengan materiales reciclados en su composición, con lo que queremos reducir los residuos sólidos a granel que se generan constantemente (Castillo *et al* 2015).

Algunos modelos de bloques ecológicos en la actualidad son, a nivel mundial Calstar Products. Se trata de una empresa norteamericana dedicada a la fabricación de productos sostenibles a base de residuos posindustriales. En la elaboración de sus productos emplean 40 %

de materiales reciclados, a fin de ahorrar entre 50 % y 70 % de energía en relación con los adoquines de arcilla. Se emplea principalmente en parqueaderos, plazas y calles. Sus principales ventajas es que se elabora a base de materiales reciclados, reduce las emisiones de CO<sub>2</sub> y reduce de manera significativa el uso de energía empleada en su elaboración (Calstar, 2016).

Por otra parte, la empresa Tubos Colmenar, fundada en 1976. Aunque su enfoque y fuerte es la producción tuberías y pozos de hormigón, logro incorporar un pavimento el cual fuera respetuosos con el medio ambiente (ANDACE. (s.f.)). Los adoquines ecológicos tienen propiedades descontaminantes y auto limpiantes, lo que aporta una mejora de la calidad del aire y de la estética del entorno. Para ello posee una superficie foto catalítica para depurar el aire a base de radiación ultravioleta que degradación la materia orgánica que entre contacto con el adoquín. Por ejemplo, los gases tóxicos expulsados por los vehículos al ponerse en contacto con la superficie del adoquín y en presencia de la luz solar se oxidan, dando compuestos más estables, no perjudiciales para la salud (ANDACE, (s.f.)).

En el ámbito colombiano, la empresa Ecotelhado, desempeñando interventoría y realizar proyectos de ingeniería, tiene un fuerte enfoque ambiental y con el crecimiento sostenible, la cual busca disminuir los niveles de CO<sub>2</sub> y fomentar el diseño sostenible. Así, dentro de sus productos más significativos están los adoquines ecológicos. Se trata de un pavimento ecológico o eco- pavimento permeable constituido de rejillas alveolares de plástico reciclado que se caracteriza por permitir el paso de agua y aire (Ecotelhado (s.f.)).

Lo más destacado de este producto es que mitiga de manera significativa el impacto ambiental producido por los pavimentos tradicionales, permite el paso del agua no solo para ser absorbida por el suelo para que siga su curso a acuíferos subterráneos, sino que de ese modo se evita que el agua sea canalizada hacia los cuerpos hídricos de aguas lluvias con lo que se

sobrecargan y producen inundaciones. Así mismo, este sistema ayuda, a disminuir la contaminación de los ríos, pues evita el arrastre de desechos presentes en las calles y andenes. Además, ayuda a reducir la temperatura de las zonas donde se instala y puede disminuir la temperatura de las islas de calor en las zonas urbanas (Ecotelhado (s.f.)).

El eco-pavimento se emplea en estacionamientos, pavimento interior de condominios, caminos y patios de escuelas, tránsito de carros de bomberos, carriles laterales de carreteras, senderos de parques, acceso de peatones, áreas de infiltración, entre otros (Ecotelhado (s.f.)).

Por otra parte, Laura Alexandra Vallejo Navarro, estudiante de Arquitectura la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales lidera un proyecto para la elaboración de eco materiales para la construcción, específicamente adoquines y bloques obtenidos a partir de tres tipos de plástico (polietileno tereftalato (PET), polietileno de alta densidad (PEAD) y caucho a base de sílice) (El Diario, septiembre 15, 2019). Este tipo de adoquines se podrían emplear en la construcción para pisos, ventanas, puertas, además presentan un aspecto estético, este producto se elabora, principalmente con base en materiales plásticos PET (botellas y envases) y PEAD (tuberías y drenajes) por sus cualidades de resistencia, impermeabilidad, aislantes eléctricos y térmicos, y su alta tolerancia a la corrosión (El Diario, septiembre 15, 2019).

En los experimentos realizados por Vallejo se reemplazó entre 30 y 45 % de la mezcla del hormigón por plástico triturado, lo que equivale a una reducción de 264 g de cemento, 1.959 g de arena y 50 ml de agua (El Diario, septiembre 15, 2019). Vallejo concluye “con cada una de las pruebas se obtuvieron resistencias de entre 30 y 80 kg/cm<sup>2</sup>, un resultado relevante si se tiene en cuenta que la Norma Técnica Colombiana NTC 3937 exige una resistencia entre 25 y 80 kg/cm<sup>2</sup> para prototipos de bloques de hormigón” (El Diario, septiembre 15, 2019). El material empleado

por la estudiante lo obtuvo de la empresa Cauchosol que genera anualmente 80 toneladas y cuya disposición final es el relleno sanitario de la ciudad (El Diario, septiembre 15, 2019). La proporción empleada fue 50 % de tiras de sílice, lo que equivale a una reducción del 40 % de cemento y arena, en comparación con la mezcla base. Finalmente, aparte de los beneficios mencionados, Vallejo, sostiene que los bloques y adoquines con materia reciclado pueden ser hasta 30 % más económicos que los convencionales (El Diario, septiembre 15, 2019).

Finalmente, en Ghana, la empresa Nelplast Ghana Limited está convirtiendo los desechos plásticos en adoquines para pavimentar calles y para construir carreteras. El ingeniero Boateng quien lidera la compañía empezó reciclando 4.400 libras de desechos y hoy cuenta con alrededor de 230 colaboradores. Boateng construyó una máquina para el reciclaje de diverso tipo de residuos de plásticos, excepto los PVC. Los adoquines para pavimentación que fabrica están elaborados a partir de 70 % de desechos plásticos y 30% de arena. Las ventajas finales del producto son mayor durabilidad frente al asfalto tradicional; recolección y el reciclaje de gran cantidad de residuos plásticos que generan problemas ambientales; menor costo de inversión y mantenimiento que el asfalto tradicional y generación de empleo en la cadena de producción (recolección, producción, instalación de los adoquines) (Nelplast Ghana Limited, (s.f.)).

### **3      Objetivos**

#### ***3.1.1   Objetivo general***

Diseñar un prototipo de adoquín sustentable con plástico reciclable para la construcción de pavimentos articulados en el municipio de Girardot Cundinamarca

### **3.1.2 *Objetivos específicos***

- Elaboración de prototipos PET y PP.
- Reconocer los resultados del ensayo de resistencia a la compresión y flexión aplicados a los prototipos de adoquines sustentables y al adoquín convencional.
- Analizar los resultados obtenidos de laboratorio del prototipo de adoquín con material reciclado respecto al adoquín convencional con material y determinar su viabilidad

## **4 Marco referencial**

### **4.1 Marco contextual**

Este estudio se desarrolló en el municipio de Girardot, Cundinamarca, a partir en una propuesta de investigación surgida en la Corporación Universitaria Minuto de Dios, sede Cundinamarca, Centro Regional Girardot. Este es realizado por los estudiantes del programa de Ingeniería Civil, con el de objetivo de comprometer y promover la vida útil brindando nuevas opciones para el desarrollo de materiales sustentables en la construcción, que ayude con la conservación del medio ambiente.

### **4.2 Marco conceptual**

Es importante resaltar algunos de los conceptos que surgieron durante la investigación para facilitar la comprensión del tema tratado.

## **Medio ambiente**

Existen una serie de elementos que se denominan factores bióticos y abióticos. Dentro de los primeros están todos los seres vivos como plantas, animales, hongos, bacterias y toda suerte de micro organismos. Cada uno de estos organismos cumplen diversas funciones en pro de la vida. Por otro lado, los factores abióticos, también esenciales en los procesos de la vida y se trata de elementos que no tiene vida en sí mismos, pero ayudan a conformar los diversos ecosistemas; estos son el agua, el aire, el suelo, etc. Y existe uno final que se denominan ambientes artificiales, que hacen referencia a los creados por el ser humano tales como la urbanización o la cultura. Todos estos elementos y aspectos en conjunto es lo que se conoce como medio ambiente. BBVA. (s.f.).

