

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot



Elaboración de probetas a base de RCD de laboratorio de concreto para adoquines peatonales en
el Municipio de Girardot, Cundinamarca

Karina Alejandra Cuenca Leal

Xiomara Alexandra Sepúlveda Céspedes

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

Noviembre de 2021

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

Elaboración de probetas a base de RCD de laboratorio de concreto para adoquines peatonales en
el Municipio de Girardot, Cundinamarca

Karina Alejandra Cuenca Leal

Xiomara Alexandra Sepúlveda Céspedes

Monografía presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Asesora

María Claudia Vera Guarnizo

Ingeniera Civil, Esp. Especialistas en Patología de la Construcción

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Cundinamarca

Sede Girardot (Cundinamarca)

Programa Ingeniería Civil

Noviembre de 2021

Dedicatoria

Esta monografía la quiero dedicar principalmente a Dios todo poderoso por no desampararme en ningún momento, por concederme el deseo de empezar y estar culminando mi carrera profesional. Te agradezco por darme la sabiduría y entendimiento a lo largo de mi vida.

A mi madre Carmen Cuenca, por darme su apoyo incondicional, por ser una madre ejemplar y enseñarme e inculcarme buenos valores.

A mis hijos Isabella y Aarón, por ser mi principal motor, para luchar por mis sueños y jamás rendirme.

A mi esposo Rubén Ortega por ser mi compañero y guía dentro de mi proyecto, por darme fuerzas en los momentos de decadencia y cansancio.

A mi compañera Xiomara Sepúlveda, por acompañarme durante toda mi carrera, por estar en las buenas y no tan buenas.

Karina Alejandra Cuenca Leal

En primer lugar, dedico este trabajo a Dios quien nos dio la vida, la salud, la sabiduría y la fortaleza para llegar hasta este lugar.

A mi madre Lorena Céspedes Conde y mi padre José Gerardo Sepúlveda Díaz, por ser nuestro apoyo incondicional durante toda la carrera, porque sin su ayuda tanto económica, moral y sentimental no lo hubiéramos logrado, apoyándome en todos los sentidos, brindándome seguridad y guiándome por el mejor camino para destacarme como persona, quienes con su esfuerzo, dedicación y amor me han brindado las ganas, el empeño para salir adelante y luchar por mis metas.

Xiomara Alexandra Sepúlveda Céspedes

Agradecimientos

Al cuerpo de docentes de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, sede Girardot, que al transcurrir la carrera de ingeniería civil nos brindaron todos sus conocimientos académicos, experiencias personales y profesionales, principalmente a la docente Ing. María Claudia vera, quien siempre estuvo pendiente de nosotras como de nuestro proyecto, dándonos ideas y guiándonos como profesional para que nuestros conocimientos se reflejaran en este. Por ser tan buena docente y persona.

Karina Alejandra Cuenca Leal

Agradezco a Dios, nuestro creador por darme sabiduría, fortaleza y vida para desarrollar esta investigación.

Nuestros más sinceros agradecimientos a la docente Esp. María Claudia Vera Guarnizo, por su acompañamiento, por guiarnos en este proceso e incentivar en nosotras habilidades investigativas, para ser capaces de dar soluciones a diferentes problemas de investigación de materiales reciclables que se nos presentaron durante nuestro proceso de grado, guiándonos, corrigiéndonos y brindándonos su apoyo para culminar nuestro trabajo investigativo.

Xiomara Alexandra Sepúlveda Céspedes

Contenido

Lista de Tablas	7
Lista de Figuras.....	8
Resumen.....	9
Abstract.....	10
Introducción	11
1. Planteamiento del Problema	13
1.1. Descripción del Problema	13
1.2. Pregunta de Investigación	14
2. Antecedentes	15
2.1. Antecedentes Internacionales.....	15
2.2. Antecedentes Nacionales.....	17
2.3. Antecedentes Regionales.....	19
3. Justificación	21
4. Objetivos	22
4.1. Objetivo General	22
4.2. Objetivos Específicos.....	22
5. Marco Referencial.....	23
5.1. Marco Contextual.....	23
5.2. Marco Teórico	24
5.2.1. <i>Residuos de Construcción y Demolición – RCD</i>	24
5.2.2. <i>Adoquines de Concreto</i>	26
5.2.3. <i>Caracterización de los Adoquines de Concreto</i>	26
5.2.4. <i>Requerimientos para Adoquines de Concreto</i>	27
5.2.5. <i>Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto</i>	28
5.3. Marco Conceptual	29
5.4. Estado del Arte	30
5.5. Marco Legal	36
6. Metodología	39
6.1. Alcance de la investigación.....	39

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

6.2. Enfoque metodológico	39
6.3. Fuentes y técnicas para recolección de información	40
6.4. Recolección y Procesamiento de las Muestras de Cilindros de Concreto.....	40
6.4.1. <i>Proceso de Trituración de las Muestras de Cilindros de Concreto</i>	41
6.4.2. <i>Proceso de Tamizaje de las Muestras de Cilindros de Concreto</i>	42
6.4.3. <i>Elaboración de la Mezcla con las Muestras de Cilindros de Concreto</i>	42
6.4.4. <i>Ensayo de Asentamiento o Slump</i>	43
6.6. Elaboración de Probetas con las Muestras de Cilindros de Concreto	44
6.6.1 <i>Curado de los testigos con las Muestras de Cilindros de Concreto</i>	45
6.6.2. <i>Ensayo de Resistencia a la Compresión</i>	46
7. Resultados	47
8. Análisis y Discusión de Resultados	53
9. Conclusiones	55
10. Recomendaciones	56
11. Referencias.....	57

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Dosificación del concreto con las muestras de cilindros de concreto</i>	47
Tabla 2. <i>Resultados resistencia a la compresión a los 7 días</i>	48
Tabla 3. <i>Resultados resistencia a la compresión a los 14 días de fallado</i>	49
Tabla 4. <i>Resultados resistencia a la compresión a los 28 días de fallado</i>	50
Tabla 5. <i>Resultados ensayo de resistencia a la compresión cilindros de concreto</i>	51

Lista de Figuras

Figura 1. <i>División por comunas del municipio de Girardot-Cundinamarca</i>	23
Figura 2. <i>Proceso de trituración de las muestras de cilindros de concreto</i>	41
Figura 3. <i>Proceso de tamizaje de las muestras de cilindros de concreto</i>	42
Figura 4. <i>Lavado del agregado (RCD)</i>	43
Figura 5. <i>Elaboración de la mezcla con las muestras de cilindros de concreto</i>	43
Figura 6. <i>Ensayo de Asentamiento o Slump</i>	44
Figura 7. <i>Elaboración de Probetas con RCD</i>	44
Figura 8. <i>Probetas con RCD – concreto endurecido</i>	45
Figura 9. <i>Curado de los testigos</i>	45
Figura 10. <i>Esquemas de patrones de falla típicos</i>	46
Figura 11. <i>Resultados resistencia a la compresión de las probetas con RCD</i>	52
Figura 12. <i>Resistencia a la compresión; Tipo de falla respecto a la edad de fallo</i>	52

Resumen

La presente investigación precisa elaborar probetas de concreto utilizando residuos de construcción y demolición – RCD - muestras de cilindros de concreto tomados en obra y fallados en laboratorios para su aprovechamiento en la fabricación de adoquines de uso peatonal en el municipio de Girardot, este proyecto emerge en el marco del semillero de investigación denominado *Semillero de Investigación de Materiales Sustentables en la Construcción - SIMATSCON* de la Corporación Universitaria Minuto de Dios, sede Cundinamarca, Centro Regional Girardot, enfocado en la investigación de materiales reciclables hacia la conservación del medioambiente. Para lograr los objetivos planteados se emplea una metodología de tipo descriptiva, con un enfoque mixto; cualitativo y cuantitativo, para la intervención del proyecto se establecieron 3 fases para el desarrollo de los procesos y procedimientos en la elaboración de tres (3) probetas con los residuos de construcción y demolición – RCD (muestras de cilindros de concreto). Igualmente, se determinó el asentamiento del concreto con el ensayo de slump, y se realizó la prueba de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas. Conforme a los resultados, se resalta que se puede utilizar las muestras de cilindros de concreto recolectadas en laboratorios de concreto, para la fabricación de adoquines de uso peatonal e incentivar el aprovechamiento de estos residuos de construcción.

Palabras clave: Adoquines, concreto, probeta, residuos de construcción y demolición – RCD.

Abstract

The present investigation requires the elaboration of concrete specimens using construction and demolition residues - RCD - samples of concrete cylinders taken on site and failed in laboratories for their use in the manufacture of paving stones for pedestrian use in the municipality of Girardot, this project emerges in the framework of the research seedbed called Sustainable Materials in Construction Research Seedbed - SIMATSCON of the Minuto de Dios University Corporation, Cundinamarca headquarters, Girardot Regional Center, focused on the research of recyclable materials towards the conservation of the environment. To achieve the proposed objectives, a descriptive methodology is used, with a mixed approach; Qualitative and quantitative, for the intervention of the project, 3 phases were established for the development of processes and procedures in the elaboration of three (3) test tubes with construction and demolition waste - RCD (concrete cylinder samples). Likewise, the concrete slump was determined with the slump test, and the compressive strength test of the cylindrical specimens was carried out. According to the results, it should be noted that the samples of concrete cylinders collected from the laboratory can be used for the manufacture of paving stones for pedestrian use and encourage the use of these construction waste.

Keywords: Paving stones, concrete, specimen, construction and demolition waste - RCD.

Introducción

Con el fin de contribuir con la protección al medioambiente dentro del ámbito de la construcción debido al incremento de las actividades las cuales generan sobrantes de remodelación y demolición que provocan afectaciones al ambiente, en muchos países se han realizado investigaciones sobre los residuos de construcción y demolición - RCD con la finalidad de establecer las características físicas y mecánicas de estos materiales para que puedan ser reutilizados en distintas obras civiles. Así, como lo afirman Bolívar y Coronado (2018) en su investigación *Determinación de los parámetros de resistencia de RCD para el aprovechamiento en obras civiles* “el crecimiento de la industria y, la necesidad de gestionar adecuadamente los residuos sólidos, han generado la búsqueda de soluciones o alternativas que satisfagan la demanda de agregados y al mismo tiempo disminuyan el volumen de residuos sólidos generados” (p. 19).

Del mismo modo, Esteban (2018) plantea el aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición – RCD, determinando el porcentaje ideal de agregado RCD, para elaborar adoquines con propiedades físicas mecánicas similares a los convencionales, como una de las alternativas de solución a la problemática del medioambiente. Asimismo, Montiel (2017) realiza un estudio teórico y experimental en el que se muestra si es o no factible el uso de agregados reciclados producidos en planta para la fabricación de adoquines, afirmando:

Los agregados con triturados de concreto viejo, son muy peculiares, requieren de un mayor cuidado al momento de realizar mezclas, la absorción que presentan, influye en el comportamiento de la mezcla, lo mismo sucede con el alto contenido de material fino que estos poseen. Los resultados obtenidos resultan técnicamente factibles para la fabricación de adoquines, y no solo de estos elementos, sino también de una amplia gama

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

de productos en los cuales no se requiera de una alta resistencia o de un alto desempeño, disminuyendo la explotación de agregados naturales, por tanto, se prolonga la vida útil de los bancos de material (p. 85).

