



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 16 de octubre de 2022

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Daniel Santiago Valencia Cruz _____, con C.C. No. 1075314419,

John Alexander Caviedes Bermudez _____, con C.C. No. 1003801975,

_____, con C.C. No. _____,

_____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____

titulado Viabilidad del uso de materiales provenientes de los Residuos de Construcción y Demolición en la ciudad de Neiva, para la producción de concreto en obras de urbanismo, presentado y aprobado en el año 2022 como requisito para optar al título de Ingeniero Civil;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN DE BIBLIOTECAS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Daniel Santiago Valencia C. EL AUTOR/ESTUDIANTE: John Alexander Caviedes B.

Firma:

Firma:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Firma: _____

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: Viabilidad del uso de materiales provenientes de los Residuos de Construcción y Demolición en la ciudad de Neiva, para la producción de concreto en obras de urbanismo.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Valencia Cruz	Daniel Santiago
Caviedes Bermúdez	John Alexander

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Duarte Toro	Mauricio
Castillo	Henry Mauricio

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil.

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Civil

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2022

NÚMERO DE PÁGINAS: 88

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas Fotografías ___ Grabaciones en discos ___ Ilustraciones en general Grabados ___
Láminas ___ Litografías ___ Mapas ___ Música impresa ___ Planos ___ Retratos ___ Sin ilustraciones ___ Tablas
o Cuadros

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Agregado Grueso Natural</u>	<u>Natural Coarse Aggregate</u>
2. <u>Agregado Grueso Reciclado</u>	<u>Recycled Coarse Aggregate</u>
3. <u>Concreto Convencional</u>	<u>Conventional Concrete</u>
4. <u>Residuos de Construcción y Demolición</u>	<u>Construction and Demolition Waste</u>
5. <u>Concretos Ecologicos</u>	<u>ecological concrete</u>

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El presente proyecto de investigación busca determinar la viabilidad de producir obras de urbanismo a partir de CR (concretos reciclados) con agregados gruesos extraídos de los RCD(Residuos de Construcción y Demolición) en la ciudad de Neiva, una ciudad que se encuentra en proceso de expansión demográfica durante los últimos años aumentando la producción de los RCD, además no cuenta con un adecuado programa de gestión de disposición final de los RCD, por tal razón esta investigación propuso la implementación de los AGR (AGREGADOS GRUESOS RECICLADOS) en la producción de concretos de obras de urbanismo para reducir el impacto ambiental que los residuos actualmente dejan en la ciudad por su mala disposición final.

Se comenzó planteando tres tipos de origen diferentes de RCD con el fin de analizar las variaciones que pueden presentar en las propiedades físicas y mecánicas como la resistencia a la compresión, se trabajó con diferentes porcentajes de AGR (50, 70 Y 100%), así mismo se realizó una corrección de humedad al diseño de mezcla debido que los AGR tienen mayor adsorción que los AGN (agregado grueso natural). los AGR aumentaron la resistencia de diseño de 210 kg/cm² hasta un max. 270 kg/cm² siendo directamente proporcional entre A/C, Slump, Peso de los especímenes y resistencias alcanzadas.

De manera general se evidenció que el mejor porcentaje del agregado grueso reciclado de concreto fue el 70% de reemplazo, ya que alcanzo desde los 7 días la resistencia de diseño, lo cual pone en consideración que los AGR se pueden implementar no solo en obras de urbanismo si no en concreto estructural de dependiendo de la procedencia de los RCD.



ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

This research project seeks to determine the feasibility of producing urban planning works from RC (recycled concrete) with coarse aggregates extracted from CDW(Construction and Demolition Waste) in the city of Neiva, a city that is in the process of demographic expansion in recent years increasing the production of CDW, also does not have an adequate management program for the final disposal of CDW, for this reason this research proposed the implementation of RCA (RECYCLED COARSE AGGREGATE) in the production of concrete of urban planning works to reduce the environmental impact that waste currently leaves in the city due to its poor final disposal.

We began by proposing three different types of CDW origin in order to analyze the variations that they can present in physical and mechanical properties such as compressive strength, we worked with different percentages of RCA (50, 70 and 100%), as well as Likewise, a moisture correction was made to the mix design due to the fact that the RCA have greater adsorption than the NCA (natural coarse aggregate). RCAs increased the design strength from 210 kg/cm² to a max. 270 kg/cm² being directly proportional between A/C, Slump, Weight of the specimens and resistance reached.

In general, it was evidenced that the best percentage of coarse recycled concrete aggregate was 70% replacement, since it reached the design resistance from 7 days, which puts into consideration that RCA can be implemented not only in construction works urban planning if not in structural concrete depending on the origin of the CDW.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: WILLIAM JAVIER ANDRADE

Firma: 

Nombre Jurado: LUIS HUMBERTO JIMENEZ MORERA

Firma: 



Viabilidad del uso de materiales provenientes de los Residuos de Construcción y Demolición en la ciudad de Neiva, para la producción de concreto en obras de urbanismo

Daniel Santiago Valencia Cruz

John Alexander Caviedes

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Civil

Neiva, Colombia

2022

Viabilidad del uso de materiales provenientes de los Residuos de Construcción y Demolición en la ciudad de Neiva, para la producción de concreto en obras de urbanismo

Daniel Santiago Valencia Cruz

John Alexander Caviedes

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingenieros Civiles

Director:

MSc. Mauricio Duarte Toro

Codirector:

Ing. Henry Mauricio Castillo

Línea de Investigación:

Materiales de la Construcción en Ingeniería Civil

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Civil

Neiva, Colombia

2022

Dedicatoria

Dedico este trabajo de investigación a Dios, ya que, gracias a Él, logro terminar mi carrera como estudiante, a toda mi familia, en especial a mi Madre y Hermano que me han apoyado en todo momento, a aquellos seres queridos que ya no están, con los que siempre soñamos conseguir este logro, a mis amigos de toda la vida y a todos los maestros y personas que me han compartido sus conocimientos y consejos como profesionales y seres humanos.

Daniel Santiago Valencia Cruz

A mis padres, quienes me han formado como persona y fueron los cimientos que me han permitido llegar hasta este momento, a mis hermanos, quienes me han apoyado a lo largo de mi carrera profesional, a mi familia en general por brindarme su compañía y sus consejos, a mis maestros y a todos los que han compartido su conocimiento, a mis amigos y compañeros, quienes han sido parte de este ciclo.

John Alexander Caviedes Bermúdez

Agradecimientos

En primer lugar, a Dios que me ha permitido alcanzar todas mis metas , a mi madre, que ha sido el pilar fundamental, la cual me ha apoyado y acompañado en todo este proceso, a mi hermano, por su ayuda y apoyo, ha sido parte fundamental de mi vida y formación universitaria, a mis amigos y compañeros que han estado de forma incondicional durante todo este recorrido, a los docentes, auxiliares de laboratorio, administrativos que me acompañaron y brindaron sus conocimientos durante este proceso y en especial a mi tutor, por su conocimiento, enseñanza y colaboración que hicieron posible el desarrollo de este trabajo. Y gracias a todas las personas que me brindaron su ayuda en este proyecto.

Daniel Santiago Valencia Cruz

A mis padres, por guiarme en el camino de la vida y permanecer a mi lado en todo momento, por impulsar mis sueños y acompañarme a cumplir ésta meta, a mis hermanos por su apoyo incondicional, a mis amigos y compañeros, con los cuales he compartido momentos de alegrías y tristezas, a mis profesores y auxiliares quienes a través del conocimiento fueron la guía para culminar este proceso, a mi tutor por brindarme sus consejos y orientación en el proyecto, y todos los que han aportado su granito de arena.

John Alexander Caviedes Bermúdez

Resumen

El presente proyecto de investigación busca determinar la viabilidad de producir obras de urbanismo a partir de CR (concretos reciclados) con agregados gruesos extraídos de los RCD(Residuos de Construcción y Demolición) en la ciudad de Neiva, una ciudad que se encuentra en proceso de expansión demográfica durante los últimos años aumentando la producción de los RCD, además no cuenta con un adecuado programa de gestión de disposición final de los RCD, por tal razón esta investigación propuso la implementación de los AGR (AGREGADOS GRUESOS RECICLADOS) en la producción de concretos de obras de urbanismo para reducir el impacto ambiental que los residuos actualmente dejan en la ciudad por su mala disposición final.

Se comenzó planteando tres tipos de origen diferentes de RCD con el fin de analizar las variaciones que pueden presentar en las propiedades físicas y mecánicas como la resistencia a la compresión, se trabajó con diferentes porcentajes de AGR (50, 70 Y 100%), así mismo se realizó una corrección de humedad al diseño de mezcla debido que los AGR tienen mayor adsorción que los AGN (agregado grueso natural). los AGR aumentaron la resistencia de diseño de 210 kg/cm² hasta un max. 270 kg/cm² siendo directamente proporcional entre A/C, Slump, Peso de los especímenes y resistencias alcanzadas.

De manera general se evidenció que el mejor porcentaje del agregado grueso reciclado de concreto fue el 70% de reemplazo, ya que alcanzo desde los 7 días la resistencia de diseño, lo cual pone en consideración que los AGR se pueden implementar no solo en obras de urbanismo si no en concreto estructural de dependiendo de la procedencia de los RCD.

Palabras clave: Agregado Grueso Natural, Agregado Grueso Reciclado, Concreto Convencional, Concreto Reciclado, Residuos de Construcción y Demolición.

Abstract

This research project seeks to determine the feasibility of producing urban planning works from RC (recycled concrete) with coarse aggregates extracted from CDW (Construction and Demolition Waste) in the city of Neiva, a city that is in the process of demographic expansion in recent years increasing the production of CDW, also does not have an adequate management program for the final disposal of CDW, for this reason this research proposed the implementation of RCA (RECYCLED COARSE AGGREGATE) in the production of concrete of urban planning works to reduce the environmental impact that waste currently leaves in the city due to its poor final disposal.

We began by proposing three different types of CDW origin in order to analyze the variations that they can present in physical and mechanical properties such as compressive strength, we worked with different percentages of RCA (50, 70 and 100%), as well as Likewise, a moisture correction was made to the mix design due to the fact that the RCA have greater adsorption than the NCA (natural coarse aggregate). RCAs increased the design strength from 210 kg/cm² to a max. 270 kg/cm² being directly proportional between A/C, Slump, Weight of the specimens and resistance reached.

In general, it was evidenced that the best percentage of coarse recycled concrete aggregate was 70% replacement, since it reached the design resistance from 7 days, which puts into consideration that RCA can be implemented not only in construction works urban planning if not in structural concrete depending on the origin of the CDW.

Keywords: NCA: Natural Coarse Aggregate, RCA: Recycled Coarse Aggregate, CC: Conventional Concrete, RC: Recycled Concrete, CDW: Construction and Demolition Waste.

Contenido

	Pág.
Resumen	V
Lista de Tablas	X
Lista de Ilustraciones.....	XI
Lista de Graficas.....	XII
Lista de anexos	XIII
Capítulo 1	14
1. Introducción.....	14
1.1 Antecedentes	14
1.1.1 A nivel internacional	15
1.1.2 A nivel nacional.....	17
1.1.3 A nivel local.....	18
1.2 Justificación	19
1.3 Pregunta de Investigación	21
1.4 Objetivos	21
1.4.1 Objetivo general	21
1.4.2 Objetivos específicos	21
1.5 Estructura del documento	22
Capítulo 2	23
2. Marco teórico.....	23
2.1 Concreto	23
2.1.1 Composición del concreto	24
2.2 Gestión integral de los residuos de construcción y demolición (RCD)	27
2.2.1 ¿Qué son los RCD?	27
2.2.2 Tipos de residuos de construcción y demolición aprovechables.....	27
2.2.3 Escombreras legales e ilegales	28
2.2.4 Normativa nacional.....	28
2.2.5 Normativa municipal	29
2.3 Concreto reciclado.....	29
2.3.1 Uso del agregado reciclado.....	30

2.3.2	Ventajas de usar el agregado reciclado.....	30
2.3.3	Influencia de los agregados reciclados en las propiedades físicas y mecánicas del concreto 31	
2.3.4	Normativa.....	31
2.4	Prefabricados	32
2.4.1	Normativa.....	32
Capítulo 3	.....	33
3. Metodología	.....	33
3.1	Tipo de investigación	34
3.2	Selección de Tratamientos.....	34
3.2.1	Tratamiento A.....	34
3.2.2	Tratamiento B.....	35
3.2.3	Tratamiento C.....	35
3.3	Caracterización de materiales	36
3.3.1	Cemento	36
3.3.1	Agregado natural	37
3.4	Caracterización del agregado grueso reciclado	39
3.5	Diseño de mezcla.....	41
3.6	Dosificación, elaboración y curado de los cilindros de concreto	44
3.7	Diseño prototipo de prefabricado	48
3.7.1	Adoquín Tipo Hueso	48
Capítulo 4	.....	50
4. Análisis de resultados.....	.....	50
4.1	Resultados de la caracterización de los agregados	50
4.1.1	Análisis granulométrico	50
4.1.2	Análisis de la determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de los agregados del agregado finos.....	51
4.1.3	Densidad y absorción del agregado fino	52
4.1.4	Análisis de la determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de los agregados gruesos	53
4.1.5	Densidad y absorción del agregado grueso.....	53
4.1.6	Resistencia al desgaste	54
4.2	Resultados del ensayo de resistencia a la compresión.....	54
4.2.1	Relación A/C respecto al Slump en el tratamiento A.	54
4.2.2	Relación de porcentajes de reemplazo en el tratamiento A	55
4.2.3	Relación de porcentajes de reemplazo en el tratamiento B.....	57
4.2.4	Relación de porcentajes de reemplazo en el tratamiento C.....	58
4.3	Análisis estadístico.....	59
4.4	Resumen estadístico.....	60
4.5	Análisis de Varianza para la Resistencia a compresión (kg/cm ²)	60
4.5.1	Pruebas de Múltiple Rangos para Resistencia por Tratamiento.....	61
4.5.1	Pruebas de Múltiple Rangos para Resistencia por Dia	62

4.5.1	Pruebas de Múltiple Rangos para Resistencia por porcentajes	64
4.5.2	Gráficos de interacciones entre los Factores	65
4.6	Producción Prototipo De Adoquín	66
4.7	Resultado de ensayo de flexo-tracción de los adoquines	67
4.8	Comparación de APU para un metro cubico de concreto	68
Capítulo 5	.....	70
5. Conclusiones y recomendaciones	.....	70
5.1	Conclusiones.....	70
5.2	Recomendaciones	72
Bibliografía	.....	73
1. Bibliografía	.....	73

Lista de Tablas

Tabla 1. Titulo y nomenclatura de las investigaciones de referencia.....	15
Tabla 2. Resumen y evaluación para optimizar el diseño - investigaciones de referencia.....	16
Tabla 3. Resultados arrojados por los especímenes de investigaciones referentes	17
Tabla 4. Tipos de RCD.....	27
Tabla 5. Metodología	33
Tabla 6. Ficha técnica cemento Alion UG.....	36
Tabla 7. Informacion de los RCD utilizados como fuente de Agregados Gruesos Reciclados.....	39
Tabla 8. Trituración manual AGR tratamientos B y C.....	40
Tabla 9. Datos iniciales del diseño de mezcla.....	42
Tabla 10. Resumen ensayos agregados de origen natural	42
Tabla 11. Resumen resultado método ACI.....	42
Tabla 12. Proporcion para un metro cubico de concreto	43
Tabla 13. Proporcion diseño de mezcla para 3000 PSI.....	43
Tabla 14. Diseño concreto convencional de 3000 PSI.....	43
Tabla 15. Dosificacion cilindros testigo concreto convencional	44
Tabla 16. Resumen muestras por reemplazo y tratamiento	44
Tabla 17. Resumen dosificación para diferentes tipos de muestra	45
Tabla 18. Relacion Ficha técnica de adoquín propuesto en México.....	48
Tabla 19. Dimensiones Adoquín Propuesto.....	49
Tabla 20. Masa unitaria compactada por apisonamiento y suelta del agregado fino	52
Tabla 21. Densidad y absorción del agregado fino	52
Tabla 22. Resumen masa unitaria compactada por apisonamiento y suelta del agregado grueso.	53
Tabla 23.Resumen densidad y absorción del agregado grueso	53
Tabla 24. Resistencia al desgaste del agregado grueso	54
Tabla 25. Resumen Promedio de ensayos para determinar el porcentaje de reemplazo	59
Tabla 26. Análisis de la Varianza - ANOVA.....	60
Tabla 27. comparación entre medias por diferencia mínima significativa (LSD) de fischer	61
Tabla 28. diferencias entre grupos.....	61
Tabla 29. comparación entre medias por diferencia mínima significativa (LSD) de fischer	62
Tabla 30. diferencias entre grupos.....	63
Tabla 31. comparación entre medias por diferencia mínima significativa (LSD) de fischer	64
Tabla 32. diferencias entre grupos.....	64
Tabla 33. Resumen ensayo a flexión adoquines	68
Tabla 34.Analisis de precio unitario concreto convencional vs reciclado	68
Tabla 35. Análisis Granulométrico Agregado Fino	77
Tabla 36. Análisis Granulométrico Del Agregado Grueso.....	79
Tabla 37. Análisis Granulométrico AGR Tratamiento A.....	81
Tabla 38. Análisis Granulométrico del agregado grueso reciclado	81
Tabla 39. Masa unitaria compacta por apisonamiento al agregado fino.....	83
Tabla 40. Masa unitaria suelta del agregado fino.....	83
Tabla 41. Masa unitaria suelta al agregado grueso	84
Tabla 42. Masa unitaria compacta por apisonamiento al agregado grueso.....	84
Tabla 43. Masa unitaria suelta al agregado grueso reciclado	85
Tabla 44. Masa unitaria compacta por apisonamiento al agregado grueso reciclado	85

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Índice de Costos de la Construcción de Vivienda (ICCV). Fuente: (DANE, 2021)	30
Ilustración 2. Requisitos de contenidos según la categoría del AGR. Fuente: (ICONTEC, 2021)	31
Ilustración 3. Localización Tratamiento A. Fuente: Google earth	34
Ilustración 4. Localización Tratamiento B. Fuente: Google earth	35
Ilustración 5. Localización Tratamiento C. Fuente: Google earth	36
Ilustración 6. Molde para ensayo agregado fino.....	37
Ilustración 7. Tamizadora mecánica.....	37
Ilustración 8. Molde para ensayo agregado grueso	37
Ilustración 9. Recipiente de la muestra para agregado grueso	38
Ilustración 10. Ensayo para determinar la humedad superficial del agregado fino.....	38
Ilustración 11 Agregado natural después del desgaste	39
Ilustración 12. Agregado según gradación tipo A	39
Ilustración 13. Maquina de los Ángeles	41
Ilustración 14 AGR después del ensayo.....	41
Ilustración 15 Medición de asentamiento.....	47
Ilustración 16. Encofrado, desencofrado y curado de cilindros	47
Ilustración 17. Detalle falla cilindros muestra AM50%	56
Ilustración 18. Ensayo a flexión de adoquines	67

Lista de Graficas

Grafica 1. Relación del asentamiento del concreto.....	46
Grafica 2. Curva de granulometría Agregado Fino	50
Grafica 3. Curva Granulométrica de los Agregados Gruesos Reciclados	51
Grafica 4. Relacion A/C respecto al slump en el tratamiento A.....	55
Grafica 5. Resistencia promedio tratamiento A en diferentes porcentajes AGR.....	56
Grafica 6. Resistencia promedio tratamiento B en diferentes porcentajes AGR	57
Grafica 7. Resistencia promedio tratamiento C en diferentes porcentajes AGR	58
Grafica 8. Test LSD de Fisher – factor tratamiento	62
Grafica 9. Test LSD de Fisher – factor días.....	63
Grafica 10. Test LSD de Fisher – factor porcentaje de reemplazo	65
Grafica 11. interacciones entre tratamiento y días.....	66
Grafica 12. interacciones entre porcentajes de reemplazo y días.....	66
Grafica 13. Curva de granulometría Agregado Fino	78
Grafica 14. Curva Granulométrica Agregado Grueso	80
Grafica 15. Curva Granulométrica de los Agregados Gruesos Reciclados	82

Lista de anexos

A. Anexo A-1: Ensayos de laboratorio – granulometría agregados finos.....	77
B. Anexo A-2: Ensayos de laboratorio – granulometría agregados gruesos	79
C. Anexo A-3: Ensayos de laboratorio – granulometría agregados reciclados	81
D. Anexo A-4: Ensayos de laboratorio – masa unitaria suelta y compactada agregados finos.....	83
E. Anexo A-5: Ensayos de laboratorio – masa unitaria suelta y compactada agregados gruesos	84
F. Anexo A-6: Ensayos de laboratorio – masa unitaria suelta y compactada agregados reciclados	85
G. Anexo B-1: Resultados ensayo a compresión.....	86
H. Anexo B-2: Resultados ensayo flexión de adoquines	87
I. Anexo C-1: Registro fotográfico fallas cilindros 70% de reemplazo AGR.....	88

Capítulo 1

1. Introducción

La idea de implementar los residuos de construcción y demolición (RCD) en las obras de urbanismo de la ciudad de Neiva, nace como alternativa para la reducción de los grandes volúmenes generados por la industria de la construcción. Se busca proyectar un aprovechamiento máximo de los RCD que no solo abarque obras de urbanismo sino también implementarlos en más usos, logrando disminuir el impacto ambiental que se genera, dando una adecuada gestión integral y disposición final de los mismos, así mismo poder disminuir costos de obra.

En la presente investigación se realiza un análisis comparativo de las propiedades físicas y mecánicas, entre RCD provenientes de diferentes orígenes como agregados reciclados obtenidos de cilindros de concreto con diferentes características, elaborados en el laboratorio de construcciones en la facultad de ingeniería de la Universidad Surcolombiana, agregados reciclados obtenidos de procesos constructivos de la constructora Rodríguez Briñez y agregados reciclados provenientes de la empresa Reciclados Industriales de la ciudad de Bogotá. Tomando como base diferentes investigaciones se establece un porcentaje de reemplazo inicial, teniendo en cuenta los ensayos pertinentes y caracterizando los agregados según la normativa vigente.

1.1 Antecedentes

La presente investigación tiene temas sobre el aprovechamiento de los RCD en el campo de la construcción para la producción del concreto reconociendo que este material cada día se vuelve de mayor importancia y uso en la industria de la construcción por sus propiedades y características. Con el fin de encaminarnos al objetivo del estudio se tienen los siguientes antecedentes a nivel internacional, nacional y local.

1.1.1 A nivel internacional

En los últimos años se han venido desarrollando investigaciones alrededor del uso de agregado grueso reciclado en la elaboración de nuevos concretos para diferentes tipos de obras, siendo así y tomando referencia algunas investigaciones a nivel internacional se hace una relación para poder identificar y comparar los resultados que han obtenido con los resultados de la presente investigación. El enfoque de las variables puede basarse en las proporciones del agregado reciclado en reemplazo, la relación agua/cemento, el alcance de las propiedades físicas y mecánicas del concreto, para esto se toman las siguientes investigaciones:

INVESTIGACION A – En su investigación (Martinez Soto & Mendoza Escobedo, 2006) elaboran concreto según el método ACI 211, 100% de agregado reciclado en reemplazo de agregado natural (caliza), teniendo trabajabilidad y peso volumétrico menor para el concreto con agregados reciclados; con cambios en el contenido de cemento variando en 200, 300 y 400 kg/m³.