## **Adoquín en arcilla**

La fase más importante de los productos de arcilla es la cocción con adecuados parámetros; esto depende, también de la calidad de la materia prima. Una buena calidad del material, garantiza la calidad del producto. Existen otros procesos como la aplicación de coloraciones, la molturación que es un proceso de reducción de partículas de un material sólido a partir de fuerzas de impacto, corte o compresión; y el extrusionado que consiste en cocer los materiales a temperatura, humedad y presión muy altas por cortos periodos de tiempo. Luego, es posible que se requiera agregar chamota, materia que se adquiere d la pulverización de ladrillo, piedras o cualquier otro material cerámico con alto porcentaje de sílice. Para el proceso de secado se realiza sobre



bandejas y requiere entre 30 a 36 horas, siendo lo más recomendables 36 horas; si bien, algunas arcillas alcanzan un excelente secado en 24 horas (Construmatica, 2011). Cabe mencionar que la cerámica ofrece alta impermeabilidad, resistencia y durabilidad, sin contar que le aspecto estético les ofrece a los diseñadores muchas posibilidades

### **Contaminación ambiental**

Las actividades humanas ocasionan desechos de diferente índole ya sean residuos sólidos, líquidos o gases. Esos desechos no serían un problema si no fuera por la cantidad, cada vez más creciente. La contaminación entonces se produce por la incapacidad del entorno de absorber, disolver y reincorporar esos elementos a las dinámica bióticas y abióticas de los diferentes ecosistemas y esto se debe al sistema de vida moderno de sobreconsumo y desechar, es decir, el llamado consumismo. En otras palabras, la excesiva presencia de sustancias dañinas o tóxicas en el ambiente que afectan el aire, el agua y el suelo y que afectan la armonía de los ecosistemas es lo que se denomina contaminación ambiental

### **Medio ambiente en la construcción**

Con base en lo anterior es importante subrayar la responsabilidad de todas las personas en el cuidado ambiental en todas las áreas de su desempeño, en todas sus actividades. Pues bien, desde la perspectiva que nos ocupa en la presente investigación incluimos la responsabilidad ambiental en la construcción, pues se trata de una de las actividades antrópicas que más genera residuos, ya no solo en la construcción de obras civiles nuevas sino en las remodelaciones donde se generan gran cantidad de escombros y desechos que no pueden tener un segundo uso o ser

reciclados. Es por ello que diseñadores, arquitectos, constructores y toda la cadena de suministros deben responsabilizarse y acceder a materiales que permitan ser amigables con el medio ambiente.

### **Reciclaje en Colombia**

Según el Ministerio de Medio Ambiente en Colombia, “en 2020, se dejaron de distribuir en el país 714,6 millones de bolsas plásticas en puntos de pago”, es decir, se evidencio una disminución del 69,37% comparándolo con el 2015. Así mismo, sosteniente el Ministerio que hubo un aprovechamiento de 163 mil toneladas al año de materiales plásticos Mascolombia.com (2022). Aquí es importante resaltar la labor de los recicladores de oficio quienes en 2018 recogieron las 970 mil toneladas, cifra que se incrementó el 2019 nen un 1, 4 % (Revista Semana Sostenible, 2022) y la llamada economía circular que busca eliminar residuos y contaminación desde el diseño mismo de los productos.

### **Resistencia a compresión**

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en  $\text{kg/cm}^2$ , MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi) (CEMEX, 2019).

### **Resistencia a flexión**

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (concreto). Justo en el momento en que se rompe la viga o losa de hormigón armado. Se mide a través de la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección

transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio). (NRMCA, (s.f.)).

### **4.3 Estado del arte**

Los estudiantes Barragán, Duran, Figueroa y Robayo, de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, en 2017, realizaron un estudio para crear un prototipo de adoquines a partir de materiales reciclados como caucho y plástico PET de llantas desechadas, de acuerdo a la norma vigente se efectuaron diversos ensayos para el cumplimiento mínimo de la misma. Se realizó una dosificación con materiales convencionales y proporciones de material reciclado hasta obtener una muestra que cumpliera con los parámetros establecidos por la norma, en dichos ensayos se evidencio que al remplazar los agregados por material PET, se obtuvo una mayor resistencia al compararlo con el porcentaje agregado de caucho, debido que este es muy flexible por sus características físicas, la investigación logro objetivos ecológicos, tecnológicos, socio-económico (Barragán, Figueroa, Durán y Robayo, 2016, p. 2).

Argüello y Castellanos (2015), de acuerdo a los parámetros establecidos en la investigación, se tuvo como objetivo realizar una simulación virtual mediante el programa SAP para la construcción de vivienda de bajo presupuesto y así optimizar el tiempo y la calidad de producción, para ser implementadas en un futuro (Argüello y castellanos, 2015, p.27). Para ello, se realizaron diseños previos de vivienda los cuales sean viables, de acuerdo a los datos

obtenidos del programa SAP evidenciamos que soportan cargas estáticas, además los materiales a utilizar son de gran resistencia y de fácil acceso, permitiendo costos bajos y menor impacto ambiental, podemos llegar concluir que las viviendas serian ligeras y flexibles llegando a resistir movimientos telúricos, respecto al impacto social esta investigación seria positiva ya que permite que persona de bajo recursos puedan tener acceso a una de ellas (Argüello y castellanos, 2015, p.43).

Quevedo y Guamán (2013), esta investigación se enfocó en la demanda de unidades requeridas de adoquines, este dato fue presentado durante la investigación a los municipios de Chimborazo (Ecuador) que querían instalar esta alternativa ecológica. Los estudios muestran que la producción de la planta en el primer año será de 829440 unidades de adoquines, se propone un diseño de producción en línea cumpliendo la fabricación de seis unidades de eco-adoquín peatonal de 500g en un tiempo de dos minutos; la distribución de la planta se tendrá un aprovechamiento máximo, Dado que las distancias entre los lugares de trabajo son pequeñas y permite ahorrar tiempo en la producción de pavimentos ecológicos peatonales, todo se hace de acuerdo con los parámetros y características que aseguran el óptimo desarrollo de la planta, por ejemplo: capacidad, velocidad de producción y calidad. En el estudio financiero se determinó que el costo de fabricación por unidad asciende a USD 0,46 mientras que el precio de venta al público USD 0,50 estimándose ventas anuales que van de USD 414.720,00 en el primer año hasta USD 2.483.095,69 el último año arrojando utilidades de USD 17.007,61 en el primer año hasta USD 966.520,13 en el último año (Quevedo y Guamán, 2013).

Por otra parte, Mesa (2018) determinó que la aplicación de plástico reciclado en el adoquín reduce su peso unitario con respecto al adoquín sin plástico reciclado. El prototipo de adoquín con un 3% de material reciclable disminuye su peso unitario en un 11%, el prototipo de

adoquín con 5% de material reciclable disminuye en un 16% y el prototipo de adoquín con 8% de material reciclable disminuye un 17%. Estadísticamente podemos evidenciar el prototipo adoquín es más liviano y fácil de transportar. Se determinó, que el módulo de Rotura ( $M_r$ ), se determinó que, al aumentar el porcentaje de material reciclado, aumenta el módulo de rotura. El ensayo por Flexión – Tracción, también tiende a aumentar mediante el porcentaje de material reciclado obteniendo muy buenos resultados con respecto al adoquín sin material reciclado ya que el plástico ayuda a prolongar el tiempo de falla, respecto al adoquín sin material reciclado. En los ensayos de compresión, los resultados evidenciaron que a menor porcentaje de material reciclado es mayor su resistencia, si el porcentaje es inadecuado el prototipo de adoquín no cumplirá con la norma establecida en la NTP- 399,611. la incidencia del material reciclado en la permeabilidad se determina que es mejor con el adoquín con mayor porcentaje de plástico y una mayor absorción de humedad en el adoquín con el porcentaje más bajo de material plástico, Según la NTP 399,611 la máxima capacidad de absorción es de 7,5 % (Mesa, 2018).

