



**CARACTERIZACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCIÓN,
ABSORCIÓN DE AGUA Y DENSIDAD DE ADOQUINES DE CONCRETO
CON ADICIÓN DE LADRILLO DE ARCILLA RECICLADO Y SU
POTENCIAL COMERCIALIZACIÓN EN LA CIUDAD DE SANTA
MARTA, COLOMBIA.**

BLADIMIR ENRIQUE VILLA TORRES

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Civil

Santa Marta D.T.C.H, Colombia

2020



Caracterización de la resistencia a la flexotracción, absorción de agua y densidad de adoquines de concreto con adición de ladrillo de arcilla reciclado y su potencial comercialización en la ciudad de Santa Marta, Colombia.

BLADIMIR ENRIQUE VILLA TORRES

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de

Ingeniero Civil

Director (a):

Albeiro Díaz Valera Título (Esp. Gerencia de proyectos de Ingeniería, Esp. Análisis y Gestión Ambiental MSc. Ingeniería Ambiental)

Línea de Investigación:

Grupo de Investigación de Ingeniería Civil

UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Civil

Santa Marta D.T.C.H, Colombia

2020

Nota de aceptación

Aprobado por el Consejo de Programa en cumplimiento de los requisitos exigidos por el Acuerdo Superior N°11 DE 2017 y Acuerdo Académico N° 41 de 2017 para optar al título de Ingeniero Civil de la Universidad del Magdalena.

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Santa Marta, ____ de ____ del ____

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no hubiese sido posible ser realizado sin la ayuda de muchas personas a las cuales les brindo este pequeño homenaje:

Al Ingeniero Mario Pinzón Ávila por abrir las puertas de su empresa, por su generosidad al donarnos los materiales para realizar este proyecto, por ser un excelente ser humano y profesional.

A todo el equipo de trabajo de la Comercializadora La Samaria S.A.S. por brindar su ayuda para esta investigación y en especial al Ingeniero de planta Cristian Campo quien aportó su experiencia, tiempo y conocimiento para que todo se diera de la mejor manera.

Al tutor de la investigación el Ingeniero Albeiro Díaz Valera por brindarme la oportunidad y confianza para realizar esta investigación, así como su apoyo en cualquier inquietud y consejos que necesitara.

A los ingenieros Edgardo Díaz, Jaanay Yauro y Kelly Miranda por brindarme su apoyo en el Laboratorio Integrado de Ingeniería Civil.

A todos mis amigos que estuvieron siempre atentos a como avanzaba en la investigación y el apoyo que me brindaron, destacando a Francisco Troncoso Meléndez por brindarme su ayuda.

A mis padres Bladimir Villa Britto y Vianeth Torres Montero, por su apoyo incondicional en cualquier cosa que necesitara y nunca darse por vencidos.

A la ingeniera Madeleine Cantillo por siempre brindarme su ayuda y apoyo.

RESUMEN

Los residuos de construcción y demolición (RCD) hoy en día presentan una problemática ambiental grande ya que los vertederos de basuras cada vez se están agotando, su espacio aprovechable, causando que indiscriminadamente las personas boten estos residuos en lugares públicos, por consiguiente, se genera contaminación visual, malos olores y proliferación de plagas y enfermedades.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar si es viable la reutilización de ladrillo de arcilla proveniente de los RCD como sustituto de parte del agregado natural en la elaboración de adoquines, evaluando sus propiedades mecánicas y su costo de producción para una potencial distribución y comercialización en la ciudad de Santa Marta, todo esto teniendo en cuenta las recomendaciones dadas por la Comercializadora La Samaria S.A.S.

Primero se realizó la caracterización del material (ensayo granulométrico del ladrillo de arcilla reciclado) para después realizar los especímenes y así someterlos a los ensayos descritos en la norma NTC 2017.

Luego se realizó una comparación de los resultados obtenidos para así saber cómo afecta el porcentaje sustituido del material natural en los adoquines hechos con ladrillo de arcilla reciclado, los cuales para efecto del trabajo se llamaron reciclado, frente a los adoquines hechos con concreto convencional los cuales para efecto del trabajo se llamaron testigo.

Finalmente se realizó un análisis económico de cada una de las mezclas que se presentaran en el presente trabajo y para ver su potencial de comercialización en la ciudad de Santa Marta.

Palabras claves: RCD, ladrillo de arcilla, adoquines, material reciclado, resistencia a la flexotracción, densidad, absorción de agua, granulometría.

ABSTRACT

Construction and demolition waste (RCD) nowadays present a great environmental problem since garbage dumps are increasingly running out of their usable space, causing people to indiscriminately dump this waste in public places, therefore, pollution is generated visual, bad smells and proliferation of pests and diseases.

The objective of this work is to evaluate if it is feasible to reuse clay brick from RCDs as a substitute for part of the natural aggregate in the production of paving stones, evaluating its mechanical properties and its production cost for a potential distribution and commercialization in the Santa Marta city, all this taking into account the recommendations given by the Comercializadora La Samaria SAS.

First, the characterization of the material was carried out (granulometric test of the recycled clay brick) and then the specimens were made and thus subjected to the tests described in the NTC 2017 standard.

Then a comparison of the results obtained was made in order to know how the percentage substituted of the natural material affects the pavers made with recycled clay brick which for the effect of the work were called recycled, compared to the pavers made with conventional concrete which for effect of the work they were called a witness.

Finally, an economic analysis of each of the mixtures presented in this work was carried out and to see their commercialization potential in the city of Santa Marta.

Key words: RCD, clay brick, paving stones, recycled material, flexural-tensile strength, density, water absorption, particle size.

CONTENIDO

RESUMEN.....	V
ABSTRACT	VI
LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE GRAFICOS	X
LISTA DE ILUSTRACIÓN	XI
CAPÍTULO 1	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.2. JUSTIFICACION.....	4
1.3. OBJETIVOS	7
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	7
1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	7
CAPÍTULO 2	8
2.1. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1.1. ADOQUINES:	8
2.1.2. LADRILLO DE ARCILLA RECICLADO	11
2.1.3. RESIDUO DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.....	13
2.2. ENSAYOS A LOS ADOQUINES	16
2.2.1. Resistencia a la flexo-tracción	16
2.2.2. Absorción de agua y Densidad	17
CAPÍTULO 3	18
3.1. METODOLOGÍA.....	18

3.1.1. MATERIALES Y EQUIPOS	18
3.2. DISEÑO DE MEZCLA	19
3.3. MÉTODO DE ENSAYO	20
3.3.1. GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL RECICLADO.....	20
3.3.2. RESISTENCIA A LA FLEXO-TRACCIÓN	21
3.3.3. ABSORCIÓN DE AGUA Y DENSIDAD	24
3.4. RESULTADOS	26
3.4.1. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO RECICLADO.....	26
3.4.2. DIMENSIONES PROMEDIO	28
3.4.3. RESISTENCIA FLEXOTRACCIÓN	29
3.4.4. ABSORCION DE AGUA Y DENSIDAD.....	32
3.5. ANALISIS DE RESULTADOS	34
3.5.1. GRANULOMETRÍA.....	34
3.5.2. RESISTENCIA A LA FLEXO-TRACCION	35
3.5.3. ABSORCIÓN DE AGUA Y DENSIDAD	41
3.6. ANÁLISIS ECONÓMICO	42
CAPÍTULO 4	44
4.1. CONCLUSIÓN	44

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: DISEÑO DE MEZCLA	20
TABLA 2: TAMIZADO 1	26
TABLA 3: TAMIZADO 2	27
TABLA 4: DIMENSIONES TESTIGO	29
TABLA 5: DIMENSIONES RECICLADO	29
TABLA 6: CARGA 5 DÍAS TESTIGO	30
TABLA 7: CARGA 5 DÍAS RECICLADO	31
TABLA 8: CARGA 13 DÍAS TESTIGO	31
TABLA 9: CARGA 13 DÍAS RECICLADO	31
TABLA 10: CARGA 27 DÍAS TESTIGO	31
TABLA 11: CARGA 27 DÍAS RECICLADO	32
TABLA 12: MASA TESTIGO	32
TABLA 13: MASA RECICLADO	32
TABLA 14: ABSORCIÓN Y DENSIDAD TESTIGO	33
TABLA 15: ABSORCIÓN Y DENSIDAD RECICLADO	33
TABLA 16: CARGA Y MODULO DE ROTURA PROMEDIO DÍA 5	36
TABLA 17: CARGA Y MODULO DE ROTURA PROMEDIO DÍA 13	37
TABLA 18: CARGA Y MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO DÍA 27	39
TABLA 19: ABSORCIÓN Y DENSIDAD PROMEDIO	41
TABLA 20: COSTO DE PRODUCCIÓN ADOQUINES TESTIGO	42
TABLA 21: COSTO DE PRODUCCIÓN ADOQUINES RECICLADO	43

LISTA DE GRAFICOS

GRÁFICO 1: GRANULOMETRÍA 1.....	27
GRÁFICO 2: GRANULOMETRÍA 2.....	28
GRÁFICO 3: LIMITES MUESTRA 1.....	34
GRÁFICO 4: LIMITES MUESTRA 2.....	34
GRÁFICO 5: CARGA PROMEDIO DÍA 5.....	36
GRÁFICO 6: MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO DÍA 5.....	37
GRÁFICO 7: CARGA PROMEDIO DÍA 13.....	38
GRÁFICO 8: MÓDULO DE ROTURA PROMEDIO DÍA 13.....	38
GRÁFICO 9: CARGA PROMEDIO DÍA 27.....	39
GRÁFICO 10: MODULO DE ROTURA DÍA 27.....	39
GRÁFICO 11: DENSIDAD PROMEDIO.	41

LISTA DE ILUSTRACIÓN

ILUSTRACIÓN 1: METROS CUADRADOS LICENCIADOS CONSOLIDADOS DE COLOMBIA.....	5
ILUSTRACIÓN 2: VÍA APIA: PAVIMENTO DE PIEDRA.....	10
ILUSTRACIÓN 3: CLASIFICACIÓN RCD	14
ILUSTRACIÓN 4: FICHA TÉCNICA ARGOS	18
ILUSTRACIÓN 5: ELABORACIÓN DE ADOQUINES	20
ILUSTRACIÓN 6: TOMA DE MEDICIONES	22
ILUSTRACIÓN 7: IDENTIFICACIÓN DE ADOQUINES.....	22
ILUSTRACIÓN 8: CURADO	23
ILUSTRACIÓN 9: PRUEBA FLEXOTRACCIÓN	23
ILUSTRACIÓN 10: FALLA DE ADOQUÍN	24
ILUSTRACIÓN 11: SECADO DE ADOQUINES.....	24
ILUSTRACIÓN 12: TOMA DE PESO.....	25
ILUSTRACIÓN 13: PESO SUMERGIDO.	25
ILUSTRACIÓN 14: TABLA MÓDULO DE ROTURA.....	40

INTRODUCCIÓN

En la actualidad cada vez surge más preocupación sobre el estado del medio ambiente y sobre cómo será nuestro futuro en la tierra si no la cuidamos. Al rededor del mundo surgen ideas sobre la reutilización al máximo de todos los recursos que tenemos a la mano, dándole más vida útil con la creación de nuevos objetos o materiales para así evitar un gran número de residuos que pueden afectar la salud de la tierra.

