

**MEZCLA DE CONCRETO DERIVADA DE AGREGADOS RCD PARA  
VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL (VIS)**

**DIEGO FERNANDO SANCHEZ BECERRA**

**(000257434)**

**DAVID FERNANDO TORRES CARDENAS**

**(000273483)**

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

**INGENIERO CIVIL**

**Director del Proyecto**

**CARLOS FERNANDO RIVERA**



Vº Bº

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**Escuela de Ingeniería**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**Bucaramanga**

**2019**

**MEZCLA DE CONCRETO DERIVADA DE AGREGADOS RCD PARA  
VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL (VIS)**

**DIEGO FERNANDO SANCHEZ BECERRA  
(000257434)**

**DAVID FERNANDO TORRES CARDENAS  
(000273483)**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
Escuela de Ingeniería  
Facultad de Ingeniería Civil  
Bucaramanga  
2019**

**MEZCLA DE CONCRETO DERIVADA DE AGREGADOS RCD PARA  
VIVIENDAS DE INTERES SOCIAL (VIS)**

**DIEGO FERNANDO SANCHEZ BECERRA**

**(000257434)**

**DAVID FERNANDO TORRES CARDENAS**

**(000273483)**

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

**INGENIERO CIVIL**

**Director del Proyecto**

**CARLOS FERNANDO RIVERA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**Escuela de Ingeniería**

**Facultad de Ingeniería Civil**

**Bucaramanga**

**2019**

## DEDICATORIA

*Este presente trabajo de grado lo dedico primordialmente a Dios, por ser los cimientos, las vigas y las columnas de mi vida, por mantener la inspiración y el talento que me dio para ponerlo a disposición de todas las personas, igualmente darme una segunda oportunidad para lograr todos mis sueños y objetivos.*

*Quiero también dedicarle esta investigación a la Virgen de Guadalupe, que cumplió la promesa de formarme como ingeniero civil, cuando nadie confiaba que podía lograrlo, ella es una de las artífices de este logro tan ansiado por mí.*

*Igualmente dedicárselo a mi padre Cerveleon Torres que moldea cada día mi integridad como un alfarero, con valentía, fortaleza y tenacidad, un héroe de la vida. A mi madre Luz Myriam Cárdenas que con sus simpatías y cariños dan en mí, las pinceladas como una artista que da a su obra lo mejor de ella, su perseverancia.*

*A mis hermanas que me apoyan todos los días dándome toda la fortaleza necesaria para afrontar cada uno de mis obstáculos, cumpliendo así tan ansiado sueño*

*A mis abuelos Rogelio Cárdenas y María Leonarda Chaparro que en ningún momento han dudado de mis capacidades y talentos, generando en mí un aire de confianza en la vida.*

*Es grato dedicárselo a Silvia Páez que me acompañó durante toda mi carrera que me impulso, y no me dejó caer en momentos difíciles, dándome la virtud de levantarme cada vez que había un tropiezo y confió en mí hasta el último momento muchas gracias.*

***“A MI DIOS TODO LE DEBO” – Joe Arroyo***

## AGRADECIMIENTOS

*Mis más sinceros agradecimientos al profesor Carlos Fernando Rivera por ser el guía y el maestro de este proceso final de proyecto de grado enseñándonos el arte de la ingeniería civil.*

*Gracias igualmente al profesor Ludwing Pérez por enseñarme en todas sus clases que la ingeniería civil siempre tiene propósitos sociales de bienestar para todas las personas.*

*Gracias al profesor Duwang Alexis Prada por enseñarme que las matemáticas son más que resolver cálculos y problemas, es una filosofía que es aplicada día a día en la vida.*

*Gracias al profesor Fernando Duran por enseñarme que las grandes mentes en física, logran explicar que dentro de las pequeñas coincidencias del universo esta Dios.*

*Gracias al señor Carlos Rafael Mora por darme la oportunidad de desarrollarme como ingeniero civil dentro de su empresa, enseñándome y guiándome todos los días dentro de este arte de construir y ejecutar obras para las personas.*

*Gracias a la señora Sandra Gamboa por darme igualmente la oportunidad de trabajar al servicio de su empresa, enseñándome además de ser un profesional en ingeniería civil a crecer como una persona integra.*

*Gracias al sacerdote Alejo Mantilla Mantilla que con sus palabras y enseñanzas en cada eucaristía, me acercaron a Dios, haciendo de mí un hombre de bien en constante cambio cada día aprendiendo sobre la vida y llevando un testimonio de como Dios toco mi corazón.*

## DEDICATORIA

*El presente trabajo de grado está dedicado a mi papá y a mi mamá, Héctor Sánchez Rueda y María Eugenia Becerra, por esa enseñanza para emprender ante cualquier adversidad, el liderazgo para salir adelante, el amor incondicional y la comprensión que siempre dieron, además del esfuerzo y la dedicación que siempre tuvieron; motivándome a ser mejor persona y mejor ingeniero. Esto es de ustedes, este es el resultado del sacrificio que hemos luchado.*

*El presente trabajo va dedicado a mis hermanos Héctor, Andrés y Ana, por su motivación, constancia y apoyo durante la carrera.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Mis mas sinceros agradecimientos a mi mamá y mi papá, sin ellos no es posible estar realizando este trabajo de grado. Igualmente a toda mi familia, siempre presentes y prestos para ayudarme.*