INVESTIGACION B – En su investigación (Xargay, Ripani, Caggiano, Folino, & Martinelli, 2019) diseñan concreto para 3 diferentes tipos de mezclas variando la cantidad de cemento, es decir, la relación a/c y el reemplazo de cemento por fibras de acero recicladas variando en porcentajes de 30, 60 y 100%.

INVESTIGACION C – En su investigación (Gutierrez Moreno, Mungaray Moctezuma, & Hallack, 2015) elaboran concreto con 30% agregado reciclado en reemplazo del natural, teniendo en cuenta que el agregado reciclado presentaba una alta absorción y se añadió aditivos reductores de agua manteniendo una relación agua/cemento de 0.5.

Tabla 1. Título y nomenclatura de las investigaciones de referencia.

PROYECTO	NOMENCLATURA
INVESTIGACION A Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados	A1 (CR200)
	A2 (CR300)
	A3 (Cr400)
INVESTIGACION B Uso de materiales reciclados en compuestos cementicios	B1-30
	B1-60
	B1-100
	B2-30
	B2-60
	B2-100
	B3-30
	B3-60
	B3-100

<p>INVESTIGACION C Reuse of Hydraulic Concrete Waste as a New Material in Construction Procedures: a Sustainable Alternative in Northwest Mexico</p>	<p>C30</p>
--	------------

La tabla anterior hace referencia a las investigaciones tenidas en cuenta para una comparación y optimización del diseño, la columna nomenclatura hace referencia a las condiciones del diseño, por ejemplo, en las investigaciones B y C, el dígito que lo acompaña es el porcentaje de agregado reciclado usado.

Tabla 2. Resumen y evaluación para optimizar el diseño - investigaciones de referencia.

NOMENCLATUR A	ABSORCIO N %	CEM (kg/m ³)	AGUA kg/m ³	REEMPLAZ O %	A/C	RESISTENCIA
						A (MPa) 28d (MPa)
A1 (CR200)	2,60%	189,79	246,727	100	1,3	18,19
A2 (CR300)		281,75	239,487 5	100	0,85	29,49
A3 (Cr400)		371,16	252,388 8	100	0,68	35,37
B1-30	3%	250	171,9	30	0,69	33
B1-60		250	188,2	60	0,75	29
B1-100		250	259,6	100	1,04	12
B2-30		250	167,8	30	0,67	38
B2-60		250	179	60	0,72	26
B2-100		250	248,8	100	1,00	21
B3-30		200	167,8	30	0,84	31
B3-60		200	178,7	60	0,89	28
B3-100		200	248,8	100	1,24	18
C30	5,82%	304	152	30	0,5	30,47

De acuerdo con los resultados que obtuvieron las investigaciones A, B y C, relacionados en la tabla anterior se pueden ajustar a las necesidades de esta investigación pretendiendo alcanzar los objetivos de resistencia, trabajabilidad y durabilidad.

Se establece que una relación agua cemento media, es decir, entre 0.5 y 0.7 es buena, suficiente para hidratar la mezcla sin necesidad de usar aditivos, pero si haciendo una corrección por humedad, usando como método de hidratación el saturar el agregado reciclado y trabajarlo como superficialmente seco, dejando un espacio para absorción necesario para la adherencia de

la pasta de cemento al agregado reciclado. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede decir que es posible realizar diseños con reemplazo superiores al 50% con sus respectivas condiciones para que se garantice el cumplimiento de los objetivos.

No es posible comparar a fondo los resultados en resistencia debido a que cada diseño contaba con condiciones diferentes, pero se puede inferir que la investigación A, al usar una relación agua/cemento de 0,68 y reemplazo de 100% obtuvo resultados buenos alcanzando resistencias respecto a un diseño con agregado natural.

A continuación, se en la Tabla 3 se plasman las ventajas y desventajas que concluyeron las investigaciones de referencia a nivel internacional sobre el uso de los reciclados en los concreto.

Tabla 3. Resultados arrojados por los especímenes de investigaciones referentes.

NOMENCLATURA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
A1 (CR200)	- Concretos reciclados con mayores resistencias respecto a los naturales para una misma relación agua cemento	- Mayor consumo de agua para alcanzar una trabajabilidad similar al concreto convencional
A2 (CR300)		
A3 (Cr400)		
B1-30	- En porcentajes de 30 y 60% de sustitución no hay mucho inconveniente con la resistencia a la compresión final	- Si no se hace una corrección por absorción de los agregados gruesos reciclados la resistencia a la compresión final no va a ser aceptable
B1-60		
B1-100		
B2-30		
B2-60		
B2-100		
B3-30		
B3-60		
B3-100		
C30	- El concreto con agregado reciclado tiene una ventaja del 6% sobre el concreto con agregado natural	- Entre mayor porcentaje de agregado reciclado menor será la resistencia a la compresión - Al transcurrir 7 días solo alcanza el 50% de diseño

1.1.2 A nivel nacional

En su investigación (Mora , 2021)“Determinó la resistencia a compresión y los resultados de los diferentes ensayos evidenciaron que es posible producir estructuras de concreto que incorporen cantidades del 50% de agregados reciclados gruesos siempre que se garantice su calidad y su origen, ya que el concreto obtenido tuvo resultados comparables a los del concreto de referencia, cumpliendo con los requerimientos normativos de resistencia a la compresión”.

(Mora , 2021) “Recomienda conocer el origen y características del agregado concreto reciclado a utilizar, para poder garantizar la calidad del nuevo concreto a generar; establecer adecuadamente las relaciones de A/C dependiendo de los resultados que se quieran evaluar en las mezclas, relaciones A/C elevadas se relacionan con disminución en resistencia a la compresión; determinar el tipo de cemento a usar, teniendo en cuenta que los cementos de alto rendimiento podrían mejorar resultados frente a condiciones de durabilidad y comportamientos estructurales, especialmente cuando los porcentajes de sustitución con Agregado concreto reciclado sean elevados. El pre-humedecimiento del agregado concreto reciclado previo al proceso de mezclado según las recomendaciones de diferentes autores al respecto, debe darse para evitar la disminución de agua de la mezcla, dada la porosidad que del agregado reciclado y que no se afecten características de manejabilidad y durabilidad del nuevo concreto.”

El documento “Reciclar escombros en concretos” de (Arjona , y otros, 2015), argumentan que “El reciclaje de escombros se ha convertido en un tema de investigación de gran importancia a nivel mundial, en donde se ha estudiado su transformación y evaluado su incorporación desde agregado fino en morteros hasta agregado grueso en concretos convencionales y concretos de alto desempeño, produciendo materiales de la construcción de buena calidad, a un costo razonable y con el mínimo impacto ambiental. El concreto normal o convencional es el material compuesto más utilizado en el sector de la construcción y el que mayor demanda comercial presenta para construcciones de baja, media y alta envergadura”.

Esta investigación al contemplar la reutilización de RCD presentó beneficios ambientales y económicos al utilizar materiales alternativos en la producción de concreto, aportando una reducción en el costo por metro cúbico respecto al concreto convencional. Esta investigación logró concluir que, “el uso de los residuos de concreto como agregado para el concreto convencional muestra una viabilidad importante desde el punto de vista físico y mecánico además del impacto positivo ambiental. Los problemas de porosidad y cantidades de mortero adherido que poseen los agregados reciclados se podrían superar con una molienda que disminuya al máximo la presencia del mortero adherido, obteniendo así agregados más finos para la fabricación de concretos. Sin embargo, a pesar de estas características que pudiesen ser contraproducentes para este tipo de materiales, los mismos cumplen con las normativas que especifican las características que deben tener los agregados usados para construcción”.

1.1.3 A nivel local

(Ramos Paéz, 2021) de la Universidad Antonio Nariño (Neiva), estudio el comportamiento de unos eco-concretos elaborados con materiales reciclados como: residuos de concreto en

granulometrías gruesas (3/8”) y finas (8”), además de residuos de arena de excavación y residuos de hojas de maíz, destinados a ser caracterizados granulométrica y fisicoquímicamente con fines comparativos y se fabricaron con diferentes porcentajes de material reciclado que van desde 10% hasta 75% de reemplazo. Los resultados de las caracterizaciones mostraron que el agregado grueso reciclado presenta diferencias en la gradación, la densidad y el porcentaje de vacíos con respecto al agregado grueso natural, lo que muestra disminución en las resistencias de los eco-concretos con este tipo de reemplazo, sin embargo, las caracterizaciones de los agregados finos reciclados mostraron similitudes con el agregado fino natural, lo que influyó en el aumento de resistencias de los eco-concretos y los eco-morteros.

(Medina Herrera & Trujillo Cortez, 2022) de la Universidad Surcolombiana (Neiva), en su investigación se encaminaron en determinar la resistencia a la compresión y las propiedades físicas en estado endurecido (Densidad y absorción) de concretos con resina de poliéster y agregado grueso reciclado de concreto; para ello, realizaron probetas cilíndricas con diferentes mezclas de concreto, compuestas por agregado natural (Concreto convencional) y sustitución de agregado grueso natural por agregado grueso reciclado de concreto en cantidades de 20%, 50% y 100% (Concreto reciclado), y adición de 1% y 3% de resina de poliéster, para mejorar las características y propiedades de los diferentes concretos producidos, denominándolos como concretos modificados con polímeros.

(Medina Herrera & Trujillo Cortez, 2022) evidenciaron que el uso del agregado grueso reciclado de concreto y la adición de la resina de poliéster mejoró la resistencia a la compresión, donde el concreto con 50% de agregado grueso reciclado de concreto y 1% de resina de poliéster obtuvo la mayor resistencia (34,69 MPa). Por otra parte, la densidad de todos los concretos clasificaron dentro del concreto de peso normal, y en cuanto a la absorción, se presentó un aumento al incorporar el agregado grueso reciclado de concreto y al adicionar la resina de poliéster, por ende, se recomienda saturar estos por 24 horas y utilizarlos saturados superficialmente secos, Además es necesario conocer la procedencia de los reciclados, esto permitirá obtener mejores propiedades tanto físicas como mecánicas de los concretos producidos con RCD.

1.2 Justificación

La presente investigación abarca temas sobre el aprovechamiento de los RCD en el campo de la construcción para la producción del concreto, reconociendo que este material cada día se vuelve de mayor importancia y uso en la industria de la construcción por sus propiedades y características. El documento “IMPORTANCIA DEL CONCRETO EN EL CAMPO DE LA CONSTRUCCIÓN” de (Jaimes, Garcia, & Rondon, 2020), argumenta que el concreto ha sido uno de los materiales con más uso en el área de la construcción a nivel mundial.

“El sector de la Construcción ha crecido notablemente en las últimas décadas a causa de los procesos de expansión, desarrollo urbano y crecimiento demográfico. Sin embargo, una consecuencia negativa es la generación de material sobrante, conocido como residuos de construcción y demolición RCD” (Sanabria, Mateus Quitian, & Yiyola, 2017). Los RCD se pueden clasificar en aprovechables y no aprovechables, esta propuesta se enfoca en los RCD aprovechables debido que estos se pueden recuperar y reintroducir en nuevos procesos constructivos de edificaciones y vías al provenir, en su mayoría, de residuos pétreos y de concreto.

Según (DANE, 2021) los costos de construir viviendas se han mantenido en constante aumento. Esta investigación tiene como objetivo generar una alternativa económica y ambientalmente viable para el sector de la construcción. A pesar de que existan algunos proyectos con la implementación de RCD, en Neiva no se tiene una cultura de reciclaje y aprovechamiento de este tipo de material, se puede decir que el gobierno nacional no incentiva a la creación de gestores de RCD y que gran parte de los residuos aprovechables terminan con una disposición final en los rellenos sanitarios. Se espera que esta investigación aporte en el impulso y desarrollo de políticas ambientales que regulen el uso de los RCD en los grandes y pequeños generadores, también que influya en la implementación de actividades de culturización por parte del gobierno hacia la población general.

En Neiva, se viene presentando una contaminación del ambiente debido a la mala gestión de estos residuos. En una publicación de (EL TIEMPO, 2017) dice que “en un recorrido hecho por la secretaría de ambiente se detectó alrededor de 31 sitios de disposición de residuos de construcción y demolición”. Cabe resaltar que las escombreras ilegales se están encontrando principalmente en las riberas de los ríos, parques y/o sitios públicos, también que los responsables de esta mala gestión de los residuos generalmente son las construcciones pequeñas. Esto se debe a la facilidad y economía del retiro de escombros de forma ilegal, en comparación a cumplir con los requisitos que exige la escombrera constituida legalmente.

En datos presentados por (Universidad Nacional y Ministerio de Ambiente, 2013) se pueden visualizar reportes para el año 2011, sobre la generación anual de residuos de construcción y demolición en ciudades de Colombia, donde se identifica como mayor generador de RCD a la ciudad de Bogotá con una producción de residuos de aproximadamente 12.3 millones de metros cúbicos y la ciudad de Neiva según ese documento, alrededor de 2 mil metros cúbicos para ese periodo, actualmente esa producción de residuos puede ser mayor debido a la expansión constructiva en todo el territorio nacional en los últimos 6 años.

Las obras de urbanismo elaboradas en concreto generan una posibilidad de aprovechar los RCD en un volumen relativamente alto debido a todos sus posibles usos y al no tener muchos

requerimientos técnicos. La idea de estudiar la viabilidad de reutilizar los RCD de diferentes fuentes puede generar beneficios económicos y ambientales, algo que anteriormente no se pensaba debido a la alta oferta de materia prima natural en todo el territorio nacional, sin embargo ese contexto de explotación minera en las canteras ha cambiado en los últimos años debido a que ya no se cuenta con la misma disponibilidad para explotar la naturaleza, es por ello que el uso de RCD para crear agregados de tipo reciclado aumenta la capacidad constructiva y puede lograr disminuciones en los costos de producción y explotación de canteras.

1.3 Pregunta de Investigación

¿Cuál es la viabilidad de la sustitución parcial o total del agregado grueso de origen pétreo por los agregados reciclados en la resistencia mecánica, provenientes de los residuos de construcción y demolición (RCD), en la producción de concretos en obras de urbanismo?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Analizar la viabilidad de la sustitución parcial o total del agregado grueso de origen pétreo por los agregados reciclados, provenientes de los residuos de construcción y demolición (RCD) de tres fuentes de origen diferente, en la ciudad de Neiva.

1.4.2 Objetivos específicos

- Seleccionar y Caracterizar los diferentes tipos de RCD obtenidos de tal forma que se garantice su trabajabilidad seleccionar tres tipos.
- Elaborar diseño de mezcla sustituyendo el agregado grueso de origen natural por agregados reciclados de los RCD en porcentajes del reemplazo del 50%, 70% y el 100%, con el fin de evaluar sus características mecánicas y de durabilidad, tomando como referente las normas vigentes en el país.
- Realizar un análisis estadístico para determinar las diferencias significativas entre los diferentes tratamientos.
- Determinar los costos de producción de concretos en obras urbanismo.

1.5 Estructura del documento

La presente investigación se desarrolla de la siguiente forma.

Capítulo 1. En este capítulo se realizó un breve resumen de la investigación, se planteó la problemática de los RCD a nivel mundial, nacional y departamental, se propuso la pregunta de investigación para determinar una posible solución, se realizó la justificación del porque se debe que implementar un material alternativo en el concreto y por último se elaboró un objetivo general y unos específicos.

Capítulo 2. En este capítulo se realiza el marco teórico o estado del arte, aquí se comienza hablando sobre el concreto, sus principales propiedades como lo es la manejabilidad, la resistencia, la comprensión y la durabilidad, se realiza una explicación sobre sus componentes y las normas vigentes que se tiene en cuenta para los ensayos de los agregados. Después se habla sobre la gestión integral de los RCD, se define que es un RCD, como se clasifica, que fuentes de producción existen y cuál es el marco normativo vigente. Teniendo en cuenta investigaciones anteriores se explica que es un concreto reciclado, cuáles son las ventajas de utilizar material reciclado dentro de los concretos y que usos puede tener.

Capítulo 3. En este capítulo se explica el desarrollo metodológico de la presente investigación, inicialmente se identificó fuentes de RCD, se selecciona tres tipos de procedencia, se realiza la caracterización de los agregados convencionales del concreto y agregados reciclados teniendo en cuenta a la NTC aplicable con sus respectivos ensayos, se elabora un diseño de mezcla, se funden alrededor de 85 cilindros de diferentes porcentajes de reemplazo y procedencia para ser fallados a la compresión.

Capítulo 4. En este capítulo se realiza un análisis estadístico descriptivo e inferencial de acuerdo con los resultados obtenidos de los ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días.

Capítulo 5. De acuerdo con el resultado de los análisis y el proceso metodológico se realizan unas recomendaciones y se da unas conclusiones respecto a los objetivos planteados en el capítulo 1.

Capítulo 6. En este capítulo se plasma todos los documentos citados y se anexa todos los procedimientos detallados para el desarrollo de la presente investigación.

Capítulo 2

2. Marco teórico

2.1 Concreto

Según (Sarmiento Rojas, González Sanabria, & Hernández Carrillo , 220) “el sector de la construcción es uno de los sectores con mayor crecimiento económico a nivel mundial”. La construcción al estar en constante crecimiento requiere una explotación mayor de material de cantera como la grava y arena. “Los materiales como las arenas y gravillas de buena calidad son muy utilizados tanto para la fabricación de concretos de alta resistencia destinados a la construcción de edificios, como para la elaboración de adoquines en concreto para pisos de tipo pesado que se construyen en los parques y plazoletas” (Ministerio de minas y energía, 2013)

El concreto es una mezcla heterogénea de diferentes materiales como cemento, agregados finos y gruesos, agua y en algunos casos, aditivos, generalmente se elabora a partir de proporciones establecidas para alcanzar propiedades mecánicas como la resistencia, especialmente la resistencia a los esfuerzos de compresión. Principalmente es usado en el sistema estructural de muchas construcciones como, puentes, edificaciones, túneles, vías, entre otras, pero su uso no solo se basa en las estructuras, en la actualidad se emplea para desarrollar proyectos de urbanismo o no caracterizados como estructurales.

Las principales propiedades del concreto son:

- **Manejabilidad**

La capacidad que el concreto tiene para ser colocado y compactado apropiadamente sin que se produzca segregación alguna, está representado por la facilidad a la compactación, como también el mantenerse como una masa estable, deformarse continuamente sin romperse y fluir o llenar espacios vacíos alrededor de los elementos que absorbe (Carvajal Corredor & Terreros Rojas, 2016).

- **Resistencia:**

Para poder estudiar y analizar el comportamiento del concreto se requiere encontrar propiedades mecánicas como: resistencia a tracción, compresión y corte. Según (Ramírez Corredor & Portela Osorio, 2018) la resistencia a la compresión es el “esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento”.

Ensayo a compresión

NTC 673 2021: “Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal de área del espécimen” (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 2021).

- **Durabilidad**

La durabilidad según (Beltran Bermudez, 2020): “se relaciona con la capacidad de resistir ante fenómenos como el intemperismo, ataques químicos o biológicos que afecten la calidad y generen deterioro del concreto afectando directamente la condición de servicio de los elementos o estructuras elaboradas”.

2.1.1 Composición del concreto

- **Cemento**

Se define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables (Rivva Lopez, 2000)

- **Agua**

“El agua para la mezcla de concreto cumple dos funciones, la primera es hidratar el cemento y desencadenar la reacción química y la segunda es darle manejabilidad a la mezcla” (León Rivera & Reyes Lozano, 2018). En su investigación (Guevara Fallas, y otros, 2012) dicen que al adicionar o aumentar el agua, aumenta la fluidez, su trabajabilidad y plasticidad, sin embargo, disminuye la resistencia debido al mayor volumen de espacios creados por el agua libre.

Casi cualquier agua natural que se pueda beber (potable) y que no tiene un sabor u olor marcado, puede utilizarse como agua de mezclado en la elaboración de concreto hidráulico o una combinación de ellos, conforme a los requisitos de esta norma (Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2010).

La relación-agua cemento es un control para la cantidad de agua que se debe emplear en la mezcla, esta relación me determina la manejabilidad y resistencia del concreto, según la (Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, 2010) en el literal CR4.1.2 para concretos de tipo liviano no se tiene una relación a/c máxima debido a la incertidumbre que hay en la absorción del agregado antes de que el concreto fragüe.

- **Agregados**

Los agregados provienen de procesos de transformación de tipo natural o procesos mecánicos y se pueden clasificar según su tamaño. (Ferreira Cuellar & Torres López, 2014) Afirman que los agregados ocupan por lo menos tres cuartas partes del volumen de concreto, por esto son de gran importancia en una mezcla de concreto.

Agregados finos: El agregado fino puede componerse por arena triturada y/o arena de tipo natural. Según (Mazo Galeano, 2020) “es el agregado que pasa por el tamiz No. 4, el tamaño de sus partículas oscila entre 0,075 y 4,75 mm”. “El agregado fino debe estar compuesto de arena natural, arena triturada o una combinación de éstas” (ICONTEC, 2018)

Agregados gruesos: En su ensayo (Mazo Galeano, 2020) afirma que “los agregados gruesos son aquellos que tienen un diámetro mayor a 4.75 mm”

En el estudio de los agregados existen diferentes ensayos para saber sus propiedades, entre ellas, la absorción y humedad, el peso específico, granulometría, etc. Algunos ensayos aplicables específicamente a los agregados y que son de utilidad al momento de realizar un diseño de mezcla de manera correcta son:

Granulometría:

NTC 77 2018: “Este método de ensayo abarca la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos, a través de un proceso de tamizado” (ICONTEC, 2018). La granulometría es un ensayo realizado hacia los agregados finos y gruesos con el fin de determinar ciertos componentes como el módulo de finura, el tamaño de las partículas y su tamaño máximo nominal.

Tamaño máximo y máximo nomina: Según (ICONTEC, 2018) el tamaño máximo es el último tamiz por donde pasa el 100% de la muestra de agregado y el tamaño máximo nominal corresponde al tamiz en donde se retenga el 15% o más de la muestra de agregado.

Módulo de finura: El módulo de finura es la suma del porcentaje retenido entre los tamices número 4 y 100. “Los módulos de finura no deben ser menores de 2,3 ni mayores de 3,1” (ICONTEC, 2018)

Tamizado: El tamizado es el proceso por el cual se separan los agregados por tamaño, donde los más pequeños pasan al siguiente tamiz y el de mayor tamaño queda retenido. (Rodríguez Tobon & Becerra Gonzalez, 2016) dice en su investigación que un tamiz es una malla metálica con barras con espacio entre ellas por donde pasa la muestra.

Peso unitario

NTC 92 DE 2019: “Este método de ensayo abarca la determinación de la densidad volumétrica (masa unitaria) del agregado en condición compactada o suelta y sobre el cálculo de los vacíos entre partículas de agregados finos, gruesos o mezclados, con base en la misma determinación” (ICONTEC, 2019). La NTC 92 dice que ésta norma es usada para determinar el valor de la masa unitaria necesaria para seleccionar las proporciones de agregados en una mezcla de concreto.