Aliaga (2018) evaluó los ensayos no clasificados para los ladrillos de concreto compuesto (LCC), donde se obtuvo que la absorción es 4.12 % dando a conocer el buen uso y la eficacia del concreto con PET en el procedimiento constructivo de los muros de albañilería. La resistencia característica a compresión axial de concreto con PET en pilas es  $f'_m=59 \text{ kg/cm}^2$  y la resistencia característica a corte puro en muretes es  $V'_m=7.81 \text{ kg/cm}^2$ , en cambio en el ladrillo de King Kong de arcilla macizo se tuvo un  $f'_m=41 \text{ kg/cm}^2$  y  $V'_m= 4.69 \text{ kg/cm}^2$ , concluyendo que la unidad de concreto con PET tiene buen comportamiento en muros de albañilería en esfuerzo axial y corte puro, mayor que el King Kong de arcilla (Aliaga, 2018).

En la investigación realizada por Echeverría (2017) de acuerdo con los ensayos de variación dimensional, alabeo, absorción y resistencia a compresión de las unidades de

albañilería, resistencia a compresión axial de pilas, resistencia a corte de muretes de albañilería, todos los tipos de ladrillo de concreto vibrado con hojuelas de PET reciclado cumplen con los requerimientos de la norma E.070:2006, pero, para fines estructurales, se encasillan en diferentes clases de unidades de albañilería: el tipo de ladrillo de concreto con 0% de PET reciclado (LC PET 0%) es catalogado como Clase IV, a diferencia de los tipos de ladrillo de concreto con 3%, 6% y 9% de PET reciclado (LC PET 0%, LC PET 0%, LC PET 0%) que se catalogan como Clase III; por lo que la adición de hojuelas de PET reciclado producen que los ladrillos de concreto vibrado de alta resistencia y durabilidad pasen a ser ladrillos de mediana resistencia y durabilidad. Se puede concluir que las propiedades mecánicas de los ladrillos de hormigón vibrado no mejoran con la adición de escamas de material PET reciclado, aunque cumplen con los parámetros exigidos por la norma. Los tres tipos de ladrillos de concreto y PET (3%, 6%, 9% PET) de acuerdo con sus propiedades se clasifican como ladrillos Clase tres y el ladrillo (0% PET) se clasifica como ladrillo Clase cuatro, todos pudiendo ser implementados estructuralmente (Echeverría, 2017).

Candanedo, Madrid, Bolobosky y Nacarí (2018) emplearon varios métodos artesanales, considerando el tiempo de solidificación, la proporción y composición de los materiales, y los efectos del tiempo y el refrigerante utilizado. En el ensayo de compresión número 2 del ladrillo lograron la falla del material a 40.4KN al aplicar material axialmente sobre toda la superficie. Se aplicó la misma prueba al ladrillo #1 donde ocurrió la falla a x 36.6 KN. La diferencia entre las dos cargas, a pesar de que la diferencia en el área es mínima, se debe a la composición del ladrillo #1 en relación con el ladrillo #2. Con base en investigaciones y pruebas, se puede argumentar que el PET tiene las propiedades estructurales del como un todo con virtas de metal, teniendo en cuenta sus propiedades mecánicas bajo compresión. Se requiere realizar más ensayos

para validar los resultados preliminares obtenidos como parte de este estudio (Candanedo, Madrid, Bolobosky y Nacari, 2018).

#### **4.4 Marco legal**

En la versión 2017 de la norma técnica colombiana, se determina la clasificación, materiales de fabricación y otros aspectos como requisitos físicos, dimensiones y otras tolerancias que se requieren para que se dé cumplimiento con buen adoquín.

La Norma Colombiana NTC 2017 regula la capacidad de carga física de los adoquines de concreto de pavimentos, clasifica dichos elementos y regula las pruebas a que deben ser sometidos.

Requisitos físicos, la longitud nominal de los adoquines no debe ser menor de 50 mm ni mayor de 250 mm, el ancho nominal no debe ser menor de 50 mm, el espesor estándar no debe ser menor de 60 mm y se prefieren dimensiones que sean múltiplos de 20 mm (METROBLOCK, (s.f.)).

En tanto a nuestro prototipo de adoquín se tiene en cuenta la NTC 3829 ya que se compararon con adoquines de arcilla para tránsito peatonal y vehicular liviano.

**Tabla 1. Requisitos físicos**

Designación	Resistencia a la compresión, plano, área total, min.		Absorción de agua fría, máx. %		Coeficiente de Saturación, máx. <sup>B</sup>	
	Promedio de 5 adoquines Mpa (Psi)	Individual Mpa (Psi)	Promedio de 5 adoquines	Individual	Promedio de 5 adoquines	Individual
Tipo I	55,2 (8 000)	48,3 (7 000)	8	11	0,78	0,80
Tipo II	38,0 (5 500)	33,0 (4 780)	14	17	no hay límite	no hay límite
Tipo III	20,7 (3 000)	17,2 (2 500)	No hay límite	No hay límite	no hay límite	no hay límite

<sup>A</sup> El comprador debe considerar el módulo mínimo de valores de ruptura para uso del adoquín en donde el apoyo o la carga pueden ser severas.

<sup>B</sup> El coeficiente de saturación es la relación de la absorción por inmersión durante 24 h en agua a temperatura ambiente, con la absorción después de 5 h de inmersión en agua hirviendo.

Fuente: (METROBLOCK, (s.f.). p. 3)

**Tabla 2. tabla muestra la resistencia de compresión y flexión**

Tipo	Resistencia a la compresión min, área total Mpa (psi)		Módulo de rotura, mínimo Mpa (psi)	
	Prom 5 In	Min Ind	Prom 5 In	Min Ind
<b>R</b>	55 (8 000)	48 (70 000)	8 (1 200)	7 (1 000)
<b>F</b>	69 (10 000)	61 (8 800)	10 (1 500)	9 (1 275)

Nota: la tabla muestra la resistencia de compresión y flexión que debe cumplir los adoquines de arcilla, datos suministrados de la (NTC 5282).

#### 4.5 Marco teórico

La construcción generó graves impactos ambientales, ya que se están realizando trabajos de remoción de materiales pétreos del suelo para obtener materiales de la corteza. Teniendo en cuenta los objetivos planteados anteriormente, debemos buscar un material que pueda sustituir, por ejemplo, al plástico. De acuerdo con Pineros y Herrera (2018) la construcción ha generado un impacto ambiental, debido a que para la obtención de materiales se realizan procesos de



extracción de materiales pétreos de las canteras que afectan la corteza terrestre. Considerando los objetivos propuestos, el aporte de esta investigación es importante para que en el ámbito de la construcción se puedan reemplazar los materiales extraídos de la corteza terrestre por otros. Es lo mismo con el plástico. El plástico es un material que podría sustituir a estos materiales, ya que su uso en la construcción reduciría los efectos del uso de materiales pétreos y ayudaría a reciclar el plástico, que servía principalmente a las personas por sus bajos costos de producción e insumos. Consumo masivo de materiales extraídos de los minerales de la tierra (2018, p.14).

### **Definición de Adoquín**

Unidad fabricada en hormigón premezclado y vibración prismática prensada, cuyo diseño permite colocar las piezas de forma continua y simétrica en aceras o carpetas de rodadura, como calles y parques, plazas y paseos, garajes, etc. el material más utilizado en su construcción fue el granito por su gran durabilidad y sencillez. Sus dimensiones suelen ser de 20 cm de largo y 15 cm de ancho, lo que facilita su manejo con una sola mano. (Ecured, 2018, p.1).

### **Características**

Es un producto muy duradero que viene en muchas formas y colores diferentes. Su tolerancia está dada por las dimensiones de cada pieza, las cuales no deben variar de la longitud nominal en +/- 2 mm y del espesor en más de +/- 3 mm. Tienen un aspecto cosmético excelente y atractivo; una amplia gama de colores y texturas; instalación lenta, pero no requiere mano de obra calificada; el trabajo se puede hacer con herramientas simples; La base debe estar completamente preparada, el comportamiento futuro del pavimento depende de su buena resistencia al movimiento del suelo y fisuras. Si necesita reparación suele ser por defectos en la base, hay que sacarlo de una zona más grande si está dañado. Su mantenimiento debe ser

constante, especialmente vigilando y evitando la erosión de maleza o arena entre las juntas. Economía y facilidad de instalación, especialmente para zonas peatonales y pavimentos de hormigón prefabricado (Ecured, 2018, p.1)

### **Tipos de adoquines**

Adoquines de hormigón, los cuales son utilizados para la construcción de pavimento articulado. A veces, a los adoquinados se les agregan colorantes buscando un mejor resultado estético (Ecured, 2018, p. 2).