En ese contexto, para efectos de esta investigación nos centramos en el aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) provenientes de las muestras de cilindros de concreto tomados en obra y fallados en laboratorios, porque como ingenieros civiles en formación es fundamental encontrar alternativas a esta problemática ambiental. Por lo tanto, el objetivo principal de este trabajo es la elaboración de probetas a base de residuos de construcción y demolición - RCD de laboratorio de concreto para adoquines peatonales en el Municipio de Girardot, permitiendo recolectar información de aportes teóricos para la construcción de conceptos que aporten al estudio.

A su vez, para alcanzar los objetivos de la investigación se contextualiza desde un marco de referencial; marco contextual, un marco teórico en el que se recolecta información de aportes teóricos, seguidamente un estado del arte aplicado con diferentes tipos de textos como referentes a la investigación, y finalmente un marco legal.

Por último, es fundamental resaltar que de acuerdo con los ensayos y las resistencias a la compresión presentadas de los cilindros (probetas), dan como resultado que es viable el aprovechamiento de los residuos de construcción (muestras de cilindro de concreto) para ser utilizados en la fabricación de adoquines de uso peatonal en el municipio de Girardot.

1. Planteamiento del Problema

1.1. Descripción del Problema

En la actualidad en el país se viene creando un movimiento que invita a tomar conciencia del cuidado que se debe tener con el medioambiente, años atrás los recursos naturales se consideraban infinitos y se hacía uso indiscriminado de los mismos. Pero, se viene experimentado la notable reducción de los recursos naturales, de allí nace la importancia de reivindicarse con el medioambiente; dando paso a la cultura de las tres R (Reducir, Reciclar y Reutilizar) desde entonces los entes públicos deben velar por el cuidado del medioambiente, creando leyes que buscan tener control del uso de estas riquezas.

En Colombia, de acuerdo con la normatividad vigente, es obligación de los municipios y distritos ajustar el Programa de Gestión de RCD, promover campañas de educación, cultura y sensibilización sobre la Gestión Integral de RCD, identificar las áreas donde se podrán ubicar las plantas de aprovechamiento, puntos limpios y sitios de disposición final de RCD. Además, los municipios y distritos podrán promover en las licitaciones de obras públicas, incentivos para el uso de material reciclado proveniente de RCD (Resolución 472, 2017).

Teniendo en cuenta lo estipulado, se determina que el municipio de Girardot no cuenta con un punto de disposición final de RCD, según lo publica el periódico Plus Publicación (2021) pese a que en el año 2017 la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), otorgo un permiso al Municipio de Girardot para poner en funcionamiento una escombrera en un área de 1.8 hectáreas y con una capacidad de 718 877 m³ en la vereda Potrerillo, por consiguiente, al no estar operación genera una gran problemática porque esta es la única escombrera que está habilitada en todo el Alto Magdalena. Debido a estos los laboratorios de concreto, ni las

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot constructoras, ni quien requiera deshacerse de materiales de residuos de la construcción y demolición como restos de hormigón, agregados sueltos, tejas de barro, ladrillo, mármol, cerámica, baldosa, cuentan con un sitio de disposición final para estos residuos y, por tanto, las alternativas que encuentran son desplazarse hasta el municipio de Melgar, lugar más cercano que posee una escombrera autorizada, lo que supone un alto costo, y la otra son disponer de estos residuos en sitios no aptos, y en cualquier parte de la ciudad; lotes abandonados, canales, carreteras, parques, ríos y zonas verdes. Como se evidencia en sectores como la avenida Nariño, la vía el Arbolito (vereda Aguablanca), barrio Portachuelo, vereda Barzalosa, Esperanza Norte, Solaris, y otros sectores alejados del centro del municipio, produciendo una contaminación masiva del medioambiente y daño al paisajismo del Municipio.

También, se pudo establecer que en el Plan de Desarrollo 2020 de la administración municipal de Girardot, no dispone de ninguna estrategia que dé solución a esta gran problemática que se está generando en la ciudad de las acacias. Por ende, esta investigación busca elaborar probetas de concreto utilizando muestras de cilindros de concreto tomados en obra y fallados en laboratorios para su aprovechamiento en la fabricación de adoquines de uso peatonal en el municipio de Girardot. El aspecto relacionado anteriormente, permite plantear la siguiente pregunta de investigación.

1.2. Pregunta de Investigación

¿Cuál es la viabilidad del aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) provenientes de las muestras de cilindros de concreto tomados en obra y fallados en laboratorios, para la fabricación de adoquines de uso peatonal en el municipio de Girardot?

2. Antecedentes

A continuación, se presentan diferentes investigaciones desde el campo internacional, nacional y regional relacionadas con el problema de investigación; la viabilidad del aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) provenientes de las muestras de cilindros de concreto tomados en obra y fallados en laboratorios, para la fabricación de adoquines de uso peatonal. Actualmente, el crecimiento de la población, el desarrollo económico y político en el mundo ha implicado que existan varios problemas ambientales, porque el sector de la construcción ha aumentado sus obras de infraestructura para cumplir las necesidades poblacionales y de desarrollo, lo que ha generado un aumento en la demanda de materiales de construcción, que en su mayoría son recursos no renovables. Lo que conlleva, al aumento en la explotación de materiales no renovables, de desechos de construcción y la gran cantidad de energía usada en los procesos de fabricación y extracción.

2.1. Antecedentes Internacionales

En el ámbito internacional las investigaciones y aplicaciones que se han dado al uso de los residuos de construcción y demolición (RCD), en términos generales son muy pocas, pese al impacto ambiental que se genera en la explotación excesiva de materiales no renovables y los desechos de construcción, sin embargo, en algunos países como Holanda o Japón ha ido en aumento desde hace varios años, según lo menciona Arriaga (citado por Castellanos, Rivera y Roa, 2017) de hecho existen algunas normatividades técnicas:

RILEM, especificaciones para agregados reciclados y concretos con agregado reciclado: propuesta norma japonesa para agregados reciclados, Especificaciones de los agregados reciclados para concreto en Bélgica, Guía australiana para la utilización de agregado reciclado (RCA) en concreto, Norma

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

Alemana DIN 4226-100, Norma Ingles BS 8600:02 “Specification for constituent Materials and Concrete” y Norma Holandesa NEN 5905:97 (p. 35).

De acuerdo con algunos estudios el país de Guatemala en los últimos años ha presentado problemas ambientales por causa de los desechos de construcción y laboratorios de fallo de cilindros, para dar solución a esta problemática se han creado normas y regulaciones para moderar el efecto que causa ambientalmente el concreto, asimismo, se caracterizan los residuos sólidos en una de las plantas productoras de concreto premezclado. Según la investigación de la Universidad de San Carlos de Guatemala *Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características físicas y propiedades mecánicas*, verificaron el desempeño del concreto elaborado con agregado proveniente de cilindros de hormigón. Los cilindros fueron triturados hasta convertirlos en agregado grueso, y se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas de un agregado natural fino y grueso, conforme las Normas ASTM, y con los datos obtenidos, se determinó que los agregados de estos bancos cumplen con la mayoría de las especificaciones (Marroquín, 2012).

Por otra parte, según un trabajo realizado en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo del Perú denominado *Modelo para la gestión de residuos sólidos generados en el laboratorio de materiales-FICSA-UNPRG*. Caracterizaron los residuos sólidos generados en el ensayo de resistencia a la compresión de probetas de concreto en el laboratorio de materiales de la FICSA – UNPRG, dando a conocer que las regulaciones en cuanto a los RCD en el Perú son recientes, así como los mecanismos para la gestión de estos. En cambio, se generan grandes cantidades de estos residuos diariamente. Por anterior, consideran de gran importancia estudiar la dinámica de la generación de los RCD, además, en Perú se han establecido normas y leyes promoviendo una efectiva gestión ambiental y el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos – Planares

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot 2016-2024 y algunas Normas Técnicas como la NTP 400.050:2017 Manejo de Residuos de Construcción. Manejo de Residuos de la Actividad de la Construcción y Demolición (Capuñay, 2019).

2.2. Antecedentes Nacionales

En Colombia a pesar de que existe diversas iniciativas, vistas desde planes distritales y resoluciones, aún no existe una norma específica sobre las características técnicas que debe tener un producto de concreto reciclado, por lo que la mayoría hace referencia a las especificaciones del producto con material virgen, como es el Reglamento Técnico del IDU- ET- 2005, cuyo objetivo fue adelantar las especificaciones técnicas relacionadas con los materiales de construcción en la dinámica de la ingeniería vial. Entrando no solo las características técnicas que deben tener los materiales de construcción vial en Colombia, también las especificaciones técnicas que deberían tener estos agregados de concreto hidráulico para las vías.

De acuerdo con lo anterior existen investigaciones recientes como la de Hernández y Varela (2020) *Propuesta para la reutilización de residuos y escombros provenientes de los laboratorios de concreto en Villavicencio*. Con el fin de mitigar el daño ambiental causados en el entorno y reducción de costos, fabricando nueve cilindros por cada tipo de concreto, uno convencional, el otro con 50% de residuos de concreto y 1 % de fibras de acero y el ultimo del 100% de residuos de concreto y 1% fibras de acero para realizar los respectivos ensayos de asentamiento, resistencia a la compresión y módulos de elasticidad. Con los resultados obtenidos establecieron que los escombros o residuos de concreto y las fibras de acero garantizaron mayor resistencia en el concreto con 50% de escombros y 1% de fibras de acero siendo este con mayor resistencia a los 28 días de edad, mientras que el concreto con 100% de escombros y 1% de fibras de acero obtuvo una menor resistencia, por lo cual no es confiable su uso en estructuras de

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot concreto que exija alta resistencia, y se requiere implementación en productos que no requieran gran resistencia.

Otro estudio reciente en el país es el de Chía, Useche y Huérfano (2019) denominada *Alternativas para el manejo y reutilización de residuos sólidos inorgánicos del laboratorio de concretos (flexión y compresión) de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio*, donde realzan el impacto ambiental negativo y los conflictos ambientales que podría generar el mal uso o disposición final de los residuos sólidos inorgánicos generados por la práctica de laboratorios de concreto.

La disposición de escombros en el área metropolitana y sus municipios cercanos se ha convertido en una problemática de orden ambiental y social, debido a la falta de control por las autoridades competentes y a la poca existencia de escombreras legalmente establecidas. Por lo tanto, mediante la investigación muestran alternativas para el manejo y la reutilización de estos residuos basados en estadísticas, generando procesos de caracterización y proponiendo alternativas como la implementación de tecnologías para la transformación del material, promoviendo la optimización del reciclaje del concreto y creando estrategias para aportar al desarrollo sostenible.