Densidad y absorción

NTC 237 2020: “Método de ensayo para determinar la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado fino” (ICONTEC, 2020)

NTC 176 2019: “Método de ensayo para determinar la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso” (ICONTEC, 2019)

Densidad. Según (Ospina Yaima & Areiza Luna, 2019) la densidad es una magnitud que indica la cantidad de masa contenida en un determinado volumen.

(Garcia Pareja, Morales Bonilla , & Tapasco, 2017) definen a la densidad aparente como la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo sus poros saturables y no saturables y a la densidad nominal como la relación que existe entre el peso de la masa del agregado y el volumen que ocupan las partículas del material incluidos los poros no saturables.

Absorción: “Los valores de absorción se utilizan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios porosos dentro de las partículas constituyentes, en comparación con la condición seca” (ICONTEC, 2019).

En relación con el concreto, la absorción indica el porcentaje de agua que puede absorber el material en el proceso de mezclado, quiere decir que dependiendo de este porcentaje se deberán hacer ajustes en el diseño de mezcla.

Ensayo de resistencia al desgaste

NTC 98 de 2019: “Este método de ensayo abarca el procedimiento para ensayar los agregados gruesos con tamaño máximo menor de 37,5 mm para determinar la resistencia al desgaste, utilizando la máquina de Los Ángeles” (ICONTEC, 2019). Este ensayo es usado

generalmente para hacer comparaciones en calidad sobre materiales provenientes de diferentes fuentes.

2.2 Gestión integral de los residuos de construcción y demolición (RCD)

2.2.1 ¿Qué son los RCD?

En el artículo 2 del (presidente de la república, 2013) se define a los residuos de construcción y demolición como “residuos sólidos resultantes de actividades relacionadas a la construcción, reparación y demolición de obras civiles o de otras actividades conexas” (p. 4). Los RCD son los residuos provenientes de construcción, demolición y/o reparación, compuestos generalmente por los denominados escombros que normalmente son las mezclas de concreto con diferentes usos en un sistema estructural determinado. Siendo así, un material con potencial para su aprovechamiento y la mitigación de problemas medio ambientales.

2.2.2 Tipos de residuos de construcción y demolición aprovechables

Los residuos de construcción y demolición se dividen en dos clases, los aprovechables y los no aprovechables, la siguiente Tabla 1. muestra la clasificación general de estos residuos:

Tabla 4. Tipos de RCD

Categoría	Grupo	Clase	Componentes
RCD aprovechables	I. Residuos mezclados	Residuos petreos	Concretos, ceramicos, ladrillos, arenas, gravas, cantos, bloques o fragmentos de rocas, baldosin, mortero y materiales no pasantes al tamiz #200
		Residuos finos no expansivos	Arcilla, limos y residuos inertes que sobrepasen el tamiz #200
	II. Residuos de material fino	Residuos finos expansivos	Arcillas y lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plasticos y expansivos que sobrepasen el tamiz #200
		Residuos no petreos	Plasticos, PVC, maderas, papel, siliconas, vidrios, cauchos
	III. OTROS RESIDUOS	Residuos de carácter <u>metalico</u>	Acero, hierro, cobre, aluminio
		Residuos organicos	Residuos de tierra negra
	Residuos organicos vegetales	Residuos vegetales y otras especies bioticas	

RCD No aprovechable	IV. Residuos peligrosos	Residuos corrosivos, reactivos, radioactivos, explosivos, tóxicos y patógenos	Desechos de productos químicos, emulsiones, alquitran, pinturas, disolventes orgánicos, aceites, resinas, plastificantes, tintas, betunes
	V. Residuos especiales	No definida	Poliestireno, 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 reuso en obras

Fuente: Guía para la elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición - RCD en obra (Secretaría Distrital de Ambiente, 2015)

2.2.3 Escombreras legales e ilegales

A pesar de los esfuerzos de minimizar la contaminación por parte del sector de la construcción en todo el territorio nacional, se presentan disposiciones de residuos ilegales que dañan el paisaje natural y pueden generar problemas de salud pública. Según (ALCALDIA DE SANTIAGO DE CALI, 2009) en el plan de gestión integral de residuos sólidos, PGIRS, “En Colombia se generan cerca de 25.079 toneladas métricas por día según la información presentada por el sistema único de información de la superintendencia de servicios públicos domiciliarios”.

La regulación que se ha implantado ha ayudado a una reducción mínima de la contaminación, sin embargo, la disposición final no es la mejor debido a que el proceso de reciclaje y reutilización no se lleva a cabo y muchas escombreras legales no cumplen con los requisitos.

2.2.4 Normativa nacional

Las normas en Colombia sobre el manejo integral de los residuos de construcción y demolición nacen debido a la crisis climática a nivel mundial y también para lograr frenar la contaminación de los ambientes y paisajes naturales por parte de la explotación minera. Las responsabilidades inicialmente recaen sobre los grandes generadores de residuos,

quienes deben tener un plan de gestión y manejo de residuos para su reutilización y/o disposición final.

En la resolución 541 de 1994 (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, 1994) se dan las disposiciones para el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos de construcción y demolición, también dicta las prohibiciones para la disposición final en zonas verdes, parques, ríos, quebradas, áreas arborizadas, reservas naturales o forestales, entre otras.

Decreto 2981 del 2013 (presidente de la república, 2013) por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo.

Resolución 0472 del 2017 (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2017) por la cual reglamenta la gestión integral de los residuos generados por actividades de construcción y demolición – RCD y se dictan otras disposiciones.

2.2.5 Normativa municipal

Según (MINISTERIO DE AMBIENTE, 1994), “los sitios de disposición final los selecciona el municipio, con ubicación en un paisaje degradado, tales como minas y canteras abandonadas”. Neiva, actualmente cuenta con menos de 3 escombreras disponibles para la disposición de los RCD, entre ellas se encuentran la escombrera Relleno Sanitario Los Ángeles y CAES Soluciones Integrales (La estrella)

En el plan de gestión integral de residuos sólidos en Neiva (ALCALDIA DE NEIVA, 2020) se establecen los proyectos de gestión para los años comprendidos entre 2016 y 2028, fijando metas finales con diferentes metodologías para su respectivo cumplimiento, donde tienen algunos objetivos como: “Disminuir un 25% los puntos críticos de la ciudad, identificar sitios que cumplan los requisitos para el aprovechamiento, crear conciencia de responsabilidad a la población civil sobre el manejo de los RCD”. Sin embargo, también se identifican los factores de riesgo en el ámbito social, financiero, ambiental, político y legal.

2.3 Concreto reciclado

El concreto reciclado a diferencia del concreto en convencional (compuesto por agregados naturales) es una mezcla heterogénea de agregados de tipo reciclado provenientes de residuos de construcción y demolición. Los agregados reciclados pueden provenir de diferentes procesos bien sea de tipo manual o mecánicos y pueden ser finos o gruesos, según corresponda el caso.

Los agregados usados debieron ser parte de algún concreto con una resistencia mínima de funcionamiento, para que no disminuya la resistencia requerida por mezcla de concreto

reciclado, también se debe garantizar que los agregados estén libres de impurezas, como materia orgánica y arcilla.

2.3.1 Uso del agregado reciclado

En Colombia, el uso del agregado reciclado no es regular debido a que no hay mucha oferta de empresas dedicadas al procesamiento de ese tipo de material, sin embargo, algunas empresas como, Reciclados Industriales, ubicada en la ciudad de Bogotá se dedica a la comercialización de estos agregados, estando clasificados como gestores de RCD, certificados y cumpliendo con todas las especificaciones.

2.3.2 Ventajas de usar el agregado reciclado

La principal ventaja del uso del agregado reciclado es el apoyo al desarrollo sostenible y cuidado del medio ambiente, pero también al usar este tipo de material se busca flexibilidad y economía en el sector de la construcción. En algunos lugares, como Neiva - Huila, el costo de construir es relativamente alto comparado con otras ciudades, como se puede observar en la ilustración 1. Según (DANE, 2021) en su informe de índices de costos de construcción de vivienda, el índice porcentual entre el año 2020-2021 tuvo una variación de alrededor del 2,5%.

Variaciones anuales 2021

Ciudad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
Total ICCV	4,29	4,05	4,93	5,30	5,88	6,75	7,15	7,63	7,69	7,53	7,36	6,87
Medellín	6,01	5,54	6,15	5,96	6,61	7,56	7,96	8,13	8,08	7,55	6,97	6,48
Barranquilla	5,80	5,44	5,97	7,21	6,32	7,23	7,75	7,82	7,78	7,87	7,54	7,10
Bogotá	2,79	2,48	3,59	3,63	4,61	5,30	5,68	6,50	6,64	6,59	6,84	6,37
Cartagena	5,01	4,65	3,49	5,99	6,36	7,58	7,55	7,21	7,62	8,07	7,63	7,74
Neiva	8,72	6,76	7,83	8,77	8,97	10,18	10,13	10,40	10,08	8,75	7,95	7,65

Ilustración 1. Índice de Costos de la Construcción de Vivienda (ICCV). Fuente: (DANE, 2021)

En los resultados de la investigación llamada “FABRICACIÓN DE UN PREFABRICADO PARA EL REVESTIMIENTO DE EDIFICACIONES A PARTIR DEL USO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN” (Rodríguez Tobón & Becerra, 2016) concluyen que el uso de agregados reciclados después de un proceso de trituración y molienda para alcanzar un tamaño específico para la fabricación de tabletas para revestimiento de muros son de menor costo de fabricación.

2.3.3 Influencia de los agregados reciclados en las propiedades físicas y mecánicas del concreto

Según (Karthik, Haejin, & Colin, 2007) y (Padmini, Ramamurthy, & Mathews, 2009) el agregado reciclado al tener adherido mezcla de mortero vieja tiene una tasa de adsorción más alta que el agregado natural o de cantera, lo cual repercute en términos de trabajabilidad de la mezcla de concreto disminuyendo su capacidad de trabajo. Esto deja en claro que se debe tener mucho cuidado con el agregado grueso reciclado teniendo en cuenta que se puede ver afectada la relación agua-cemento.

“La resistencia a la compresión del hormigón que contiene RCA depende de la resistencia del concreto original del que se hizo el RCA” (Karthik, Haejin, & Colin, 2007). El concepto de la proveniencia del agregado puede considerarse lógico, sin embargo, también existen otros factores que influyen en el aporte del agregado reciclado a la mezcla de concreto y su resistencia a la compresión, tales como el factor de forma, adherencia y tamaño.

2.3.4 Normativa

NTC 6421: “Esta norma establece los requisitos de calidad y orientaciones de uso para los agregados gruesos reciclados (AGR) para uso en el concreto hidráulico estructural y no estructural” (ICONTEC, 2021). De esta manera, los AGR reciclados utilizados en esta investigación se encuentran únicamente en Rc (Residuos de concreto o mortero) y Ru (Agregados y/o piedra natural) según la NTC 6421 clasificándose como T1 (Ver Ilustración 2) de la misma norma.

Categoría	Porcentaje de material medido según el peso			
	R _c + R _u	R _b	R _a	X + R _g + FL
T ₁	mín. 92 ^A	máx. 5 ^A	máx. 1 ^A	máx. 2 ^A
T ₂	mín. 70 ^B	máx. 30 ^B	máx. 1 ^A	máx. 2 ^A

FUENTES:
^A EHE-08 Anejo 15
^B Guía Española de áridos reciclados (GEAR)

Ilustración 2. Requisitos de contenidos según la categoría del AGR. Fuente: (ICONTEC, 2021)

2.4 Prefabricados

Los prefabricados son elementos provenientes de procesos industriales que pueden reemplazar a algunos elementos que se elaboran en sitio, teniendo como fin el aprovechar los materiales y disminuir la mano de obra para aumentar la eficiencia disminuyendo los tiempos en los procesos constructivos.

En el desarrollo de la construcción existen muchas obras de urbanismo con base prefabricada, como ejemplo los adoquines, ladrillos y bordillos, ya que requieren de una producción masiva. Las obras de urbanismo generalmente ocupan mucho material, en el caso de adoquines y bordillos, es por ello por lo que al usar AGR se busca garantizar un uso eficaz y de mayor volumen.

2.4.1 Adoquines tipo hueso

Los adoquines de concreto son elementos prefabricados que Permiten una fácil y rápida instalación con bajos costos de mantenimiento, por este motivo se analiza la posibilidad de implementar los agregados gruesos reciclados en la producción de prefabricados para poder disminuir el impacto ambiental y la producción de RCD en la ciudad. Este tipo de adoquín se planteó por los diversos usos que tienen dentro de los pavimentos y obras de urbanismo, debido a su forma y textura permite ser utilizado en pasos peatonales, vehiculares y se puede utilizar con una adecuada acomodación como rejilla para desagües de aguas lluvias en vías, debido al patrón de colocación el espaciamiento que se deja de junta entre cada adoquín permite la filtración del agua al suelo y con esto un adecuado drenaje para el mantenimiento vial, desde la parte arquitectónica los adoquines de concreto pueden ser de diversos colores creando una armonía en los diseños de obras de urbanismo.

2.4.2 Normativa

NTC 2017: “Esta norma establece los requisitos para adoquines de concreto, no reforzados y sus piezas complementarias, aptos para construir pavimentos de adoquines de concreto para: tráfico peatonal, tráfico vehicular sobre llanta neumática (incluyendo patios de puertos y de terminales de carga, aeropuertos, terminales de transporte, estaciones de servicio, bodegas, etc.) y cargas estáticas distribuidas (de almacenamiento a granel)” (ICONTEC, 2004)

Capítulo 3

3. Metodología

La Tabla 5, se relacionan el proceso metodológico que se llevó a cabo para el desarrollo de la presente investigación.

Tabla 5. Metodología.

Proceso metodológico	
Fase 1	<ul style="list-style-type: none">- Selección de fuentes de RCD (tratamientos)- Selección de materiales convencionales
Fase 2	Caracterización de agregados Naturales y Reciclados: <ul style="list-style-type: none">- Análisis granulométrico (NTC 174, 2018 - NTC 77, 2018)- Masa unitaria (NTC 92, 2019) Densidad y absorción (NTC 237, 2020)- Material que pasa el tamiz N° 200 (NTC, 2019)- Desgaste (NTC 98, 2019)
Fase 3	Elaboración de mezclas: <ul style="list-style-type: none">- Diseño de mezcla ACI 211.1.-91 (2009)- Elaboración y curado de especímenes de concreto (NTC 1377, 2010)
Fase 4	Determinación de las propiedades del concreto: <ul style="list-style-type: none">- Asentamiento (NTC 396, 2018)- Resistencia a la compresión (NTC 673, 2010)
Fase 5	Análisis de resultados

3.1 Tipo de investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo, de acuerdo con (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio) El enfoque cuantitativo es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no puede eludir pasos. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De la pregunta se establece una hipótesis y se determina las variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones.

3.2 Selección de Tratamientos

Después de identificar y analizar las posibles procedencias de origen de los RCD se procede a escoger tres tipos de fuentes, tratando de dar solución a tres problemáticas particulares:

3.2.1 Tratamiento A

RCD producto de procesos constructivos de la ciudad de Bogotá D.C. comprados en la de la empresa Reciclados Industriales ubicada en el km 1,5 costado sur vía Bogotá- Siberia en Cota Cundinamarca. La cual se dedica al aprovechamiento de residuos de construcción y demolición, para diferentes usos, como por ejemplo el agregado grueso para concreto.

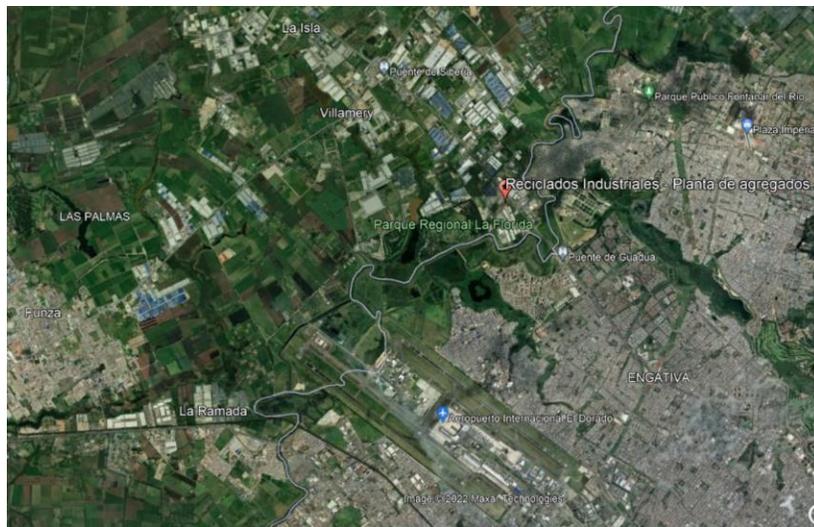


Ilustración 3. Localización Tratamiento A. Fuente: Google earth

En la ilustración 3 se observa la localización de la empresa reciclados industriales con coordenadas geográficas; latitud= 4°44'10.20" N y longitud= 74° 8'5.85"O.

3.2.2 Tratamiento B

RCD provenientes de la constructora Rodrigo Briñez en Neiva, este se escoge con el fin de encontrar una alternativa a los RCD producto de todas las constructoras de la ciudad, debido a que la expansión constructiva y el desarrollo urbano se enfoca en los procesos que realizan las constructoras.



Ilustración 4. Localización Tratamiento B. Fuente: Google earth

En la ilustración 4 se observa la localización de la obra que realiza la constructora Briñez con coordenadas geográficas; latitud= 2°53'37.06" N y longitud= 75° 16'10.71"O.

3.2.3 Tratamiento C

RCD provenientes de los cilindros de concreto fallados en el laboratorio de construcción de la universidad, ya que estos escombros no tienen una adecuada disposición final y pueden ser aprovechados por los estudiantes en agregados gruesos para nuevos diseños de mezcla.



Ilustración 5. Localización Tratamiento C. Fuente: Google earth

En la ilustración 5 se observa la localización de la procedencia del tratamiento C, ubicado en la universidad surcolombiana con coordenadas geográficas; latitud= 2°56'35.09"N y longitud= 75°18'3.11"O.

3.3 Caracterización de materiales

Se realizaron una clasificación y análisis de cada material que se implementa para la elaboración de los concretos dependiendo de la norma vigente.

3.3.1 Cemento

El cemento utilizado en el concreto convencional y reciclado fue ALION de uso general (UG) de la marca Corona, es un cemento apto para la elaboración de todo tipo de elementos estructurales o no estructurales de resistencia normal, cumpliendo con los requisitos establecidos en la NTC 121 para cemento tipo UG, y dentro de su ficha técnica Tabla 6. muestra resultados de fraguado más rápidos alcanzando resistencias iguales o mayores a los Diseños proyectados.

Tabla 6. Ficha técnica cemento Alion UG

Característica	Unidad	Observación	Valor NTC 121
Resistencia a la compresión	Mpa	3d, min	8
	Mpa	7d, min	15
	Mpa	28d, min	24

Cambio de longitud	%	En autoclave, max	0,8
Tiempo de fraguado	min	inicial, mayor que	45
	min	inicial, menor que	420
Contenido de aire	%	En volumen de mortero, max	12
Expansión en barras de mortero	%	14d, max	0,02

3.3.1 Agregado natural

Para esta investigación se utilizó arena gruesa que según el fabricante es usada para la elaboración de concretos y pisos, se utilizó grava triturada de ¾", la cual dentro de sus usos esta la elaboración de concretos, pisos, columnas y bases, ambas empacadas en bolsas de 20 kg de Arenas del Huila, este material garantiza un porcentaje de limpieza mayor que la arena que es extraída directamente del rio sin un proceso de selección y clasificación preliminar, a éstos agregados se les aplicaron los ensayos que se relacionan a continuación.

Análisis granulométrico

El análisis granulométrico se hace de acuerdo con el procedimiento establecido en la NTC 77 del 2018 y con los límites establecidos en la NTC 174 de 2018, en donde por medio de una serie de tamices que cumplan la NTC 32 del 2018 se pasa la muestra de agregado para determinar la distribución por tamaño, con el fin de encontrar el módulo de finura y el tamaño máximo nominal de la misma. La ilustración 7 se muestra la tamizadora mecánica utilizada para el ensayo. Se puede encontrar más información en el capítulo de análisis y resultados.



Ilustración 8. Molde para ensayo agregado grueso



Ilustración 7. Tamizadora mecánica



Ilustración 6. Molde para ensayo agregado fino

Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de los agregados

Se determina la masa unitaria en forma suelta y compactada y los vacíos entre partículas de los agregados de acuerdo con lo establecido en el procedimiento de la NTC 92 del 2019 (tercera actualización). “Este método de ensayo se utiliza usualmente para determinar los valores de densidad volumétrica que son necesarios en muchos métodos para la selección de proporciones de los agregados en las mezclas de concreto” (ICONTEC, 2019). Ver el capítulo correspondiente a los análisis de resultados para información más detallada. En la ilustración 6 se puede observar el molde usado para el ensayo en los agregados finos y en la ilustración 8. el molde usado para el ensayo en los agregados gruesos.

Densidad y absorción del agregado fino

Se determina la densidad y absorción del agregado fino de acuerdo con la NTC 237-2020 (segunda actualización) “Método De Ensayo Para Determinar La Densidad Relativa (Gravedad Específica) Y La Absorción Del Agregado Fino” (ICONTEC, 2020) y se determina la densidad y absorción del agregado grueso de acuerdo con la NTC 176-2019 (segunda actualización) “Método De Ensayo Para Determinar La Densidad Relativa (Gravedad Específica) Y La Absorción Del Agregado Grueso” (ICONTEC, 2019). Para ver los resultados ir al capítulo correspondiente a los análisis de resultados. En la ilustración 10 se muestra el recipiente de la muestra necesario para determinar la masa aparente en agua y en la ilustración 9 se puede observar el procedimiento para determinar la humedad superficial.



Ilustración 10. Ensayo para determinar la humedad superficial del agregado fino



Ilustración 9. Recipiente de la muestra para agregado grueso

Resistencia al desgaste del agregado grueso natural

Se realiza el ensayo de resistencia al desgaste en la Máquina de los Ángeles de acuerdo con las especificaciones procedimentales presentadas en la NTC 98 del 2019 2019 (cuarta

actualización) “Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste por abrasión e impacto de agregados gruesos menos a 37.5 mm, utilizando la máquina de los ángeles” (ICONTEC, 2019). Para el ensayo se toman 5003.8 g del agregado grueso natural, y se divide la masa según la gradación tipo A dada en la de la tabla 1 de la norma en mención, posteriormente se lava y se lleva a la Máquina de los Ángeles en estado seco (Ver resultados en el capítulo Análisis y resultados). En la ilustración 12 se puede observar la selección de muestra según la norma y en la ilustración 11 se ve el material ya desgastado por la Maquina de los Ángeles.



Ilustración 12. Agregado según gradación tipo A.



Ilustración 11 Agregado natural después del desgaste.

3.4 Caracterización del agregado grueso reciclado

Se realizó una selección de los agregados reciclados producto de concretos fallados en otras investigaciones que se realizan en la facultad de ingeniería, de obras de las constructoras que fabrican su propio concreto en sitio y de plantas de tratamiento de gestión de residuos de RCD, se planteó previamente a la clasificación del material para el reemplazo de concreto la determinación de información de tipo de origen, edad del RCD y resistencia con la que se diseñó, esto se relaciona en la tabla 7.