La presente investigación se refiere al tema de la reutilización de materiales y a su impacto en obras civiles, que puede definirse como reutilizar materiales para prolongar la vida útil de los escombros generados de demoliciones y los que se generan durante el proceso constructivo.

La característica principal de este proyecto es evaluar el impacto en la ciudad de Santa Marta, por esta razón es que se decide conocer el impacto ambiental de reutilización de los materiales de construcción en obra civiles.

Para analizar la problemática de este tema es necesario mencionar una de sus causas: los escombros. Son aquel conjunto de desechos propios de una obra de construcción, es decir, están compuestos por materiales que constituyen a estos, tales como ladrillos, piedras, hormigón, madera, hierro, metales, y cualquier otro material que interviene en una construcción.

Los escombros o RCD se consideran como un desecho que vulnera el medio ambiente, lo cual es un problema que no solamente afecta a Colombia, sino a todo el mundo.

La investigación de esta problemática se realizó por el interés educativo sobre la necesidad de influir positivamente en la calidad de las obras civiles en Santa Marta al momento de implementar

materiales desechados dándole un uso eficaz en el campo de nuestra disciplina. Actualmente la conciencia ambiental está tomando cada vez más fuerza he ahí el porqué de nuestro interés por investigar este tema, de esta manera como ingenieros civiles podemos estar a la vanguardia de temas actuales.

En este proyecto se elaboraron adoquines sustituyendo un porcentaje del agregado fino con ladrillo de arcilla reciclado, evaluando el porcentaje de absorción de agua, densidad, resistencia a la flexo-tracción, peso seco y peso húmedo.

CAPÍTULO 1

1.1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente Santa Marta es una ciudad que se está expandiendo de manera rápida lo cual produce que haya una alta generación de RCD, debido que las políticas ambientales son débiles en torno al manejo y aprovechamiento de residuos causa un ineficiente uso de estos.

En el 2017 la empresa de servicio público ESSMAR retiró 20 toneladas de RCD (residuos de construcción y demolición), producto del arrojo clandestino e indiscriminado en la avenida Santa Rita, en el tramo comprendido entre las carreras 7 y 8. En esta actividad, la ESSMAR dispuso de: 4 operarios, un mini-cargador y una volqueta doble troque que lograron dejar limpia y despejada esta zona. Sin embargo, se reitera el llamado a la comunidad para que no reincida, puesto que se ha detectado que una vez se limpia el lugar, en pocos días vuelve a ser usado como escombrera. Cabe mencionar que, la ESSMAR ofrece el servicio de recolección de escombros a través del portafolio de servicios, en donde este material es recogido y llevado a una disposición final adecuada. (El informador,2017).

Son cifras alarmantes que debemos estudiar con cuidado ya que el material llevado a una disposición final no tiene un uso a futuro y esto solo causa que se acumule material provocando daños nocivos al medio ambiente, por eso, es importante estudiar cómo estos RCD para reutilizarlos en construcción y beneficiar positivamente en las obras civiles de la ciudad.

1.2. JUSTIFICACION

La siguiente investigación comprende la necesidad de influir positivamente en la calidad de las obras civiles en Santa Marta al momento de implementar materiales desechados ya sean industriales o residuos de construcción, por lo cual aprovecharemos ciertos materiales de RCD tales como el ladrillo de arcilla para elaborar adoquines.

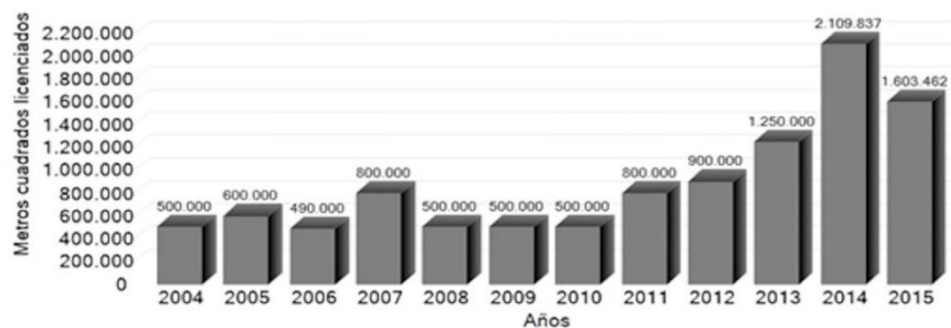
dándole un uso eficaz a materias orgánicas e inorgánicas en el campo de nuestra disciplina. Existe una problemática clara como ciudadanos al observar como desde las pequeñas hasta las grandes construcciones desechan diariamente cantidades de escombros sin evaluar la capacidad de que estos sean aprovechados provocando problemas en el ámbito no solo ambiental si no, social.

Por otro lado, entendemos la necesidad de estar a la vanguardia en temas relacionados a la ingeniería civil, pero no podemos hacer invisible el hecho a conciencia ambiental va tomando cada vez más fuerza, he ahí el por qué de nuestro interés por investigar este tema para así darle soluciones a la sociedad, que no sean utópicas, que estén al alcance; allí reside la idea de innovación por eso consideramos la idea de cambiar la percepción que se tiene que el ingeniero civil poco o nada se interesa por la naturaleza, con este tema queremos expresar que se pueden dar resultados de buena calidad siendo sostenibles al mismo tiempo.

Las personas o empresas poco o nada piensan que, al desechar algún tipo de elemento, este pueda tener un segundo uso en cualquier campo no relacionado para el fin con el que fue creado, de lo anterior surge una prioridad en este proceso y es identificar dichos materiales que sean óptimos para su reutilización en obras civiles con los cuales, aparte de aminorar gastos o recursos utilizados para determinado fin ayudara a crear este hábito en la disciplina.

En Colombia, el registro evidencia hasta la fecha, que grandes cantidades de residuos o escombros producto de la industria de la construcción son dispuestos en lugares inadecuados o son mal utilizados, como relleno en sitios que a futuro servirán como zonas de construcción de nuevas edificaciones, transformando estos espacios en terrenos inestables y muy difíciles de ser aprovechados. La industria de la construcción va en progresivo crecimiento como lo demuestran los metros cuadrados licenciados cada año en el país, convirtiéndose así en el sector con mayor producción de RCD. (Pacheco, Fuentes, Sánchez, Rondón.2017)

Podemos evidenciar las cifras con datos arrojados por el DANE hasta el año 2015



Fuente: Dane - Elaboración Camacol Regional Caribe m² licenciados.

Ilustración 1: Metros cuadrados licenciados consolidados de Colombia

Los RCD son usualmente desperdiciados, pero estudios realizados demuestran que estos pueden ser aprovechados para implementarlos de nuevo en construcción dándole uso ya sea como agregado o utilizando sus características para implementarlos en la fabricación de otros materiales evaluando su resistencia entre otros componentes y así aprovecharlos de manera eficaz sin tener que desperdiciarlos ni contaminar el medio ambiente que es nuestro deber como ingenieros civiles presérvalos.

Por otro lado, es importante realizar de manera correcta la separación en la fuente de los RCD, porque así se puede, de manera eficaz, identificar los materiales potencialmente reutilizables y reciclables (residuos de mampostería y hormigón que pueden ser reciclados) y los que deben ser dispuestos en las mal llamadas escombreras o rellenos sanitarios. Los metales tienen las más altas tasas de reciclaje entre los materiales recuperados, debido a sus múltiples usos y formas, sus propiedades magnéticas y su alto valor comercial. Por otro lado, la fracción de madera generada como RCD es parcialmente reciclable o reutilizable. La madera no contaminada puede ser triturada y utilizada para la jardinería, la agricultura, etc. Sin embargo, el material de desecho mixto de RCD y la considerable cantidad de madera pintada e impermeabilizada no es reciclable

Socialmente es de nuestro interés preservar el estado de la ciudad, ya conocemos que tenemos un problema respecto a los sistemas de alcantarillado y drenaje de las aguas fluviales si a esto le sumamos una problemática de la cantidad de residuos de construcción y demolición y que no hay lugares específicos para su depósito, entonces estamos convirtiendo la ciudad de Santa Marta en un lugar en el que su vivir y la comodidad de las personas no tienen una calidad óptima. Santa Marta es de las ciudades con mayor turismo del país debemos enfocarnos en arreglar la problemática para ofrecer un mejor vivir.

1.3.OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la flexotracción, absorción de agua y densidad de adoquines de concreto hidráulico elaborados con ladrillo de arcilla reciclado como sustituto de agregado natural y su costo de elaboración para una posible comercialización como elemento amigable con el medio ambiente en la ciudad de Santa Marta, Colombia.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Elaborar ensayos de caracterización de agregado natural.
- Elaborar adoquines de concreto con ladrillos de arcilla reciclado como reemplazo del agregado natural.
- Analizar el comportamiento de los adoquines ya completado su fraguado, realizando ensayos de flexo-tracción y absorción.
- Analizar los resultados obtenidos con el fin de presentar una alternativa que colabore con el reciclaje de RCD, sea viable para la elaboración y comercialización de adoquines en concreto hidráulico.

CAPÍTULO 2

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. ADOQUINES:

2.1.1.1 ORIGEN:

Algunos datos históricos muestran que los pueblos al pasar de los siglos se vieron en la necesidad de construir caminos, senderos o atajos con el objetivo de generar algún tipo de comunicación entre los pueblos y colonias.

Los pueblos etruscos dominaron Italia en el período comprendido entre 800 y 350 a. C. A estos pueblos se les atribuye ser pioneros en la construcción de caminos específicos con el fin de transportar personas y carga entre las aldeas y las colonias de la época. Las técnicas utilizadas por los etruscos tenían como objetivo conectar largas distancias, con la preocupación de garantizar la comodidad y la resistencia a través de una superficie más plana posible, utilizando los materiales disponibles y conocidos en ese momento. Las calles de las ciudades etruscas alcanzaron los 15 metros de ancho y en su revestimiento se añadió piedra de mano, junto con un material más fino, con el objetivo de permitir a las personas una mayor seguridad con respecto al tobogán, en presencia de agua en la superficie. (CRUZ, 2003).