**Corbatín:** Para tráfico vehicular pesado, por ejemplo, en muelles, estacionamiento, vías internas y externas (Ecured, 2018, p. 2).

**Antideslizante:** Utilizados en centros históricos. Ubicándolos en forma de "espina de pescado" se consiguen pavimentos omnidireccionales (Ecured, 2018, p. 2).

**Adoquín Rectangular:** utilizados principalmente para caminos, plazoletas, su sencillez en el diseño permite mano de obra económica para su instalación (Ecured, 2018, p. 2).

**Adoquín Guitarra:** es una nueva forma de adoquines los cuales combina dos figuras, el cuadro y el octágono dando así pavimentos novedosos (Ecured, 2018, p. 2).

**Adoquín Ecológico Gramoquin:** ideal para estacionamientos, sirve para estabilización de taludes y revestimiento de canales (Ecured, 2018, p. 2).

**Adoquín Azteca:** Fueron los primeros adoquines en Colombia y Centro América. El tamaño es más grande que las otras formas mano portables, por esta razón se encuentra discontinuado; solo se fabrica bajo pedido (Ecured, 2018, p. 2).

## Clasificación de los plásticos

### Ilustración 1. Tipos de Plástico

TIPOS DE PLÁSTICOS, Y SU CLASIFICACIÓN

		<b>PET o PETE</b> Botellas de agua y bebidas, envases de alimentos
		<b>HDPE</b> Bolsas plásticas Bolsas de yogurt Productos de limpieza
		<b>PVC o V</b> Mangueras Cables eléctricos Tubos y cañerías
		<b>LDPE</b> Algunas botellas Bolsas muy diversas Bolsas de basura Manteles
		<b>PP</b> Envases de aderezos Algunos shampoo Tapas, envases snacks
		<b>PS</b> Vajillas desechables Bandejas de comida *No plumavit
		<b>OTROS</b> Comida de perros Envases doypack

Fuente: [Minimanual.com](http://Minimanual.com)

Dice Reciclaje Avi S.L. U (2015) Hay muchos plásticos, pero no todos son reciclables. Para permitir la separación de los tipos de resinas, todo objeto de plástico cuenta con un código, este código consta de un numero el cual permite identificar el tipo de resina, este número aparece dentro de un triángulo de cantos romos y debajo de este triángulo se ponen las siglas del tipo de polímero, actualmente hay siete (Reciclaje Avi S.L. U.2015, p. 2).

1. **PET:** (Tereftalato de polietileno) este material es el más reciclado por sus diversos usos encontrados en botellas de agua, refrescos y otras bebidas (Reciclaje Avi S.L. U.2015, p. 3).

2. **PE-HD** (Poliétileno de alta densidad) Este tipo de material reciclable es frecuente en envases para lácteos, zumos, champús, perfumes, botes de detergentes líquidos (Reciclaje Avi S.L. U.2015, p. 3).
3. **PVC** (Policloruro de vinilo) material utilizado para envolver elementos no alimenticios (por su toxicidad), tuberías, aislamiento de cables eléctricos o la fabricación de discos de vinilo (Reciclaje Avi S.L. U.2015, p. 3).
4. **LDPE** (Poliétileno de baja densidad) este material es utilizado para bolsas de congelación de alimentos, botes exprimibles, por ejemplo, (el ketchup), tapas flexibles o bolsas de basura (Reciclaje Avi S.L. U.2015, p. 3).
5. **PP** (Polipropileno) Este material es el más utilizados en la industria automovilística y en la construcción, puede encontrarse en carcasas de baterías de automóviles o en embudos para combustible (Reciclaje Avi S.L. U.2015, p. 3).
6. **PS** (Poliestireno). Se utiliza en vasos, platos, bandejas o envases de comida para llevar (Reciclaje Avi S.L. U.2015, p. 3).
7. **(Otro)** Con el número 7 y la letra O se marcan otros tipos de plásticos diferentes, que por lo general no se pueden reciclar (Reciclaje Avi S.L. U.2015, p. 3).

## 5 Marco Metodológico

La metodología de investigación tiene un carácter investigativo experimental y cuantitativo; ya que por medio de este método nos permite con laboratorios concluir de manera menos errónea si el prototipo de adoquín es viable.

Se pretende dar un mejor uso al plástico desechado, desarrollando una alternativa de adoquines de varias formas y que cumplan la norma NTC del 5282 establecida en Colombia, esta fabricación de adoquines convencionales genera daños gravísimos al ambiente desde la extracción de las materias primas hasta el producto final (Greenpeace, 2017, p. 1).

### **5.1 Técnicas para recopilar datos e información**

La búsqueda de datos e información para este estudio tuvo dos fases: la primera: en ella se abarco los datos e información de documentos digitales, resultados investigativos, proyectos de grado, artículos, libros, reseñas; extraídas de plataformas digitales como Google académico, Scielo y repositos institucionales.

Segunda fase: se evaluó la mezcla adecuada para el prototipo de Pet y PP, en el cual se registró los resultados de laboratorio a compresión y flexión aplicados a los prototipos de adoquines y al adoquín de arcilla convencional. Por consiguiente, se hizo un análisis de características y datos obtenidos por los ensayos de laboratorios de los prototipos de adoquines con material reciclable (Pet – PP) y (PP) con respecto al adoquín de arcilla convencional.

### **5.2 Procedimientos en la fabricación de prototipo de adoquín en material reciclable (Pet-PP, PP)**

De acuerdo a los objetivos proyectados, se comienza con la elaboración del prototipo de adoquín, los cuales serían empleados en la construcción de vías median pavimento articulado. Inicialmente se procede a la selección de y separar el tipo de material plástico que se utilizara para posteriormente fundir, colocación y curado.

El método a utilizar es cuantitativo ya que se analizan y se recogen datos contables, los cuales son parte del problema y con ayuda del estado se verifica los diferentes tipos de plástico que se puede utilizar en este proyecto dependiendo de sus propiedades físicas, para llegar a crear vías innovadoras de adoquines resistentes y duraderos elaborados 100% de plástico (PET y PP o PP).

### 5.3 Cronograma

ACTIVIDADES A DESARROLLAR	FECHA		EVIDENCIAS
	inicio	final	
<b>Recolección de materia prima para proyecto de prototipo de adoquín en material reciclado (PET y PP)</b>	agosto	septiembre	registro fotográfico
<b>selección de materia prima</b>	septiembre	septiembre	registro fotográfico
<b>Diseño de molde para prototipo de adoquín en material reciclado (PET y PP)</b>	septiembre	septiembre	registro fotográfico
<b>Asesoría y corrección del proyecto con el tutor</b>	septiembre	octubre	actas de reunión
<b>Preparación para primer ensayo</b>	octubre	octubre	registro fotográfico
<b>Prototipo de adoquín en material reciclable (PET y PP)</b>	octubre	octubre	registro fotográfico
<b>Asesoría y corrección del proyecto con el tutor</b>	octubre	octubre	actas de reunión
<b>Análisis de resultados</b>	octubre	octubre	actas de reunión
<b>Asesoría y corrección del proyecto con el tutor</b>	octubre	octubre	actas de reunión
<b>Preparación para segundo ensayo</b>	octubre	octubre	registro fotográfico
<b>Preparación de prototipos</b>	octubre	octubre	registro fotográfico
<b>Ensayos de resistencia a compresión</b>	octubre	octubre	laboratorio, registro fotográfico
<b>Ensayos de resistencia a flexión</b>	octubre	octubre	laboratorio, registro fotográfico

<b>Conclusión y recomendaciones con todos los datos obtenidos de los prototipos en material reciclable (PET y PP)</b>	octubre	octubre	laboratorio, entrega de trabajo digital
<b>Entrega de proyecto final</b>	noviembre	noviembre	sustentación

#### 5.4 Materiales y equipos

Detalle de materiales, herramientas y equipos requeridos para la elaboración del prototipo de adoquín:

**Tabla 3. Lista de materiales, herramientas y equipos**

<b>Herramientas y equipos</b>	<b>Materia Prima</b>
Formaleta para adoquines	Material PET (reciclado)
Balanza de laboratorio	Material PP (reciclado)
Estufa	
Recipiente para fundir	
Mezclador	
Máquina de ensayo a compresión	
Máquina de ensayo a flexión	

#### 5.5 Elaboración de prototipos de adoquines con material reciclable

1. Primero que todo se inició con la recolección y reciclaje de los materiales PET y PP
2. hasta llegar a una gran cantidad de 20 kg de PP. y 15 kg de PET.