Tabla 7. Información de los RCD utilizados como fuente de Agregados Gruesos Reciclados

MUESTRA	PROCEDENCIA DEL RCD	EDAD	RESISTENCIAS PSI
TRATAMIENTO A	Planta de tratamiento que realiza el aprovechamiento de los RCD de la ciudad de Bogotá	Mayor a 28 días	3000 - 3500

TRATAMIENTO B	Concreto industrializado, implementado en la elaboración de cimentaciones de una obra de la constructora Briñez	Mayor a 28 días	3000 - 4000
TRATAMIENTO C	Cilindros de concreto, producto de investigaciones del laboratorio de construcciones, donde se realiza investigaciones de reemplazo y/o implementación de agregados alternativos al concreto (fibra de coco, fibra sintética, polímeros, plásticos PET, celulosa de la caña entre otros)	7,14 y 28 días	3000 - 5000

Con la procedencia del RCD y las resistencias recolectadas en el proceso de investigación inicial se puede determinar cómo precedente que tipo de desgaste y que aporte a la resistencia puede proporcionar un agregado reciclado respecto a uno de origen natural.

Se realizó un método simple para examinar agregados gruesos reciclados de los tres tratamientos con fines de identificación y estimación de las proporciones relativas de sus componentes. Por medio de la NTC 6422 – 2021 “Ensayo de clasificación de los componentes de los agregados gruesos reciclados”, se realizó una trituración manual en los tratamientos B y C, se hace una tamización de tal forma que se adecúe a la granulometría del agregado grueso natural como se muestra en la tabla 8, la serie de tamiz implementada para estos tratamientos es de ¾ de pulgada como tamaño máximo nominal, es decir todo lo que se retenía en el tamiz 1 pulgada se volvía a triturar y todo lo que pasara por el tamiz N 16 se consideraba material no deseable, para el tratamiento A se realiza el análisis granulométrico conforme a la NTC 174 , ver resultados de granulometría en el capítulo análisis de resultados.

Tabla 8. Trituración manual AGR tratamientos B y C

TRATAMIENTO B		
Muestra Seleccionada	Trituración	Muestra Tamizada
		

TRATAMIENTO C		
Muestra Seleccionada	Trituración	Muestra Tamizada
		

Para el agregado grueso reciclado se hacen los mismos ensayos que se emplearon para los agregados gruesos de origen natural, con excepción de la granulometría, que se impuso de forma manual como se menciona anteriormente. Se realiza el ensayo para determinar la masa unitaria en forma suelta y compactada y los vacíos entre partículas de los agregados conforme la NTC 176 del 2019 y se determina la densidad y absorción del agregado grueso de acuerdo con la NTC 176 del 2019.

Resistencia al desgaste del agregado grueso reciclado

Se determina la resistencia al desgaste de los agregados gruesos reciclados para cada tratamiento establecido, utilizando la máquina de los ángeles de acuerdo con la NTC 98 - 2019 (cuarta actualización) “Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste por abrasión e impacto de agregados gruesos menos a 37.5 mm, utilizando la máquina de los ángeles”. Se puede observar la Máquina de los Ángeles en la ilustración 13 y el agregado grueso reciclado una vez realizado el ensayo al desgaste en la ilustración 14.



Ilustración 13.Maquina de los Ángeles



Ilustración 14 AGR después del ensayo

3.5 Diseño de mezcla

Se realizó un diseño de mezcla para el concreto testigo (convencional), basado en el Método ACI 211.1-91. “Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete”, se realiza el diseño con una resistencia de 210 kg/cm²

que es igual a 21 Mpa, ya que el concreto que se diseñó no era estructural se podían manejar resistencias bajas, de acuerdo con la tabla 6.3.1 - Recommended slumps for various types of construction, se selecciona un slump de 4 pulgadas de acuerdo con el tipo de construcción.

Tabla 9.Datos iniciales del diseño de mezcla

Datos Iniciales Cemento			
F'c (PSI)	3000	F'c (kg/cm ²)	210
Pe (peso específico) (gr/cm ³)			3,15
Slump (pulgadas)			4
Pe Agua (peso específico) (Kg/m ³)			1000

Tabla 10.Resumen ensayos agregados de origen natural

Ensayos Realizados a los Agregados		
	Fino	Grueso
Perfil		Angular
Peso Unitario Suelto	1512,04 kg/m ³	1434,03 kg/m ³
Peso Unitario Compactado	1630,90 kg/m ³	1590,12 kg/m ³
Peso Específico (SSS)	2563,84 kg/m ³	2620,00 kg/m ³
Módulo de Finura	2,99	5,041
TMN (in)	---	3/4
% absorción	2,24	1,32
% Humedad	2	1

Siguiendo el procedimiento del método ACI, se calcula una F'cr "Resistencia Promedio Requerida" con relación a la resistencia de diseño de 210 kg/cm².

Tabla 11.Resumen resultado método ACI

F'cr "Resistencia Promedio Requerida"	294 kg/ cm ²
Contenido De Aire Atrapado	2%
Volumen Unitario De Agua	205,00 lt/m ³
Relación a/c	0,56
Factor Cemento	366,07 kg/m ³
Factor C. saco 50 kg	8,61 bolsas/m ³
Peso Del Agregado Grueso Por Unidad De Volumen Del Concreto	0,601

Se determina los volúmenes absolutos de los materiales para la elaboración de un metro cubico de concreto como se muestra en la tabla 12

Tabla 12. Proporción para un metro cúbico de concreto.

Cemento	0,116 m ³
Agua	0,205 m ³
Aire	0,020 m ³
Volumen Agregado Grueso	0,365 m ³
Volumen Agregado Fino	0,294 m ³
TOTAL	1 m³

Finalmente, una corrección por humedad de los agregados y se determina las proporciones requeridas para una resistencia de 3000 PSI que es igual a 21 Mpa por medio del diseño de mezcla según el Método ACI 211.1-91.

Tabla 13. Proporción diseño de mezcla para 3000 PSI

		Proporciones
Cemento	366,07 kg/m ³	1
A. fino	753,77 kg/m ³	2,1
A. Grueso	955,66 kg/m ³	2,6
Agua (Lt)	209,9 L/m ³	24,40 Lt

Para determinar que el diseño de mezcla estuviera acorde con los ensayos realizados a los materiales convencionales se elaboraron 6 cilindros testigos del concreto convencional.

Tabla 14. Diseño concreto convencional de 3000 PSI

MUESTRA	RESISTENCIA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD DE CILINDROS	VOLUMEN POR CILINDRO
Testigo	3000 PSI	Concreto testigo de 3000 PSI, 210 kg/cm ² con agregado grueso natural	6	1570,8 cm ³

Tabla 15. Dosificación cilindros testigo concreto convencional

# CILINDROS	6
DOSIFICACION	
CEMENTO	4485,2 gr
ARENA	9235,36 gr
GRAVA CONVENCIONAL	11709,02 gr
AGUA	2571,34 gr

Después de verificar que el diseño de mezcla si estuviera cumpliendo con la resistencia de 3000 PSI, se procede a realizar los ensayos de compresión para los diferentes tratamientos de agregado grueso reciclado.

3.6 Dosificación, elaboración y curado de los cilindros de concreto

Los concretos producidos en esta investigación tienen como punto de referencia un concreto convencional de 21 MPa (0% agregado grueso reciclado). Las mezclas de los concretos reciclados se iniciaron con un porcentaje de reemplazo del 30% agregado grueso reciclado (AGR), tomando como base la investigación de (García Navarro, 2010) el cual determina que “solo las mezclas de concreto compuestas por 30% o menos de sustitución de AGN por AGR, obtienen similares o mejores resistencia a la compresión”, además se toman porcentajes de sustitución de 50%, 70% y 100% de AGN por AGR con las tres fuentes de origen. La denominación de los diferentes tipos de concretos mencionados se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16. Resumen muestras por reemplazo y tratamiento

Nomenclatura	Resistencia de Diseño		Tipo de Agregado Grueso	Porcentaje de Sustitución	Estado Agregado
CC	3000 PSI	210 kg/cm ²	natural	N/A	humedad ambiente
AM30%	3000 PSI	210 kg/cm ²	RCD PT	30%	SSS
AM50%-A	3000 PSI	210 kg/cm ²	RCD PT	50%	humedad ambiente
AM50%	3000 PSI	210 kg/cm ²	RCD PT	50%	SSS
AM70%-A	3000 PSI	210 kg/cm ²	RCD PT	70%	humedad ambiente
AM70%	3000 PSI	210 kg/cm ²	RCD PT	70%	SSS
AM100%-A	3000 PSI	210 kg/cm ²	RCD PT	100%	humedad ambiente

AM100%	3000 PSI	210 kg/cm ²	RCD PT	100%	SSS
BM50%	3000 PSI	210 kg/cm ²	RCD CB	50%	SSS
BM70%	3000 PSI	210 kg/cm ²	RCD CB	70%	SSS
BM100%	3000 PSI	210 kg/cm ²	RCD CB	100%	SSS
CM50%	3000 PSI	210 kg/cm ²	RCD CU	50%	SSS
CM70%	3000 PSI	210 kg/cm ²	RCD CU	70%	SSS
CM100%	3000 PSI	210 kg/cm ²	RCD CU	100%	SSS

Nota.

CC: Concreto Convencional.

RCD - PT: RCD Planta de Tratamiento.

RCD – CB: RCD Constructora Briñez

RCD – CU: RCD Cilindros Usco.

SSS: Seco Superficialmente Saturado.

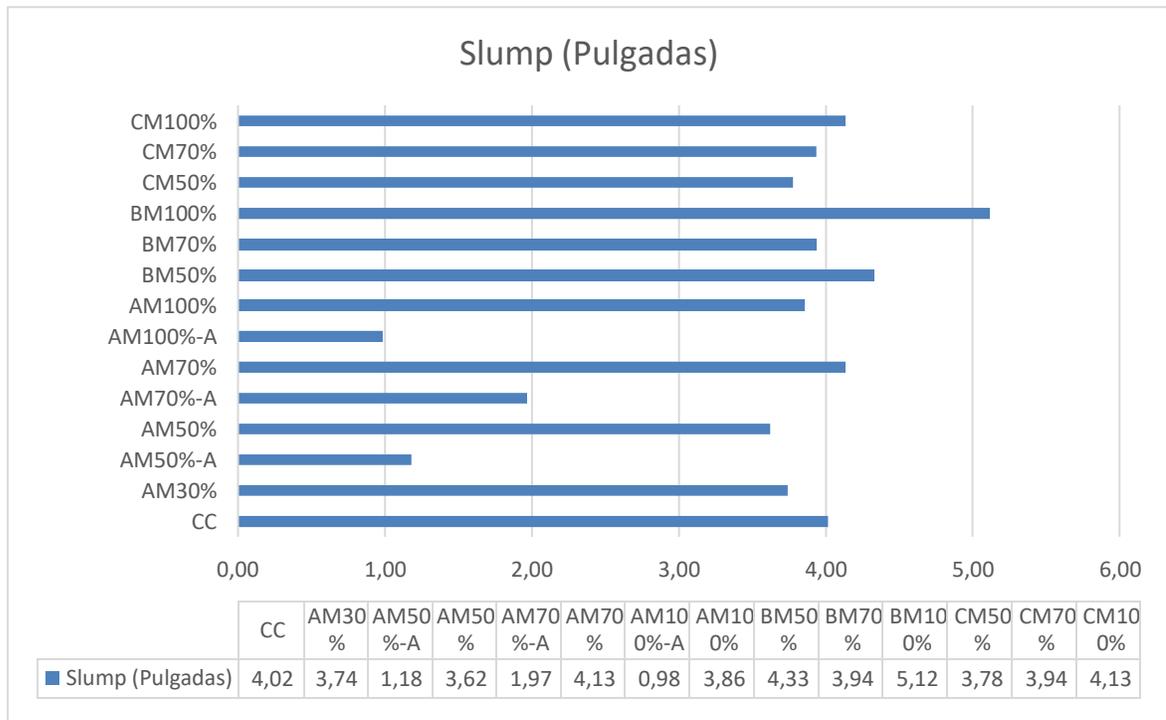
Como se observa en la tabla anterior la nomenclatura que se adopta está relacionada con el porcentaje de reemplazo y el tratamiento que corresponde, Se escogieron 3 tipos de fuentes que se identifican respectivamente como A, B y C, con 3 porcentajes de reemplazo en todos tratamientos, con el resultante del diseño de mezcla inicial, se pesó cada uno de los materiales: cemento, arena, grava natural, agregado grueso reciclado, agua de acuerdo al dosificación para cada muestra cómo se observa en la tabla 17 Se realizaron ajustes de humedad para cada muestra dependiendo del estado ambiente de los agregados, teniendo en cuenta que el agregado reciclado es más poroso y tenía mayor adsorción. se realizó un mezclado de manera homogénea. Se procedió a elaborar cilindros de ensayo de concreto.

Tabla 17.Resumen dosificación para diferentes tipos de muestra.

MUESTRA	CEMENTO (gr)	ARENA (gr)	AGUA (gr)	AGN (gr)	AGR (gr)
CC	3737,66	7696,13	2142,78	9757,52	-
reemplazo al 30% del AGN	3737,66	7696,13	2142,78	6830,264	2927,256
reemplazo al 50% del AGN	3737,66	7696,13	2142,78	4878,76	4878,76
reemplazo al 70% del AGN	3737,66	7696,13	2142,78	2927,256	6830,264
reemplazo al 100% del AGN	3737,66	7696,13	2142,78	-	9757,52

En el tratamiento A, se manejó el agregado grueso reciclado en estado ambiente y saturado superficialmente seco para verificar las consideraciones encontradas en la investigación de (Mora , 2021) donde realizan un pre-humedecimiento al agregado reciclado antes del

proceso de mezclado sugiriendo un mayor desempeño del concreto. Una se realiza esta comparativa en el tratamiento A, se determinó que el agregado reciclado por ser poroso se debe trabajar seco superficialmente saturado (SSS) para no alterar el diseño de mezcla, debido a que adsorbe más agua, por ende, los demás tratamientos solo se elaboraron con los AGR en estado SSS. Se registró el slump en cada proceso de mezclado como se muestra en la gráfica 1 y se registraron las fechas para realizar el ensayo de compresión.



Grafica 1. Relación del asentamiento del concreto

De acuerdo con la gráfica 1, se puede determinar que la relación de asentamiento para cada muestra elaborada cumple con el diseño de mezcla ya está dentro de los parámetros que establece la NTC 396 del 2021 “Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto” (ICONTEC, 2021), además se observa que la muestra con mayor asentamiento es la BM100%, ya que este tratamiento era el más poroso por lo que adsorbía mayor cantidad de agua al manejarlo en estado SSS. en la ilustración 17 se relaciona el procedimiento realizado para las mediciones respectivas de asentamiento



Ilustración 15 Medición de asentamiento

Se elaboraron aproximadamente 80 cilindros, manejando 5 por cada tipo de muestra en el tratamiento A y 6 por cada tipo de muestra en el tratamiento B y C, en donde se variaron diferentes concentraciones de reemplazo y origen del agregado grueso reciclado, de acuerdo con la NTC 1377 – 2021 (Tercera actualización) “Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio” se realizó la elaboración y curado de los cilindros de concreto, manejando moldes de cilindros con dimensiones de 10 cm diámetro con una altura total de 20 cm, los cilindros se desencofraron después de 24 horas, posteriormente se sumergieron en agua con una temperatura de $\pm 23^{\circ}\text{C}$ donde se dejan en curado y se fallaron posteriormente a las edades de 7, 14 y 28 días. La ilustración 16 presentan el proceso de encofrado, desencofrado y curado de cilindros.



Ilustración 16. Encofrado, desencofrado y curado de cilindros

El ensayo para determinar la resistencia a compresión de las muestras de concreto de los cilíndricos elaborados, se realizó de acuerdo con la NTC 673 – 2021 (cuarta actualización) “Concretos. Método de ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto”, se determinan resistencias a edades de 7, 14, 28 días.

3.7 Diseño prototipo de prefabricado

La presente investigación propone el diseño de un prototipo de prefabricado (Adoquín) que involucre el diseño de mezcla planteado en el comportamiento de los agregados reciclados, por ende, al determinar el porcentaje de reemplazo de agregado grueso que aumente las propiedades mecánicas del concreto, se propone un adoquín tipo hueso para el tránsito peatonal y vehicular.

3.7.1 Adoquín Tipo Hueso

Se consultó a ficha técnica de un adoquín tipo “I” de dos empresas mexicanas Grupo Traver y Superblock Verde Decorcreto, como se observa en la tabla 18, ambas recomiendan unas dimensiones de acuerdo con la norma mexicana, citan que el diseño geométrico que presenta la pieza el área expuesta permite la colocación auto trabada en forma continua para realizar pavimentos.

Tabla 18.Relacion Ficha técnica de adoquín propuesto en México

GRUPO TRAVER			
DIMENSIONES NOMINALES	DIMENSIONES REALES	PESO	RESISTENCIA COMPRESIÓN
22cmx18cmx8cm	22cmx18cmx8cm	5,6 kg	280 kg/cm ²
SUPERBLOCK VERDE DECORCRETO			
DIMENSIONES NOMINALES	DIMENSIONES REALES	PESO	RESISTENCIA COMPRESIÓN
20cmx16cmx8cm	20cmx16cmx8cm	4,6 kg	350 kg/cm ²
Norma NMX-C-314-ONNCCE-2014-ADOQUINES PARA USO DE PAVIMENTOS			
CAPACIDAD		RESISTENCIA MINIMA Mpa	
Tránsito Peatonal		24,5	
Transito Ligero		35,5	
Transito Medio		39,7	
Tránsito Pesado		50	

En Colombia la NTC 2017 – 2018 (tercera actualización) “DOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS”, en el literal 4. Requisitos físicos, presenta unos rangos admisibles de las dimensiones geométricas de un adoquín las cuales se tuvieron en cuenta en el diseño del prototipo.

Tabla 19. Dimensiones Adoquín Propuesto.

PROTOTIPO DE ADOQUIN TIPO HUESO		
		
PREFABRICADO	ADOQUIN TIPO "I"	NTC 2017
Longitud	20 cm	debe ser mayor o igual 100 mm y menor o igual a 250 mm
Ancho	18 cm	mayor o igual a 100 mm
Espesor	8 cm	40 mm para uso peatonal y mayor o igual a 60 mm para uso vehicular
Resistencia Compresión	210 kg/cm ²	Flexo tracción

Después de tener las dimensiones del adoquín como aparece en la tabla 19, se procede a realizar una formaleta en acero con las dimensiones propuestas y se realizan muestras con el porcentaje de reemplazo de agregado grueso reciclado que en esta investigación mostro mejor resistencia a la compresión en el ensayo realizado a los cilindros de concreto, se realizó un ensayo a la flexo tracción (módulo de ruptura) contemplados dentro de la misma NTC 2017 – 2018.

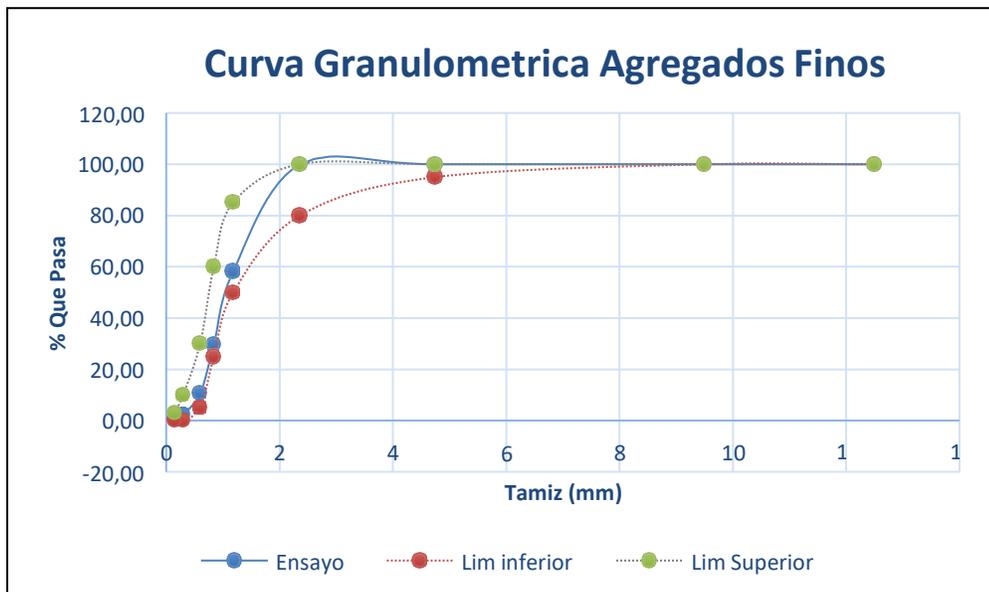
Capítulo 4

4. Análisis de resultados

4.1 Resultados de la caracterización de los agregados

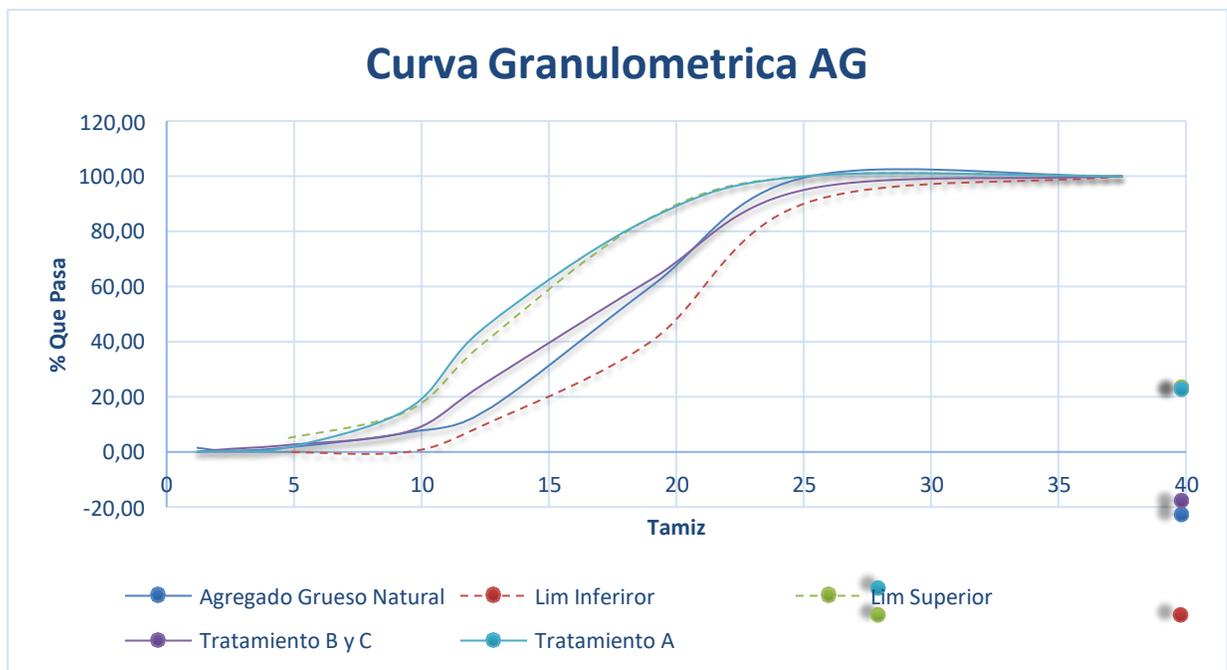
4.1.1 Análisis granulométrico

De acuerdo con el procedimiento contemplado en la NTC 174 - 2018 (sexta actualización) “concretos. Especificaciones de los agregados para concreto”, se obtiene la curva granulométrica para el agregado fino (ver grafica 2) y para el agregado grueso (ver grafica 3), de forma general la granulometría que presentan los agregados es acorde con los límites que presenta la norma.