Gran parte del conocimiento de los etruscos sobre la construcción de carreteras fue heredado por los romanos, lo que contribuyó en gran medida a la expansión de su Imperio. Los caminos romanos se construyeron de varias maneras, de acuerdo con su importancia y uso esperado, disponibilidad local de materiales para construcción, clima y topografía. Los materiales utilizados como revestimientos para caminos de larga distancia generalmente estaban compuestos de suelos arenosos mezclados con piedras naturales como el guijarro. Piedras cortadas a mano en formas rectangulares y poligonales eran usadas en los revestimientos de las calles más utilizadas de la

ciudad. En 500 a.c, Roma había desarrollado con bases granulares estabilizadas y una capa de soporte de piedra (Knapton, 1996; Atlas Globo,1995).

Cruz (2003) relató que los caminos romanos construidos en la región de "Bretaña", ahora conocida como Inglaterra, tenían características únicas. Se construyeron terraplenes en el terreno natural, para obtener una mayor visibilidad contra los posibles ataques de los "británicos", como se conocía a los pueblos que originalmente habitaban "Bretaña", considerados muy hostiles. El material utilizado en el vertedero se extrajo de excavaciones paralelas a los caminos, que indirectamente formaron un canal en ambos lados y a lo largo de todos los caminos, sirviendo como drenaje natural.

Según (Cruz 2003) Los romanos también reconocieron la importancia de los tipos de arena utilizados en la construcción de caminos. Existen informes de clasificación de arenas como arenas fluviales, extraídas de canales y suelos naturales. Hubo una propuesta de mezcla entre ellos, junto con la cal o la piedra caliza, formando así un tipo de mortero en el que más tarde se rodaron guijarros o incluso piedras de mano en el camino. Esta experiencia ya demostró la preocupación con la capacidad estructural de las capas.

En el período de 150 A.C, fue descubierto en la ciudad italiana de "Puzzeoli" un material conocido en ese momento como "puzzolana". Rápidamente se dio cuenta de que este material utilizado junto con el mortero de cal y arena tenía una resistencia mecánica considerable con el tiempo. Esto evolucionó hacia lo que ahora se conoce como cemento portland.

En la historia del pavimento romano, la importancia del uso de piedras talladas a mano, que sirvió como el revestimiento final de la carretera, es clara. Un ejemplo de esta tecnología que resiste hoy es el camino de Apia, un precursor del pavimento entrelazado que se muestra en la

ilustración (2) que era un camino importante que conectaba la ciudad de Roma con el sur de Italia. Una gran parte del camino de Apia fue pavimentada por los constructores de la época con pequeños pedazos de piedras en forma octogonal (Atlas Globo, 1995)



Ilustración 2: Vía Apia: Pavimento de Piedra

(Fuente: www.romasegrete.it)

Con el pasar de los siglos, los caminos fueron utilizados básicamente para fines mercantiles, modificando así las cargas transportadas, exigiendo cada vez más una capa de revestimiento. Luego se pasó a la construcción de caminos con piedras talladas.

De acuerdo con Shackel (1990), la naturaleza de las piezas utilizadas como capa de revestimiento variaba en función de la oferta de los materiales locales. El proceso evolutivo de las piezas puede ser representado básicamente por 4 tipos de materiales:

- Piezas de arcilla
- Piezas de madera
- Piezas de piedra tallada manualmente
- Piezas de concreto

2.1.1.2. DEFINICIÓN:

De acuerdo a la Norma Técnica Colombiana 2017 (NTC 2017) un adoquín de concreto es un elemento no aligerado en su masa, de concreto, prefabricado, con forma de prisma recto, cuyas bases son polígonos tales que unos conjuntos permiten conformar una superficie que se utiliza como capa de rodadura en los pavimentos y en algunos casos, en los pisos recubiertos con adoquines de concreto.

2.1.1.3. CLASIFICACIÓN:

De acuerdo a la Norma Técnica Colombiana 2017 (NTC 2017) los adoquines se clasifican según la geometría general y según la masa de concreto.

2.1.2. LADRILLO DE ARCILLA RECICLADO

2.1.2.1 ORIGEN

El primer uso conocido de tierra cocida (tejas, ladrillos, ...) se remonta a la época de construcción de los aljibes de Jerusalén (bajo el reinado de Salomón, en el s. X a de C) (Santarelli, 1960). Este uso parece que fue introducido por obreros fenicios que conocían empíricamente las propiedades de estos materiales puzolánicos. (Álvarez, J. I., Martín, A., & García Casado, P. J. (1995). Historia de los morteros. *Boletín del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico*, 13, 52-59.).

Una de las primeras referencias del uso de ladrillos a lo largo de la historia se encuentra en Palestina, donde ya elaboraban ladrillos de adobe, secados al sol, hace más de 9000 años. En Mesopotamia aparecen los primeros ladrillos cocidos que se usaban como elementos decorativos y en cubrimientos de muros de adobe. Los sumerios babilonios y persas construyeron zigurats y palacios de adobe con ladrillos cocidos con esmaltes. El imperio chino construye parte de su gran muralla con ladrillos, y el imperio romano también los usó en ternas, anfiteatros y acueductos.

En la Edad Media también se utiliza el ladrillo en el Norte de Italia, Norte de Europa y Países Bajos, y se construyen edificios domésticos, palacios y castillos. Durante el Renacimiento, la arquitectura georgiana británica lo emplea masivamente en Inglaterra. Los colonos lo llevan a América, aunque ya existían civilizaciones prehispánicas que utilizaban ladrillos de adobe revestidos de piedra. En España es característico el uso de ladrillos por la influencia musulmana en Castilla, Aragón y Andalucía. (Rosas Moreto, H. A. (2018). Uso de ladrillo de arcilla con exceso de cocción como agregado grueso en concretos hidráulicos).

2.1.2.2. DEFINICIÓN

Los ladrillos son pequeñas piezas cerámicas en forma de paralelepípedo, formadas por tierras arcillosas, moldeadas, comprimidas y sometidas a una cocción. Pueden utilizarse en toda clase de construcciones por ser su forma regular y fácil su manejo (Moreno, 1981).

El material base predominante para elaborar el ladrillo es la arcilla. Este es un ingrediente barato y que se encuentra de forma natural en gran abundancia, a menudo se utiliza tal como es extraído de la mina o yacimiento sin ningún aumento en el grado de calidad. Los minerales de arcilla le otorgan a este material la característica, que cuando se le añade agua, se hacen muy plásticos, propiedad que se denomina hidroplasticidad; y también permiten que la arcilla funda en un amplio intervalo de temperaturas; así, un producto cerámico denso y fuerte puede obtenerse durante el cocido sin fusión completa de manera que la forma deseada se conserve. Este intervalo de temperaturas de fusión depende obviamente de la composición de la arcilla. (Rosas 2018)

2.1.3. RESIDUO DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Los escombros o RCD se consideran como un desecho que vulnera el medio ambiente, lo cual es un problema que no solamente afecta a Colombia, sino a todo el mundo, por habitante al año se produce en promedio más de una tonelada de estos (eurostat, Mayo 2017. The key to european statistics. ec.europa.eu/eurostat/web/waste/overview). Como una alternativa, se han ideado técnicas para transformar los residuos desechos de construcción, a través de un proceso de separación y molienda en agregados finos para concreto hidráulico (arena y gravilla); esta técnica ayuda a fomentar la responsabilidad social, empresarial, reducir los problemas de salubridad y ayudar a conservar el medio ambiente. Sin embargo, es importante tener en consideración que los residuos producidos en una ciudad con condiciones climáticas y sociales distintas pueden tener tipos de desechos diferentes.

Martínez, Vásquez, et al, (2009):

Los escombros de construcción y demolición (escombros C&D) son los residuos que resultan de la construcción, rehabilitación y demolición de edificios, obras públicas y obras de urbanización. Según el Catálogo Europeo de Residuos, los residuos de C&D incluyen la excavación de tierras de actividades anteriores; Este material está excluido en la mayoría de los planes y aplicaciones de gestión actuales.

Clasificación de RDC:

Tabla 1. Clasificación de residuos de construcción y demolición (rzd)

Categoría	Grupo	Clase	Componentes
RCD aprovechables	I. Residuos mezclados	Residuos pétreos	Concretos, cerámicos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques o fragmentos de roca, baldosín, mortero y materiales no pasantes al tamiz # 200
	II. Residuos de material fino	Residuos finos no expansivos	Arcilla, limos y residuos inertes que sobrepasen el tamiz # 200
		Residuos finos expansivos	Arcillas y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos y expansivos que sobrepasen el tamiz # 200
	III. Otros residuos	Residuos no pétreos	Plásticos, PVC, maderas, papel, siliconas, vidrios, cauchos
		Residuos de carácter metálico	Acero, hierro, cobre, aluminio
		Residuos orgánicos	Residuos de tierra negra
		Residuos orgánicos vegetales	Residuos vegetales y otras especies bióticas
RCD No aprovechable	IV. Residuos peligrosos	Residuos corrosivos, reactivos, radioactivos, explosivos, tóxicos y patógenos	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitrán, pinturas, disolventes orgánicos, aceites, resinas, plastificantes, tintas, betunes
	V. Residuos especiales	No definida	Poliéstereno, icopor, cartón, yeso (drywall)
	VI. Residuos contaminados con otros residuos	Residuos contaminados con residuos peligrosos	Materiales pertenecientes a los grupos anteriores que se encuentren contaminados con residuos peligrosos
		No definida	Residuos contaminados con otros residuos que hayan perdido las características propias de su aprovechamiento
Otros	VII. Otros residuos	No definida	Residuos que por requisitos técnicos no es permitido su reúso en obras

Fuente: Guía para la elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición RCD en obra, Secretaría Distrital de Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá D. C., 2015 [10].

Ilustración 3: Clasificación RCD

Tomada de: Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión.

En Santa Marta, en la última campaña de colecta de escombros, se recogieron más de 25 mil toneladas de estos desechos en la vía pública, que irán a parar a una escombrera que, eventualmente debido a la tendencia expansiva de la ciudad, se quedará sin espacio (Cabana, J. 30 abril 2017. Boletín 32 sitio de prensa. <http://www.santamarta.gov.co>). Por ende, es claro que es un problema que está afectando la salud pública además del medio ambiente.