### Fotografía 1. los materiales PET y PP



**Fuente:** Elaboración propia

3. Después de establecer las medidas del adoquín 20x10x6 cm se procede hacer la formaleta de madera con las anteriores medidas la cual fue uno de los prototipos desarrollados.
4. Posteriormente se funde el material reciclable en una estufa eléctrica ya que tiene la característica de regular y mantener una temperatura constante para la adecuada fundición. Se emplearon 1.9 kg de material reciclado.
5. En este paso se desarrolló el prototipo solo con materiales PP (tapas de gaseosa). Se derritieron las tapas hasta dejarlas en un estado viscoso, se iban agregando a la formaleta poco a poco de igual manera se iban compactando con una pala para una adecuada unión de materiales.



**Fotografía 2. Proceso de fundición del material PET**

**Fuente:** Elaboración propia

Una vez en estado viscoso, se procede a rellenar la formaleta de madera que anteriormente se humedece con agente desencofrante para evadir la adherencia del plástico y conservar la integridad del prototipo al momento del desmolde, para su desmolde se permite el enfriamiento de 24 horas.

**Fotografía 3. Vaciado en formaleta de madera**

**Fuente:** Elaboración propia

**Fotografía 4.** Vaciado en formaleta de madera



**Fuente:** Elaboración propia



**Fuente:** Elaboración propia



**Fuente:** Elaboración propia

La fotografía 2 la cual corresponde a la formaleta de madera se observa que no conserva la consistencia del adoquín si no que queda poroso ya que el molde de madera no conserva la temperatura del material reciclado fundido, otra evidencia es su difícil desencoframiento.

A partir de las observaciones anteriormente mencionadas se decidió que el siguiente prototipo se elaboraría en una formaleta en acero. Por consiguiente, se desarrolló en ornamentación con dos tapas abatibles para una mayor facilidad de extracción del prototipo.

**Fotografía 5. Proceso de fundición de material PET**



**Fuente:** elaboración propia

Una vez hecha la mezcla homogénea del material reciclable, se procede al relleno de las formaletas, las cuales tienen las siguientes dimensiones: 20 cm (largo) x 10 cm (Ancho) x 6 cm (Profundidad).

**Fotografía 6. formaleta de adoquín**



**Fuente:** Elaboración propia

6. El siguiente prototipo se elaboró derritiendo un 75 % de PET hasta quedar en estado líquido y después se agregó un 25 % de PP hasta quedar una mezcla homogénea. Después se vacía en el molde metálico y sellado. Se dan 24 horas de enfriado y secado.



**Fotografía 7. Vaciado en molde metálico y sellado**



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4. Peso y dimensiones de adoquín en PP**

<i>Prototipo</i>	<b>1</b>	
<i>Peso</i>	(kg)	0.955
<i>Dimensiones</i>	Largo	20 cm
	Ancho	6 cm
	Alto	10 cm



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 5. Peso y dimensiones de adoquín en PP**

<i>Prototipo</i>	<b>2</b>	
<i>Peso</i>	(kg)	0.921
<i>Dimensiones</i>	Largo	20 cm
	Ancho	6 cm
	Alto	10 cm



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 6. Peso y dimensiones de adoquín en PP**

<i>Prototipo</i>	<b>3</b>	
<i>Peso</i>	(kg)	0.915
<i>Dimensiones</i>	Largo	20 cm
	Ancho	6 cm
	Alto	10 cm



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 7. Peso y dimensiones de adoquín en PP**

<i>Prototipo</i>	<b>4</b>	
<i>Peso</i>	(kg)	0.936
<i>Dimensiones</i>	Largo	20 cm
	Ancho	6 cm
	Alto	10 cm



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 8. Peso y dimensiones de adoquín en PP**

<i>Prototipo</i>	<b>5</b>	
<i>Peso</i>	(kg)	0.976
<i>Dimensiones</i>	Largo	20 cm
	Ancho	6 cm
	Alto	10 cm



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 9. Peso y dimensiones de adoquín en PP**

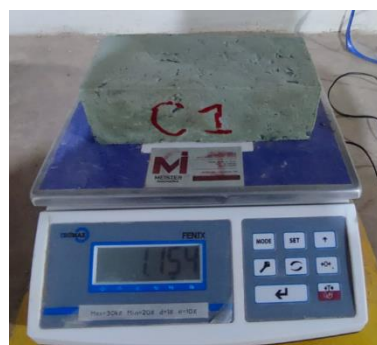
<i>Prototipo</i>	<b>6</b>	
<i>Peso</i>	(kg)	0.948
<i>Dimensiones</i>	Largo	20 cm
	Ancho	6 cm
	Alto	10 cm



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 10. Peso y dimensiones de adoquín en PP**

<i>Prototipo</i>	<b>7</b>	
<i>Peso</i>	(kg)	1.154
<i>Dimensiones</i>	Largo	20 cm
	Ancho	6 cm
	Alto	10 cm



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 11. Peso y dimensiones de adoquín en PP**

<i>Prototipo</i>	<b>8</b>	
<i>Peso</i>	(kg)	1.137
<i>Dimensiones</i>	Largo	20 cm
	Ancho	6 cm
	Alto	10 cm



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12. Peso y dimensiones de adoquín en PP**  
**Prototipo 9**

<i>Peso</i>	(kg)	1.176
<i>Dimensiones</i>	Largo	20 cm
	Ancho	6 cm
	Alto	10 cm



. Fuente: Elaboración propia

**Tabla 13. Peso y dimensiones de adoquín en PP**  
**Prototipo 10**

<i>Peso</i>	(kg)	1.079
<i>Dimensiones</i>	Largo	20 cm
	Ancho	6 cm
	Alto	10 cm



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 14. Peso y dimensiones de adoquín en PP**

**Prototipo 11**

<i>Peso</i>	(kg)	1.196
<i>Dimensiones</i>	Largo	20 cm
	Ancho	6 cm
	Alto	10 cm






Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15. Peso y dimensiones de adoquín en PP**

<i>Adoquín</i>	<i>Arcilla</i>	
<i>Peso</i>	(kg)	2.418
<i>Dimensiones</i>	Largo	20 cm
	Ancho	6 cm
	Alto	10 cm



Fuente: Elaboración propia

## 5.6 Ensayo de resistencia a compresión

Los prototipos de adoquín en material reciclable se sometieron a los ensayos de laboratorio a compresión y flexión, los cuales se realizaron con tres muestras de material Pet y PP, tres muestras con material PP. De acuerdo a la norma NTC 5282.

**Tabla 16. Resistencia a la compresión y flexión**

Tipo	Resistencia a la compresión min, área total Mpa (psi)		Módulo de rotura, mínimo Mpa (psi)	
	Prom 5 In	Min Ind	Prom 5 In	Min Ind
<b>R</b>	55 (8 000)	48 (70 000)	8 (1 200)	7 (1 000)
<b>F</b>	69 (10 000)	61 (8 800)	10 (1 500)	9 (1 275)

Fuente: Elaboración propia

Nota: la tabla enseña la resistencia de compresión y flexión que debe cumplir los adoquines de arcilla, datos suministrados de la normativa colombiana (NTC 5282)

## 5.7 Presupuesto

**Tabla 17. Presupuesto prototipo adoquín en PET Y PP**

ítem	Descripción	Cantidad	Valor
1	Personal	2	\$ 50.000,00
2	Materia prima	500	\$ 100.000,00
3	Formaletas 20x10x6 cm	3	\$ 240.000,00
4	Viáticos	3	\$ 50.000,00
5	Herramientas necesarias	-	\$ 100.000,00
6	Ensayos de laboratorio	18	\$ 412.200,00
7	Otros: percances, errores, reparaciones.	2	\$ 100.000,00
<b>Total</b>			<b>\$ 1.052.200,00</b>

**Fuente: Elaboración propia**

## 6 Resultados

Los datos obtenidos en este estudio investigativo permitieron elaborar un prototipo de adoquín hecho 100 % de material reciclable para la construcción de pavimento articulado en la corporación universitaria minuto de Dios y la ciudad de Girardot, Cundinamarca.