Gráfica 2. Curva de granulometría Agregado Fino

Teniendo en cuenta la gráfica 4. el porcentaje que pasa el tamiz N°200 (0.15 mm) es de 1,5%, de acuerdo con la norma NTC 174 literal 4.2.4.3 “el límite apropiado para material con una finura mayor que el tamiz N° 200, es máximo 5% y 7% según el uso que tendrá el concreto, y la procedencia del agregado: máximo 5% para material finos y concretos que estarán sometidos a abrasión, y máximo 7% para otros concretos que no estarán expuestos a la abrasión”, por ende, el porcentaje de finura que pasa el tamiz N°200 (0.15 mm) obtenido es el apropiado para el uso del concreto en obras de urbanismo.



Gráfica 3. Curva Granulométrica de los Agregados Gruesos Reciclados.

Teniendo en cuenta la gráfica 3. Se observa que el tratamiento B y C tienen una relación granulométrica muy semejante con el agregado grueso natural (AGN), estando acorde con los límites presentados en la norma, mientras el tratamiento A, tiene una leve diferencia granulométrica, estado muy cerca del límite superior de la norma, pero por no ser una variación significativa sigue siendo acorde con la norma. Para mayor detalle revisar el anexo.

4.1.2 Análisis de la determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de los agregados del agregado finos

De acuerdo con el procedimiento contemplado en la NTC 92 – 2019 (tercera actualización) “Método de ensayo para la determinación de la densidad volumétrica (masa unitaria) y vacíos en agregados.”, se obtiene la relación entre el volumen y la masa para el agregado fino los cuales se muestran a continuación en la tabla 20

Tabla 20. Masa unitaria compactada por apisonamiento y suelta del agregado fino.

Ensayo de masa unitaria	Suelta	Compactada por apisonamiento
Masa De La Muestra + Molde	14806 gr	15457,44 gr
Masa De Molde	8821 gr	8821 gr
Masa Neta De La Muestra	5985 gr	6636,44 gr
Volumen Del Molde	4173,54 cm ³	4173,54 cm ³
Masa Unitaria	1434,03 kg/m ³	1590,12 kg/m ³

La relación entre la masa unitaria suelta y compactada no presenta una gran variación debido a que el agregado fino, presenta una mejor acomodación de las partículas, creando menos espacios de vacíos.

4.1.3 Densidad y absorción del agregado fino

Se determina la densidad y absorción del agregado fino de acuerdo con la NTC 237-2020 (segunda actualización) “Método De Ensayo Para Determinar La Densidad Relativa (Gravedad Especifica) Y La Absorción Del Agregado Fino”. Como se observa en la tabla 21, el valor de la densidad aparente es menor que la densidad saturada (SSS) y la densidad nominal, lo que quiere decir que presenta una buena acomodación de las partículas.

Tabla 21. Densidad y absorción del agregado fino

Densidad y absorción agregado fino	
A (masa en el aire de la muestra de ensayo secada al horno)	489,03 gr
B (es la masa del picnómetro lleno de agua)	818,74 gr
C (masa picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración)	1123,72 gr
S (es la masa de la muestra saturada y superficialmente seca)	500 gr
Densidad Nominal a 23°C	2,66 gr/cm ³
Densidad Aparente a 23°C	2,51 gr/cm ³
Densidad SSS a 23°C	2,56 gr/cm ³
Porcentaje De Absorción	2,2%

4.1.4 Análisis de la determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de los agregados gruesos.

De acuerdo con el procedimiento contemplado en la NTC 92 – 2019, se determinó la relación de vacíos y densidad volumétrica para el (agregado grueso natural) AGN y los diferentes tratamientos como se registra continuación en la tabla 22, los resultados obtenidos son acordes con la granulometría que se analizó ya que los tratamientos B y C son muy semejantes al comportamiento del AGN.

Tabla 22. Resumen masa unitaria compactada por apisonamiento y suelta del agregado grueso.

	AGN	Tratamiento A	Tratamiento B	Tratamiento C
Masa unitaria suelta	1434,03 kg/m ³	1225,3 kg/m ³	1455,04 kg/m ³	1410,15 kg/m ³
Masa unitaria compacta	1590,12 kg/m ³	1397,8 kg/m ³	1592,17 kg/m ³	1604,55 kg/m ³

4.1.5 Densidad y absorción del agregado grueso

Se determinó la densidad y absorción del agregado grueso de acuerdo con la NTC 176-2019 (segunda actualización) “Método De Ensayo Para Determinar La Densidad Relativa (Gravedad Específica) Y La Absorción Del Agregado Grueso.”, se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 23. De forma general el agregado grueso presenta menor densidad que el agregado fino, esto se debe a que existen menos vacíos en la arena.

Tabla 23. Resumen densidad y absorción del agregado grueso.

Densidad y absorción agregado grueso natural y reciclado				
	AGN	Tratamiento A	Tratamiento B	Tratamiento C
Densidad nominal 23°C	2,68 gr/cm ³	2,37 gr/cm ³	2,49 gr/cm ³	2,41 gr/cm ³
Densidad aparente 23°C	2,59 gr/cm ³	2,07 gr/cm ³	2,12 gr/cm ³	2,14 gr/cm ³
Densidad SSS 23°C	2,62 gr/cm ³	2,20 gr/cm ³	2,27 gr/cm ³	2,25 gr/cm ³
Porcentaje de absorción	1,30%	6,20%	6,90%	5,30%

En la Tabla 23. Se observa que el agregado reciclado presenta mayor porcentaje de adsorción debido que son más poroso que los agregados convencionales, sin embargo, el que presenta mayor porcentaje de adsorción es el tratamiento B, el cual proviene de la Constructora Briñez.

4.1.6 Resistencia al desgaste

Se determina la resistencia al desgaste de los agregados gruesos natural y reciclados. De acuerdo con la tabla 24 el agregado con mayor desgaste corresponde al tratamiento B (Agregado de la Constructora Briñez), esto puede deberse a que el agregado provenía de concreto industrializado y en su composición se encontraba mucho mortero adherido a los agregados naturales. Por otra parte, el agregado natural y el tratamiento A presentaban una similitud en su desgaste, con una diferencia de menos del 3%, demostrando que el agregado reciclado puede alcanzar esta característica del agregado natural al provenir de una planta de tratamiento certificada.

Tabla 24. Resistencia al desgaste del agregado grueso

TRATAMIENTO	MASA INICIAL	MASA FINAL	PERDIDA EN MASA	% PERDIDA
NATURAL	5003.8 g	3413 gr	1590.8 gr	31.79 %
A	5000 gr	3516 gr	1484 gr	29,68%
B	5001 gr	2822 gr	2179 gr	43,57%
C	5000 gr	2944 gr	2056 gr	41,12%

4.2 Resultados del ensayo de resistencia a la compresión.

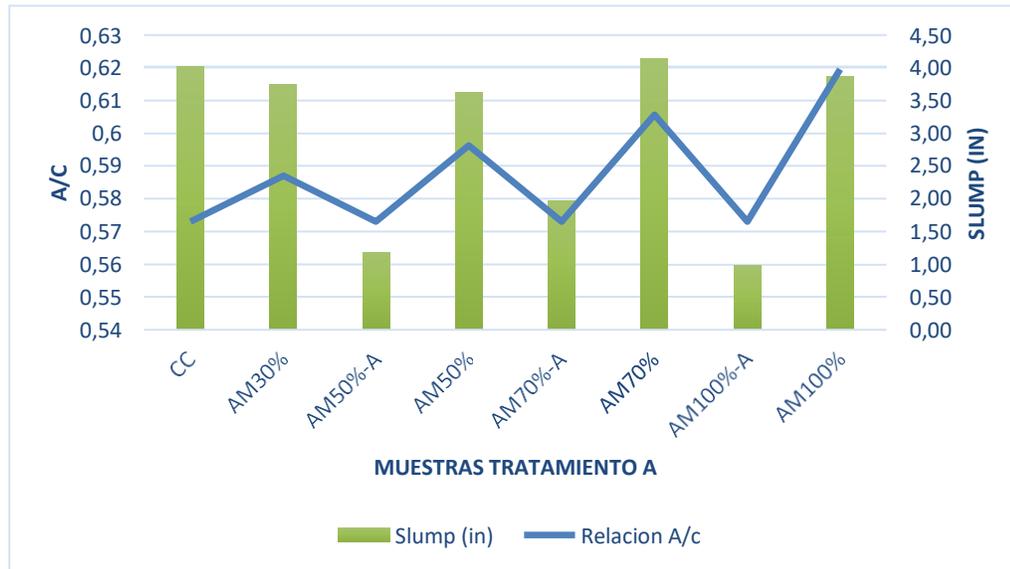
Se realiza el ensayo a la compresión para determinar el comportamiento del concreto elaborado con agregado grueso reciclado sometido a cargas aplastantes, es decir a una presión compresiva sobre un espécimen de ensayo.

4.2.1 Relación A/C respecto al Slump en el tratamiento A.

Para determinar la manejabilidad y trabajabilidad del concreto reciclado respecto al concreto convencional se realiza una relación de entre el A/C y el ensayo del Slump.

Como se observa en la gráfica 4 en las muestras AM50%-A, AM70%-A Y AM100%-A, se maneja con la misma relación A/C del concreto convencional en estado ambiente, se observa que en momento de fundir la mezcla, el concreto disminuye su manejabilidad debido que se vuelve más seco ya que el material reciclado es más poroso y presenta un mayor porcentaje de absorción, se realiza una corrección de humedad en las mezclas

AM30%, AM50%, AM70%, Y AM100%, se observa un aumento en la relación A/C, y una mejor manejabilidad de las mezclas de concreto cumpliendo con el requisito de diseño de slump máx. de 4 pulgadas, se cumple con lo recomendado por investigaciones anteriores que sugieren una relación entre 0.5 y 0.7 para cumplir con los requisitos.



Gráfica 4. Relacion A/C respecto al slump en el tratamiento A

4.2.2 Relación de porcentajes de reemplazo en el tratamiento A

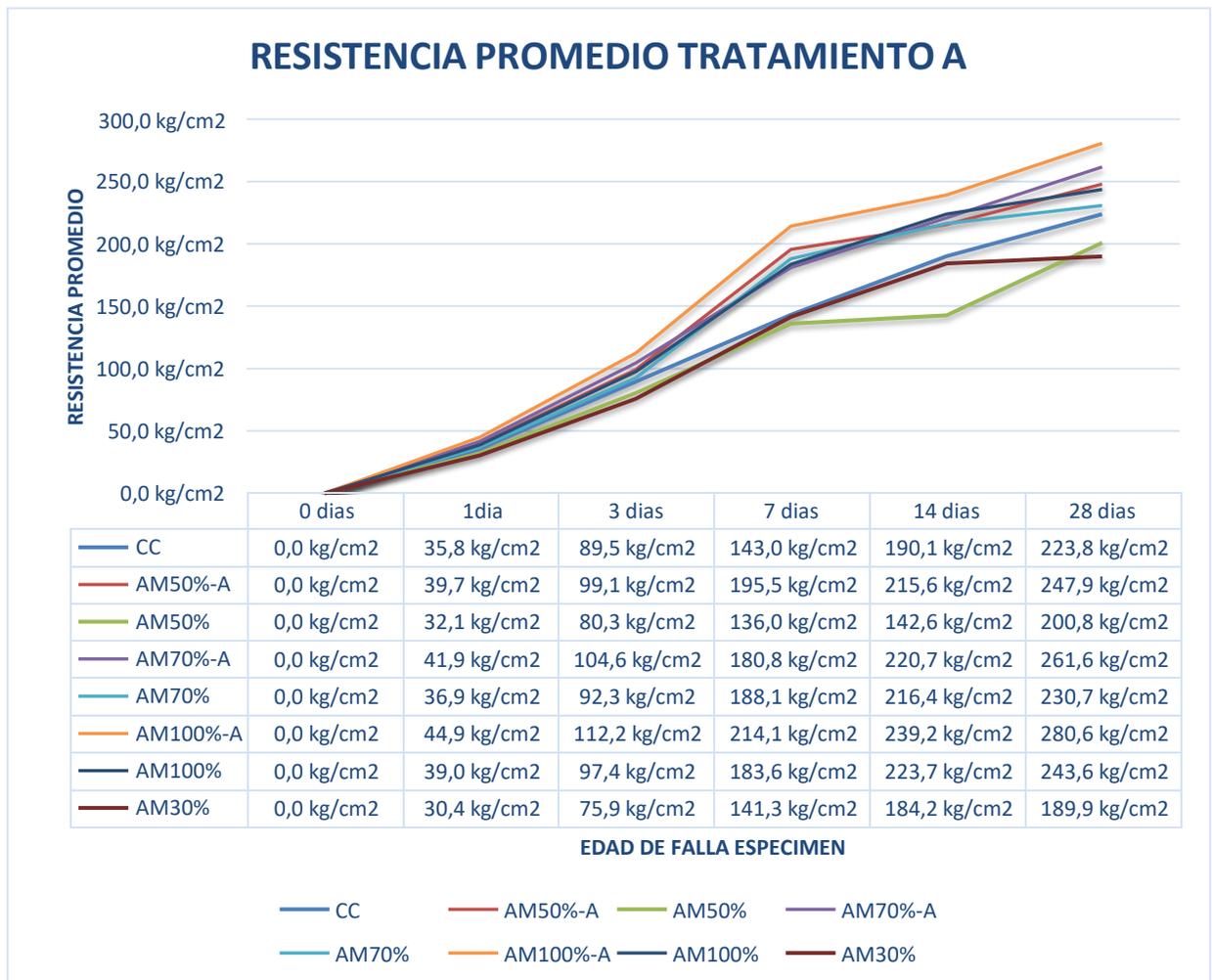
Se obtuvieron los resultados descritos en la grafica 6 para los ensayos a compresión fallados a los 7, 14 y 28 días, en el tratamiento A con diferentes porcentajes de reemplazo, los resultados cumplieron con la resistencia de diseño, de acuerdo con el porcentaje de resistencia alcanzada a la edad del fallo.

Se observa que la muestra AM30%, por tener un porcentaje de reemplazo pequeño (30%), no presenta una variación significativa respecto al convencional, además se puede observar que en la mayoría todas las muestras cumplen el requisito de diseño de 210 kg/cm², en algunos casos desde los 7 y 14 días, esto significa que este tratamiento independientemente del porcentaje de reemplazo presenta un aumento en la resistencia del concreto, lo cual aumentaría sus propiedades físicas y mecánicas.

En la gráfica 6 se presenta la relación de las resistencias promedio de cada muestra del tratamiento, en la muestra AM50% se presenta una disminución de la resistencia debido que el 50% de los agregados naturales tenían un tamaño de 1 pulgada como e muestra en la ilustración 17, lo cual se reflejó en una mala acomodación de los agregados en el momento de fundir la mezcla y se observó que el tipo de fallo fue por los agregados naturales mas no por el agregado grueso reciclado se presenta registro fotográfico.



Ilustración 17.Detalle falla cilindros muestra AM50%



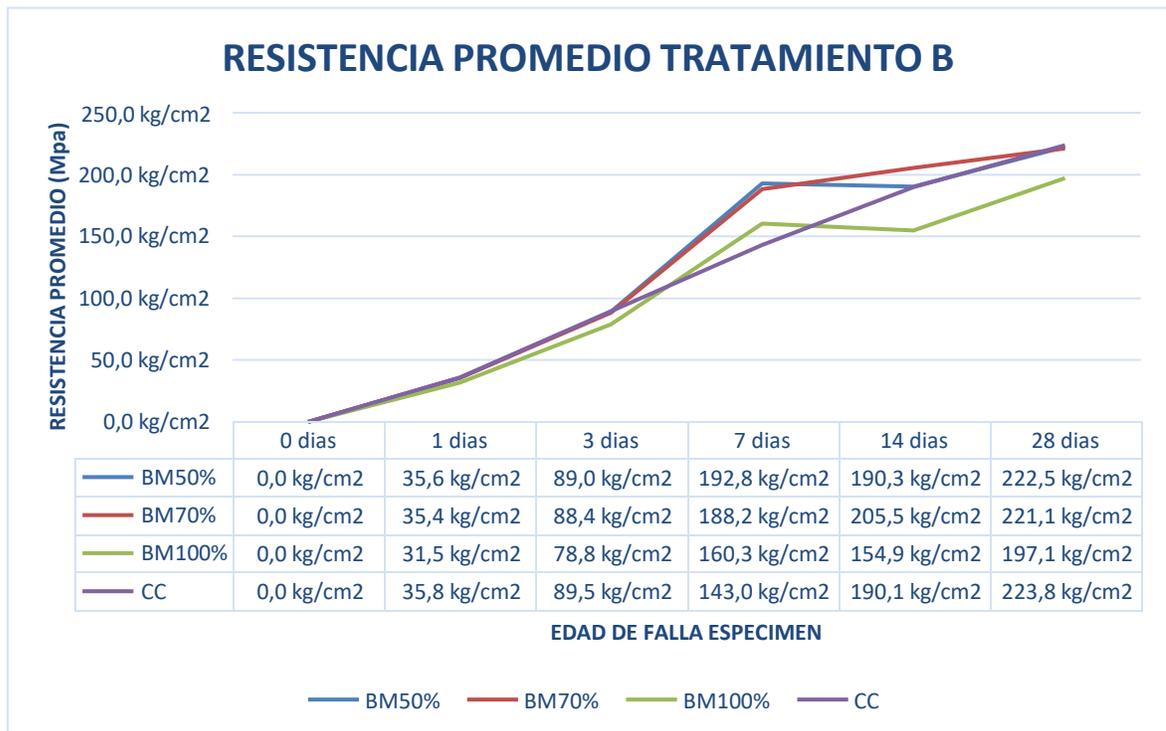
Grafica 5.Resistencia promedio tratamiento A en diferentes porcentajes AGR.

Este tratamiento para los 7 días tiene una resistencia min. 136 kg/cm² de la muestra AM50% y una resistencia max. 214,1 kg/cm² de la muestra AM100%-A, para los 14 días

tiene una resistencia min. 142,6 kg/cm² de la muestra AM50% y una resistencia max. 239,2 kg/cm² de la muestra AM100%-A para los 28 días tiene una resistencia min. 189,9 kg/cm² de la muestra AM30% y una resistencia max. 280,6 kg/cm² de la muestra AM100%-A, es decir que para este tratamiento el porcentaje de reemplazo más óptimo es del 100%, la resistencia promedio a los 28 días es de 233,4 kg/cm².

4.2.3 Relación de porcentajes de reemplazo en el tratamiento B

Se obtuvieron los resultados descritos en la Tabla 32 para los ensayos a compresión fallados a los 7, 14 y 28 días, en el tratamiento B con diferentes porcentajes de reemplazo los resultados cumplieron con la resistencia de diseño, de acuerdo con el porcentaje de resistencia alcanzada a la edad del fallo.



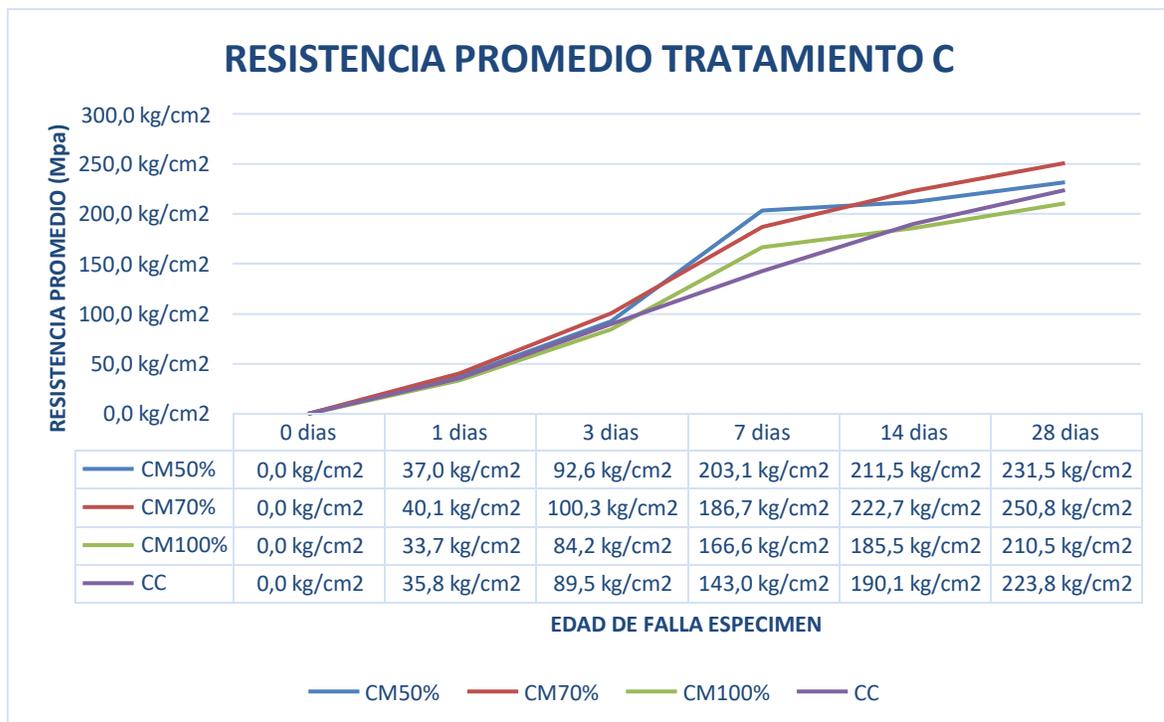
Grafica 6. Resistencia promedio tratamiento B en diferentes porcentajes AGR

En este tratamiento se puede observar en la grafica 6 que todas las muestras cumplen el requisito de diseño de 210 kg/cm², debido a que el tipo de agregado grueso reciclado de este tratamiento era producto de concreto industrializado este en su forma original no tenía tanto agregado grueso lo cual refleja una disminución de la resistencia respecto al demás tratamiento, independientemente del porcentaje de reemplazo presenta una igualación o aumento de la resistencia del concreto.

Este tratamiento para los 7 días tiene una resistencia min. 160,3 kg/cm² de la muestra BM100% y una resistencia max. 192,8 kg/cm² de la muestra BM50%, para los 14 días tiene una resistencia min. 154,9 kg/cm² de la muestra BM100% y una resistencia max. 205,5 kg/cm² de la muestra BM70%, para los 28 días tiene una resistencia min. 197,1 kg/cm² de la muestra BM100% y una resistencia max. 222,5 kg/cm² de la muestra BM50%, es decir que para este tratamiento el porcentaje de reemplazo más óptimo es del 50%, la resistencia promedio a los 28 días es de 213,5 kg/cm².