Pacheco, Torres, et.al., (2017):

La industria de la construcción es una de las mayores generadoras de residuos en la actualidad, sin embargo, históricamente ha sido un pilar necesario para el desarrollo de nuestras comunidades. Por lo general, la contaminación se presenta en la mayoría de sus procesos: desde la extracción, la fabricación de los materiales, hasta las diferentes actividades desarrolladas en la construcción de las obras civiles. Lo anterior provoca el agotamiento de varios recursos no renovables, así como la contaminación del agua y del aire, además del excesivo consumo de energía. En Colombia, el registro evidencia hasta la fecha, que grandes cantidades de residuos o escombros producto de la industria de la construcción son dispuestos en lugares inadecuados o son mal utilizados, como relleno en sitios que a futuro servirán como zonas de construcción de nuevas edificaciones, transformando estos espacios en terrenos inestables y muy difíciles de ser aprovechados. La industria de la construcción va en progresivo crecimiento como lo demuestran los metros cuadrados licenciados cada año en el país, convirtiéndose así en el sector con mayor producción de RCD. P.535.

Ibid, p.536

El desarrollo de varias investigaciones orientadas al aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) para la generación de nuevos materiales, su implementación y

la necesidad de un cambio cultural progresivo de los actores de la industria de la construcción ha servido como motivación para expedir numerosas leyes, decretos y resoluciones en países como Colombia (ej: Resolución 541 de 1994, Ley 1259 de 2008, Decreto 2981 de 2013, Decreto 1076 de 2105), que aunque no tienen mucho tiempo trabajando la temática del aprovechamiento, reciclaje y reutilización, se proponen mitigar los impactos en el escenario en que se desenvolverán las generaciones futuras.

El estudio de la reutilización de los RCD es un tema que ha sido propuesto desde hace mucho tiempo atrás y han sido numerosas las investigaciones realizadas alrededor de éstos, hecho que favorece la investigación planteada en este documento. Para realizar este proyecto no es necesario una gran cantidad de recurso humano, debido a que con un grupo reducido de laboratoristas y con los materiales indicados se puede llegar a una conclusión.

2.2. ENSAYOS A LOS ADOQUINES

2.2.1. Resistencia a la flexo-tracción

Según (Plaza & Gamba, 2015):

La propiedad más importante de los adoquines es la resistencia a la flexo-tracción, esta característica mide el esfuerzo en la fibra externa que se desarrolla al someter un adoquín a la flexión. Los diseñadores de pavimentos utilizan una teoría basada en la resistencia a la flexión, por lo tanto, los adoquines que son la capa de rodadura, deben cumplir con esta propiedad. Cuando los adoquines de concreto hidráulico son sometido a flexo-tracción se generan un efecto llamado momento flector que tiene mucha importancia para el estudio de resistencia de estos elementos.

2.2.2. Absorción de agua y Densidad

Según (Plaza & Gamba, 2015):

La absorción, que ocurre principalmente por la difusión de vapor de agua, es una de las propiedades importantes de estos elementos porosos. La cantidad real de absorción afecta la sequedad del material y también a los defectos que puedan surgir del agua con o sin agentes extraños.

Un gran número de diferentes factores influyen en la cantidad de agua que puede ser absorbida. Primero, el número de poros de cara a la fuente de agua: a mayor número, mayor será la absorción. Segundo, el tamaño y la interconexión de los poros: cuantos menores sean y mayor sea la interconexión por medios de los canales muy finos, mayor será el grado de absorción. Finalmente, la propia naturaleza absorbente de los agregados, tanto finos como gruesos, que componen al adoquín.

CAPÍTULO 3

3.1. METODOLOGÍA

Para la presente investigación se utilizó una investigación con enfoque cuantitativo, la cual se caracteriza por la interpretación de tablas y gráficos.

3.1.1. MATERIALES Y EQUIPOS

3.1.1.1. CEMENTO:

Para la presente investigación se utilizó cemento Argos Estructural Max. Es un cemento especial diseñado para la producción industrializada de concreto, que ofrece una mayor eficiencia y un alto desarrollo de resistencias a edades iniciales y finales. Esto es de acuerdo a la ficha técnica suministrada por la página web de Argos.

PRESENTACIÓN:					
• Sacos de 42,5 kg • Granel.					
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:					
PARÁMETROS FÍSICOS		NORMA DE ENSAYO	NTC 121 TIPO ART	ASTM C-1157 TIPO HE	ESPECIFICACIÓN ARGOS
Finura	Blaine, mín. (cm ² /gr)	NTC 33	A	A	A
	Retenido Tamiz 45 µm (%)	NTC 294	A	A	A
Cambio de longitud por autoclave expansión, máx. (%)		NTC 107	0.8	0.8	0.8
Tiempo de fraguado, Ensayo de Vicat*	No menos de, minutos	NTC 118	45	45	90
	No más de, minutos	NTC 118	420	420	360
Expansión de barras de mortero a 14 días, máx. (%)		NTC 4927	0.020	0.020	0.020
RESISTENCIA MÍNIMA A LA COMPRESIÓN, (MPa)					
1 día		NTC 220	11.0	12.0	12.0
3 días		NTC 220	22.0	24.0	24.0
28 días		NTC 220	-----	----	43.4
A: Los resultados de estos ensayos deben ser informados en todos los certificados que sean solicitados. B: El tiempo de fraguado se refiere al tiempo de fraguado inicial en la NTC 118.					

Ilustración 4: Ficha técnica Argos

Tomada de(<https://colombia.argos.co/Conoce-nuestros-productos/Cemento-Estructural-Max>)

3.1.1.2. AGREGADOS NATURALES

- Arena blanca proveniente de Triturados Tayrona
- Arena amarilla proveniente de “GM Barranquilla”
- Triturado 3/8 de Triturados Tayrona
- Agua la cual proviene del acueducto de la ciudad

Los materiales utilizados fueron cedidos por la Comercializadora La Samaria SAS.

3.1.1.3. AGREGADO RECICLADO

Se utilizó ladrillo como agregado, cual fue obtenido mediante trituración manual empleado tamices para que las partículas no fueran mayores a 3/8 siguiendo las recomendaciones de la Comercializadora La Samaria SAS, la cantidad de material utilizado fue de 20 kg dando así un 12% de sustituto de agregado natural.

3.2. DISEÑO DE MEZCLA

Para la elaboración de los adoquines se utilizó la metodología experimental basados en las recomendaciones y experiencia de la Comercializadora La Samaria SAS, una concretera experta en la elaboración de elementos hechos en base concreto ejemplo (adoquines, bloques, etc...).

Para el diseño de mezcla de los adoquines nos basamos en el que ya maneja la Comercializadora La Samaria SAS, porqué de esta manera si se dan resultados positivos ellos puedan utilizar esta investigación para su beneficio. La variante de reciclado de ladrillo de arcilla se le hizo a la arena blanca dando así una sustitución del 12% del peso total de la muestra de los agregados naturales como se muestra a continuación en la siguiente tabla:

DISEÑO DE MEZCLA							
	Cemento (kg)	Arena Blanca (kg)	Arena Amarilla (kg)	Grava 3/8 (kg)	Agua (lt)	Ladrillo (kg)	Peso (kg)
Testigo	21.25	90.5	60	10.75	10	0	192.5
Reciclado	21.25	70.5	60	10.75	10	20	192.5

Tabla 1:Diseño de mezcla
Fuente: Autor



Ilustración 5: Elaboración de adoquines

3.3. MÉTODO DE ENSAYO

3.3.1. GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL RECICLADO

Para este ensayo se siguieron todas las pautas expuesta en la NTC 77, siguiendo los procedimientos dichos en este, los cuales son los siguientes:

- Se lavó el material para eliminar la mayor parte de impurezas que pudiera tener.
- Se procedió a llevar al horno a una temperatura de 110 °C durante 24 horas para eliminar el agua del material.
- Se tomó una muestra de material de 1 kg.

- Se seleccionaron los tamices (2", 1.5", 1", 3/4", 3/8", #4, #10, #20, #40, #200), para así verter la muestra desde el tamiz con mayor apertura.
- Se procede con el tamizado manual del material durante 2 minutos de manera, ya que no se contaba con máquina para hacer dicho procedimiento.
- Ya hecho este procedimiento se procede a tomar los pesos retenidos en cada tamiz.
- Se revuelve todo el material y se saca una segunda muestra para realizar de nuevo el ensayo.

3.3.2. RESISTENCIA A LA FLEXO-TRACCIÓN

Para este ensayo se siguieron todas las pautas expuesta en la NTC 2017, siguiendo los procedimientos dichos en este, los cuales son los siguientes:

- A cada adoquín al cual se va a realizar el ensayo se le hizo tres líneas en tres caras diferentes (capa de rodadura y caras de apoyo), estas líneas son 2 a 1cm de los lados menores hacia dentro, otra en la mitad del eje mayor y se tomaron distintas medidas para así sacar las dimensiones promedio (largo, ancho y espesor).



Ilustración 6: Toma de mediciones

La denotación T(xx) hace referencia a los adoquines testigo y la denotación A(xx) hace referencia a los adoquines reciclados. La xx se refiere al número del espécimen como se muestra en la siguiente ilustración.



Ilustración 7: Identificación de adoquines

Las muestras se llevaron al cuarto de curado para así sumergirlos en agua por $24h \pm 2h$ para llevarlos a su estado de saturación, después de este tiempo se secan superficialmente con un paño seco.



Ilustración 8: Curado

- Las muestras se llevaron a la maquina universal de la Universidad del Magdalena para fallarlos como una viga simplemente apoyada como dice la norma.



Ilustración 9: Prueba flexotracción

- Se aplica la carga a una velocidad aproximada de 0.5MPa/s hasta llevar a su falla.



Ilustración 10: Falla de adoquín

3.3.3. ABSORCIÓN DE AGUA Y DENSIDAD

Para este ensayo se siguieron todas las pautas expuesta en la NTC 2017, siguiendo los procedimientos dichos en este, los cuales son los siguientes:

- Se procedió a dejar las muestras en el horno durante 24 horas a una temperatura aproximada de 110 °C.



Ilustración 11: Secado de adoquines.

- Luego de secarlos al horno se pesa cada espécimen para así obtener su masa seca (M_s), para dejarlos enfriar hasta que alcance una temperatura ambiente la cual se comprobó con una pistola laser que mide la temperatura.



Ilustración 12: Toma de peso.

- Ya estando los adoquines a temperatura ambiente se procede a llevar al cuarto de curado para dejarlos sumergidos en agua durante $24h \pm 2h$.
- Pasado el tiempo mencionado anteriormente se procede a pesar los especímenes en agua suspendidos para obtener su masa inmersa en agua (M_a).



Ilustración 13: Peso sumergido.

- Luego se retira del agua y se dejaron escurrir durante 1 minuto, seguidamente se secó el agua superficialmente con un paño seco y se pesó inmediatamente para determinar su masa saturada (Mh).