De acuerdo a los resultados obtenidos de los ensayos a compresión y flexión efectuados a cada uno de los prototipos de adoquines y a los adoquines convencionales (arcilla), se realiza una comparación en los resultados y así escoger el más viable para la construcción de pavimentos articulados.

**Tabla 18. Resultados ensayos a compresión de prototipo con material PP muestra #1**

Ensayo	Material	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kN)	Resistencia		Peso (kg)
				Mpa	Psi	
Compresión	PP	200	219.88	10.22	1482.2884	0.936
						
Fecha de toma	24/09/2022				Días de fallo	26
Fecha de Fallo	24/10/2022					

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 19. Resultados ensayos a compresión de prototipo con material PP muestra #2**

Ensayo	Material	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kN)	Resistencia		Peso (kg)
				Mpa	Psi	
Compresión	PP	200	209.69	9.75	1414.1205	0.976
						

<b>Fecha de toma</b>	24/09/2022	<b>Días de fallo</b>	26
<b>Fecha de Fallo</b>	24/10/2022		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 20. Resultados ensayos a compresión de prototipo con material PP muestra #3**


Ensayo	Material	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kN)	Resistencia		Peso (kg)
				Mpa	Psi	
<b>Compresión</b>	PP	200	233.85	10.87	1576.56306	0.948




<b>Fecha de toma</b>	24/09/2022	<b>Días de fallo</b>	26
<b>Fecha de Fallo</b>	24/10/2022		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 21. Resultados ensayos a compresión de prototipo con material PET y PP muestra #1**

Ensayo	Material	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kN)	Resistencia		Peso (kg)	
				Mpa	Psi		
<b>Compresión</b>	PET y PP	200	104.16	4.84	701.98392	1.154	
							
<b>Fecha de toma</b>	24/09/2022					<b>Días de fallo</b>	26
<b>Fecha de Fallo</b>	24/10/2022						

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 22. Resultados ensayos a compresión de prototipo con material PET y PP muestra #2**



Ensayo	Material	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kN)	Resistencia		Peso (kg)
				Mpa	Psi	
<b>Compresión</b>	PET y PP	200	159.24	7.40	1073.2812	1.137
						

<b>Fecha de toma</b>	24/09/2022	<b>Días de fallo</b>	26
<b>Fecha de Fallo</b>	24/10/2022		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Resultados ensayos a compresión de prototipo con material PET y PP muestra #3



Ensayo	Material	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kN)	Resistencia		Peso (kg)
				Mpa	Psi	
<b>Compresión</b>	PET y PP	200	169.41	7.87	1141.44906	1.176

<b>Fecha de toma</b>	24/09/2022	<b>Días de fallo</b>	26
<b>Fecha de Fallo</b>	24/10/2022		

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 24. Resultados ensayos a flexión de prototipo con material PET y PP muestra #1**

Ensayo	Material	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kN)	Resistencia		Peso (kg)
				Mpa	Psi	
<b>Flexión</b>	PET y PP	200	10.16	5.08	736.79304	1.079
						
<b>Fecha de toma</b>	24/09/2022			<b>Días de fallo</b>	26	
<b>Fecha de Fallo</b>	24/10/2022					



**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 25. Resultados ensayos a flexión de prototipo con material PET y PP muestra #2**

Ensayo	Material	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kN)	Resistencia		Peso (kg)
				Mpa	Psi	
<b>Flexión</b>	PET y PP	200	12.57	6.28	910.838864	1.196



<b>Fecha de toma</b>	24/09/2022	<b>Días de fallo</b>	26
<b>Fecha de Fallo</b>	24/10/2022		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 26. Resultados ensayos a flexión de prototipo con material PP muestra #1**

Ensayo	Material	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kN)	Resistencia		Peso (kg)
				Mpa	Psi	
<b>Flexión</b>	PP	200	22.37	11.18	1621.52484	0.955



<b>Fecha de toma</b>	24/09/2022	<b>Días de fallo</b>	26
<b>Fecha de Fallo</b>	24/10/2022		



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 27. Resultados ensayos a flexión de prototipo con material PP muestra #2**

Ensayo	Material	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kN)	Resistencia		Peso (kg)
				Mpa	Psi	
<b>Flexión</b>	PP	200	17.95	8.97	13000.9909	0.921
						
<b>Fecha de toma</b>	24/09/2022			<b>Días de fallo</b>	26	
<b>Fecha de Fallo</b>	24/10/2022					



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 28. Resultados ensayos a flexión de prototipo con material PP muestra 3**

Ensayo	Material	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kN)	Resistencia		Peso (kg)
				Mpa	Psi	
<b>Flexión</b>	PP	200	25.13	12.56	1821.67728	0.915
						
<b>Fecha de toma</b>	24/09/2022			<b>Días de fallo</b>	26	
<b>Fecha de Fallo</b>	24/10/2022					

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 29. Resultados ensayos a compresión de adoquín convencional (arcilla)**

Ensayo	Material	Área (cm <sup>2</sup> )	Fuerza (kN)	Resistencia		Peso (kg)
				Mpa	Psi	
<b>Compresión</b>	Arcilla	200	792.00	36.83	5341.7496	2.418
						

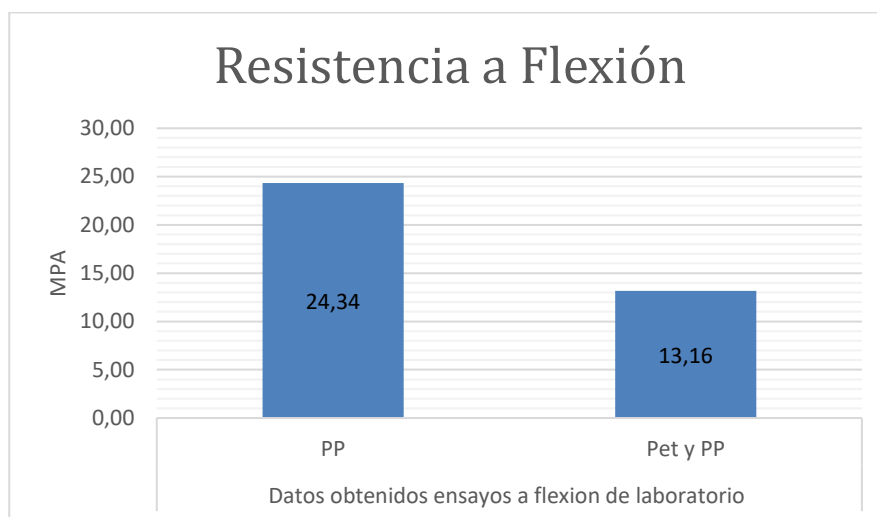
<b>Fecha de toma</b>	24/09/2022	<b>Días de fallo</b>	26
<b>Fecha de Fallo</b>	24/10/2022		

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 30. Comparación resultados de ensayos a flexión entre material PP y PET-PP**

<b>DATOS OBTENIDOS ENSAYOS A FLEXIÓN EN LABORATORIO</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Material</b>	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>Material</b>	<b>Resistencia (Mpa)</b>
<b>1</b>	PP	11,18	Pet y PP	5,08
<b>2</b>	PP	8,97	Pet y PP	6,28
<b>3</b>	PP	12,56	Pet y PP	5,4
<b>Promedio</b>		<b>24,34</b>	<b>Promedio</b>	<b>13,16</b>