4.2.4 Relación de porcentajes de reemplazo en el tratamiento C

Se obtuvieron los resultados descritos en la gráfica 7 para los ensayos a compresión fallados a los 7, 14 y 28 días, en el tratamiento C con diferentes porcentajes de reemplazo los resultados cumplieron con la resistencia de diseño, de acuerdo con el porcentaje de resistencia alcanzada a la edad del fallo.



Grafica 7. Resistencia promedio tratamiento C en diferentes porcentajes AGR

En este tratamiento se puede observar en la gráfica 7 que todas las muestras cumplen el requisito de diseño de 210 kg/cm², en algunos casos desde los 7 y 14 días, esto significa que este tratamiento independientemente del porcentaje de reemplazo presenta un aumento en la resistencia del concreto, esto ocurre ya que el origen de los agregados gruesos reciclados de este tratamiento son producto de otras investigaciones que se realiza

en el laboratorio de construcciones de la universidad surcolombiana, es decir que contienen polímeros, fibra de coco, fibra sintética entre otros procesos de reemplazo como material alternativo para el concreto.

Este tratamiento para los 7 días tiene una resistencia min. 166,6 kg/cm² de la muestra CM100% y una resistencia max. 203,1 kg/cm² de la muestra CM50%, para los 14 días tiene una resistencia min. 185,5 kg/cm² de la muestra CM100% y una resistencia max. 222,7 kg/cm² de la muestra CM70%, para los 28 días tiene una resistencia min. 210,5 kg/cm² de la muestra CM100% y una resistencia max. 250,8 kg/cm² de la muestra CM50%, es decir que para este tratamiento el porcentaje de reemplazo más óptimo es del 50%, la resistencia promedio a los 28 días es de 230.9 kg/cm².

4.3 Análisis estadístico

Para poder analizar los resultados obtenidos de la resistencia (f'c), se implementó el método Diseño completamente al azar, el cual nos permite identificar si existe o no diferencias significativas entre estos. Este método plantea dos hipótesis, la hipótesis nula (H0) establece que todas las medias de la población son iguales y la hipótesis alternativa (Ha) establece que al menos una de las medias de la población es diferente. Dichas hipótesis se prueban mediante un análisis de varianza (ANOVA) con tres factores. En la tabla 25 se presentan los promedios de los resultados de falla a la resistencia a compresión.

Tabla 25. Resumen Promedio de ensayos para determinar el porcentaje de reemplazo.

Muestra	Resistencia Nominal "kg/cm ² "	Edad	Resistencia Alcanzada "kg/cm ² "	Edad	Resistencia Alcanzada "kg/cm ² "	Edad	Resistencia Alcanzada "kg/cm ² "	Peso Promedio
AM1	210	7	141,30	14	184,20	28	189,85	3885,6
AM2	210	7	195,50	14	215,55	28	247,85	3849,56
AM3	210	7	136,00	14	142,55	28	200,80	3820,89
AM4	210	7	180,80	14	220,70	28	261,60	3797,74
AM5	210	7	188,10	14	216,35	28	230,70	3819,98
AM6	210	7	214,10	14	239,15	28	280,60	3798,94
AM7	210	7	183,60	14	223,65	28	243,55	3794,8
BM1	210	7	192,80	14	190,25	28	222,45	3828,5
BM2	210	7	188,20	14	205,50	28	221,10	3715,7
BM3	210	7	160,30	14	154,85	28	197,10	3688
CM1	210	7	203,10	14	211,45	28	231,50	3884,7
CM2	210	7	186,70	14	222,70	28	250,75	3834,8
CM3	210	7	166,60	14	175,50	28	210,50	3746,2

Este análisis estadístico se aplicó a un total de 80 resultados obtenidos de cada uno de los ensayos a la compresión realizados, con un nivel de confianza de 95% y un nivel de significancia $\alpha=0.05$, para poder aceptar o rechazar la hipótesis de investigación planteada (H_i). Todo lo anterior se realizó en el Statgraphics 19 - X64.

4.4 Resumen estadístico.

El procedimiento ejecuta un análisis de varianza de varios factores para la Resistencia (kg/cm^2). Se realiza varias pruebas y gráficas para determinar qué factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre la resistencia (kg/cm^2), evaluando la significancia de las interacciones entre los factores. Las pruebas-F en la tabla ANOVA permitirán identificar los factores significativos. Para cada factor significativo, las Pruebas de Rangos Múltiples dirán cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La Gráfica de Medias y la Gráfica de Interacciones ayudarán a interpretar los efectos significativos.

4.5 Análisis de Varianza para la Resistencia a compresión (kg/cm^2)

Los cálculos correspondientes al análisis de varianza de varios factores (ANOVA) se resumen en la Tabla 26, que corresponde a los resultados de la resistencia a la compresión.

Tabla 26. Análisis de la Varianza - ANOVA

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Efectos Principales					
A: Tratamiento.	2543.23	2	1271.61	3.79	0.0284
B: Días.	34519.2	2	17259.6	51.50	0.0000
C: Porcentajes.	8014.25	3	2671.42	7.97	0.0002
Interacciones					
AB	1639.41	4	409.854	1.22	0.3113
AC	14235.3	6	2372.56	7.08	0.0000
BC	2690.91	6	448.485	1.34	0.2555
Residuos	19104.5	57	335.167		
Total (corregido)	84806.5	80			

De acuerdo con la tabla 26 (ANOVA), se descompone la variabilidad de Resistencia en contribuciones debidas a varios factores. Puesto que se ha escogido la suma de cuadrados Tipo III, la contribución de cada factor se mide eliminando los efectos de los demás factores. Los valores-P prueban la significancia estadística de cada uno de los factores.

Puesto que 4 valores-P son menores que 0.05, estos factores tienen un efecto estadísticamente significativo sobre Resistencia, por lo tanto, se asume que existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de cada uno de los tratamientos con un nivel de confianza del 95%, de esta manera se rechaza la hipótesis nula (H0) y se aprueba la hipótesis alternativa (Ha).

Una vez se determinó la existencia de diferencias significativas entre los factores del proyecto, se procede a estimar cuál de estos factores presentan los mejores o peores resultados a la resistencia a la compresión, para ello se utilizan las Pruebas de Rangos Múltiples.

4.5.1 Pruebas de Múltiple Rangos para Resistencia por Tratamiento.

Los cálculos correspondientes al análisis de pruebas de múltiples rangos para el factor de tratamiento se resumen en la Tabla 27, que corresponde al análisis del método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

Tabla 27. comparación entre medias por diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

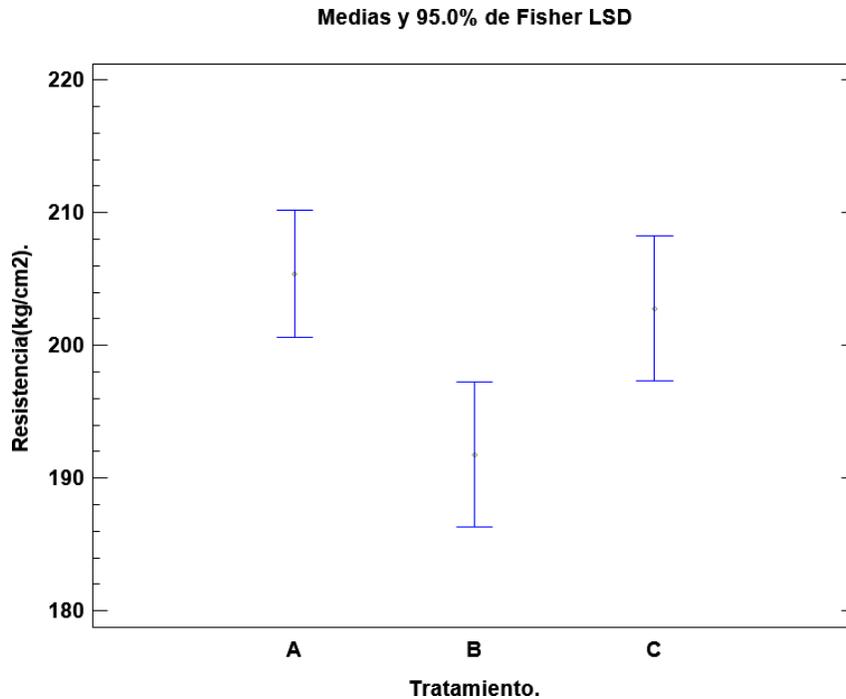
Tratamiento	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
B	23	191.766	3.85606	X
C	23	202.764	3.85606	X
A	35	205.389	3.40174	X

Tabla 28. diferencias entre grupos

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
A - B	*	13.6235	10.2712
A - C		2.62557	10.2712
B - C	*	-10.9979	10.8729

En la tabla 27 se realiza la comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas, es decir que el tratamiento A y C, no difieren estadísticamente significativamente entre sí, pero sí existen diferencias con el tratamiento B, lo cual es acorde al análisis ya que este tratamiento fue el que presentó mayor desgaste por ser un RCD, que no contenía mucho agregado grueso al ser concreto industrializado. La tabla 28 realiza la comparación entre grupos, el asterisco que se encuentra al lado de los 2

pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.



Grafica 8. Test LSD de Fisher – factor tratamiento

En la grafica 8 se puede observar la diferencia estadísticamente significativa determinada en la prueba LSD de Fisher del tratamiento B con respecto al tratamiento A y C, tomando los valores de las medias y valores máximos y mínimos de la resistencia obtenida.

4.5.1 Pruebas de Múltiple Rangos para Resistencia por Dia.

Los cálculos correspondientes al análisis de pruebas de múltiples rangos para el factor de días se resumen en la Tabla 29, que corresponde al análisis del método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

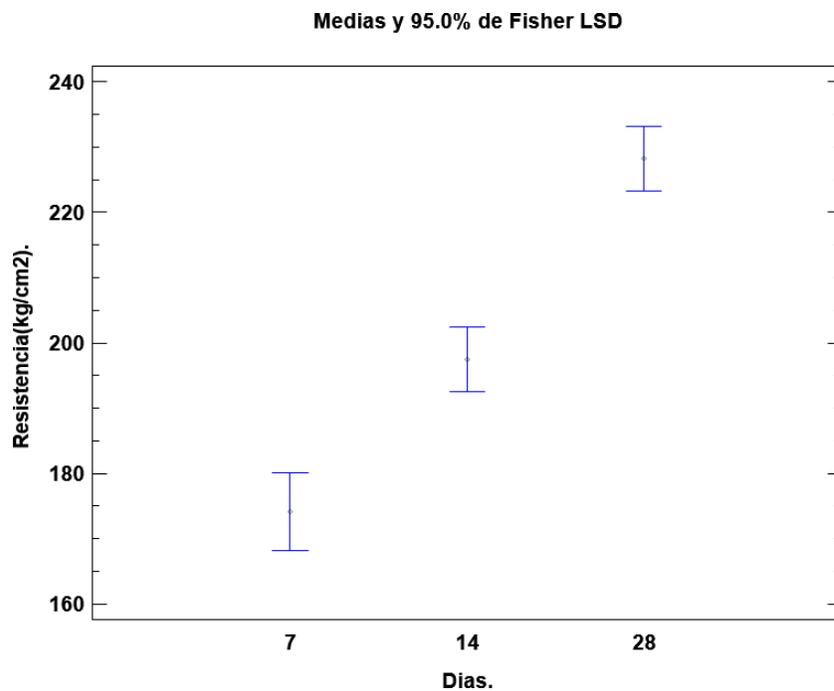
Tabla 29. comparación entre medias por diferencia mínima significativa (LSD) de fischer.

Días	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
7	21	174.162	4.17811	X
14	30	197.475	3.48193	X
28	30	228.281	3.48193	X

Tabla 30.diferencias entre grupos

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
7 - 14	*	-23.3126	10.891
7 - 28	*	-54.1189	10.891
14 - 28	*	-30.8063	9.83493

En la tabla 29 se realiza la comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras en el factor días. se han identificado que no existen grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas, es decir que la resistencia es diferente para cada día lo cual concuerda con la teoría. La tabla 30 realiza la comparación entre grupos, el asterisco que se encuentra al lado de los 3 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.



Grafica 9.Test LSD de Fisher – factor días

En la gráfica 9 se puede observar la diferencia estadísticamente significativa determinada en la prueba LSD de Fisher de los días, tomando los valores de las medias y valores máximos y mínimos de la resistencia obtenida, concordando que a los 28 días se obtienen las mejores resistencias.

4.5.1 Pruebas de Múltiple Rangos para Resistencia por porcentajes.

Los cálculos correspondientes al análisis de pruebas de múltiples rangos para el factor de porcentajes de reemplazo se resumen en la Tabla 31, que corresponde al análisis del método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher.

Tabla 31. comparación entre medias por diferencia mínima significativa (LSD) de fisher.

Porcentajes.	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
0%	15	185.617	4.98269	X
100%	22	197.908	4.04549	XX
50%	22	200.362	4.04549	X
70%	22	216.006	4.04549	X

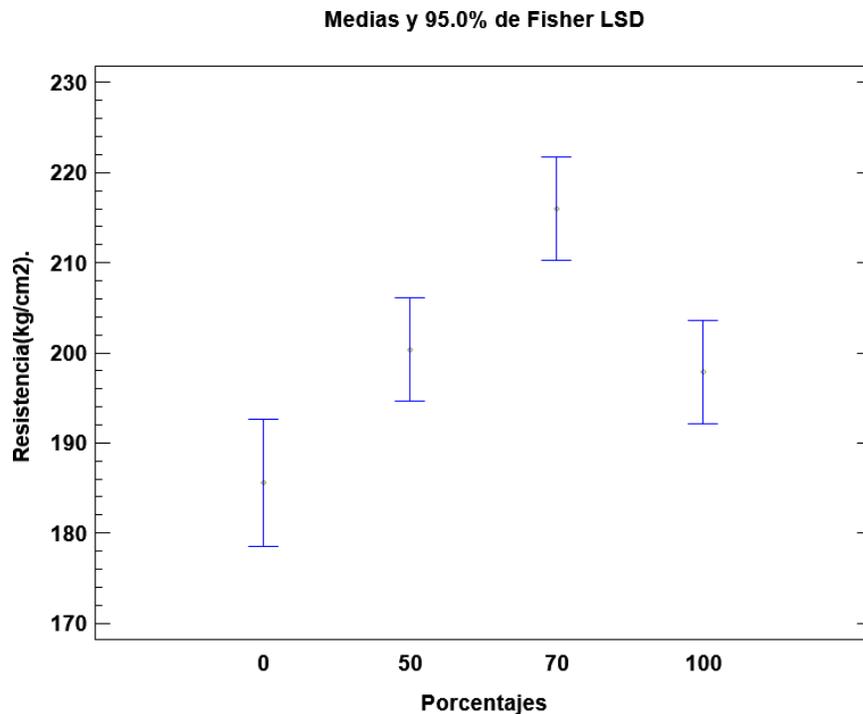
Tabla 32. diferencias entre grupos.

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0 - 50	*	-14.7452	12.8522
0 - 70	*	-30.389	12.8522
0 - 100		-12.2911	12.8522
50 - 70	*	-15.6438	11.4309
50 - 100		2.45417	11.4309
70 - 100	*	18.0979	11.4309

En la tabla 31 se realiza la comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras en el factor de porcentajes de reemplazo. El valor que aparece al 0% de reemplazo significa que es el concreto convencional con agregados naturales, se han identificado que existen 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas, es decir que el concreto convencional y el reemplazo del 100% son homogéneos porque no existen diferencias significativas en los valores de las resistencias de igual manera el reemplazo del 100% no tiene diferencias significativas con el reemplazo del 50%, sin embargo el convencional presenta una variación con el 50%, ya que este mejora la resistencia.

La tabla 32 realiza la comparación entre grupos, el asterisco que se encuentra al lado de los 4 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. Con este método hay un riesgo del 5.0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0. Es decir que el reemplazo del 50% y 70% presentan una mejora en la resistencia con respecto

al concreto convencional, no obstante, no serían grupos homogéneos entre si ya que el 70% es el mejor porcentaje de reemplazo según el análisis estadístico realizado.

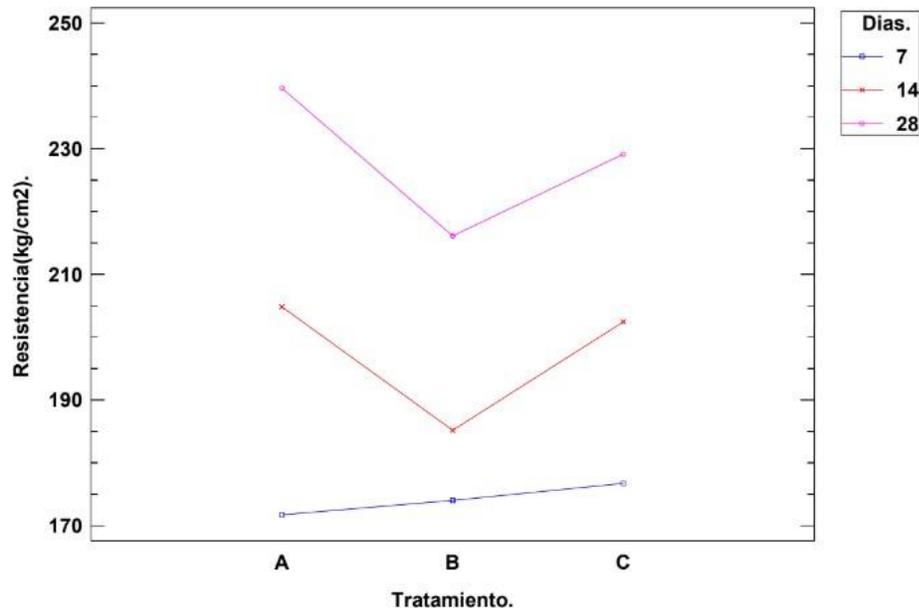


Grafica 10. Test LSD de Fisher – factor porcentaje de reemplazo

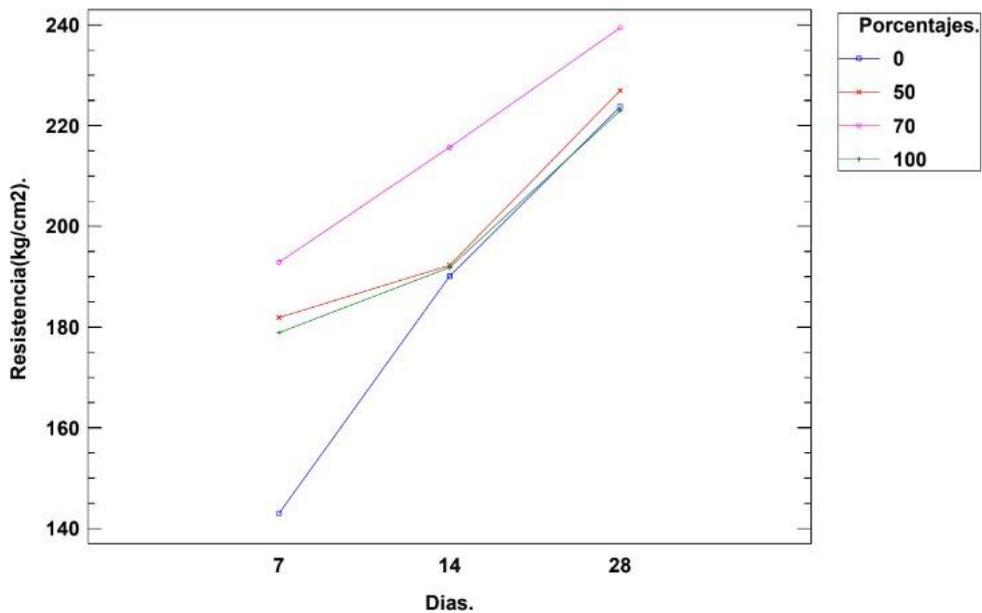
En la gráfica 10 se puede observar la diferencia estadísticamente significativa que existe entre el concreto convencional y el reemplazo del 50% y 70% determinada en la prueba LSD de Fisher, tomando los valores de las medias y valores máximos y mínimos de la resistencia obtenida, se observa que el mejor porcentaje de reemplazo es del 70% obteniendo las mejores resistencias.

4.5.2 Gráficos de interacciones entre los Factores

Como se observa en la gráfica 11, la interacción realiza entre el factor día y tratamiento, muestra que para los 28 días todos los tratamiento o fuentes de RCD mantienen la resistencia de diseño de 210 kg/cm² o en algunos casos la mejoran considerablemente, es decir que si es viable implementar los RCD como agregado grueso en la producción de concretos para obras de urbanismos, y como se muestra en la gráfica 12 el porcentaje de reemplazo más óptimo es el del 70%, debido a que presento un incremento de la resistencia desde los 7 días .



Grafica 11. interacciones entre tratamiento y días

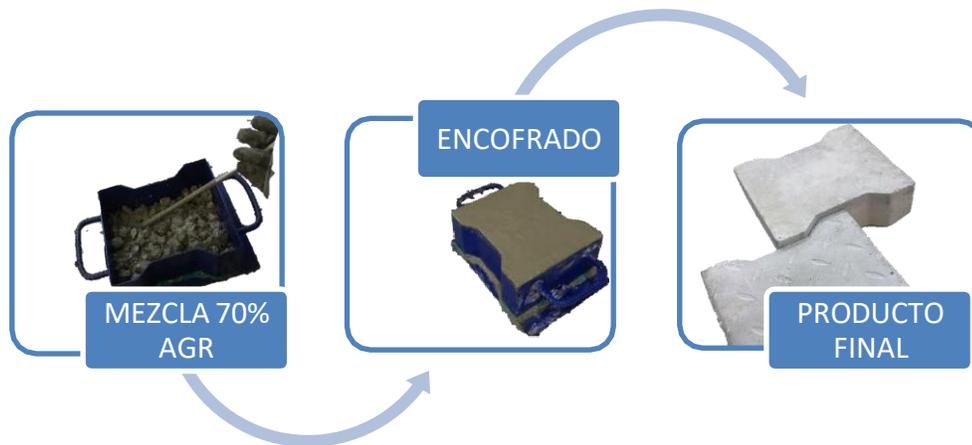


Grafica 12. interacciones entre porcentajes de reemplazo y días

4.6 Producción Prototipo De Adoquín

De acuerdo con el diseño de mezcla de 210 kg/cm² se elaboran los adoquines, se toma como referencia el 70% de reemplazo del agregado grueso reciclado de cada tratamiento,

ya que al analizar los especímenes de cilindros se obtuvo la mejor optimización del concreto en este porcentaje, es decir que los adoquines elaborados tiene una resistencia promedio a la compresión de 241 kg/cm² esto con base a los datos obtenidos en los cilindros de concreto, tienen dimensiones de 20 cm de longitud, 18 cm de ancho y 8 cm de espesor, los adoquines elaborados en su apariencia quedaron lisos debido al diseño de mezcla para mejorar la abrasión se debería cambiar el diseño de mezcla disminuyendo la cantidad de cemento y con esto dejar el prototipo más poroso, a continuación se muestra el proceso de elaboración por medio del diagrama



4.7 Resultado de ensayo de flexo-tracción de los adoquines

Se realiza el ensayo a la flexión para determinar el comportamiento de los adoquines con agregado grueso reciclado, de acuerdo con NTC 2017 – 2018 (tercera actualización) "DOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS". En la tabla 33 se anexan los valores máximos de resistencia a la flexión de alcanzaron los adoquines y la ilustración 18 se observa el proceso de falla.