3.4. RESULTADOS

3.4.1. GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO RECICLADO

Se evaluaron las propiedades del agregado de acuerdo a la normativa NTC 77, la cual rige a el país actualmente. Después del tamizado el valor retenido por cada tamiz de cada muestra se observa en las siguientes tablas:

MUESTRA 1					
#TAMIZ	MALLA (mm)	PESO RETENIDO (Gr)	% RETENIDO	% ACOMULADO	% ACOMULADO PASANTE
2"	50.8	0	0	0	100
1.5"	38.1	0	0	0	100
1"	25.4	0	0	0	100
3/4"	19.1	0	0	0	100
3/8"	9.52	0	0	0	100
#4	4.76	300.5	30.12	30.12	69.88
#10	2	496.3	49.74	79.86	20.14
#20	0.84	160.2	16.06	95.92	4.08
#40	0.42	18.1	1.81	97.73	2.27
#200	0.074	20.1	2.01	99.75	0.25
FONDO		2.5	0.25	100.00	0.00
Peso utilizado	material	1000.2			
TOTAL		997.7	100		

Tabla 2: Tamizado 1
Fuente: Autor

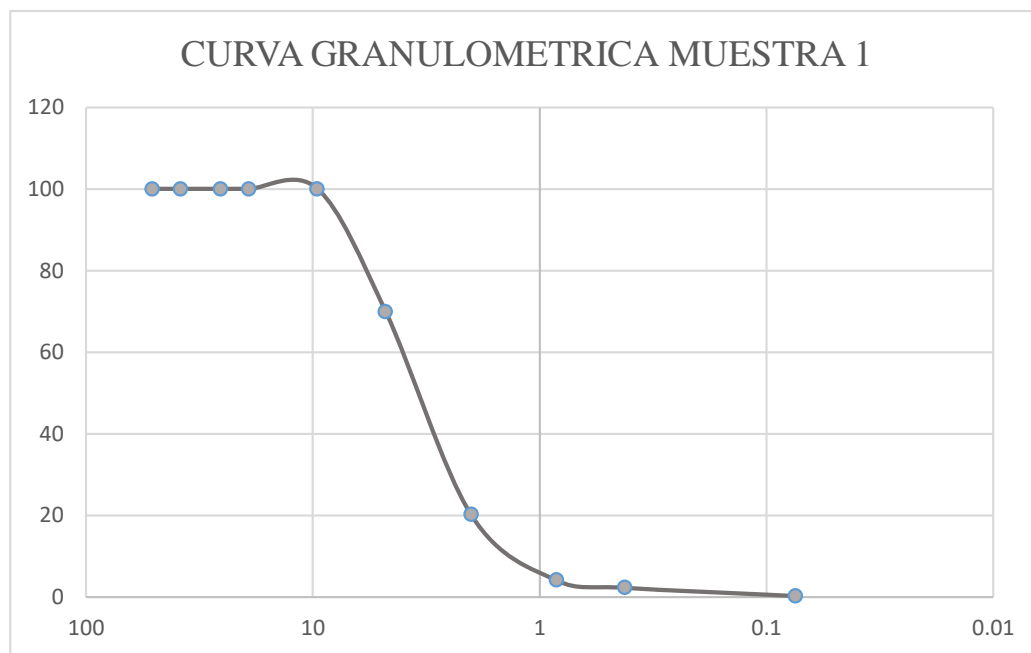


Gráfico 1: Granulometría 1

Fuente: Autor

MUESTRA 2					
#TAMIZ	MALLA (mm)	PESO RETENID O (Gr)	% RETENIDO	% ACOMULADO	% ACOMULADO PASANTE
2"	50.8	0	0	0	100
1.5"	38.1	0	0	0	100
1"	25.4	0	0	0	100
3/4"	19.1	0	0	0	100
3/8"	9.52	0	0	0	100
#4	4.76	326.2	32.70	32.70	67.30
#10	2	490.5	49.16	81.86	18.14
#20	0.84	133.2	13.35	95.21	4.79
#40	0.42	17.3	1.73	96.94	3.06
#200	0.074	26.4	2.65	99.59	0.41
FONDO		3.7	0.37	99.96	0.04
Peso utilizado	material	1000			
TOTAL		997.3			

Tabla 3: Tamizado 2

Fuente: Autor

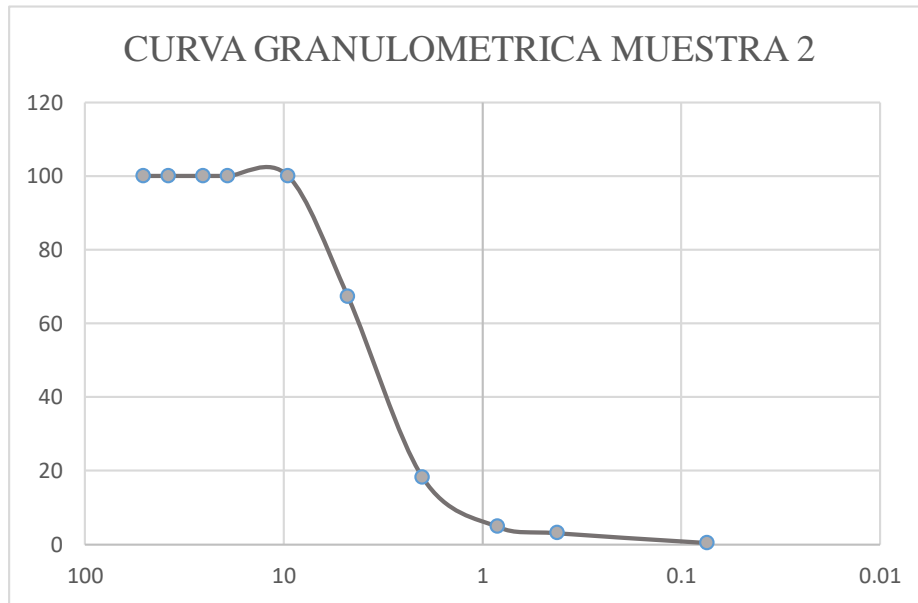


Gráfico 2: Granulometría 2

Fuente: Autor

3.4.2. DIMENSIONES PROMEDIO

Enseguida se mostrarán las dimensiones promedio de cada espécimen, las cuales fueron tomadas con un pie de rey el cual fue puesto a disposición por el LIIC (Laboratorio Integrado de Ingeniería Civil). Los laboratoristas del LIIC recomendaron tomar 2 dimensiones de longitud, 3 de ancho y 2 de espesor todas estas se promediaron para así obtener las dimensiones reales de cada espécimen.

A continuación, se mostrarán las tablas de las dimensiones las cuales están en milímetros.

TESTIGO			
NOMBRE	LONG PROM	ANCHO PROM	ESPESOR PROM
T01	200.60	99.73	81.01
T02	200.51	100.27	81.13
T03	200.14	99.40	83.63
T04	200.83	99.96	81.08
T05	200.67	100.02	79.58
T06	200.34	99.44	80.57

T07	199.93	99.51	81.15
T08	200.05	100.14	79.92
T09	199.62	100.27	81.35
T10	200.59	100.28	80.76
T11	200.01	100.09	81.46
T12	200.07	99.33	79.70
T13	200.12	99.37	80.22
T14	200.11	99.81	81.14
T15	200.10	100.27	80.78

Tabla 4: Dimensiones Testigo

Fuente: Autor

RECICLADO			
NOMBRE	LONG PROM	ANCHO PROM	ESPESOR PROM
A01	200.28	101.15	77.51
A02	200.73	99.64	79.20
A03	200.45	100.41	80.58
A04	200.51	99.53	81.16
A05	200.25	99.58	79.45
A06	199.94	100.79	79.85
A07	200.09	100.29	80.69
A08	200.57	100.25	79.50
A09	199.83	100.40	80.77
A10	200.09	100.28	80.71
A11	200.43	99.75	80.88
A12	199.49	100.19	80.47
A13	200.38	99.59	79.20
A14	199.84	100.01	80.62
A15	200.19	99.38	79.57

Tabla 5: Dimensiones Reciclado

Fuente: Autor

3.4.3. RESISTENCIA FLEXOTRACCIÓN

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos al someter al espécimen a la flexión, estos resultados son arrojados por la máquina universal perteneciente al Laboratorio Integrado de Ingeniería Civil (LIIC) de la Universidad del Magdalena.

Se tomaron 5,13 y 27 días para observar la evolución de los especímenes y hacer una comparativa.

Para el cálculo del módulo de rotura (M_r) se utiliza la fórmula establecida en la NTC 2017 la cual es la siguiente:

$$M_r = \frac{[3 * C_{\max} * (l_i - 20)]}{[(a_r + a_i) * e_r^2]}$$

Donde

M_r = Módulo de rotura, N/mm², en MPa

C_{\max} = Carga máxima, de rotura, en N

l_i = Longitud del rectángulo inscrito, en mm

a_r = Ancho real del espécimen, en mm

a_i = Ancho del rectángulo inscrito, en mm

e_r = Espesor real del espécimen, en mm

Los resultados obtenidos son:

Adoquines de edad de 5 días:

TESTIGO						
MUESTRA	T1	T2	T3	T4	T5	
CARGA MAXIMA DE ROTURA (N)	5107.88	5099.46	5515.42	4535.68	4289.95	
MODULO DE ROTURA (MPa)	2.11420262	2.09228982	2.14372676	1.87219215	1.83530531	

Tabla 6:Carga 5 días testigo.
Fuente: Autor

RECICLADO						
MUESTRA	A1	A2	A3	A4	A5	
CARGA MAXIMA DE ROTURA (N)	6141.35	6214.94	1507.00	6885.69	7640.68	
MODULO DE ROTURA (MPa)	2.73289888	2.69571742	0.62572543	2.84399513	3.28664772	

Tabla 7: Carga 5 días reciclado.
Fuente: Autor

Adoquines de edad 13 días:

TESTIGO						
MUESTRA	T6	T7	T8	T9	T10	
CARGA MAXIMA DE ROTURA (N)	6856.76	7208.82	8744.24	7944.74	9723.66	
MODULO DE ROTURA (MPa)	2.87329272	2.96903451	3.69234585	3.2257256	4.02762965	

Tabla 8: Carga 13 días testigo.
Fuente: Autor

RECICLADO						
MUESTRA	A6	A7	A8	A9	A10	
CARGA MAXIMA DE ROTURA (N)	6546.34	7207.21	6842.77	368.75	6870.43	
MODULO DE ROTURA (MPa)	2.74983688	2.98207959	2.92506635	0.15188835	2.84108154	

Tabla 9: Carga 13 días reciclado.
Fuente: Autor

Adoquines de edad 27 días:

TESTIGO						
MUESTRA	T11	T12	T13	T14	T15	
CARGA MAXIMA DE ROTURA (N)	6563.98	8371.83	6641.71	5910.24	7267.32	
MODULO DE ROTURA (MPa)	2.66864069	3.58392128	2.80608256	2.42990973	3.00091924	

Tabla 10: Carga 27 días testigo.
Fuente: Autor

RECICLADO						
MUESTRA	A11	A12	A13	A14	A15	
CARGA MAXIMA DE ROTURA (N)	6062.98	7424.04	6426.33	8670.81	7521.73	
MODULO DE ROTURA (MPa)	2.51465795	3.08101555	2.78323576	3.59885608	3.23155182	

Tabla 11: Carga 27 días reciclado.
Fuente: Autor

3.4.4. ABSORSION DE AGUA Y DENSIDAD

A continuación, se mostrarán las masas secas, húmeda (saturada) y sumergida obtenidas para cada uno de los especímenes.