También se han realizado estudios de *Evaluación de las propiedades mecánicas de concreto fabricado con agregados reciclados provenientes de adoquines*, en el cual mencionan que la alta demanda de concreto, de los recursos naturales para su producción y la generación de residuos de construcción y demolición motiva el desarrollo de estudios en los cuales se aprovechen los residuos, por lo tanto, evaluaron el desempeño mecánico de adoquines de concreto elaborados con agregados reciclados provenientes de adoquines desmontados, presentaron resultados satisfactorios en términos de resistencia a la flexión cuando fueron

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot evaluadas como nuevos adoquines, además de presentar un mejor comportamiento al desgaste. La correlación de los ensayos estandarizados de desgaste existentes con aplicaciones reales aún demanda mejores aproximaciones que abran la posibilidad de la utilización de agregados reciclados sin afectar la seguridad de las obras (Bravo y Bravo, 2018).

Por último, hace unos años estudiantes de la Universidad La Gran Colombia realizaron una investigación basada en lineamientos ambientalmente sustentables de un adoquín hecho con escombros de ladrillo y hormigón evitando de este modo gastos en cuanto a transporte y tratamiento de tales residuos de construcción denominado *Fabricación de adoquín a partir de un sistema de aprovechamiento de escombros en obra*, buscando que este elemento no estructural cumpliera con las características físicas de resistencia exigida por la NTC 2017 (Norma Técnica Colombiana), para ser utilizados en pavimentos peatonales, zonas comunes como plazoletas y franjas divisorias entre espacios. Donde obtuvieron óptimos resultados en las pruebas de flexo tracción y compresión (Martínez y Poveda, 2015).

2.3. Antecedentes Regionales

En el Municipio de Girardot autorizaron el lote denominado «La Escombrera», ubicado en la vereda Potrerillo, al sur de Girardot, con un área aproximada de 1.8 hectáreas, y una capacidad de acumulación aproximada de 718 877.50 m³, como sitio de disposición final de escombros, concretos y agregados sueltos de construcción, capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación, ladrillo, acero, concreto y similares, mediante la Resolución CAR 1296 de 23/05/2017 por parte de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), sin embargo, hasta la fecha aún no se encuentra en operación (Plus Publicación, 2021).

Según el informe *Gestión Integral de los Residuos Sólidos* de la Contraloría de Cundinamarca (2019), en Cundinamarca el 50% de los municipios han incorporado en los

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

PGIRS el manejo de los RCD, y tan solo 3 cuentan con escombreras. Girardot no cuenta con manejo de RCD en el PGIRS. “Es obligación de las administraciones municipales definir estos lugares, los cuales se deben seleccionar técnicamente, minimizando y controlando los impactos ambientales en el manejo de los RCD, utilizando principios de ingeniería, para la confinación y aislamiento de dichos residuos” (p.79).

Por otra parte, por medio de la investigación *Propuesta para la reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD) en construcción de vías de tráfico liviano*. Enfatizaron el estudio en el concreto que resulta de la construcción, demolición, y mejoramiento de obras y edificaciones para la construcción de placas huellas, dando como resultado la construcción de estas en la vía de la zona rural de la vereda San Lorenzo del Municipio, generando reutilización de estos residuos (Álvarez, Castro y Conde, 2019).

Finalmente, se resalta el estudio realizado en el Municipio de Ricaurte en el cual analizan las propiedades de residuos de construcción y demolición (RCD) como base granular en la construcción de pavimentos, como solución a la problemática ambiental y social, producida por el crecimiento urbano en los últimos años y por el manejo inadecuado de estos residuos. obteniendo como resultado que la muestra de RCD cumple con ciertas características, pero no es viable para ser usada como una base granular en la construcción de pavimentos debido a que no cumple con todas las especificaciones requeridas por el Instituto Nacional de Vías (Fonseca y Sánchez, 2019).

3. Justificación

En Colombia, la construcción ha generado grandes impactos a nivel ambiental, uno de los retos desde el que hacer y el deber profesional de los ingenieros/as civiles es enfrentar los diversos problemas ambientales que se puedan generar debido a la construcción, uno de estos es la utilización de los residuos de construcción y demolición (RCD). Por lo tanto, esta investigación tiene como referencia los estudios realizados en el contexto social del municipio de Girardot, en cuanto al tratamiento de los RCD de las muestras de cilindros tomados en obra y fallados en los laboratorios y su correcto almacenamiento para la fabricación de adoquines peatonales que ayude a disminuir la contaminación y prevenir el daño causado al medioambiente.

Esta investigación es importante porque toma la realidad social como la herramienta apropiada para recolectar información detallada del territorio en el que se desenvuelven las entidades de obras civiles, con el fin de organizar y dirigir un uso correcto de los residuos RCD y aminorar el daño causado, además, cumplir con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el articulado a este estudio es el objetivo N° 11: lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles, la rápida urbanización está dando como resultado un número creciente de habitantes, infraestructuras y servicios inadecuados y sobrecargados (como la recogida de residuos y los sistemas de agua y saneamiento, carreteras y transporte), lo cual está empeorando la contaminación del aire (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2021).

Así mismo, este trabajo aporta al cuidado del entorno, reconstruyendo poco a poco la flora y fauna del municipio, logrando restablecer el cuidado de los recursos naturales. En el Plan de Desarrollo Municipal de Girardot 2020-2023, plantean el mejoramiento de la movilidad eficiente

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot en la ciudad de Girardot, y para ello es esencial lograr una infraestructura que prevalezca, vaya en pro del desarrollo y la circulación peatonal y otros modos alternativos de transporte.

Por último, esta propuesta aporta al sector de la construcción al reutilizar los residuos de construcción y ofrecer un nuevo producto, transformando la forma del manejo de los residuos RCD y asumiendo un papel formativo que disminuya la contaminación ambiental.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Elaborar probetas de concreto utilizando residuos de construcción y demolición – RCD - muestras de cilindros de concreto tomados en obra y fallados en laboratorios para su aprovechamiento en la fabricación de adoquines de uso peatonal en el municipio de Girardot.

4.2. Objetivos Específicos

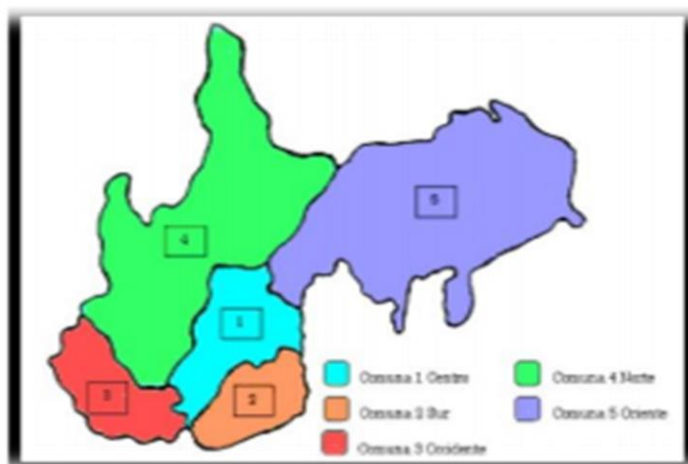
- ✓ Realizar la búsqueda de laboratorios de concreto para la recolección de los residuos de construcción y demolición – RCD (muestras de cilindros de concreto).
- ✓ Analizar la caracterización y dosificación de la mezcla de concreto con las muestras de cilindros de concreto para la elaboración de probetas.
- ✓ Determinar el ensayo de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas con RCD a los 7, 14, y 28 días de curado, para verificar el cumplimiento de las especificaciones.

5. Marco Referencial

5.1. Marco Contextual

El proyecto se realiza en la ciudad de Girardot, Cundinamarca, por ello es trascendental conocer que el municipio, el cual se encuentra dividido en 5 comunas y 2 corregimientos, teniendo la siguiente división: comuna 1; centro compuesta por 13 barrios, comuna 2; sur por 17 barrios, comuna 3; occidente por 42 barrios, comuna 4; norte por 42 barrios, comuna 5; oriente por 34 barrios y los corregimientos corresponden a la zona rural de Barzalosa y San Lorenzo con 12 veredas.

Figura 1. División por comunas del municipio de Girardot-Cundinamarca



Nota: La figura muestra las cinco (5) comunas de Girardot. Tomada de Los barrios de Girardot.

<https://www.girardot.info/datos-curiosos/barrios-de-girardot/>

La investigación se desarrolla en la Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO- Sede Girardot(Cundinamarca) ubicada en la Carrera 10 No. 36-106 Barrio Rosa blanca Girardot, Colombia. En el ámbito del Semillero de investigación titulado *Semillero de*

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

Investigación de Materiales Sustentables en la Construcción – SIMATSCON, a este de grupo de investigación pertenecen los estudiantes del programa de ingeniería civil. Este es un semillero enfocado en la investigación de materiales reciclables, teniendo como misión incentivar la investigación y tener un desarrollo en prácticas que impulsen la Universidad internacionalmente.

5.2. Marco Teórico

Para iniciar con el reconocimiento teórico, se hizo preciso recopilar y clasificar aspectos teóricos como residuos de construcción y demolición – RCD, adoquines de concreto, caracterización de los adoquines de concreto, Requerimientos para adoquines de concreto, resistencia a la compresión, y resistencia a la compresión de cilindros de concreto. Para fundamentar los aportes que soportan el estudio.

5.2.1. Residuos de Construcción y Demolición – RCD

En Colombia existen varias normas vigentes que establecen el uso de los residuos, no solo estableciendo como se deben clasificar, sino también la forma en que debe hacerse su proceso, de manera que se pueda generar un beneficio ambiental para el tratamiento y aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición- RCD, donde se establece la forma que deben llegar y los sitios autorizados de depósito final, de manera que se limite el desecho de materiales de construcción y al mismo tiempo se haga un proceso correcto de reciclaje.

Así como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición – RCD, estableciendo que los RCD son los residuos sólidos provenientes de las actividades de

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot excavación, construcción, demolición, reparaciones o mejoras locativas de obras civiles o de otras actividades conexas, entre los cuales se pueden encontrar los siguientes tipos:

1. Residuos de Construcción y Demolición (RCD), susceptibles de aprovechamiento:

1.1. Productos de excavación y sobrantes de la adecuación de terreno: coberturas vegetales, tierras, limos y materiales pétreos productos de la excavación, entre otros.

1.2. Productos de cimentaciones y pilotajes: arcillas, bentonitas y demás.

1.3. Pétreos: hormigón, arenas, gravas, gravillas, cantos, pétreos asfálticos, trozos de ladrillos y bloques, cerámicas, sobrantes de mezcla de cementos y concretos hidráulicos, entre otros.

1.4. No pétreos: vidrio, metales como acero, hierro, cobre, aluminio, con o sin recubrimientos de zinc o estaño, plásticos tales como PVC, polietileno, policarbonato, acrílico, espumas de poliestireno y de poliuretano, gomas y cauchos, compuestos de madera o cartón-yeso (drywall), entre otros. (Resolución 472, 2017)

Sin embargo, “este tipo de residuos es muy atractivo y poco aprovechado, pudiéndose utilizar mediante técnicas de transformación como materia prima de agregados en la fabricación de nuevos productos” (Guzmán y Soler, citados por Bermúdez, 2021, p. 20).