Ilustración 18. Ensayo a flexión de adoquines.

Tabla 33. Resumen ensayo a flexión adoquines.

Nombre	Max. fuerza (KN)	Max. desplazamiento (mm)	M. Elástico (N/mm ²)
Adoquín 1 - Tratamiento A	14,628	2,2473	277319
Adoquín 2 - Tratamiento A	14,7103	2,25	199855
Adoquín 1 - Tratamiento B	13,49	2,2407	258644
Adoquín 2 - Tratamiento B	13,27	0,9683	336077
Adoquín 1 - Tratamiento C	14,76	1,857	297152
Adoquín 2 - Tratamiento C	14,69	2,011	264104

En la tabla 33, se observa que el tratamiento B tiene menos resistencia de carga a flexión lo que concuerda con el análisis realizado en la resistencia a la compresión, se aclara que el análisis a flexión se realiza solo con el porcentaje de reemplazo del 70% de AGR, debido a que este porcentaje es el que mejor resistencia mostro en todos los tratamientos, para más detalla sobre el comportamiento de los adoquines en los ensayos a flexión ver en anexos.

4.8 Comparación de APU para un metro cubico de concreto

Tabla 34. Analisis de precio unitario concreto convencional vs reciclado.

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO						
1 m3 de concreto de 3000 PSI					Convencional	Reciclado
1. EQUIPO						
Descripción	Unidad	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Vr Unitario	Vr Unitario
Mezcladora 1 bulto, alquiler x hora			\$7.747	0,48	\$3.718,56	\$3.718,56
				SUBTOTAL	\$3.718,56	\$3.718,56
2. MATERIALES						
Descripción	Unidad	cantidad	Precio Unitario		Vr Unitario	Vr Unitario
Arena lavada de río 1 m3	m3	0,32	\$95.019,00		\$30.406,08	\$30.406,08
Cemento 1 Kg	kg	366,07	\$615,00		\$225.133,05	\$225.133,05
Triturado de 3/4" x 1 m3	m3	0,4	\$150.500,00		\$60.200,00	\$0,00
Triturado Reciclado de 3/4" x 1 m3	m3	0,4	\$90.000,00		\$0,00	\$36.000,00
Agua para la obra 1 litro	lt	209,9	\$50,00		\$10.495,00	\$10.495,00
				SUBTOTAL	\$326.234,13	\$302.034,13
3. TRANSPORTE						
Material	peso	Distancia	m3	Tarifa m3	Vr Unitario	Vr Unitario

Transporte 1 metro cúbico por 1 kilómetro m3/Km Grava		0,4	1	m3	\$ 4.226,00	\$ 1.690,40	\$ 1.690,40
Transporte 1 metro cúbico por 1 kilómetro m3/Km Arena		0,32	1	m3	\$ 4.226,00	\$ 1.352,32	\$ 1.352,32
					SUBTOTAL	\$ 3.042,72	\$ 3.042,72
4. MANO DE OBRA							
Trabajador	jornal trabajador	Prestac.	Jornal Total Trabajador		Rendimiento	Vr Unitario	Vr Unitario
oficial	\$79.665,40	0,85	\$147.381		176	\$837,39	\$837,39
3 ayudante	\$908.526,00	0,85	\$1.680.773		176	\$28.649,54	\$28.649,54
					SUBTOTAL	\$29.486,93	\$29.486,93
TOTAL COSTO DIRECTO						\$362.482,34	\$338.280,01

En la tabla 34, se realiza un APU como estimativo de los costos aproximados de producción de un metro cubico de concreto convencional respecto al concreto con agregados reciclados, se debe tener en cuenta que los costos de producción con el agregado reciclado, son valores que se manejan comercialmente por los plantas gestoras de RCD como lo es Reciclados Industriales de la ciudad de Bogotá, de acuerdo con lo anterior el concreto reciclado presenta una disminución en el costo de producción cuando se trabaja para obras de Bogotá, debido a que la autoridad ambiental del Huila (LA CAM), no ha aprobado ninguna planta de gestión de RCD, no es posible conseguir legalmente los agregados reciclados en la región.

De acuerdo con lo anterior, trasportar material reciclado desde otra ciudad para ser implementado en las obras, elevaría los costos de producción dejando inviable esta alternativa desde el punto económico, aunque para obras a pequeña escala se puede implementar por medio de trituración manual de los RCD producto de sobrantes de las mismas obras.

Capítulo 5

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Este proyecto de investigación identifico las principales fuentes de RCD en la ciudad de Neiva, que en su mayoría son escombreras ilegales localizados en lotes vacíos, laderas de ríos y vías poco transitadas. Estas fuentes de RCD son producto de procesos constructivos a pequeña escala, como lo son remodelaciones urbanas, donde no existe una disposición final adecuada creando de esta forma las escombreras ilegales. Se realizo una investigación normativa sobre el aprovechamiento de los RCD, de acuerdo con el Instituto Colombiano de Normas Técnicas se determinó que la NTC 6421:2021 y la END 098:2020 presentan una orientación sobre el aprovechamiento de los agregados reciclados en los concretos hidráulicos y una guía para un plan de gestión de RCD respectivamente, lo que refleja un interés a nivel nacional sobre implementación de nuevos materiales alternativos en la elaboración de los concretos, sin embargo por ser normas tan nuevas no abarcan el tema a profundidad.

Teniendo en cuenta la importancia del desarrollo sostenible como respuesta al impacto ambiental por el consumo de materias primas no renovables y la inadecuada gestión integral de residuos, surge el aprovechamiento de los RCD a través de los concretos reciclados, para esto se debe realizar una clasificación de los tipos de RCD aprovechables en los concretos, esta investigación selecciono tres tipos de procedencia de RCD, verificando la origen de la fuente se analizó la influencia que presenta en la resistencia final, en el tratamiento B propuesto se observó que por el tipo de agregado grueso reciclado presento una disminución en la resistencia a la compresión respecto a los otros tratamientos propuestos, pero mantuvo su resistencia de acuerdo al concreto testigo elaborado con materiales naturales o convencionales.

Por otro lado, al realizar el proceso de caracterización de los agregados gruesos reciclados respecto a los agregados de origen natural, para determinar un diseño de mezcla óptimo de 3000 PSI implementado en las obras de urbanismo, se observó que los AGR presentan mejores aristas y angularidades, tienen un mayor índice de adsorción ya que son más porosos por ser procedentes de procesos de trituración de concretos antiguos, presentan una menor gravedad específica, es decir que de manera general los AGR en forma, angularidad, y textura presentan mejores condiciones que los AGN, se determinó el ensayo del desgaste de los agregados donde los tratamientos A,B y C, tienen unos porcentajes de pérdida respectivamente de 29.68%, 43.57% y 41.12%, al analizar los resultados se rectifica que conocer la procedencia de los residuos sirve para proyecta el posible resultado final del concreto debido que los agregados conforman entre el 70% y el 80% del volumen del concreto.

Tras la caracterización de los agregados, se analizó los porcentajes de reemplazo del 30%, 50%, 70% y 100% conjuntamente con los diferentes tratamientos, se observó que variables como relación A/C y el ensayo del Slump eran directamente proporcionales mejorando propiedades de trabajabilidad y manejabilidad de las mezclas, de igual forma a medida que aumentaba el porcentaje de reemplazo disminuía la gravedad específica de los especímenes lo que resultaba en menores pesos con mejores resistencias.

En definitiva, se logró determinar que el uso de los agregados gruesos reciclados en los concreto puede implementarse no solo en las obras de urbanismo, si no que en concreto estructural, esto de acuerdo al análisis estadístico que se planteó donde los especímenes cumplían en su mayoría con la resistencia de diseño requerida a los 7 días, de acuerdo con lo anterior el mejor porcentaje de reemplazo de AGR es del 70% independientemente del tratamiento que se utilice ya no existían diferencias estadísticamente significativas para el uso en obras de urbanismo.

Finalmente, se elaboran unos adoquines para tránsito peatonal y de vehículos livianos con unas dimensiones de 21x18x8 cm, garantizando una resistencia a la compresión promedio de 24.10 Mpa, los adoquines presentaron una textura lisa conforme al diseño de mezcla elaborado, pero cumplen con los requisitos establecido para los prefabricados. Conforme a lo anterior los concretos reciclados que se obtuvieron en esta investigación se pueden implementar en obras como bordillos, adoquines, andenes, drenajes entre otros, además como se observa en la comparación de análisis de precios unitarios la producción de 1 metro cubico de concreto reciclado disminuye \$24,202 respecto a la producción de un concreto convencional, lo cual es beneficioso para el flujo de los presupuestos de obras ubicadas en Regiones que cuenten con plantas gestoras de RCD. sedeja a consideración la viabilidad de un concreto reciclado para fines estructurales.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda conocer las fuentes y características del material grueso reciclado, debido que existen tanta variación en el tipo, composición y tiempo de RCD, realizar un pre - humedecimiento al AGR, es decir trabajarlo saturado superficialmente seco, este tipo de agregado es muy poroso y presenta un mayor porcentaje de adsorción lo cual alteraría el diseño de mezcla elaborado.

Realizar el ensayo de resistencia al desgaste de los agregados esto con el fin de identificar lo porcentajes de perdida y proyectar la resistencia a la compresión de los especímenes de concreto reciclado.

Determinar el tipo de cemento a utilizar, en lo posible realizar todos los ensayos que relaciona la NTC, debido que algunos cementos pueden mejorar condiciones de durabilidad y resistencia final.

En las obras de urbanismo, si el aumento de la resistencia al utilizar concreto reciclado es considerable respecto al diseño de mezcla, se recomienda disminuir el porcentaje de cemento y con esto mejorar los presupuestos de obra.

Realizar el ensayo para determinar la resistencia a la abrasión de los adoquines que se proponen en esta investigación, de acuerdo con la NTC 5147:2002 “Método De Ensayo Para Determinar La Resistencia A La Abrasión De Materiales Para Pisos Y Pavimentos, Mediante Arena Y Disco Metálico Ancho”.

Para la implementación de los adoquines propuestos en tránsito peatonal y/o vehicular, realizar una modificación al diseño de mezcla para que el adoquín quede más poroso y tenga una capa superior con mayor adherencia.

Bibliografía

1. Bibliografía

- ALCALDIA DE NEIVA. (2020). *PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS 2016 -2028*. Obtenido de <https://www.alcaldianeiva.gov.co/Gestion/PlaneacionGestionControl/Plan%20de%20Gesti%C3%B3n%20Integral%20de%20Residuos%20Solidos%20-%20PGIRS%20Neiva.pdf>
- ALCALDIA DE SANTIAGO DE CALI. (2009). *Evaluación y ajuste del plan de gestion integral de residuos solidos*. Obtenido de https://www.cali.gov.co/publico2/documentos/planeacion/pgirs/DOCUMENTO_EVALUACION_Y_AJUSTE_PGIRS2004-2019.pdf
- Arjona , S. D., Guerrero, A. P., Silva, Y. F., Robalo, R. A., Matthey, P. E., & Pardo, J. D. (2015). *RECICLAR ESCOMBROS EN CONCRETO* . Cali: Universidad Del Valle .
- Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*. Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica.
- Beltran Bermudez, J. D. (2020). *EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN CONCRETO REFORZADO DE RESISTENCIA DE 3000 PSI (21 Mpa), A PARTIR DE LA IMPLEMENTACIÓN DE FIBRAS METÁLICAS OBTENIDAS DE PROCESOS INDUSTRIALES*. Villavicencio. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11634/24066>
- Carvajal Corredor, I., & Terreros Rojas, L. E. (2016). *ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN CONCRETO CONVENCIONAL ADICIONANDO FIBRA DE CÁÑAMO*. BOGOTÁ D.C. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/6831/4/TESIS-AN%C3%81LISIS%20DE%20LAS%20PROPIEDADES%20MEC%C3%81NICAS%20DE%20UN%20CONCRETO%20CONVENCIONAL%20ADICIONANDO%20FIBRA%20DE%20C%C3%81%C3%91A.pdf>
- DANE. (2021). *Índice de Costos de la Construcción de Vivienda (ICCV)*.
- Decreto 2981, por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. (2013).
- Delvasto Arjona, S., & Guerrero Zuñiga, A. P. (2015). *RECICLAR ESCOMBROS EN CONCRETOS*. Universidad del Valle. Obtenido de Formato .
- EL TIEMPO. (2017). *EL TIEMPO*. Obtenido de Escombreras ilegales asfixian a barrios de Neiva: <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/escombreras-ilegales-asfixian-barrios-de-neiva-130558>
- Ferreira Cuellar, D. A., & Torres López, K. M. (2014). *CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE AGREGADOS PETREOS PARA CONCRETOS CASO: CANTERA DROMOS (MOSQUERA) Y MINA CEMEX (APULO)*. Bogotá D.C.

- García Navarro, J. (2010). *A study on the mix design and fundamental properties of pre-cast concrete artifacts prepared with coarse and fine recycled aggregates*. Spain : Polytechnic University of Madrid.
- García Pareja, J. L., Morales Bonilla , D. J., & Tapasco, M. A. (2017). *CARACTERIZACIÓN FÍSICO–QUÍMICA DEL AGREGADO PÉTREO DEL RIO NEGRO EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO (META)*. Villavicencio. Obtenido de https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/6943/1/2017_caracterizaci%C3%B3n_fisico_qu%C3%ADmica_agregado.pdf
- Guevara Fallas, G., Hidalgo Madrigal, C., Pizarro García, M., Rodríguez Valenciano, I., RojasVega, L. D., & Segura GUZMÁN, G. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología en Marcha*, 80-86.
- Gutierrez Moreno, J. M., Mungaray Moctezuma, A., & Hallack , J. (2015). Reuse of Hydraulic Concrete Waste as a New Material in Construction Procedures: a Sustainable Alternative in Northwest Mexico. *Revista de la Construcción*.
- Hernandez Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. P. (s.f.). *Metodología de la Investigación*.
- ICONTEC. (2004). *ADOQUINES DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS. NTC 2017*. ICONTEC.
- ICONTEC. (2010). *ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECIMENES CILINDRICOS DE CONCRETO. NTC 673*.
- ICONTEC. (2018). NTC 174. CONCRETOS. ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO. En *NORMA TECNICA COLOMBIANA*. ICONTEC.
- ICONTEC. (2018). NTC 77. MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS. En *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA*. ICONTEC.
- ICONTEC. (2019). NTC 176. Método de ensayo para determinar la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso. En *NORMA TECNICA COLOMBIANA*. ICONTEC.
- ICONTEC. (2019). NTC 92 2019. DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y LOS VACÍOS ENTRE PARTÍCULAS DE AGREGADOS. En *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA*. ICONTEC.
- ICONTEC. (2019). NTC 98. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN E IMPACTO DE AGREGADOS GRUESOS MENOR DE 37,5 mm, UTILIZANDO LAMÁQUINA DE LOS ÁNGELES. En *NORMA TECNICA COLOMBIANA*. ICONTEC.
- ICONTEC. (2020). NTC 237. MÉTODO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y LA ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO. En *NORMA TECNICA COLOMBIANA*. ICONTEC. Obtenido de Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
- ICONTEC. (2021). NTC 396. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto. En *N. T. COLOMBIANA*. ICONTEC.
- ICONTEC. (2021). *NTC 6421. Agregados gruesos reciclados para uso en el concreto hidráulico*. Bogotá: ICONTEC.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2021). *NTC 673. Método de ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*.
- Jaimes, D. F., García, J. J., & Rondon, J. J. (2020). IMPORTANCIA DEL CONCRETO EN EL CAMPO DE LA CONSTRUCCION. *REVISTA FORMACIÓN ESTRATÉGICA Vol 01 N 2. Universidad Francisco De Paula Santander*, 13.

- Karthik, O., Haejin, K., & Colin, L. (2007). Crushed Returned Concrete. *ResearchGate*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/237784033>
- León Rivera, A. F., & Reyes Lozano, C. E. (2018). *INCIDENCIA DEL PH DEL AGUA DE MEZCLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO*. Bogotá.
- Letelier, V., Osses, R., Valdés, G., & Moricomi, G. (2014). Utilización de metodologías para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural. *Ingeniería y ciencia*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83529978010>
- Martinez Soto, I. E., & Mendoza Escobedo, C. J. (2006). Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40470302>
- Mazo Galeano, L. (2020). *Gestión de Calidad en Agregados Pétreos Naturales Extraídos de Canteras de Trituración Para la Fabricación e Concretos Hidráulicos*. BOGOTÁ.
- Medina Herrera , D. A., & Trujillo Cortez, E. (2022). *Estudio del Corportamiento Fisico Mecanico del concreto con resina de poliester y agregado grueso reciclado* . Neiva : Universidad Surcolombiana .
- MINISTERIO DE AMBIENTE. (1994). *RESOLUCION 541*. Obtenido de https://www.anla.gov.co/documentos/normativa/resoluciones/res_0541_141294.pdf
- MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (2017). *Resolucion 0472. Por el cual se reglamenta la gestion integral de los residuos generados en las actividades de construccion y demolición - RCD y se dictan otras disposiciones*.
- Ministerio de minas y energia. (2013). <https://www.minenergia.gov.co/>. Obtenido de <https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/169095/EXPLORACION+DE+MA>
- Mora , L. N. (2021). *EFFECTOS DE LOS RESIDUOS DE CILINDROS DE ENSAYOS DE CONCRETO UTILIZADOS COMO AGREGADO GRUESO SOBRE LA DURABILIDAD DEL CONCRETO*. Bogota D.C.: Universidad Nacional De Colombia .
- Ospina Yaima, A., & Areiza Luna, J. C. (2019). *APROPIACIÓN DEL CONCEPTO DENSIDAD: ESTRATEGIA DIDÁCTICA PARA EL FORTALECIMIENTO DEL PENSAMIENTO MATEMÁTICO Y CIENTÍFICO ESCOLAR*. Medellín.
- Padmini, Ramamurthy, & Mathews. (2009). *INFLUENCE OF PARENT CONCRETE ON THE PROPERTIES OF RECYCLED*. *ResearchGate*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/237784033>
- Presidente de la republica. (2013). *Decreto 2981*. Obtenido de <https://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?id=1505864#:~:text=DECRETO%202981%20DE%202013&text=por%20el%20cual%20se%20reglamenta%20la%20prestaci%C3%B3n%20del%20servicio%20p%C3%ABlico%20de%20aseo.&text=CONSIDERANDO%203A,el%20servicio%20p%C3%ABlico%20>
- Ramírez Corredor, A. R., & Portela Osorio, J. D. (2018). *COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEMUESTRAS DE CONCRETO ADICIONADAS CON CENIZA VOLANTE CON MUESTRAS DE CONCRETO ADICIONADAS CON CENIZA VOLANTE CON MUESTRAS DE CONCRETO ADICIONADAS CON CENIZA VOLANTE CON PORCENTAJES INFERIORES AL 10%*. Bogotá.
- Ramos Paéz, M. P. (2021). *Aprovechamiento de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y Residuos de hojas de maíz en la fabricación de Eco-concretos*. Neiva : Universidad Antonio Nariño.
- Rivva Lopez, E. (2000). *NATURALEZA Y MATERIALES DEL CONCRETO*. Angel Gómez.

- Rodriguez Tobon, A. C., & Becerra, G. S. (2016). *FABRICACIÓN DE UN PREFABRICADO PARA EL REVESTIMIENTO DE EDIFICACIONES A PARTIR DEL USO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN*. Trabajo de grado, Medellín.
- Rosas Chaves , A. (2014). *MOBILIARIO URBANO PREFABRICADO EN CONCRETO CON AGREGADOS GRUESO RECICLADO*. Bogota D.C.: Universidad Nacional De Colombia .
- Sanabria, C., Mateus Quitian, B. E., & Yiyola, N. (2017). *MODELOS IMPLEMENTADOS EN EL MANEJO, TRATAMIENTO, APROVECHAMIENTO Y DISPOSICION FINAL DE RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DEMOLICION EN LATINOAMERICA*. Bogota D.C.: Universidad Distrital Francisco Jose De Caldas .
- Sarmiento Rojas, J. A., González Sanabria, J. S., & Hernández Carrillo , C. G. (2020). Analysis of the impact of the construction sector on. *Tecnura*. doi:<https://doi.org/10.14483/22487638.16194>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2015). *Guía para la elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición - RCD en obra*. Obtenido de <https://ambientebogota.gov.co/guia-para-la-elaboracion-del-plan-de-gestion-de-residuos-de-construccion-y-demolicion-rcd-en-obra>
- Ulloa, V., Uribe, M., Paz, D., & Alvarado, Y. (2017). Performance of pervious concrete containing combined recycled aggregates. *INGENIERIA E INVESTIGACION*. doi:<https://doi.org/10.15446/ing.investig.v38n2.67491>
- Universidad Nacional y Ministerio de Ambiente. (2013). *Diagnóstico intergral del modelo actual de la gestion de residuos en Colombia*.
- Xargay, H., Ripani, M., Caggiano, A., Folino, P., & Martinelli, E. (2019). Uso de materiales reciclados en compuestos cementicios. *Tecnura*. doi:<https://doi.org/10.14483/22487638.14697>

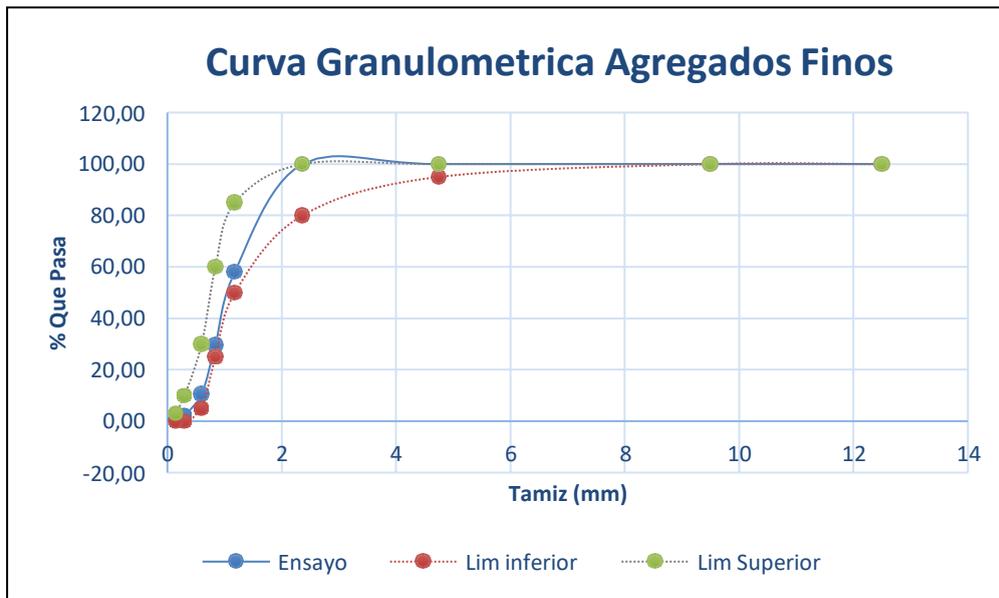
A. Anexo A-1: Ensayos de laboratorio – granulometría agregados finos.