TESTIGO			
No	MASA SECA (Kg)	MASA HÚMEDA (Kg)	MASA SUMERGIDA (Kg)
T11	3.305	3.551	1.9375
T12	3.257	3.474	1.91
T13	3.213	3.468	1.8915
T14	3.192	3.466	1.8755
T15	3.3425	3.6005	1.989

Tabla 12: Masa testigo
Fuente: Autor

RECICLADO			
No	MASA SECA (Kg)	MASA HÚMEDA (Kg)	MASA SUMERGIDA (Kg)
A11	3.011	3.3175	1.7465
A12	3.114	3.4085	1.8095
A13	2.9775	3.2785	1.7235
A14	3.1205	3.4205	1.829
A15	3.0045	3.2995	1.7455

Tabla 13: Masa reciclado
Fuente: Autor

Para el cálculo de la densidad (D) y absorción (Aa) se utilizan la fórmula establecida en la NTC 2017 numeral 6.3.4. la cuales son expresadas a continuación:

$$Absorcion (Aa\%), \% = \left[\frac{(Mh - Ms)}{Ms} \right] * 100$$

$$Densidad (D), Kg/m^3 = \left[\frac{Ms}{Mh - Ma} \right] * 1000$$

TESTIGO						
ESPECIMEN		T11	T12	T13	T14	T15
ABSORCION DE AGUA		7.44%	6.66%	7.94%	8.58%	7.72%
DENSIDAD (Kg/m3)		2048.3	2082.48	2038.06	2006.	2074.1
	4				9	5

Tabla 14: Absorción y Densidad testigo.

Fuente: Autor

RECICLADO						
ESPECIMEN		T11	T12	T13	T14	T15
ABSORCION DE AGUA		10.18%	9.46%	10.11%	9.61%	9.82%
DENSIDAD (Kg/m3)		1916.61	1947.47	1914.79	1960.7	1933.4
				3		0

Tabla 15: Absorción y Densidad reciclado.

Fuente: Autor

3.5. ANALISIS DE RESULTADOS

3.5.1. GRANULOMETRÍA

A continuación, se mostrará la curva granulométrica superpuesta con la curva de límite superior e inferior dado por la NTC 174:

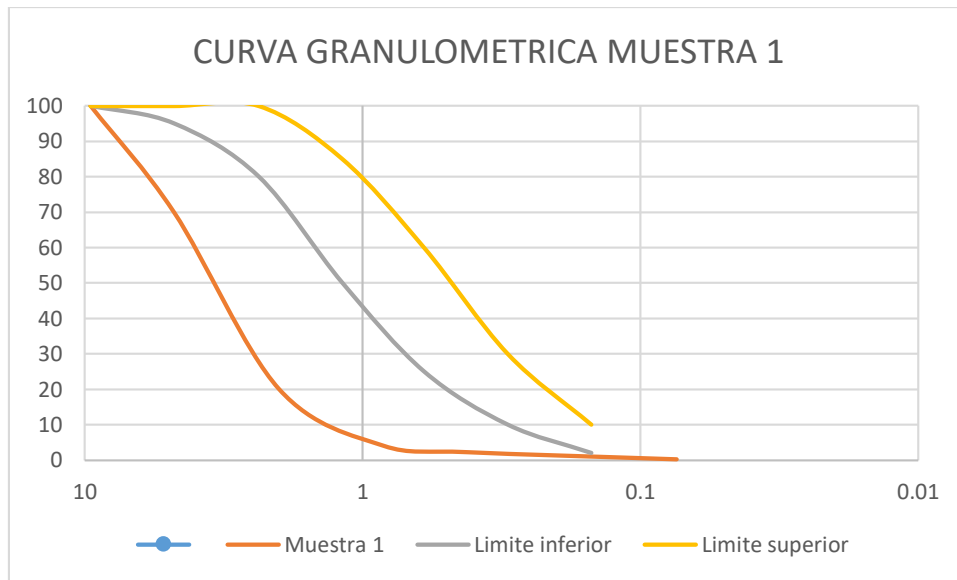


Gráfico 3: Límites muestra 1

Fuente: Autor

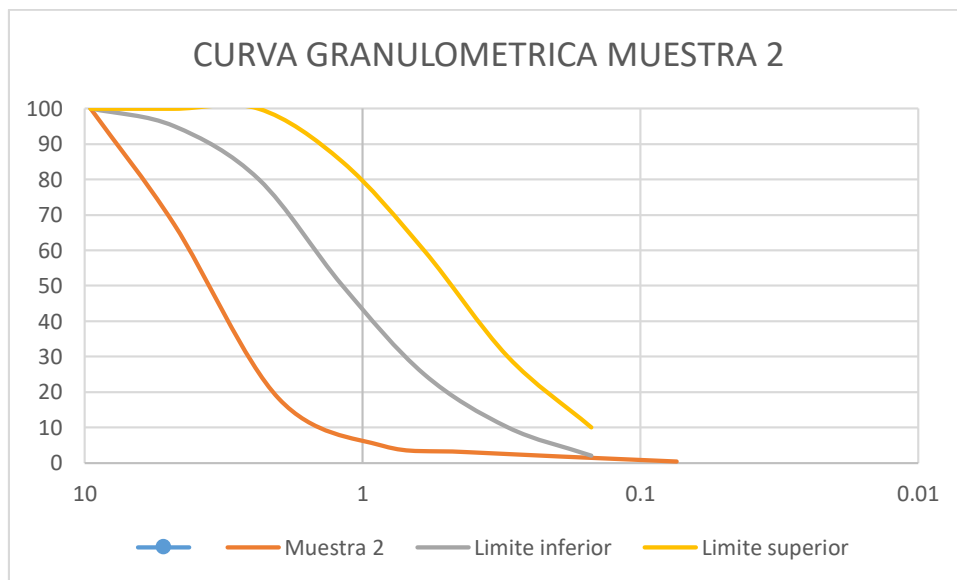


Gráfico 4: Límites muestra 2

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta lo dicho en la NTC 174 se puede observar que las curvas granulométricas de las 2 muestras no están dentro de los límites establecidos por esta, encontrándose por debajo del límite inferior; esto pudo haber sucedido porque para el triturado del material no se contó con máquina trituradora para obtener un tamaño de 3/8. Se prosiguió con la investigación bajo estas condiciones ya que por ser un agregado reciclado no hay una normativa que rija los parámetros para ser utilizado, por lo cual se pensó que no afectaría significativamente la prueba.

3.5.2. RESISTENCIA A LA FLEXO-TRACCION

A continuación, se presentarán los valores promedios de los módulos rotura y carga máxima para así hacer su debido análisis:

En los adoquines que se ensayaron al 5 día y 13 día no se analizará el resultado del módulo de rotura ya que la norma específica que esto se hace a los 28 días, solo se mostrará que tanto varía el adoquín testigo con respecto al adoquín hecho con ladrillo de arcilla reciclado. Para sacar cuanto porcentaje varía una carga y módulo de rotura con respecto a otra se utilizó la fórmula de error la cual no muestra el resultado.

$$Pc = \frac{Cr - Ct}{Cr} * 100$$

Cr= Carga promedio del adoquín hecho con reciclado.

Ct=Carga promedio del adoquín testigo.

Pc=Porcentaje carga.

$$Pm = \frac{Mr - Mt}{Mr} * 100$$

Mr= Módulo de rotura promedio del adoquín hecho con reciclado.

Mt= Módulo de rotura promedio del adoquín testigo.

Pm=Porcentaje módulo de rotura.