**Fuente:** Elaboración propia

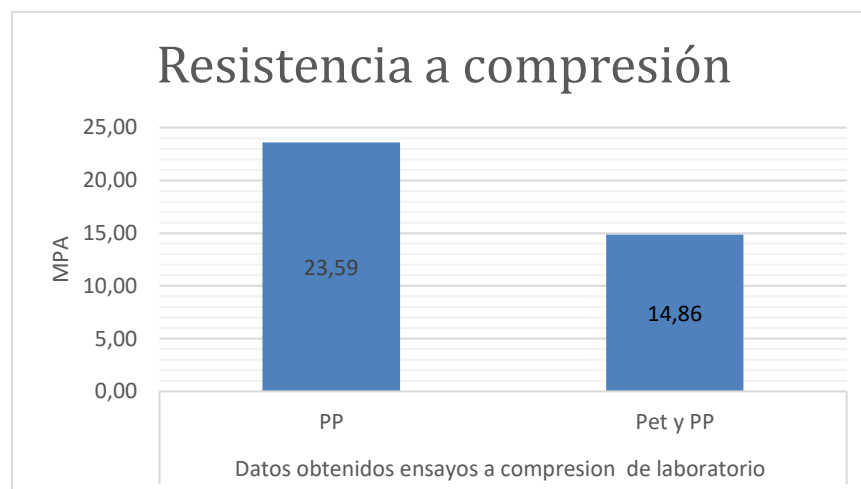
**Figura 1. Comparación de resultados de ensayo a flexión**

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 31. comparación resultados de ensayos a compresión entre material PP**

<b>DATOS OBTENIDOS ENSAYOS A COMPRESIÓN EN LABORATORIO</b>				
<b>Ítem</b>	<b>Material</b>	<b>Resistencia (Mpa)</b>	<b>Material</b>	<b>Resistencia (Mpa)</b>
<b>1</b>	PP	10,22	Pet y PP	4,84
<b>2</b>	PP	9,75	Pet y PP	7,4
<b>3</b>	PP	10,87	Pet y PP	7,87
<b>Promedio</b>		<b>23,59</b>	<b>Promedio</b>	<b>14,86</b>

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 2. Comparación de resultados de ensayo a compresión**

**Fuente:** Elaboración propia

Se registraron los resultados de los ensayos de resistencia a compresión y resistencia flexión aplicado a cada uno de los prototipos de adoquín en material reciclable y al adoquín convencional (arcilla), para realizar posteriormente la comparación entre los adoquines con material Pet- PP y los adoquines con material PP de acuerdo a los resultados obtenidos en el laboratorio.

## 7 Análisis

Esta investigación tuvo como finalidad encontrar los materiales reciclables con mayor resistencia a la compresión y flexión para la elaboración de un prototipo de adoquín en material reciclado el cual cumpliera o se asemejara con las características de un adoquín convencional (arcilla) y se pudiera emplear en pavimentos articulares mucho más duraderos en la ciudad de Girardot, Cundinamarca, para ello se analizaron datos estadísticos, documentos de investigación,

normativa de adoquín vigente en Colombia, por lo anterior se estableció diseñar un prototipo con mejores características y desempeño.

En cuanto a su peso podemos evidenciar que todos los prototipos de adoquín con material reciclable son mucho más livianos que el adoquín convencional (arcilla), aunque con los primeros prototipos no se obtuvieron los mejores resultados, estos cumplieron con las características físicas, tales como forma, dimensiones y peso.

Respecto a sus dimensiones, peso y forma de los adoquines en material reciclado PET y PP presentaron condiciones muy buenas en base a su aspecto durante la elaboración y curado. Las cuales en cada uno de los prototipos que se elaboraron se logró ir mejorando su aspecto agregándole un toque de color gracias a pigmentos los cuales a futuro podrían ser utilizados en cualquier zona dependiendo la necesidad de la demanda.

## **8 Conclusión**

Conforme al propósito de la investigación, elaboración de un prototipo de adoquín con material reciclable para construcción de pavimento articulado en la ciudad de Girardot, Cundinamarca, podemos concluir que el objetivo ha sido logrado ya que después de haber hecho 12 prototipos con materiales reciclables y haber hecho el comparativo con respecto a los adoquines convencionales de arcilla se concluye lo siguiente:

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos afirmar que el prototipo de adoquín con material PP es el más viable para el desarrollo de pavimento articulados ya que su comportamiento en diferentes ensayos de laboratorio fue óptimas con respecto al adoquín con material reciclable (PET- PP) según la norma técnica colombiana (NTC 2017).

Tras realizar 18 prototipos para la investigación se pudo deducir que los prototipos de adoquín tienen una mayor contribución al medio ambiente pues son realizado 100% de material reciclable (plástico) igualmente su peso es un 75% más liviano con respecto al adoquín tradicional (arcilla), haciendo una gran alternativa ante el impacto ambiental.

Lo anterior expuesto, propone mejoramientos para futuras investigaciones, estableciendo la proporción adecuada por medio de una maquina inyectora de una manera más industrializada con ello mejorar características físicas para lo cual se recomienda un mayor número de ensayos con el fin de encontrar el prototipo indicado.

Teniendo en cuenta los costos de esta investigación se vio afectada por los ensayos de laboratorio desarrollados por una empresa externa (Inge consultores S.A.S) de la ciudad de Ibagué, Tolima ya que la universidad no contaba con los equipos necesarios para dichos procesos.

## **9 Recomendaciones**

Inicialmente para futuras investigaciones continuar con más ensayos, de todos los tipos ya que en Colombia no hay una norma técnica como la NTC que reglamente este tipo de material para fines constructivos de pavimentos articulados con adoquines en material reciclable, con ayuda de nuevas tecnologías eco sostenibles y no solo seguir la ruta de materiales reciclables sino buscar una mayor utilidad en todo el entorno constructivo con nuevos materiales procedentes de materiales reciclables.

A lo largo del proyecto se determinó que los moldes de madera no son convenientes para este tipo de proyecto ya que no conservan la temperatura constante para un mayor fraguado y

curado del prototipo. Revisar con mayor número de ensayos la tempera de ebullición al momento de fundir el material Pet ya que este al no estar en su punto de fusión y sobrepasar dicha temperatura y estar expuesta a temperatura ambiente comienza a cristalizarse.

En esta investigación se evidencio que todo el proceso de fabricación de prototipos de adoquín en material reciclable fue de manera manual en una cocina y campo abierto mediante estufas eléctricas y a gas propano, por lo tanto, no se tiene certeza de la temperatura generada, por lo anterior se recomienda contar con ayuda industrializada de máquinas como la trituradora de material plástico, la inyectora que genera el proceso y evitar contaminación por gases contaminantes para el medio ambiente.

Hacer ensayos de absorción de los materiales utilizados en esta investigación para dar más claridad y compararlo con la norma técnica colombiana (NTC 2017).

Para dicha actividad es recomendable usar todos los elementos de seguridad ya que pueden ocurrir accidentes, como quemaduras, inhalación de gases contaminantes, etc. No usar hornos que no sean industrializados y controlen la temperatura del material reciclado ya que el PET después de sobrepasar su punto de fusión tiende a incinerarse ocasionando conflagraciones.

Hacer campañas con la empresa de aseo de Girardot, Cundinamarca para incentivar y crear el hábito de reciclar y hacer la adecuada separación del plástico de los demás productos, igualmente implementar entre los estudiantes de la corporación universitaria minuto de Dios el aprovechamiento del plástico para futuras investigaciones.



## 10 Referencias bibliográficas

- Aliaga, V. (2018). *Evaluación técnica de la mezcla de concreto con PET reciclable, para la producción de ladrillo de concreto Compuesto en la construcción*. Tesis de grado Universidad Nacional Federico Villarreal.  
<http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/1923>
- ANDACE. (s.f.). *La economía circular y los prefabricados de hormigón: La reutilización. Tubos Colmenar*. <https://www.andace.org/la-economia-circular-y-los-prefabricados-de-hormigon-la-reutilizacion/>
- Argüello, F., y Castellanos, M. (2015). *Prototipo de vivienda de bajos recursos con material reciclado (modelación SAP, caracterización de los materiales, animación virtual)*. (Trabajo de grado). Universidad Católica de Colombia.  
<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2423/1/Prototipo-vivienda-bajos-recursos-con-material-reciclado.pdf>
- Barragán, A., Figueroa, K., Durán, N., y Robayo, M. (2016). *Ecobloque estructural para vivienda de interés rural: Un aporte para las comunidades del Alto Magdalena-Colombia*. Universidad Católica Luis Amigó. <https://www.redalyc.org/journal/6139/613964504004/>
- BBVA. (s.f.). *¿Qué es el medioambiente y por qué es clave para la vida?*  
<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-medioambiente-y-por-que-es-clave-para-la-vida/>
- Calstar. (2016). *Productos Calstar*. <https://www.builderonline.com/manufacturer/calstar-products>

Candanedo, M., Madrid, J., Bolobosky, M., y Nacarí, M. (2018). Fabricación de ladrillos a base de polímeros PET y virutas metálicas. *Revista UTP*. 4(Especial) 33-38.