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA Facultad de Ingeniería Laboratorio de construcciones	 UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
análisis granulométrico al agregado fino natural de acuerdo con la NTC 174 - 2018 (sexta actualización) “concretos. Especificaciones de los agregados para concreto”	
Descripción	Arena Gruesa para concretos y pisos
Procedencia	Arenas del Huila

Tabla 35. Análisis Granulométrico Agregado Fino

Tamiz (NTC 32)		Masa Retenida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa.	Limite NTC 174 (% Que Pasa)	
Pulgadas	mm					Min	Max
1/2"	12,5	0	0,00	0,00	100,00	100	100
3/8"	9,5	0	0,00	0,00	100,00	100	100
N° 4	4,75	0	0,00	0,00	100,00	95	100
N° 8	2,36	0,84	0,04	0,04	99,96	80	100
N° 16	1,18	834,99	41,81	41,86	58,14	50	85
N°30	0,84	568,65	28,48	70,33	29,67	25	60
N°50	0,6	380,97	19,08	89,41	10,59	5	30
N°100	0,3	165,63	8,29	97,70	2,30	0	10
N°200	0,15	30,03	1,50	99,21	0,79	0	3
Fondo		15,82	0,79	98,50	1,50		

Peso Muestra + Recipiente	2357,2 gr	Modulo Finura	% Error
Peso Recipiente	360,2 gr		
Peso Inicial	1997 gr	2,993	0,00351
Peso Final	1996,93 gr		



Grafica 13. Curva de granulometría Agregado Fino

Teniendo en cuenta la gráfica 4. el porcentaje que pasa el tamiz N°200 (0.15 mm) es de 1,5%, de acuerdo con la norma NTC 174 literal 4.2.4.3 “el límite apropiado para material con una finura mayor que el tamiz N° 200”, es máximo 5% y 7% según el uso que tendrá el concreto, y la procedencia del agregado: máximo 5% para material finos y concretos que estarán sometidos a abrasión, y máximo 7% para otros concretos que no estarán expuestos a la abrasión

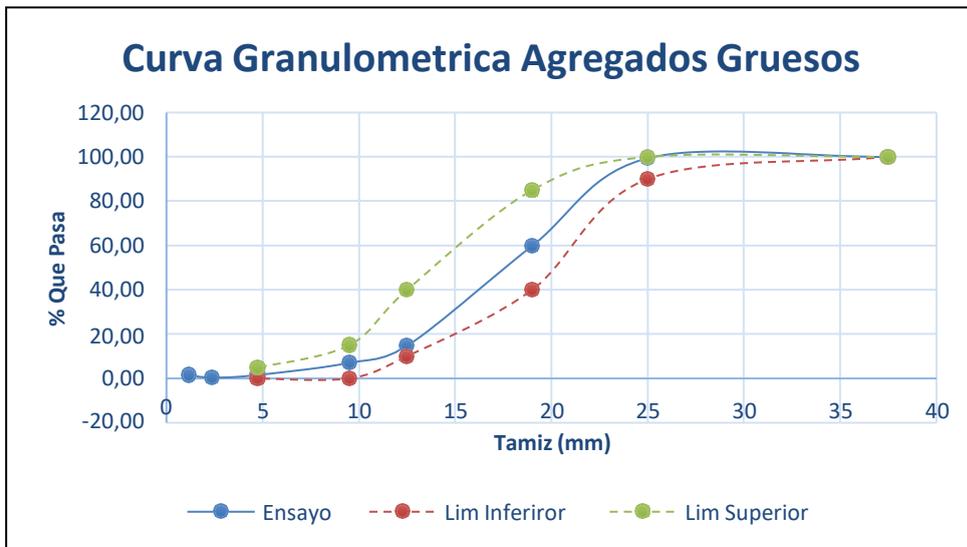
B. Anexo A-2: Ensayos de laboratorio – granulometría agregados gruesos.

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA Facultad de Ingeniería Laboratorio de construcciones	 UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
análisis granulométrico al agregado grueso natural de acuerdo con la NTC 174 - 2018 (sexta actualización) “concretos. Especificaciones de los agregados para concreto”	
Descripción	Grava ¾ pulgada
Procedencia	Arenas del Huila

Tabla 36. Análisis Granulométrico Del Agregado Grueso

Tamiz		Masa Retenida (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa.	Limite NTC 174 (% Que Pasa)	
Pulgadas	mm					Min	Max
1 1/2"	37,5	0	0,00	0,00	100,00	100	100
1"	25	28,9	0,56	0,56	99,44	90	100
3/4"	19	2043	39,51	40,07	59,93	40	85
1/2"	12,5	2334,1	45,14	85,22	14,78	10	40
3/8"	9,5	397,4	7,69	92,90	7,10	0	15
N° 4	4,75	284,2	5,50	98,40	1,60	0	5
N° 8	2,36	59,4	1,15	99,55	0,45		
N° 16	1,18	4,7	0,09	98,49	1,51		
Fondo		18,7	0,36	98,85	1,15		

Peso Muestra + Recipiente	4259,3 gr	Error De La Prueba	Modulo Finura	TMN
Peso Recipiente	285,4 gr			
Peso Inicial	3973,9 gr	-3,01E+01	5,151845	3/4 in
Peso Final	5170,4 gr			



Grafica 14. Curva Granulométrica Agregado Gueso

El porcentaje que pasa el tamiz N°200 (0.15 mm) de la grava natural de 3/4 pulgadas de Arenas del Huila es de es de 0,7%, de acuerdo con la norma NTC 174, este valor se encuentra dentro de los limites admisibles de máximo del 1% o de 1,5% cuando el agregado no contiene arcilla.

C. Anexo A-3: Ensayos de laboratorio – granulometría agregados reciclados.

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA Facultad de Ingeniería Laboratorio de construcciones	 UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
análisis granulométrico al agregado grueso reciclado de acuerdo con la NTC 174 - 2018 (sexta actualización) “concretos. Especificaciones de los agregados para concreto”	
Descripción	Grava Reciclada
Procedencia	Planta de tratamiento, constructora Briñez y Cilindros USCO

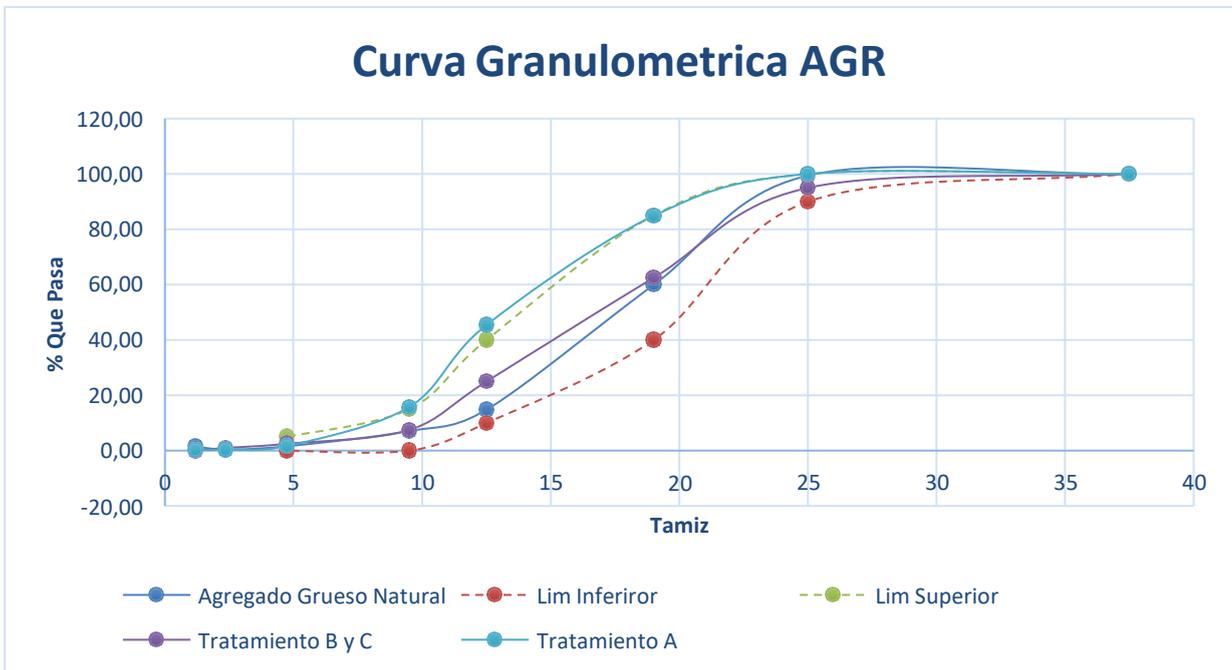
Tabla 37. Análisis Granulométrico AGR Tratamiento A

TRATAMIENTO A					
Tamiz		Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa.
Pulgadas	mm				
1 1/2"	37,5	0	0,00	0,00	100,00
1"	25	0	0,00	0,00	100,00
3/4"	19	748,8	15,14	15,14	84,86
1/2"	12,5	1950	39,42	54,56	45,44
3/8"	9,5	1465,8	29,63	84,20	15,80
N° 4	4,75	698,5	14,12	98,32	1,68
N° 8	2,36	62,1	1,26	99,58	0,42
N° 16	1,18	14,2	0,29	99,86	0,14
Fondo		6,8	0,14	100,00	0,00

Tabla 38. Análisis Granulométrico del agregado grueso reciclado.

AGREGADO GRUESO NATURAL					limite NTC 174 (% QUE PASA)		AGR TRATAMIENTO B Y C		
Tamiz		% Retenido	% Retenido Acumulado	% que pasa.			% que pasa.	% Retenido Acumulado	% Retenido
2"	mm				min	max			
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	100,00	100	100	100	0	0
1"	25	0,56	0,56	99,44	100	100	95	5	5
3/4"	19	39,51	40,07	59,93	90	100	62,5	37,5	32,5
1/2"	12,5	45,14	85,21	14,79	20	55	25	75	37,5
3/8"	9,5	7,69	92,90	7,10	0	15	7,5	92,5	17,5
N° 4	4,75	5,50	98,40	1,60	0	5	2,5	97,5	5
N° 8	2,36	1,15	99,55	0,45			1	99	1,5
N° 16	1,18	0,09	98,49	1,51			0	100	1

Fondo	0,36	98,85	1,15		0	100	0
-------	------	-------	------	--	---	-----	---



Grafica 15. Curva Granulométrica de los Agregados Gruesos Reciclados.

D. Anexo A-4: Ensayos de laboratorio – masa unitaria suelta y compactada agregados finos.

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA Facultad de Ingeniería Laboratorio de construcciones	 UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
determina la masa unitaria y vacíos entre partículas del agregado fino de acuerdo con la NTC 92 – 2019 (tercera actualización) “Método De Ensayo Para La Determinación De La Densidad Volumétrica (Masa Unitaria) Y Vacíos En Agregados.”	
Descripción	Arena Gruesa para concretos y pisos
Procedencia	Arenas del Huila

Tabla 39. Masa unitaria compacta por apisonamiento al agregado fino.

Masa Unitaria Compactada Por Apisonamiento	
Masa De La Muestra + Molde	7393,667 gr
Masa De Molde	5212 gr
Masa Neta De La Muestra	2181,667 gr
Volumen Del Molde	1337,707 cm ³
Masa Unitaria Compacta	1630,90 kg/m ³

Tabla 40. Masa unitaria suelta del agregado fino

Masa Unitaria Suelta	
Masa De La Muestra + Molde	7234,667 gr
Masa De Molde	5212 gr
Masa Neta De La Muestra	2022,667 gr
Volumen Del Molde	1337,707 cm ³
Masa Unitaria Suelta	1512,04 kg/m ³

E.Anexo A-5: Ensayos de laboratorio – masa unitaria suelta y compactada agregados gruesos.

<p>UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA Facultad de Ingeniería Laboratorio de construcciones</p>	
<p>determina la masa unitaria y vacíos entre partículas del agregado grueso de acuerdo con la NTC 92 – 2019 (tercera actualización) “Método De Ensayo Para La Determinación De La Densidad Volumétrica (Masa Unitaria) Y Vacíos En Agregados.”</p>	
<p>Descripción</p>	<p>Grava ¾ pulgada</p>
<p>Procedencia</p>	<p>Arenas del Huila</p>

Tabla 41.Masa unitaria suelta al agregado grueso.

<p>Masa Unitaria Suelta</p>	
<p>Masa De La Muestra + Molde</p>	<p>14806 gr</p>
<p>Masa De Molde</p>	<p>8821 gr</p>
<p>Masa Neta De La Muestra</p>	<p>5985 gr</p>
<p>Volumen Del Molde</p>	<p>4173,54 cm³</p>
<p>Masa Unitaria Compacta</p>	<p>1434,03 kg/m³</p>

Tabla 42.Masa unitaria compacta por apisonamiento al agregado grueso.

<p>Masa Unitaria Compactada Por Apisonamiento</p>	
<p>Masa De La Muestra + Molde</p>	<p>15457,44 gr</p>
<p>Masa De Molde</p>	<p>8821 gr</p>
<p>Masa Neta De La Muestra</p>	<p>6636,44 gr</p>
<p>Volumen Del Molde</p>	<p>4173,54 cm³</p>
<p>Masa Unitaria Suelta</p>	<p>1590,12 kg/m³</p>

F. Anexo A-6: Ensayos de laboratorio – masa unitaria suelta y compactada agregados reciclados.

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA Facultad de Ingeniería Laboratorio de construcciones	 UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
determina la masa unitaria y vacíos entre partículas del agregado grueso reciclado de acuerdo con la NTC 92 – 2019 (tercera actualización) “Método De Ensayo Para La Determinación De La Densidad Volumétrica (Masa Unitaria) Y Vacíos En Agregados.”	
Descripción	Grava Reciclada
Procedencia	Planta de tratamiento, constructora Briñez y Cilindros USCO

Tabla 43. Masa unitaria suelta al agregado grueso reciclado.

Masa unitaria suelta	Tratamiento A	Tratamiento B	Tratamiento C
masa de la muestra + molde	13934,84 gr	14893,6 gr	14706,33 gr
masa de molde	8821 gr	8821 gr	8821 gr
masa neta de la muestra	5113,84 gr	6072,66 gr	5885,33 gr
volumen del molde	4173,54 cm ³	4173,54 cm ³	4173,54 cm ³
masa unitaria suelta	1225,3 kg/m ³	1455,04 kg/m ³	1410,15 kg/m ³

Tabla 44. Masa unitaria compacta por apisonamiento al agregado grueso reciclado.

Masa unitaria Compactada Por Apisonamiento	Tratamiento A	Tratamiento B	Tratamiento C
masa de la muestra + molde	14654,77 gr	15466,0 gr	15517,66 gr
masa de molde	8821 gr	8821 gr	8821 gr
masa neta de la muestra	5833,77 gr	6645,0 gr	6696,66 gr
volumen del molde	4173,54 cm ³	4173,54 cm ³	4173,54 cm ³
masa unitaria compactada	1397,8 kg/m ³	1592,17 kg/m ³	1604,55 kg/m ³

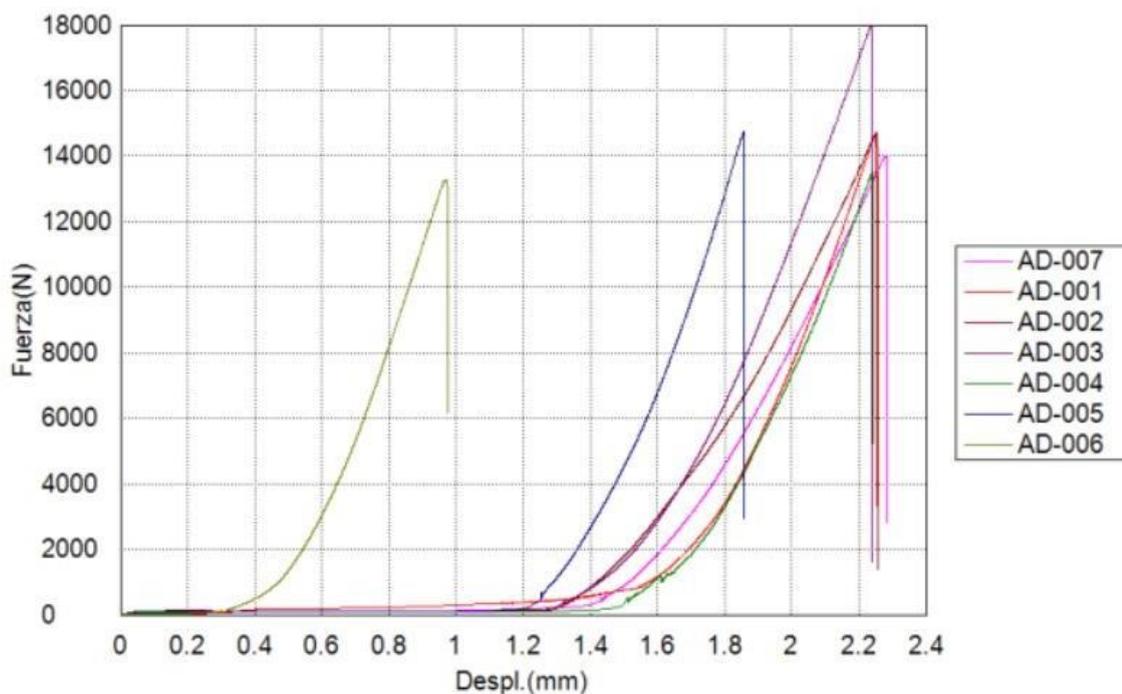
G. Anexo B-1: Resultados ensayo a compresión

Muestras	Tiempo de Curado	Resistencia		Muestras	Tiempo de Curado	Resistencia	
AM30%	7	14,1 Mpa	141,30 Kg/cm ²	BM50%	7	19,3 Mpa	192,80 Kg/cm ²
	14	17,6 Mpa	175,90 Kg/cm ²		7	17,8 Mpa	177,60 Kg/cm ²
	14	19,3 Mpa	192,50 Kg/cm ²		14	19,3 Mpa	193,00 Kg/cm ²
	28	19,4 Mpa	193,50 Kg/cm ²		14	18,8 Mpa	187,50 Kg/cm ²
	28	18,6 Mpa	186,20 Kg/cm ²		28	23,6 Mpa	236,40 Kg/cm ²
AM50%-A	7	19,6 Mpa	195,50 Kg/cm ²	BM70%	28	20,9 Mpa	208,50 Kg/cm ²
	14	20,7 Mpa	207,00 Kg/cm ²		7	18,8 Mpa	188,20 Kg/cm ²
	14	22,4 Mpa	224,10 Kg/cm ²		7	19,8 Mpa	198,30 Kg/cm ²
	28	25,0 Mpa	250,10 Kg/cm ²		14	19,8 Mpa	197,60 Kg/cm ²
	28	24,6 Mpa	245,60 Kg/cm ²		14	21,3 Mpa	213,40 Kg/cm ²
AM50%	7	13,6 Mpa	136,00 Kg/cm ²	BM100%	28	22,6 Mpa	226,30 Kg/cm ²
	14	13,2 Mpa	131,60 Kg/cm ²		28	21,6 Mpa	215,90 Kg/cm ²
	14	15,4 Mpa	153,50 Kg/cm ²		7	16,0 Mpa	160,30 Kg/cm ²
	28	20,3 Mpa	203,40 Kg/cm ²		7	17,9 Mpa	179,30 Kg/cm ²
	28	19,8 Mpa	198,20 Kg/cm ²		14	16,3 Mpa	162,60 Kg/cm ²
AM70%-A	7	18,1 Mpa	180,80 Kg/cm ²	CM50%	14	14,7 Mpa	147,10 Kg/cm ²
	14	22,8 Mpa	227,80 Kg/cm ²		28	18,6 Mpa	185,50 Kg/cm ²
	14	21,4 Mpa	213,60 Kg/cm ²		28	20,9 Mpa	208,70 Kg/cm ²
	28	27,3 Mpa	273,10 Kg/cm ²		7	20,3 Mpa	203,10 Kg/cm ²
	28	25,0 Mpa	250,10 Kg/cm ²		7	18,6 Mpa	186,30 Kg/cm ²
AM70%	7	18,8 Mpa	188,10 Kg/cm ²	CM70%	14	21,5 Mpa	215,00 Kg/cm ²
	14	21,2 Mpa	212,40 Kg/cm ²		14	20,8 Mpa	207,90 Kg/cm ²
	14	22,0 Mpa	220,30 Kg/cm ²		28	20,9 Mpa	209,40 Kg/cm ²
	28	24,8 Mpa	248,40 Kg/cm ²		28	25,4 Mpa	253,60 Kg/cm ²
	28	21,3 Mpa	213,00 Kg/cm ²		7	18,7 Mpa	186,70 Kg/cm ²
AM100%-A	7	21,4 Mpa	214,10 Kg/cm ²	CM100%	7	21,6 Mpa	215,90 Kg/cm ²
	14	24,3 Mpa	242,60 Kg/cm ²		14	22,0 Mpa	220,20 Kg/cm ²
	14	23,6 Mpa	235,70 Kg/cm ²		14	22,5 Mpa	225,20 Kg/cm ²
	28	28,6 Mpa	285,80 Kg/cm ²		28	25,0 Mpa	249,90 Kg/cm ²
	28	27,5 Mpa	275,40 Kg/cm ²		28	25,2 Mpa	251,60 Kg/cm ²
AM100%-A	7	18,4 Mpa	183,60 Kg/cm ²	CM100%	7	16,7 Mpa	166,60 Kg/cm ²
	14	22,8 Mpa	228,10 Kg/cm ²		7	17,0 Mpa	169,50 Kg/cm ²
	14	21,9 Mpa	219,20 Kg/cm ²		14	18,4 Mpa	184,20 Kg/cm ²
	28	24,0 Mpa	240,20 Kg/cm ²		14	16,7 Mpa	166,80 Kg/cm ²
	28	24,7 Mpa	246,90 Kg/cm ²		28	19,4 Mpa	194,30 Kg/cm ²
					28	22,7 Mpa	226,70 Kg/cm ²

H. Anexo B-2: Resultados ensayo flexión de adoquines.

Nombre de producto	Material de Construcción	Fecha de informe	13-Sep-22
Fecha de ensayo	13-Sep-22	Maquina de ensayos	AGS-X
Capacidad	100kN	Modo de Ensayo	Sencillo
Tipo de ensayo	Flexión 3 ptos.	Velocidad	0.98N/mm2/sec
Forma	Plana	Nºde muestras:	7

Nombre Parametros Unidad	Max_Fuerza Calc. at Entire Areas N	Max_Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	M.Elastico Fuerza 4000 – 10000 N N/mm2
AD-001	14628.0	2.24731	277319
AD-002	14710.3	2.25221	199855
AD-003	17948.0	2.23528	260299
AD-004	13496.2	2.24071	258644
AD-005	14767.5	1.85716	297152
AD-006	13271.7	0.96833	336077
AD-007	14032.8	2.28228	219382
Media	14693.5	2.01190	264104
Desviacion Estandar	1554.21	0.48331	45860.7
Rango	4676.30	1.31395	136222



I. Anexo C-1: Registro fotográfico fallas cilindros 70% de reemplazo AGR.



Detalle de fallas concretos con reemplazo del 70% tratamiento A “Comprados de planta de tratamiento”



Detalle de fallas concretos con reemplazo del 70% tratamiento B “Constructora Briñez”



Detalle de fallas concretos con reemplazo del 70% tratamiento C “Cilindros Usco”