Otros autores han afirmado lo siguiente:

A pesar de los muchos usos posibles a dar a los RCD se han desaprovechado en altas cantidades creando depósitos cada vez más grandes de manera incontrolada, no solo se está desaprovechando, sino que también afecta de una manera negativa el entorno. El mal uso que se le da a los RCD se desata en la mala separación de los residuos es decir no son clasificados como residuos peligrosos, no adecuados para inmovilizar a la

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

contaminación, ya que el impacto que tienen estos residuos por su composición química afectan el suelo, aguas subterráneas y más allá de esto la salud de las personas (Rodríguez y Becerra, 2016, p. 18).

El crecimiento y desarrollo en las zonas urbanas ha llevado a que el sector de la construcción utilice gran cantidad y variedad de materiales, que después de cumplir su proceso terminaran como residuos de construcción y demolición, afectando directamente la atmosfera, biosfera, hidrosfera y litosfera.

5.2.2. Adoquines de Concreto

El adoquín de concreto según la Norma Técnica Colombiana NTC 2017, es un elemento no aligerado en su masa, de concreto, prefabricado con forma de prisma recto cuyas bases son polígonos tales que en conjunto permiten conformar una superficie que se utiliza como una capa de rodadura en los pavimentos y en algunos casos en los pisos recubiertos con adoquines de concreto (Martínez y Poveda, 2015, p. 11).

Por otra parte, según otros autores los adoquines son elementos prefabricados elaborados a base de concreto (arena, grava, cemento y agua), que es vaciado en moldes para su procesamiento de vibro compresión para la generación de estos adoquines generalmente robustos. Poseen formas y colores que se utilizan como capa de rodadura del pavimento articulado (Fuerte y Romero, 2020, p. 28).

5.2.3. Caracterización de los Adoquines de Concreto

La elaboración de adoquines de concreto se utiliza y se lleva a cabo con cemento, triturado, vibrado y prensado. Estos elementos pueden ser elaborados mecánicamente en instalaciones adecuadas, utilizando matrices que son especies de cuadrículas, llevando en estas el vaciado del material. Esta fabricación de adoquines se puede llevar a cabo ya sea

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

en las plantas o en el mismo lugar de la obra donde se van a implementar, teniendo las precauciones que permita la obtención de un elemento homogéneo, tanto en sus medidas y forma, como en la resistencia. La garantía de las resistencias a compresión, desgaste y absorción de agua, que son los aspectos a los que se va someter el adoquín para garantizar una larga vida útil (Fuerte y Romero, 2020, p. 27).

Asimismo, la elaboración mecánica de los adoquines se puede realizar utilizando máquinas automáticas o por medio artesanal, con la implementación de formaletas o una boquera común. Estos adoquines ubicados correctamente sobre una base adecuada, da como resultado una capa de rodadura óptima para soportar las cargas dinámicas de cualquier vehículo y funciona como filtro, debido a que las aguas escurren sobre este (Fuerte y Romero, 2020, p. 27).

5.2.4. Requerimientos para Adoquines de Concreto

La Norma Técnica Colombiana NTC 2017:2018 - Adoquines de concreto para pavimentos, establece los requisitos para adoquines de concreto y sus piezas complementarias, aptos para construir pavimentos de adoquines de concreto para: Tráfico peatonal, tráfico vehicular sobre llanta neumática, y cargas estáticas distribuidas (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación [ICONTEC], 2017).

Además, en la NTC 2017 se encuentra la clasificación, materiales de fabricación, otros constituyentes, requisitos físicos, dimensiones y tolerancias, absorción de agua, acabado y apariencia, muestreo, ensayo y rechazo de los adoquines de concreto para pavimentos, asimismo, indica que el módulo de rotura (m_r) se ha especificado a los 28 días. Sin embargo, afirma:

Los adoquines se pueden utilizar a edades más tempranas, cuando existe historias sobre la evolución del módulo de rotura (m_r) de adoquines de igual características, y éste indique que los primeros pueden alcanzar dicho módulo y que poseen la resistencia

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

necesaria para ser colocados. Lo anterior, no exime de la verificación directa de la calidad de los adoquines mediante ensayos a los 28 días. Se pueden especificar módulos de rotura (mr) mayores, o capas superficiales de características especiales, cuando lo requieran las condiciones de servicio como con cargas abrasivas, llantas y orugas metálicas, entre otros, en cuyo caso se debe consultar con los proveedores locales para averiguar por la disponibilidad de este tipo de adoquines (ICONTEC, 2017).

5.2.5. Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto

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 kg/cm², MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi) (Osorio, 2020).

La resistencia a la compresión de las mezclas de concreto se puede diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad, que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto [IMCYC] 2006, p. 20).

La resistencia a la compresión se mide tronando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, en tanto la resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en mega pascales (MPa) en unidades SI. Los requerimientos para la resistencia a la compresión pueden variar desde 17 MPa para concreto residencial hasta 28 MPa y más para estructuras comerciales. Para determinadas aplicaciones se especifican resistencias superiores hasta de 170 MPa y más. (IMCYC, 2006, p. 20).

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

5.3. Marco Conceptual

Es fundamental resaltar algunos conceptos planteados durante la investigación, con el fin de facilitar la comprensión al estudio.

Agregados. Son aquellos que provienen de la roca, habitualmente se encuentran en forma de bloques, losetas o fragmentos de distintos tamaños, principalmente en la naturaleza, aunque de igual modo existen otros que son procesados e industrializados por el ser humano (Bermúdez, 2021).

Aprovechamiento de RCD: Es el proceso que comprende la reutilización, tratamiento y reciclaje de los RCD, con el fin de realizar su reincorporación al ciclo económico (Resolución 472, 2017).

Concreto. Se le denomina concreto a la combinación de cemento (ocupa entre el 7% y 15% de la mezcla) cuenta con propiedades de cohesión y adherencia y ofrece resistencia a la compresión a la mezcla; por su parte el agua (ocupa un 14% y 18% de la mezcla) es importante porque permite hidratar el cemento y el tercer elemento son los agregados que son materiales inertes, bien sea naturales o artificiales y se divide en fracciones finas como la arena y gruesas como la grava (Sánchez, citado por Bermúdez, 2021)

Escombros. Restos de derribos y de construcción de edificaciones, constituidos principalmente por tabiquería, cerámica, hormigón, hierros, madera, plásticos y otros, y tierras de excavación en las que se incluyen tierra vegetal y rocas del subsuelo (Sánchez, 2010).

Probetas cilíndricas de concreto. Sirven para medir la resistencia a la compresión de las mezclas de concreto, se pueden elaborar y manipular en campo y en laboratorio (IMCYC, 2006).

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

Reciclaje de RCD. Es el proceso mediante el cual se transforman los RCD en materia prima o insumos para la producción de nuevos materiales de construcción (Resolución 472, 2017).

Residuos de Construcción y Demolición (RCD) (anteriormente conocidos como escombros): Son los residuos sólidos provenientes de las actividades de excavación, construcción, demolición, reparaciones o mejoras locativas de obras civiles o de otras actividades conexas (Resolución 472, 2017).

Reutilización de RCD. Es la prolongación de la vida útil de los RCD recuperados que se utilizan nuevamente, sin que para ello se requiera un proceso de transformación (Resolución 472, 2017).

5.4. Estado del Arte

Con el fin de recopilar diferentes tipos de textos que aporten como referente a la investigación, se realiza un proceso de revisión bibliográfica, iniciando por una búsqueda de la información en trabajos de grado, monografías, investigaciones, artículos de revistas, obtenidas por medio de publicaciones digitales y/o electrónicas como repositorio de Universidades y Google académico. Luego, se realizó un análisis de los documentos seleccionados que tenían relación con el tema planteado.

En primer lugar, se trae a referencia una propuesta de aprovechamiento y reciclaje de los residuos de construcción y demolición RC&D para la preparación de agregados de construcción denominado *Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición (RC&D) Generados en la Universidad del Valle Sede Meléndez para la Fabricación de Adoquines*. Para este estudio se fabricaron 7 adoquines, y luego fueron sometidos a ensayos con el fin de evaluar su viabilidad al

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot compararlos con los adoquines tradicionales, tales como pruebas de absorción de agua, densidad y resistencia a la flexotracción (módulo de rotura), obteniendo respectivamente los siguientes resultados: 3,52 %; 1608,21 kg m⁻³; 3,5 MPa (7 días). Concluyeron que los agregados obtenidos por medio de la trituración de escombros (morteros, ladrillos y concretos) poseen un buen desempeño en adoquines (Ceballos, Gonzáles y Sánchez, 2021).

En segundo lugar, se relaciona la investigación designada *Aplicación de la mejor concentración de los residuos de construcción y demolición (RCD) para la prueba de resistencia en probetas*. Teniendo como objetivo principal determinar la concentración de los R.C.D. sobre la prueba de resistencia de las probetas de concreto. La metodología aplicada es de tipo cuantitativa en conjunto con un diseño estímulo creciente con prueba – post prueba. Los RCD que se utilizaran en la investigación fue recogido en las escombreras, con un total de 8 Kg de residuo. Con los resultados se obtuvo una concentración al 100% de material reciclado, con una dosificación 210 Kg/cm², alcanzando los valores más óptimos en las pruebas de resistencia de acuerdo con la norma American Concrete Institute (ACI) y tienen menor retención de agua a diferencia de los materiales provenientes de la cantera (Alvarado, Otiniano y Ramírez, 2020).

En tercer lugar, se trae a referencia el estudio *Uso de probetas ensayadas del LEMC como agregado grueso reciclado en mezclas nuevas de concreto*. Uno de sus objetivos fue evaluar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido al reemplazar el agregado grueso natural por agregado de concreto reciclado triturado, en dos diseños de mezcla con distinta relación a/c y con diferentes porcentajes de reemplazo del ACR. La metodología en la investigación se realizó mediante un esquema exponiendo el estado del arte del reciclaje del concreto en el mundo, posteriormente, detallan las propiedades de los materiales empleados en el diseño de mezclas, por medio de un programa experimental y diferentes ensayos aplicados a la

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

mezcla de concreto. Los resultados indican que el agregado grueso de concreto reciclado posee propiedades menos favorables en comparación a los agregados naturales, tales como: capacidad de absorción, densidad, resistencia a la abrasión. Sin embargo, mientras los agregados sean de buena calidad (desechos prefabricados de concreto) es posible obtener concretos con propiedades mecánicas similares y, en algunos casos, superiores a las de concretos fabricados con agregados convencionales (San Martín, 2019).