<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1816/2626>

CEMEX. (2019). ¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto?

[https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto-](https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto-#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n%20simple%20es%20la%20caracter%20ADstica%20mec%C3%A1nica,pulgada%20cuadrada%20(psi)

[#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n%20simple%20es%20la%20caracter%20ADstica%20mec%C3%A1nica,pulgada%20cuadrada%20\(psi](https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto-#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n%20simple%20es%20la%20caracter%20ADstica%20mec%C3%A1nica,pulgada%20cuadrada%20(psi)

Castillo, A., Salazar, J., Seminario, R., Camacho, A., Zapata, J. (2015). Diseño de planta productora de adoquines a base de cemento y plástico reciclado. Universidad de Piura.

<https://pirhua.udp.edu.pe/bitstream/handle/11042/2343/5.%20PYT%2C%20Informe%20Final%2C%20Cemento%20y%20PI%C3%A1stico.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Clínica Jurídica de Medio Ambiente y Salud Pública (MASP)., Universidad de los Andes., y

Greenpeace Colombia (2019). *Situación actual de los plásticos en Colombia y su impacto en el medio ambiente.*

[http://greenpeace.co/pdf/2019/gp\\_informe\\_plasticos\\_colombia\\_02.pdf](http://greenpeace.co/pdf/2019/gp_informe_plasticos_colombia_02.pdf)

Construmatica. (2011). Proceso de fabricación y suministro del adoquín cerámico. Hispaliyt - Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas de Arcilla Cocida.)

[https://www.construmatica.com/construpedia/Proceso\\_de\\_Fabricaci%C3%B3n\\_y\\_Suministro\\_del\\_Adoqu%C3%ADn\\_Cer%C3%A1mico](https://www.construmatica.com/construpedia/Proceso_de_Fabricaci%C3%B3n_y_Suministro_del_Adoqu%C3%ADn_Cer%C3%A1mico)

Cruz, M. (18 abril 2018). *La mayoría de municipios de Cundinamarca se rajan en reciclaje.*

<https://www.eltiempo.com/bogota/hay-bajo-reciclaje-en-los-municipios-de-cundinamarca-206434>

Echeverría, E. (2017). *Ladrillos de concreto con plástico PET reciclado.* Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca.

<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/1501/LADRILLOS%20DE%20CONCRETO%20CON%20PL%3%81STICO%20PET%20RECICLADO.pdf?sequence=1>

Ecotelhado. (s.f.). *Pisos Permeables.* <http://ecotelhado.com.co/>

Ecotelhado (s.f.). *Techos Verdes y Jardines Verticales, Pisos Permeables y Humedales Artificiales.* <http://ecotelhado.com.co/ecopavimento-pisos-permeables/>

Ecure. (2018). *Adoquín.* <https://www.ecured.cu/Adoqu%C3%ADn>

El Diario. (15 sep. 2019). *Con desechos plástico elaboran adoquines y bloques para construcción.* <https://www.eldiario.com.co/seccion-d/con-desechos-plasticos-elaboran-adoquines-y-bloques-para-construccion/>

Greenpeace (2017). *Datos sobre la producción de plástico.*

<https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/consumismo/plasticos/datos-sobre-la-produccion-de-plasticos/>

Izurieta, J., y Rodríguez, A. (2017). *Elaboración de un adoquín para revestimiento de camineras, a partir del plástico PET 1 y el caucho reciclados.* Tesis de grado, Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil.

<http://repositorio.ulvr.edu.ec/bitstream/44000/2507/1/T-ULVR-2303.pdf>

Hiperpiedras. (2020). Pavimentos de Adoquines, un poco de Historia.

<https://hiperpiedras.com/pavimentos-de-adoquines/>

Mascolombia.com. (2022). ¿Cómo le va a Colombia en materia de reciclaje?

<https://mascolombia.com/como-le-va-a-colombia-en-materia-de-reciclaje/#:~:text=A%20la%20fecha%2C%20solo%20se,o%20en%20el%20medio%20ambiente>

Mesa, Y. (2018). *Propiedades físico – mecánicas de adoquines elaborados con plástico reciclado para pavimento peatonal en el Centro Comercial Tambo Plaza, Lurín*. Trabajo de grado, Universidad Cesar Vallejo.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/26903>

METROBLOCK. (s.f.). Normas Técnica Colombiana Ntc 2017 Adoquines de concreto para pavimento. <https://metroblock.com.co/wp-content/uploads/2019/11/ADOQUINES.pdf>

Minimanual.com. (2022). *Clasificación de los plásticos*. <https://minimanual.com/clasificacion-de-los-plasticos/>

Nelplast Ghana Limited (s.f.). *Se producen adoquines para pavimentar reciclando desechos plásticos en Ghana*. <http://www.ideassonline.org/public/pdf/NelplastGhana-ESP.pdf>

NRMCA. (s.f.). CIP 16- Resistencia a flexión del concreto ¿Qué es la resistencia a la flexión? <https://concretesupplyco.com/wp-content/uploads/2017/01/16pes.pdf>

Piñeros, M., y Herrera, R. (2018). *Proyecto de factibilidad económica para la fabricación de bloques con agregados de plásticos reciclados (PET) aplicados en la construcción de viviendas*. Universidad Católica.

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22382/1/TESIS%20BLOQUE%20PE%20T.pdf>

Quevedo, S., y Guamán C. (2013). *Proyecto de factibilidad para la producción de eco-adoquines peatonales mediante la reutilización de desechos plásticos (PET)*. Trabajo de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <https://1library.co/document/q05p3mxy-proyecto-factibilidad-produccion-adoquines-peatonales-mediante-reutilizacion-plasticos.html>

Reciclaje Avi S.L.U (2015). *Tipos de residuos plásticos que sí se pueden reciclar*. Colombia.

<http://reciclajesavi.es/tipos-de-residuos-plasticos-que-si-se-pueden-reciclar/>

Revista Semana Sostenible. (2022). Día del reciclador y del reciclaje.

<https://www.semana.com/en-colombia-se-recicla-menos-del-17-de-los-residuos-que-se-generan/59739/>

Semana. (12-12-2018). *Industria plástica registra positivo balance en 2018*.

<https://www.semana.com/balance-de-la-industria-de-plasticos-en-colombia-en-2018/265321/>

Siete días Boyacá. (25 de mayo de 2019). *Una empresa en Boyacá fabrica «madera plástica»: así transforman empaques industriales y otros residuos*.

<https://boyaca7dias.com.co/2019/05/25/una-empresa-en-boyaca-fabrica-madera-plastica-asi-transforman-empaques-industriales-y-otros-residuos/>

Tarazona, P. (2018). *Evaluación de la calidad de aire por emisiones de material particulado (pm10) en la vereda mochuelo-alto Bogotá D.C. Universidad El Bosque*.

[https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/3282/Tarazona\\_Rinc%C3%B3n\\_Paula\\_Andrea\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20material%20particulado%20es%20un,punto%20de%20muestreo%20en%20Caracol%C3%AD.](https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/3282/Tarazona_Rinc%C3%B3n_Paula_Andrea_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=El%20material%20particulado%20es%20un,punto%20de%20muestreo%20en%20Caracol%C3%AD.)

Vargas, L., y Tascón, A (2016). *Comparación estructural, económica y ambiental de bloques de mortero con botellas plásticas (PET) y ladrillo tradicional macizo de barro*. Trabajo de

grado, Universidad Militar Nueva Granada.

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/15344/EdilsonTasconAreisaLeonardoJavierVargas2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>