		TESTIGO	RECICLADO
PROMEDIO CARGA MÁXIMA DE ROTURA (N)		5064.61	6720.67
PROMEDIO MÓDULO DE ROTURA (MPa)		2.06	2.89

Adoquines de edad 5 días

Tabla 16: Carga y Modulo de rotura promedio día 5.
Fuente: Autor

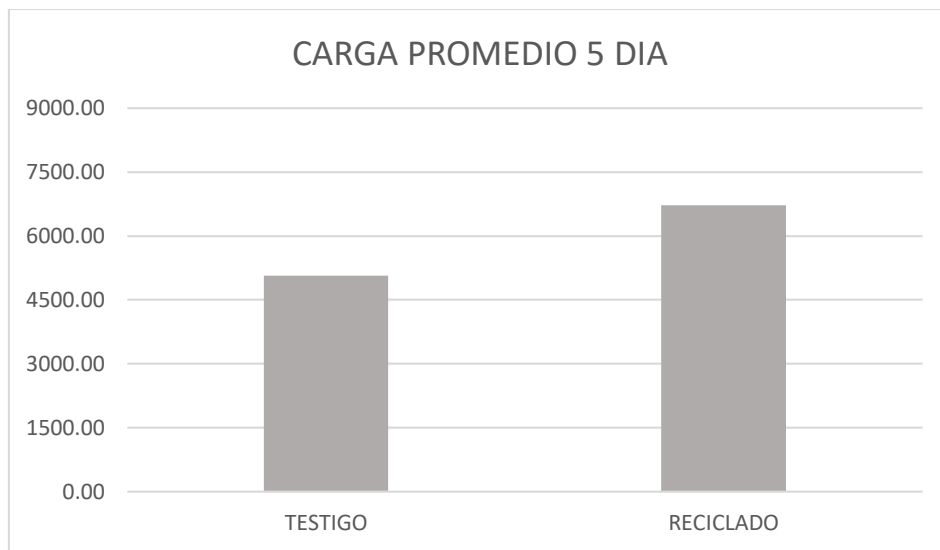


Gráfico 5: Carga promedio día 5.
Fuente: Autor

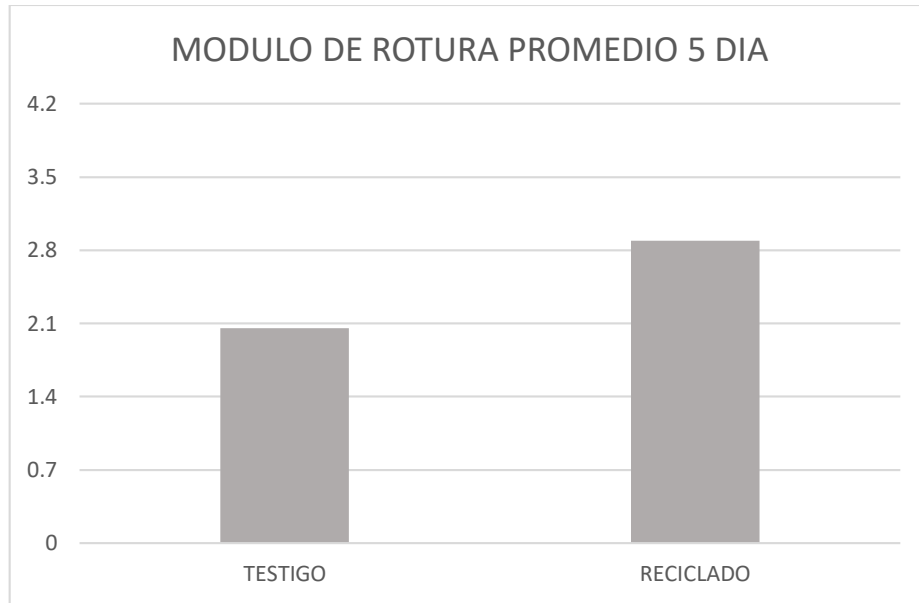


Gráfico 6: Módulo de rotura promedio día 5.

Fuente: Autor

Como podemos observar en la gráfica de carga y módulo de rotura promedio se evidencia que el adoquín hecho con ladrillo de arcilla reciclado tuvo mejores resultados con respecto al testigo.

$$P_c = \frac{6720.67 - 5064.61}{6720.67} * 100 = 24.6\%$$

$$P_m = \frac{2.89 - 2.06}{2.89} * 100 = 28.72\%$$

Reemplazando en la fórmula del error tenemos que el adoquín hecho con ladrillo de arcilla reciclado tuvo un aumento de carga es 24.6% y módulo de rotura es 28.72% con respecto al testigo.

Adoquines de edad 13 días:

	TESTIGO	RECICLADO
PROMEDIO CARGA MÁXIMA DE ROTURA (N)	8405.37	6866.69
PROMEDIO MÓDULO DE ROTURA (MPa)	3.48	2.22

Tabla 17: Carga y Modulo de rotura promedio día 13.

Fuente: Autor

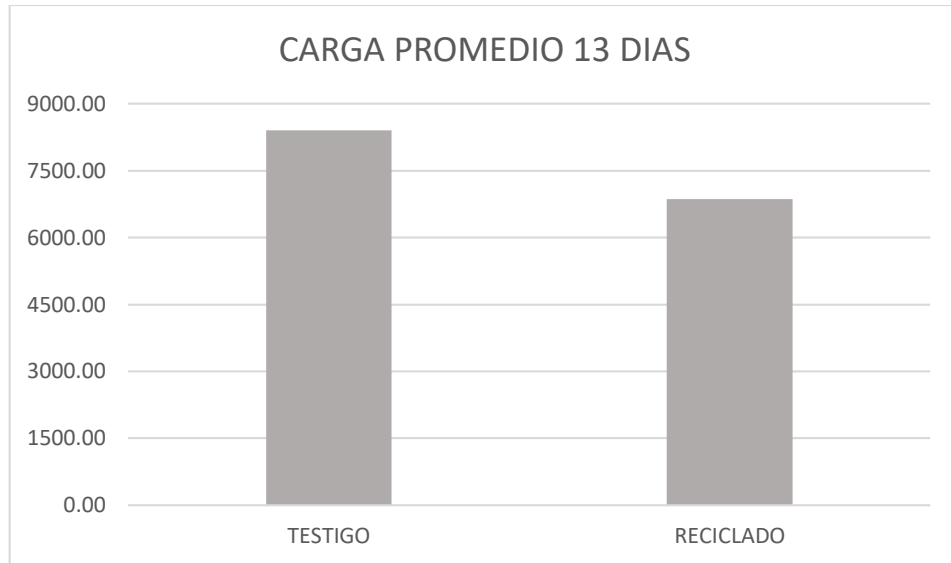


Gráfico 7: Carga promedio día 13.
Fuente: Autor

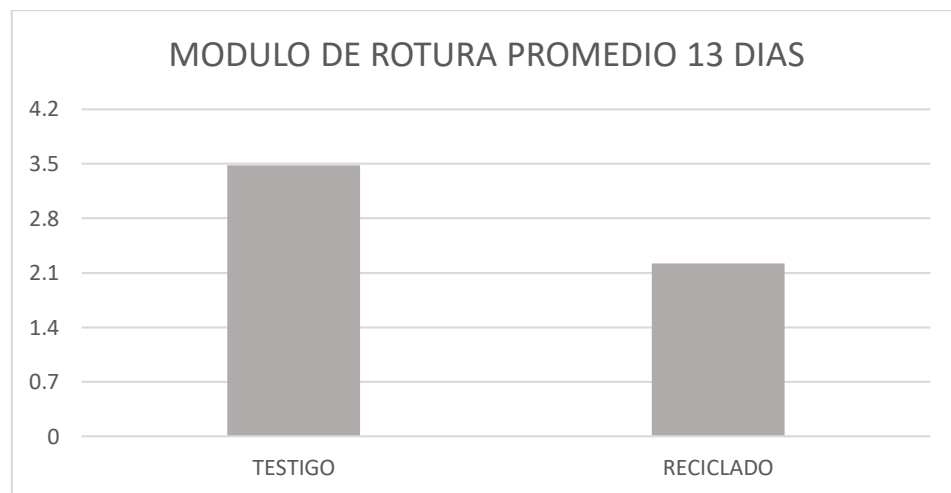


Gráfico 8: Módulo de rotura promedio día 13.
Fuente: Autor

Como podemos observar en la gráfica de carga y módulo de rotura promedio se evidencia que el adoquín testigo tuvo mejores resultados con respecto al adoquín hecho con ladrillo de arcilla reciclado.

$$Pc = \frac{8405.37 - 6866.69}{8405.37} * 100 = 18.3\%$$

$$Pm = \frac{3.48 - 2.22}{3.4} * 100 = 36.21\%$$

Reemplazando en la fórmula del error tenemos que el adoquín testigo tuvo un aumento de carga es 18.3% y módulo de rotura en 36.21% con respecto al adoquín hecho con ladrillo de arcilla reciclado. Dando como resultado que el concreto al pasar de los días su resistencia evoluciona rápidamente.

Adoquines de edad 27 días:

	TESTIGO	RECICLADO
PROMEDIO CARGA MÁXIMA DE ROTURA (N)	6951.02	7221.18
PROMEDIO MÓDULO DE ROTURA (MPa)	2.9	3.04

Tabla 18: Carga y Módulo de rotura promedio día 27.

Fuente: Autor

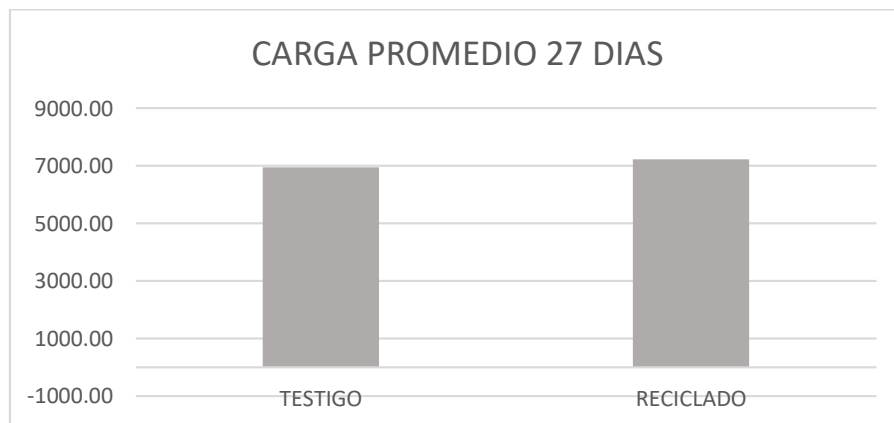


Gráfico 9: Carga promedio día 27.

Fuente: Autor

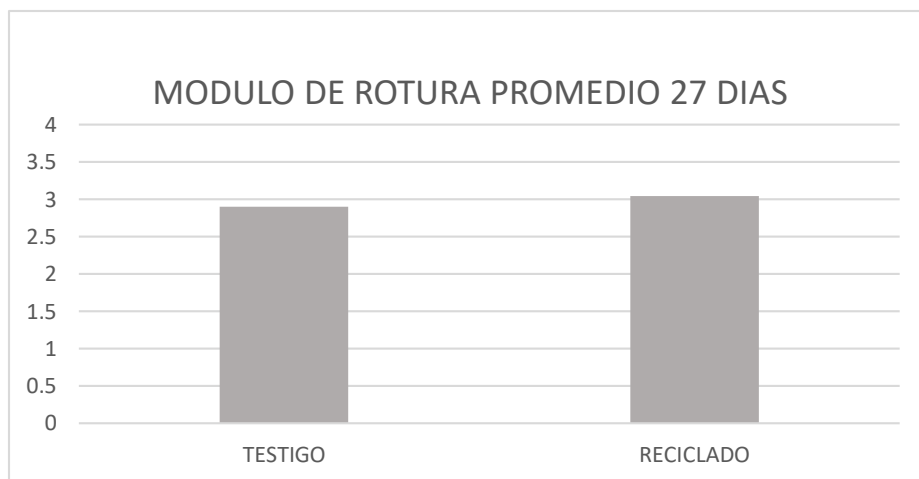


Gráfico 10: Módulo de rotura día 27.

Fuente: Autor

Como podemos observar en la gráfica de carga promedio se evidencia que el adoquín hecho con ladrillo de arcilla reciclado tuvo mejores resultados con respecto al testigo.

$$P_c = \frac{7221.18 - 6951.02}{7221.18} * 100 = 3.72\%$$

$$P_m = \frac{3.04 - 2.9}{3.04} * 100 = 4.6$$

Reemplazando en la fórmula del error tenemos que el adoquín hecho con ladrillo de arcilla reciclado tuvo un aumento de carga des 3.74% y módulo de rotura en 4.6% con respecto al testigo.