Avanzando en el tema, se cita el estudio *Elaboración de concreto a partir de material de escombros de concreto*. Esta investigación tuvo como objetivo elaborar un concreto con áridos gruesos reciclados (escombro de concreto, RCD) que puede llegar a ser una alternativa ecológica, económica y factible consiguiendo una resistencia de por lo menos 21MPa. La metodología utilizada estuvo basada en el análisis y comparación de concreto con agregados reciclados (escombros de concreto) planteada en tres fases. Donde se obtuvieron resultados que muestran as pruebas de absorción, demuestran que el material es más absorbente que la grava natural, por lo que se tiene que aumentar la cantidad de agua en las mezclas de prueba. de las pruebas de laboratorio y el análisis de la rotura de los especímenes a compresión, se concluye que el material grueso reciclado, en las dosificaciones de 50%, 75% y 100%, no cumple con los parámetros para la elaboración de concreto de resistencia mínima a la compresión de 17.5 MPa., proporcionados por la norma NSR 10 - Título C, y no es viable para la construcción estructural de viviendas (Rojas y Berrio, 2019).

Asimismo, se referencia el artículo designado *La gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) en Villavicencio: estado actual, barreras e instrumentos de gestión*. Este artículo tuvo como objetivo identificar el estado actual, las barreras y los instrumentos que podrían ayudar a mejorar la gestión de los residuos de construcción y demolición en

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

Villavicencio. Para el desarrollo de la investigación, emplearon el método de observación y de análisis, y el tipo de estudio descriptivo. Con el fin de obtener la información, realizaron visitas y encuestas a empresas constructoras. Luego, con la información recopilada realizaron un análisis multiatributo y el software estadístico SSPS. Obteniendo como resultado que las tierras de excavación y el concreto son residuos que generan en las actividades constructivas. La falta de conciencia medioambiental y de control en el cumplimiento de la legislación fueron las principales barreras detectadas. Los incentivos tributarios fueron considerados como instrumentos relevantes para la gestión (Suárez, Betancourt, Molina, Mahecha, 2019).

De igual manera, se encuentra la investigación denominada *Prototipo de concreto con desechos sólidos generados en la Universidad Católica de Colombia*. El cual Realiza un prototipo de concreto con los desechos sólidos que se generan en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia. La metodología utilizada en esta investigación fue de análisis de las implicaciones ambientales, sociales y económicas que conlleva el introducir desechos sólidos en un material de la construcción como el concreto. Los resultados obtenidos mostraron que el concreto con un modificado de 0% arena y 100% desechos posee mejor densidad, sin embargo, no cuenta con una alta resistencia a la compresión, pese a esto es un buen material ya que alcanza a los 21 días de edad más de $f'c$ 21 MPa (Rodríguez, 2017).

Continuando con el tema, se cita el artículo designado, *Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión*. Este artículo muestra un estudio realizado a 75 obras localizadas en la ciudad de Barranquilla, en donde se indagó sobre el conocimiento de la legislación local para el manejo de los RCD. La metodología utilizada en la investigación aplica un instrumento tipo encuesta, luego, se realizaron un diagnóstico de los sitios o botaderos a cielo abierto en donde se están

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot depositando los RCD sin ningún control, identificando un serio problema social. A partir de los resultados obtenidos, identifican que las prácticas de gestión de RCD que actualmente manejan en el sector de la construcción no son las adecuadas, por tanto, plantean una propuesta de mejora para el modelo de gestión (involucrando aprovechamiento y transformación) con el propósito de que sea implementado en la ciudad en los siguientes años (Pacheco, Fuentes, Sánchez y Rondón, 2017).

Además, estudiantes de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, desarrollaron la investigación *Aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (rkd) para ser utilizados como agregados en el diseño de mezclas asfálticas en caliente*. Analizaron el comportamiento de una mezcla asfáltica en caliente de gradación continua, para una capa de rodadura y un nivel de tránsito tres; cuyo componente granulométrico principal son residuos de demolición y trituración de placas de obras existentes (RCD), buscando el aprovechamiento de los residuos de demolición para incorporarlos como agregados en la realización de mezclas asfálticas de pavimentos flexibles. La investigación se centra en la forma cuantitativa, experimental y el diseño metodológico se dividió en cuatro fases, dando como resultado la viabilidad en la elaboración de pavimentos asfáltico (Martínez y Castro, 2017).

Ahora bien, se cita el trabajo *Diagnóstico para la elaboración de concreto a partir de la utilización de concreto reciclado*. Mediante esta investigación se pretende establecer la elaboración de concreto utilizando agregado grueso (grava) y agregado fino (arena). La investigación es de tipo experimental, para la reutilización del concreto endurecido y demolido llevándolos a proceso de trituración y selección en granulares y arena, para convertirlos en materiales aptos sin adición de materiales convencionales para obtener concretos de diferentes resistencias. Una vez determinada las características de los materiales provenientes de concretos

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot reciclados se fundieron cilindros y vigas para practicarle los ensayos de compresión, flexión, módulo de elasticidad y de retracción, con los resultados establecieron que los agregados provenientes de concreto reciclado, tienden a tener mayor capacidad de absorción, menor gravedad específica, presentan mayor desgaste y poseen buena forma en el tamaño de sus partículas (Vera y Cuenca, 2016).

Por último, se referencia el trabajo *Lineamientos Para La Gestión Ambiental De Residuos De Construcción Y Demolición (RCD) Generados En Barranquilla D.E.I.P.* El objetivo principal de este estudio fue evaluar el manejo de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en la ciudad de Barranquilla para proponer lineamientos de gestión ambiental que permitan mejorar las prácticas y el aprovechamiento de los mismos. La metodología de esta investigación es de tipo cuantitativa y cualitativa, y se analizaron las etapas (generación, cargue y transporte, aprovechamiento y disposición final) del manejo de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en la Ciudad de Barranquilla. se puede concluir que el problema más evidente es el hecho de que no se ha establecido una política pública local que oriente lineamientos o estrategias para un adecuado manejo ambiental de dichos residuos, desde su generación, además, evidenciaron una desarticulación entre los actores (públicos y privados) que intervienen en el manejo y gestión de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y No existen herramientas informáticas (sistematización) que permitan establecer una eficiente planeación estratégica (Bermejo, 2016).

5.5. Marco Legal

El marco legal se realiza teniendo en cuenta, aspectos legales que hacen parte del estudio abordado. En este aspecto, se citan la Constitución Política de 1991, leyes, resoluciones y las Normas del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS).

La Constitución Política de Colombia de 1991, en el artículo 79, plantea que todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. A su vez el artículo 80, dice que el Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.

La Ley 2811 de 1974, por la cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente y teniendo en cuenta la Resolución 541 de diciembre 14 de 1994, por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación.

La ley 1259 de 2008, por medio de la cual se instaure en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones. La finalidad de la presente ley es crear e implementar el Comparendo Ambiental como instrumento de cultura ciudadana, sobre el adecuado manejo de residuos sólidos y escombros, previendo la afectación del medio ambiente y la salud pública, mediante sanciones pedagógicas y económicas a todas aquellas personas naturales o jurídicas que infrinjan la normatividad existente en materia de residuos sólidos; así como propiciar el fomento de estímulos a las buenas prácticas ambientales.

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

El Decreto 948 de 1995, por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73,74, 75 y 76 del Decreto Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire. Artículo 22. Materiales de desecho en zonas públicas. Prohíbese a los particulares depositar o almacenar en las vías públicas o en zonas de uso público, materiales de construcción, demolición o desecho, que puedan originar emisiones de partículas al aire.

El Decreto 1713 de 2002, el cual define legalmente que son los escombros y como deben las autoridades municipales abordar su manejo a través de los denominados Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos- PGIRS. Artículo 44. Recolección de escombros. “Es responsabilidad de los productores de escombros su recolección, transporte y disposición en las escombreras autorizadas. El Municipio o Distrito y las personas prestadoras del servicio de 39 aseos son responsables de coordinar estas actividades en el marco de los programas establecidos para el desarrollo del respectivo Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS.

El Decreto 838 de 2005, por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. Artículo 23, acerca de la disposición de escombros, el cual reza que los escombros que no sean objeto de un programa de recuperación y aprovechamiento deberán ser dispuestos adecuadamente en escombreras cuya ubicación haya sido previamente definida por el municipio o distrito.

La Resolución 541 de 1994, por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación, en su Artículo 3, las escombreras que los municipios deben seleccionar los sitios

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot específicos para la disposición final de los materiales y elementos a que se refiere esta resolución, que se denominaran escombreras municipales.

La Resolución 0472 de 2017, por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones, en su objeto establece las disposiciones para la gestión integral de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y aplica a todas las personas naturales y jurídicas que generen, recolecten, transporten, almacenen, aprovechen y dispongan Residuos de Construcción y Demolición (RCD) de las obras civiles o de otras actividades conexas en el territorio nacional.

La Norma del Invías, INVE – 402 – 13 - Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio para ensayos de compresión y flexión. Esta norma tiene por objeto establecer procedimientos para la elaboración y el curado de especímenes de concreto en el laboratorio bajo un estricto control de los materiales y de las condiciones de ensayo, usando concreto que puede ser compactado por apisonado o vibración, como se describe en la presente norma.

INVE – 404 – 13 - Asentamiento del concreto de cemento hidráulico (Slump). Esta norma se refiere a la determinación del asentamiento del concreto de cemento hidráulico, tanto en las obras como en el laboratorio.

INVE – 410 – 13 - Resistencia a la compresión de cilindros de concreto. Este método de ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tanto cilindros moldeados como núcleos extraídos, y está limitado a concretos con una densidad superior a 800 kg/m^3 (50 lb/pe^3).

6. Metodología

6.1. Alcance de la investigación

La metodología, planteada en coherencia con los métodos descritos es la investigación descriptiva, según Bernal (2010) en los estudios descriptivos “se muestran, narran, reseñan o identifican hechos, situaciones, rasgos, características de un objeto de estudio, o se diseñan productos, modelos, prototipos, guías, etcétera, pero no se dan explicaciones o razones de las situaciones, los hechos, los fenómenos” (p. 113).

6.2. Enfoque metodológico

La investigación denominada *Elaboración de probetas a base de RCD de laboratorio de concreto para adoquines peatonales en el Municipio de Girardot*, emplea un método mixto; enfoque cualitativo “recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevos interrogantes en el proceso de interpretación” (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p.7). Enfoque cuantitativo “recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (p. 4). A través de la investigación se busca recopilar no solo textos de documentos o bibliografías acerca del tema planteado, también, se analizaron las muestras de cilindros de concreto, a partir de los procesos y estudios de laboratorio, y determinando la caracterización y dosificación de las muestras de cilindros de concreto, mediante la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas a los 7, 14, y 28 días de curado.

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

6.3. Fuentes y técnicas para recolección de información

Esta investigación trabajará para el proceso de intervención del proyecto comprendido en tres (3) fases para su desarrollo:

✓ **Primera fase:** en esta fase se establecerán aspectos que marcan el desarrollo del estudio, posteriormente, se realizará la búsqueda de laboratorios de fallo de cilindros de concretos para la obtención de los residuos de construcción y demolición – RCD (muestras de cilindros de concreto), y proceder a la recolección para la elaboración de las probetas de concreto.

Segunda fase: en esta fase se procederá al procesamiento de las muestras de cilindros de concreto, para la preparación y elaboración de la mezcla, elaboración de probetas a base de los RCD (muestras de cilindros de concreto), y posteriormente realizar los ensayos de laboratorio de Slump y resistencia de comprensión.

Tercera fase: en esta fase final se desarrollará el proceso de organización de la información recolectada para consolidar los datos y realizar el análisis de los resultados obtenidos, para la redacción del informe de investigación.

6.4. Recolección y Procesamiento de las Muestras de Cilindros de Concreto

La recolección de los residuos de construcción y demolición – RCD (muestras de cilindros de concreto), se obtuvieron del laboratorio de la empresa A&C Soluciones Civiles S.A.S. ubicada en la ciudad de Girardot, Cundinamarca.

Posterior, a la recolección de los residuos de construcción y demolición – RCD, se realizó la verificación del estado de las muestras de los cilindros de concreto, comprobando que no se requiere realizar una separación de los residuos, porque estos se encuentran en condiciones

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot aceptadas y sin contaminación de residuos peligrosos, debido al adecuado manejo y almacenamiento en el laboratorio donde fueron recolectados, permitiendo que estas muestras de cilindros de concreto se han aprovechadas.

6.4.1. Proceso de Trituración de las Muestras de Cilindros de Concreto

En primer lugar, para obtener el agregado grueso se procedió a realizar el procesamiento de trituración del material, para este caso de estudio los residuos de construcción y demolición – RCD las muestras de cilindros de concreto recolectadas, los cuales tenían dimensiones de 30 cm de altura y 15 cm de diámetro. Para la trituración se utilizó una técnica manual con ayuda de una herramienta de mano (mazo), se procedió a triturar los (5) cilindros hasta que estos estuvieran totalmente fraccionados.

Figura 2. Proceso de trituración de las muestras de cilindros de concreto



Nota. La figura muestra el proceso de trituración de los residuos de construcción y demolición – RCD, cilindros recolectados en los laboratorios en Girardot, Cundinamarca.

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

6.4.2. Proceso de Tamizaje de las Muestras de Cilindros de Concreto

Para el tamizaje del agregado grueso obtenido de las muestras de cilindros de concreto recolectados, se utilizaron los siguientes tamices: tamiz de 3/4" y el tamiz N° 10.

Figura 3. Proceso de tamizaje de las muestras de cilindros de concreto



Nota. La figura muestra el tamizaje del agregado grueso obtenido de los residuos de construcción y demolición – RCD, cilindros.

6.4.3. Elaboración de la Mezcla con las Muestras de Cilindros de Concreto

En la elaboración de la mezcla con las muestras de cilindros de concreto, se determinó diseñarla con una resistencia de 3000 PSI, y estableciendo una dosificación de la mezcla de 1, 2, 3; (1) cemento, (2) agregado fino, (3) agregado grueso; 1 Cemento Cemex Uso General; 0,2 Arena Reciclada, 1,8 Arena Común. Agregado Grueso: 2,1 Grava Reciclada de 3/4" y 0,9 Grava de 3/4". Para la elaboración de las tres (3) probetas.

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

Figura 4. *Lavado del agregado (RCD)*



Figura 5. *Elaboración de la mezcla con las muestras de cilindros de concreto*



6.4.4. Ensayo de Asentamiento o Slump

La manejabilidad del concreto se da por un examen visual, debido a que hasta el momento no se conoce ningún ensayo que mida la propiedad de manera directa. Sin embargo, se han desarrollado una serie de ensayos con los cuales se puede determinar las propiedades del concreto en estado plástico (fresco), uno de ellos es el ensayo de asentamiento (Cure, 2019). El ensayo del slump, arroja una medida del asentamiento de 3” pulgadas.

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

Figura 6. *Ensayo de Asentamiento o Slump*



6.6. Elaboración de Probetas con las Muestras de Cilindros de Concreto

Las unidades de estudio fueron probetas (testigos) elaboradas en el laboratorio de la empresa A&C Soluciones Civiles S.A.S. de la Ingeniería María Claudia Vera, después de haber realizado el proceso de elaboración de la mezcla con RCD, y realizado el ensayo de slump, se procede a verter la mezcla en las cuatro (3) probetas con una dimensión de 6". Posteriormente, se realiza el proceso de curado de los testigos.

Figura 7. *Elaboración de Probetas con RCD*



Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

Figura 8. *Probetas con RCD – concreto endurecido*



6.6.1 *Curado de los testigos con las Muestras de Cilindros de Concreto*

Después de la elaboración de las probetas (testigos), se desencofran los tres cilindros y se sumergen en agua para el proceso de curado, con la finalidad que el cemento pueda completar su hidratación y se pueda aplicar el ensayo de resistencia a la compresión.

Figura 9. *Curado de los testigos*

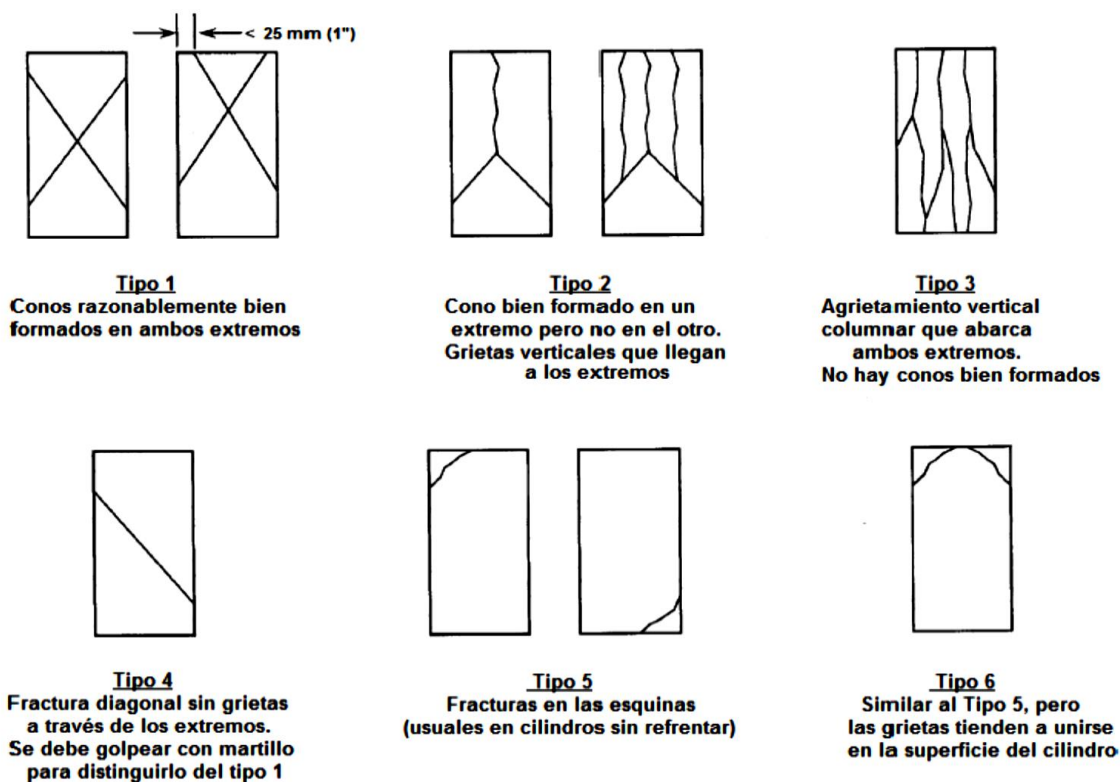


Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

6.6.2. Ensayo de Resistencia a la Compresión

El ensayo de resistencia a la compresión se le aplico a los tres (3) probetas cilíndricas elaboradas con los residuos de construcción y demolición – RCD, teniendo en cuenta la norma del Instituto Nacional de Vías (INVIAS) INVE – 410 – 13 - Resistencia a la compresión de cilindros de concreto.

Figura 10. Esquemas de patrones de falla típicos



Nota. Figura adaptada de la norma resistencia a la compresión de cilindros de concreto- INVE – 410 – 13.

7. Resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación permitieron la elaboración de probetas de concreto utilizando muestras de cilindros de concreto tomados en obra y fallados en laboratorios para su aprovechamiento en la fabricación de adoquines de uso peatonal en el municipio de Girardot, inicialmente, se procedió a la recolección de los residuos de construcción y demolición – RCD (muestras de cilindros de concreto), posteriormente, se realizó la caracterización y dosificación de la mezcla de concreto con las muestras de cilindros de concreto para la elaboración de probetas. En la elaboración de la mezcla con las muestras de cilindros de concreto, se determinó una dosificación de la mezcla de 1, 2, 3; (1) cemento, (2) agregado fino, (3) agregado grueso, como se puede evidenciar en la Tabla N° 1, dosificación del concreto con las muestras de cilindros de concreto.

Tabla 1. *Dosificación del concreto con las muestras de cilindros de concreto*

Dosificación Del Concreto					
Mezcla	(1) Cemento, (2) Agregado Fino, (3) Agregado Grueso				
	1 Cemento Cemex Uso General; 0,2 Arena Reciclada - 1,8 Arena Común; 2,1 Grava Reciclada de 3/4" - 0,9 Grava de 3/4"				
Resistencia	Kg/Cm2	210	210	210	210
Teorica	PSI	3000	3000	3000	3000

Luego, se realiza el ensayo de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas con los RCD a los 7, 14, y 28 días de curado, para verificar el cumplimiento de especificaciones.

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot


Tabla 2. Resultados resistencia a la compresión a los 7 días

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO		
DOSIFICACIÓN	(1) CEMENTO, (2) AGREGADO FINO, (3) AGREGADO GRUESO	
	1 Cemento Cemex Uso General; 0,2 Arena Reciclada - 1,8 Arena Común; 2,1 Grava Reciclada de 3/4" - 0,9 Grava de 3/4"	
RESISTENCIA	Kg/Cm2	210
TEORICA	PSI	3000
EDAD DE FALLO (Dias)		7
FECHA TOMA		14-sep-21
FECHA ROTURA		21-sep-21
DIAMETRO (Cm)		15,25
AREA (Cm2)		182,655
FUERZA (KNw)		111,2
FUERZA (Kgf)		11339,18
RESISTENCIA (Kgf/Cm2)		62,08
RESISTENCIA (PSI)		886,86
PORCENTAJE RESISTENCIA A COMPRESIÓN		29,6%



Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

Tabla 3. Resultados resistencia a la compresión a los 14 días de fallado

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO			
DOSIFICACIÓN		(1) CEMENTO, (2) AGREGADO FINO, (3) AGREGADO GRUESO	
		1 Cemento Cemex Uso General; 0,2 Arena Reciclada - 1,8 Arena Común; 2,1 Grava Reciclada de 3/4" - 0,9 Grava de 3/4"	
RESISTENCIA	Kg/Cm2	210	
TEORICA	PSI	3000	
EDAD DE FALLO (Días)		14	
FECHA TOMA		14-sep-21	
FECHA ROTURA		28-sep-21	
DIAMETRO (Cm)		15,40	
AREA (Cm2)		186,265	
FUERZA (KNw)		117,6	
FUERZA (Kgf)		11991,79	
RESISTENCIA (Kgf/Cm2)		64,38	
RESISTENCIA (PSI)		919,72	
PORCENTAJE RESISTENCIA A COMPRESIÓN		30,7%	




Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

Tabla 4. Resultados resistencia a la compresión a los 28 días de fallado

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO		
DOSIFICACIÓN	(1) CEMENTO, (2) AGREGADO FINO, (3) AGREGADO GRUESO	
	1 Cemento Cemex Uso General; 0,2 Arena Reciclada - 1,8 Arena Común; 2,1 Grava Reciclada de 3/4" - 0,9 Grava de 3/4"	
RESISTENCIA	Kg/Cm2	210
TEORICA	PSI	3000
EDAD DE FALLO (Días)		28
FECHA TOMA		14-sep-21
FECHA ROTURA		12-oct-21
DIAMETRO (Cm)		15,35
AREA (Cm2)		185,058
FUERZA (KNw)		237,5
FUERZA (Kgf)		24218,11
RESISTENCIA (Kgf/Cm2)		130,87
RESISTENCIA (PSI)		1869,54
PORCENTAJE RESISTENCIA A COMPRESIÓN		62,3%

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

Tabla 5. Resultados ensayo de resistencia a la compresión cilindros de concreto

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO				
DOSIFICACIÓN		(1) CEMENTO, (2) AGREGADO FINO, (3) AGREGADO GRUESO		
		1 Cemento Cemex Uso General; 0,2 Arena Reciclada - 1,8 Arena Común; 2,1 Grava Reciclada de 3/4" - 0,9 Grava de 3/4"		
RESISTENCIA TEORICA	Kg/Cm2	210	210	210
	PSI	3000	3000	3000
EDAD DE FALLO		7	14	28
FECHA TOMA		14-sep-21	14-sep-21	14-sep-21
FECHA ROTURA		21-sep-21	28-sep-21	12-oct-21
DIAMETRO (Cm)		15,25	15,40	15,35
AREA (Cm2)		182,655	186,265	185,058
FUERZA (KNw)		111,2	117,6	237,5
FUERZA (Kgf)		11339,18	11991,79	24218,11
RESISTENCIA (Kgf/Cm2)		62,08	64,38	130,87
RESISTENCIA (PSI)		886,86	919,72	1869,54
PORCENTAJE RESISTENCIA A COMPRESIÓN		29,6%	30,7%	62,3%
TIPO DE FALLO (INV E - 410 - 13)		5	5	5
ESQUEMA DE FALLO				

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

Figura 11. Resultados resistencia a la compresión de las probetas con RCD

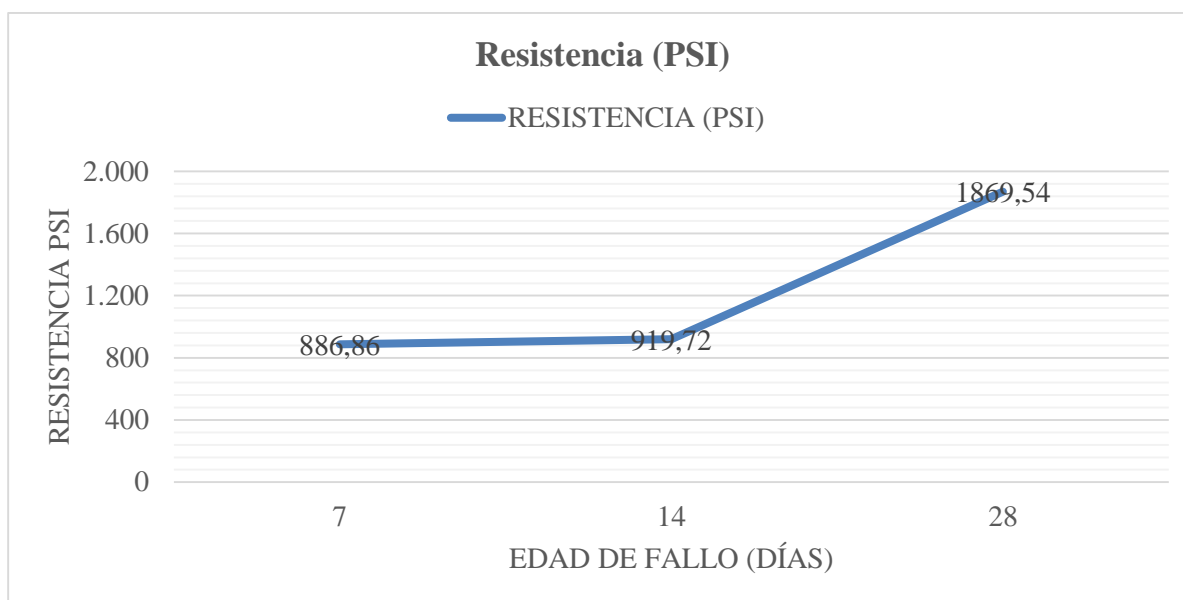
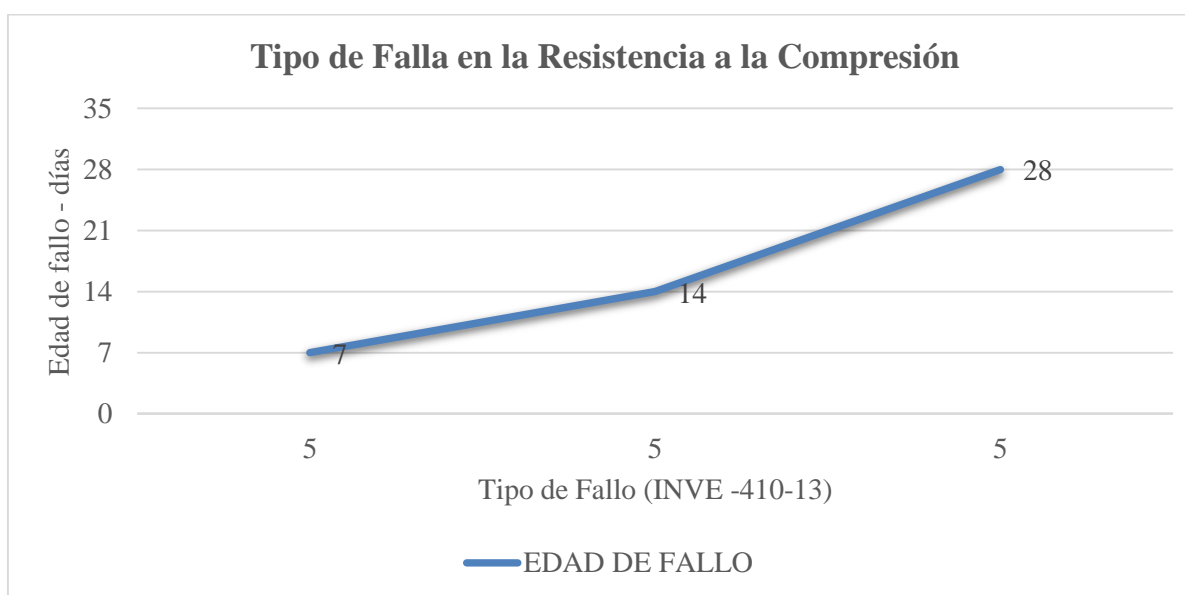


Figura 12. Resistencia a la compresión; Tipo de falla respecto a la edad de fallo



8. Análisis y Discusión de Resultados

Esta investigación tuvo como propósito elaborar probetas de concreto utilizando residuos de construcción y demolición – RCD - muestras de cilindros de concreto tomados en obra y fallados en laboratorios para su aprovechamiento en la fabricación de adoquines de uso peatonal en el municipio de Girardot.

Además, se realizó la búsqueda de laboratorios de concreto para la recolección de las muestras de cilindros de concreto, y posteriormente se analizó la caracterización y dosificación de la mezcla de concreto, para determinar el ensayo de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas con RCD a los 7, 14, y 28 días de curado y verificar el cumplimiento de especificaciones, lo que demuestra los objetivos planteados para la investigación fueron alcanzados.

Los resultados reflejan que se logró la recolección de los RCD y en la verificación del estado de los cilindros de concreto, se corroboró que se encontraban en condiciones aceptadas y sin contaminación de residuos peligrosos, lo que permitió su aprovechamiento, para dosificar la mezcla; 1 Cemento Cemex Uso General; 0,2 Arena Reciclada, 1,8 Arena Común. Agregado Grueso: 2,1 Grava Reciclada de 3/4" y 0,9 Grava de 3/4" (ver Tabla N° 1).

En el ensayo del slump, para determinar el asentamiento del concreto y de acuerdo con la Norma del Inviás INVE – 404 – 13 - Asentamiento del concreto de cemento hidráulico (Slump), cumplió con las estimaciones de precisión al arrojar una medida del asentamiento de 3” pulgadas, lo que da una desviación estándar (1s) de 0.38”.

Por otro lado, en el ensayo de resistencia a la compresión de las tres (3) probetas cilíndricas elaboradas con los residuos de construcción y demolición – RCD, datos registrados en Tabla N° 5, resultados ensayo de resistencia a la compresión cilindros de concreto. La probeta

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

(testigo) que fue fallado a los 7 días se le aplicó una fuerza de 111,2KNw y presentó una resistencia de 886,86 Psi, el testigo fallado a los 14 días se le aplicó una fuerza de 117,6KNw y dio una resistencia de 919,72Psi, el testigo a los 28 días de fallado se le aplicó una fuerza de 237,5KNw arrojando una resistencia de 1869,54Psi. Por tanto, se deduce que a los 28 días de fallado el cilindro presentó mayor resistencia a la compresión.

Asimismo, en cuanto a los porcentajes de resistencia a compresión, los resultados reflejan que a los 7 días de fallado el cilindro presentó el 29,6% de resistencia a la compresión, mientras el cilindro fallado a los 14 días presentó un 30,7%, y el cilindro fallado a los 28 días el 62,3% de resistencia a la compresión, evidenciándose un aumento ascendente en el porcentaje de resistencia con respecto al aumento de los días de fallo de cada probeta.

9. Conclusiones

En cuanto a lo abordado, la información nos da a conocer que el municipio de Girardot no cuenta con un punto de disposición final de RCD, produciendo una contaminación masiva del medioambiente y daño al paisajismo del Municipio. Acorde con la investigación presentada, es posible concluir que se logró la elaboración de probetas de concreto utilizando muestras de cilindros de concreto tomados en obra y fallados en laboratorios, lo cual indica que el objetivo expuesto inicialmente fue cumplido, porque con la recolección de las muestras de cilindros en el laboratorio de la empresa A&C Soluciones Civiles S.A.S., fue posible el aprovechamiento de estos residuos de construcción.

Con el estudio prestando se deduce que, el diseño de la mezcla (1) cemento, (2) agregado fino, (3) agregado grueso; muestras de cilindro de concreto, que tuvo un mayor porcentaje de resistencia a la compresión utilizando los RCD fue el testigo fallado a los 28 días con un porcentaje de 62,3% de resistencia.