Módulo de rotura (Mr) a los 28 d ^A , Mínimo ^B , Mpa		Longitud de la huella (lh) Máximo, mm
Promedio de 5 especímenes	Individual	Promedio de 5 especímenes
5,0	4,2	-
4,2	3,8	23
^A El módulo de rotura (Mr) se ha especificado a los 28 d. Sin embargo, los adoquines se pueden utilizar a edades más tempranas, cuando existe un historial sobre la evolución del módulo de rotura (Mr) de adoquines de iguales características, y éste indique que los primeros pueden alcanzar dicho módulo y que poseen la resistencia necesaria para ser colocados. Lo anterior, no exime de la verificación directa de la calidad de los adoquines mediante ensayos a los 28 d.		
^B 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, etc., en cuyo caso se debe consultar con los proveedores locales para averiguar por la disponibilidad de este tipo de adoquines (véase la Nota 1).		

Ilustración 14: Tabla módulo de rotura

Tomada de la NTC 2017

Haciendo la comparación de los resultados con lo que nos dice la norma en su tabla 1. Requisitos de resistencia a la flexotracción (módulo de rotura(Mr)) se puede observar que ninguno de los dos especímenes (testigo y reciclado), no cumplen con el valor mínimo establecido por la norma.

3.5.3. ABSORCIÓN DE AGUA Y DENSIDAD

A continuación, se presentarán los valores promedios de absorción de agua y densidad para así hacer su debido análisis:

	TESTIGO	RECICLADO
ABSORCIÓN DE AGUA PROMEDIO	7.67%	10%
DENSIDAD (Kg/m³) PROMEDIO	2049.99	1934.60

Tabla 19: Absorción y Densidad promedio.

Fuente: Autor

Como se puede apreciar en la tabla el valor promedio de los especímenes no cumple con el valor máximo de absorción dado por la norma el cual no debe ser superior al 7% de su volumen total.

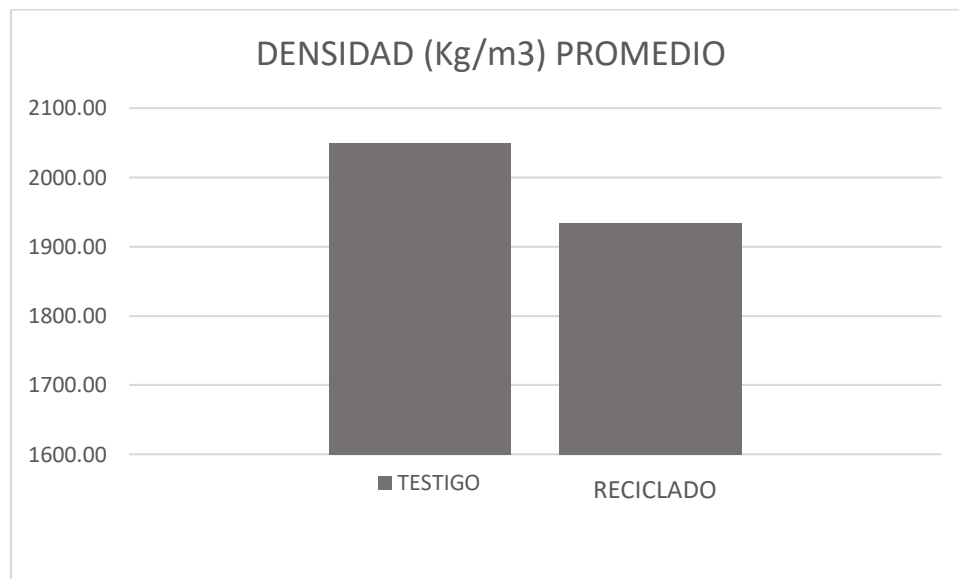


Gráfico 11: Densidad promedio.

Fuente: Autor

Como se puede apreciar en la gráfica la densidad del adoquín con ladrillo de arcilla es un 5.63 menos denso que el adoquín testigo, en otras palabras, con este diseño de mezcla se puede producir aproximadamente 60 adoquines testigo y aproximadamente 63 adoquines con ladrillo de arcilla reciclado.

3.6. ANÁLISIS ECONÓMICO

A continuación, se mostrará cómo influye el agregado reciclado en el costo de producción por metro cuadrado de los adoquines utilizando una regla de tres para obtener la cantidad de porcentaje, el cual es 0.833, teniendo en cuenta que el diseño de mezcla mostrado anteriormente genera 1.2 metros cuadrados para adoquines testigo y para el adoquín de ladrillo de arcilla reciclado tenemos que ese porcentaje es de 0.794.

La presente tabla muestra el costo de hacer 60 adoquines testigo multiplicado por el factor de reducción ya mencionado.

PRECIOS MATERIA PRIMA TESTIGO				
MATERIA PRIMA UTILIZADA	UNIDAD	PRECIO KG	CANTIDAD KG	TOTAL PRECIO
CEMENTO ESTRUCTURAL GRIS ARGOS	KG	\$ 406.00	21.25	\$ 8,627.50
ARENA TRITURADA FINA TT	KG	\$ 37.19	90.5	\$ 3,365.51
TRITURADO 3/8" TT	KG	\$ 10.20	10.75	\$ 109.65
ARENA FINA GM	KG	\$ 39.95	60	\$ 2,397.00
SERVICIOS PÚBLICOS ENERGÍA	KG	\$ 5.37	10	\$ 53.70
TOTAL				\$ 12,122.95

Tabla 20: Costo de producción adoquines testigo.

Fuente: Autor

En la siguiente se mostrará el costo de hacer 63 adoquines con ladrillo reciclado multiplicado por el factor de reducción ya mencionado.

PRECIOS MATERIA PRIMA RECICLADO				
MATERIA PRIMA UTILIZADA	UNIDAD	PRECIO KG	CANTIDAD KG	TOTAL PRECIO
CEMENTO ESTRUCTURAL GRIS ARGOS	KG	\$ 406.00	21.25	\$ 8,627.50
ARENA TRITURADA FINA TT	KG	\$ 37.19	70.5	\$ 2,621.75
TRITURADO 3/8" TT	KG	\$ 10.20	10.75	\$ 109.65

ARENA FINA GM	KG	\$	39.95	60	\$ 2,397.00
LADRILLO RECICLADO	KG	\$	-	20	\$ -
SERVICIOS PÚBLICOS ENERGÍA	KG	\$	5.37	10	\$ 53.70
TOTAL					\$ 10,964.83

Tabla 21 Costo de producción adoquines reciclado.

Fuente: Autor

Como se puede observar en las tablas tenemos que la producción de adoquín hecho con ladrillo de arcilla reciclado es más barata, ahorrándose \$1,158.13 por metro cuadrado.

CAPÍTULO 4

4.1. CONCLUSIÓN

En conclusión, podemos observar que al sustituir ladrillo de arcilla reciclado por la arena blanca del diseño de mezcla aumenta su resistencia a la flexotracción; esto pudo deberse a que las partículas eran del mismo tamaño que el agregado grueso utilizado, generando así un mejor entramamiento entre las partículas, sin embargo, ninguno de los adoquines se encuentra dentro de los estándares establecidos en la NTC 2017.

Por otra parte, la granulometría del agregado reciclado no cumplió con los límites establecido por la NTC 174, esto pudo haber sucedido porque la trituración fue manual, ya que no se contó con trituradora mecánica siendo este un factor decisivo en el tamaño del agregado. Dando como resultado que la mezcla se hiciera más porosa como se pudo evidenciar en la absorción de agua que tuvo el adoquín hecho con ladrillo de arcilla reciclado y su densidad.

En el apartado económico se puede evidenciar que para el mismo diseño de mezcla se producen más adoquines de ladrillo de arcilla reciclado que el testigo, siendo más rentable para la comercializadora ya que su costo de producción por metro cuadrado es menor y su resistencia a la flexotracción es mayor que el testigo pudiendo así ahorrarse \$1,158.13 por unidad de medida, teniendo un posible potencial de comercialización alto por las leyes que cobijan la utilización de RCD en el país como material alternativo para así disminuir la contaminación.

Se hace necesario ahondar más sobre este tema, ya que en la presente investigación se experimentó con una sola proporción de material reciclado pudiéndose probar la incorporación de cantidades superiores de este material para así darle más uso y reducir más el impacto que este genera al medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

El Informador. (2017). ESSMAR retira 20 toneladas de residuos sólidos en la Avenida Santa Rita *El Informador*.

Carlos Albeiro PB, Luis Guillermo FP, Sánchez Cotte eH, & Quintana HR. (2017). Construction demolition waste (CDW), a perspective of achievement for the city of Barranquilla since its management model. *Ingeniería y Desarrollo*, 35, 2.

Gonzales, R.& Pérez-Monzerrat, E.. (2012). La conservación de los materiales utilizados en el patrimonio. Madrid, España: Instituto de Geociencia.

CRUZ, L. O. M. (2003). Pavimento intertravado de concreto: Estudo dos elementos e métodos de dimensionamento. 281p. Tesis (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2003.

SHACKEL, B. (1990). Design end construction of interlocking concrete block pavements. First edition. Elsevier, New York and London, 1990.

ATLAS GLOBO (1995). A origem de Roma. Atlas da História Universal – The Times. Editora: O Globo, Rio de Janeiro, 1995.

KNAPTON, J. (1996). Romans and their roads – The original small element pavement technologists, 1996, Israel.

NTC 2017 (2004), Norma Técnica Colombiana. Adoquines de concreto para pavimentos. Colombia.

Plazas, S. & Gamba, G.. (2015). MARCO CONCEPTUAL. En Caracterización de las Propiedades Mecánicas de Adoquines de Concreto con Adición de Residuo de Caucho Reciclado Producto de Llantas Usadas(114). Bogota D.C.: UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS.

<https://colombia.argos.co/Conoce-nuestros-productos/Cemento-Estructural-Max>

eurostat, Mayo 2017. The key to european statistics.
ec.europa.eu/eurostat/web/waste/overview

Cabana, J. 30 Abril 2017. Boletín 32 sitio de prensa. <http://www.santamarta.gov.co>

Bustos, C. A. P., Pumarejo, L. G. F., Cotte, É. H. S., & Quintana, H. A. R. (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.

Pacheco, C. & Fuentes, L.. (2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión

. Universidad del Norte, Barranquilla, 35, 23.

Carlos Albeiro PB, Luis Guillermo FP, Sánchez Cotte eH, Quintana HR. Construction demolition waste (CDW), a perspective of achievement for the city of Barranquilla since its management model. Ingeniería y Desarrollo. 2017;35(2).