Dentro del análisis expuesto, es posible concluir que en el ensayo de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas con los residuos de construcción y demolición – RCD, se intentó llegar al parámetro de 210 Kg/cm², realizado a los 7, 14 y 28 días de curado, de acuerdo con la norma INVE – 410 – 13 (Resistencia a la compresión de cilindros de concreto), se identificó que el testigo fallado a los 28 días fue el que presento una mayor resistencia de 130,87 Kgf/Cm².

Por otra parte, se puede deducir que de acuerdo con la norma del Invías, INVE – 410 – 13. Esquemas de patrones de falla típicos, los tres (3) cilindros (probetas) en estudio presentaron la falla Tipo 5. Fracturas en las esquinas, usuales en cilindros sin refrentar. Para finalizar esta

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

investigación es fundamental resaltar que de acuerdo con los ensayos y las resistencias a la compresión presentadas de los cilindros (probetas), dan como resultado que es viable el aprovechamiento de los residuos de construcción (muestras de cilindro de concreto) para ser utilizados en la fabricación de adoquines de uso peatonal en el municipio de Girardot.

10. Recomendaciones

De acuerdo a los objetivos planteados y los resultados obtenidos, se sugiere continuar con la investigación, para que los laboratorios de concreto y la Administración Municipal puedan desarrollar actividades de aprovechamiento y disposición final, y se puedan seguir realizando estudios para establecer más alternativas de reusó para los residuos de construcción y demolición – RCD y siga siendo factible su reutilización.

Se sugiere, que en próximos estudios se realice variación en las proporciones de la dosificación de la mezcla del concreto para establecer cual puede dar resultados óptimos, además, aumentar el tiempo de curado de los cilindros de concreto (testigos), para determinar si los resultados de prueba de resistencia aumentan en las probetas. Asimismo, se sugiere a futuras investigaciones adicionar aditivos para mejorar la resistencia a la compresión de los cilindros de concreto

Se recomienda a la Universidad y demás instituciones de educación superior, continuar con el fortalecimiento de la cultura investigativa promulgada a los educandos del programa de Ingeniería civil, a través de la participación de semilleros de investigación, posibilitando la vinculación de los procesos desarrollados desde la academia y permitiendo la identificación de problemáticas en el entorno socio ambiental, para ayudar en su transformación.

11. Referencias

- Alvarado Castillo, I. A.; Otiniano Rodríguez, K. M., y Ramírez Pablo, R. I. (2020). *Aplicación de la mejor concentración de los residuos de construcción y demolición (RCD) para la prueba de resistencia en probetas*. [Trabajo de grado, Universidad Cesar Vallejo de Perú]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/61717>
- Álvarez Velandia, J. P.; Castro Segura, L.V. y Conde Sepúlveda, F. Y. (2019). *Propuesta para la reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD) en construcción de vías de tráfico liviano*. [Trabajo de grado, Corporación Universitaria Minuto de Dios]. <https://hdl.handle.net/10656/12077>
- Bermejo Urzola, G. A. (2016). *Lineamientos para la gestión ambiental de residuos de construcción y demolición (RCD) generados en Barranquilla D.E.l.P.* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/20473>
- Bermúdez, R. (2021). *Evaluación de la resistencia a la compresión de un concreto con la sustitución de residuos de construcción y demolición como agregado grueso*. [Trabajo de Pregrado, Universidad de la Costa, CUC]. <https://hdl.handle.net/11323/8174>
- Bernal Torres, C.A. (2010), *Metodología de la investigación. (3a. Ed.)* Pearson Educación de Colombia Ltda.
- Bolívar Rojas, A. C., y Coronado Moreno, D. L. (2018). *Determinación de los parámetros de resistencia de RCD para el aprovechamiento en obras civiles*. [Trabajo de grado, Universidad de Ibagué]. <https://repositorio.unibague.edu.co/jspui/handle/20.500.12313/640>

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

Bravo German, A. M, y Bravo Gómez, I. D. (2018). *Evaluación de las propiedades mecánicas de concreto fabricado con agregados reciclados provenientes de adoquines*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana Cali].

http://vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/handle/11522/11379/Evaluacion_propiedades_mecanicas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Capuñay, Y. C. (2019). *Modelo para la gestión de residuos sólidos generados en el laboratorio de materiales-FICSA-UNPRG*. [Tesis Doctorado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/9318>

Castellanos Giraldo, J. V.; Rivera Martínez, F. D., y Roa Morales, M. A. (2017). *Comparación estructural y estimación de costos de la utilización de concreto con agregados naturales y concreto con residuos de construcción y demolición (R.C.D.) como agregado*. [Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia]. <http://hdl.handle.net/10983/15275>

Ceballos Medina, S.; Gonzáles Rincón, C., y Sánchez, J.D. (2021). Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición (RC&D) Generados en la Universidad del Valle Sede Meléndez para la Fabricación de Adoquines. *Rev. Ion.* 2021;34(1):27-3.
<https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/12204>

Chía Quevedo, J. E.; Useche Rojas, M. T. y Huérfano Carrillo, D. A. (2019). *Alternativas para el manejo y reutilización de residuos sólidos inorgánicos del laboratorio de concretos (flexión y compresión) de la Universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio* [Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia].
<http://hdl.handle.net/20.500.12494/13520>

Concejo Municipal de Girardot (2020). *Plan de desarrollo municipal de Girardot 2020-2023* “Girardot es de todos visión 2040”. <http://www.concejogirardot->

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

cundinamarca.gov.co/noticias/plan-de-desarrollo-municipal-de-girardot-20202023-girardot

Contraloría de Cundinamarca. (2019). *Gestión integral de residuos sólidos del departamento de Cundinamarca*. <https://www.car.gov.co/uploads/files/5e29f9d0e2cda.pdf>

Cure, L. (2019). Ensayo de asentamiento del concreto NTC 396. *360enconcreto*.

<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/ensayo-de-asentamiento-del-concreto>

Esteban Montalvo, K. N. (2018). *Reaprovechamiento de los residuos de construcción y demolición, como agregado reciclado para la elaboración de adoquines, 2018*. [Trabajo de grado, Universidad Cesar Vallejo de Perú].

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/28021E>

Fonseca Tovar, L. A. y Sánchez Lozano, M. A. (2019). *Evaluación del comportamiento de residuos de construcción y demolición como base granular en la construcción de pavimentos*. [Trabajo de grado, Universidad Piloto de Colombia].

<http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/6474>

Fuerte Lozano, R. C. y Romero Rivera, J. A. (2020). *Construcción y análisis de una pista de prueba en pavimento articulado implementando el 'adoquín avanzado' en la región del Alto Magdalena*. [Trabajo de grado, Universidad Piloto de Colombia].

<http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/9449>

Hernández Ramírez, A. F., y Varela Vargas, E. A. (2020). *Propuesta para la reutilización de residuos y escombros provenientes de los laboratorios de concreto en Villavicencio*. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomas, Villavicencio].

<http://hdl.handle.net/11634/30316>

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

Hernández Sampieri, R.; Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, M. P. (2014), *Metodología de la investigación*. (6a. Ed.) McGraw-Hill Interamericana Editores, S.A. de C.V.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2017). *Norma Técnica Colombiana NTC 2017. Adoquines de concreto para pavimentos*. <https://metroblock.com.co/wp-content/uploads/2019/11/ADOQUINES.pdf>

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2006). *El concreto en la obra. Problemas, causas y soluciones*. <http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/PROBLEMAS.pdf>

Marroquín Muñoz, E. I. (2012). *Reciclaje de desechos de concreto y verificación de características físicas y propiedades mecánicas*. [Trabajo de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3425_C.pdf

Martínez, J.A., y Castro Vanegas, R. (2017). *Aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) para ser utilizados como agregados en el diseño de mezclas asfálticas en caliente*. [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. <http://hdl.handle.net/11349/7019>

Martínez Ussa, Y. R., y Poveda, J. E. (2015). *Fabricación de adoquín a partir de un sistema de aprovechamiento de escombros en obra*. [Trabajo de grado, Universidad La Gran Colombia]. <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3481/Prototipo%20de%20fabricaci%C3%B3n%20de%20adoqu%C3%ADn.pdf?sequence=1>

Montiel Miguel, J. L. (2017). *Uso de agregados reciclados para la fabricación de adoquines que se puedan utilizar en la pavimentación de calles, avenidas y pasos peatonales*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/12875>

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

Osorio, J.D. (2020). Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión. *360 en Concreto Argos*. <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion>

Pacheco Bustos, C. A.; Fuentes Pumarejo, L. G.; Sánchez Cotte, É. H. y Rondón Quintana, H. A. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión. *Ingeniería y Desarrollo*, 35 (2), 533-555. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85252030015>

Plus Publicación. (01 de julio de 2021). ¿Cinco años no serán suficientes para que Girardot tenga su propia escombrera? *Plus Publicación*. <https://pluspublicacion.com/medioambiente/cinco-anos-no-seran-suficientes-para-que-girardot-tenga-su-propia-escombrera>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2021). *Objetivos de desarrollo sostenible*. <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html>

Resolución 472 de 2017. [Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible]. Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones. 28 de febrero de 2017. D. O. No. 50166.

Rodríguez Reyes, P. C. (2017). *Prototipo de concreto con desechos sólidos generados en la Universidad Católica de Colombia*. [Trabajo de grado, Universidad Nacional de San Martín- Tarapoto]. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/16345/1/Tesis%20de%20grado.pdf>

Rodríguez Tobón, A.C. y Becerra González, S. (2016). *Fabricación de un prefabricado para el revestimiento de edificaciones a partir del uso de residuos de construcción y demolición*.

Elaboración de probetas a base de RCD para adoquines peatonales en Girardot

[Trabajo de grado, Universidad de San Buenaventura Medellín].

<http://hdl.handle.net/10819/3251>

Rojas Ramírez, J. L, y Berrio Mutiz, J. E. (2019). *Elaboración de concreto a partir de material de escombros de concreto*. [Trabajo de grado, Universidad del Quindío]

<https://bdigital.uniquindio.edu.co/bitstream/handle/001/4934/CONCRETO%20RECICLADO-RCD.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sánchez Piña, G. P. (2010) *Aplicación de un sistema de manejo de residuos sólidos en la Institución Educativa Jesús Alberto Miranda Calle con Áreas Técnicas, Moyobamba 2010* [Trabajo de grado, Universidad Nacional de San Martín- Tarapoto].

<http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/376>

San Martín Alberca, R. A. (2019). *Uso de probetas ensayadas del LEMC como agregado grueso reciclado en mezclas nuevas de concreto*. [Trabajo de grado, Universidad de Piura, Perú].

<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4085>

Suárez Silgado, S.; Betancourt-Quiroga, C.; Molina-Benavides, J.; Mahecha-Vanegas, L. (2019).

La gestión de los residuos de construcción y demolición en Villavicencio: estado actual, barreras e instrumentos de gestión. *En: Entramado (15, 1)*, p. 224-244,

<http://dx.doi.org/10.18041/1900-3803/entramado.1.5408>

Vera Mosos, J. F., y Cuenca Prada, C. A. (2016). *Diagnóstico para la elaboración de concreto a partir de la utilización de concreto reciclado*. [Trabajo de grado, Universidad Piloto de

Colombia]. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/5799>