*Mi agradecimiento para el Profesor Carlos Fernando Rivera por guiarnos y ayudarnos durante el desarrollo del trabajo de grado, además de sus enseñanzas durante las clases.*

*Gracias igualmente al profesor Ludwing Perez por motivarme en un área, que no es de mi gusto, como son las estructuras.*

*Gracias al personal del laboratorio de materiales de construcción, siempre presentes y con la mejor actitud para ayudarnos a resolver nuestras inquietudes durante el desarrollo.*

## Tabla de contenido

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>25</b>
<b>1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>28</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>29</b>
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>30</b>
<b>OBJETIVOS GENERALES</b> .....	<b>30</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>30</b>
<b>4. ANTECEDENTES:</b> .....	<b>31</b>
4.1. (Ganiron, T. U. J. (2015)):“Recycling Concrete Debris from Construction and Demolition Waste” Tomas U. Ganiron Jr. ....	31
4.2. (Evangelista, L., & de Brito, J. (2007).):”Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates” L. Evangelista, J. De Brito. ....	31
4.3. (Corinaldesi, V., & Moriconi, G. (2009) ):“Influence of mineral additions on the performance of 100% recycled aggregate concrete” Valeria Corinaldesi, Giacomo Moriconi.....	31
4.4. (Rao, A., Jha, K. N., & Misra, S. (2007)):“Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete” Akash Rao, Kumar N. Jha, Sudhir Misra. ....	31
4.5. (Tabsh, S. W., & Abdelfatah, A. S. (2009)):“Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete” Sami W. Tabsh, Akmal S. Abdelfatah. ....	32
4.6. Ferreria J. S. (2009). Aprovechamiento de Escombros como Agregados no Convencionales en Mezcla de Concreto -- Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana-Seccional Bucaramanga.....	32
4.7. Bautista, M. A., Parra K. M. (2010) Diseño de una mezcla de concreto utilizando residuos industriales y escombros -- Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana-Seccional Bucaramanga. ....	32
4.8. Bedoya, C. M. (2012). SOSTENIBILIDAD TECNOLOGÍA Y HUMANISMO Viviendas de Interés Social y Prioritario Sostenibles en Colombia – VISS y VIPS – Sustainable Social and Priority Housing in Colombia Descriptores / Key Words, 27–36. Retrieved from <a href="http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/11911/27-36_Bedoya.pdf">http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/11911/27-36_Bedoya.pdf</a> .....	32
4.9. Susunaga, J. (2014). Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario, 1–55. ....	32
4.10. (Evangelista, L., Guedes, M., De Brito, J., Ferro, a. C., & Pereira, M. F. (2015)):“Physical, Chemical and mineralógica properties of fine recycled aggregates made form concrete waste” L. Evangelista, M. Guedes, J. De Brito, A.C Ferro, M.F Pereira.....	33

4.11.	(Kabir, S., Al-Shayeb, A., & Khan, I. M. (2016)): “Recycled Construction Debris as Concrete Aggregate for sustainable Construction Materials”, Shahid Kabir, Ammar Al-Shayed and Imran M. Khan. ....	33
<b>5.</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>34</b>
5.1.	EL CONCRETO .....	34
5.1.1.	EVOLUCIÓN DEL CONCRETO .....	34
5.1.2.	CARACTERÍSTICAS DEL DESEMPEÑO DEL CONCRETO .....	37
5.1.3.	ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (NTC NO. 396).....	39
5.1.4.	CURADO DEL CONCRETO .....	39
5.1.5.	FRAGUADO DEL CONCRETO .....	40
5.1.6.	CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE AGREGADOS .....	40
5.1.6.1.	GRANULOMETRÍA (NTC 174, 77).....	41
5.1.6.2.	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL Y TAMAÑO MÁXIMO (NTC No. 174).....	44
5.1.6.3.	TEXTURA SUPERFICIAL(NTC No. 174).....	44
5.1.6.4.	ANÁLISIS PETROGRÁFICO ASTM C-295 .....	45
5.1.6.5.	DENSIDAD DE BULK Y PORCENTAJE DE VACÍOS (NTC No. 237) ....	45
5.1.6.6.	GRAVEDAD ESPECÍFICA DE BULK Y ABSORCIÓN (I.N.V. -223-07) ..	47
5.1.6.7.	CONTENIDO DE HUMEDAD (NTC 1776).....	48
5.1.6.8.	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL DESGASTE DE AGREGADOS GRUESOS HASTA DE 37,5 MM, UTILIZANDO LA MÁQUINA DE LOS ANGELES (NTC No. 98) .....	50
5.1.6.9.	ESTABILIDAD QUÍMICA .....	51
5.1.6.10.	MÓDULO DE FINURA .....	52
5.1.6.11.	TRACCIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO ( NTC 722) .....	52
5.1.6.12.	ENSAYO PARA DETERMINAR LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN LOS AGREGADOS ( NTC 127).....	53
5.1.7.	IMPORTANCIA DE LOS AGREGADOS .....	53
5.2.	AGUA DE LA MEZCLA.....	54
5.3.	CEMENTO.....	55
5.3.1.	CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO (NTC NO. 30) .....	55
5.3.2.	ESPECIFICACIONES DE DESEMPEÑO DEL CEMENTO HIDRAULICO. (NTC NO. 121).....	56
5.3.3.	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRAULICO (NTC NO. 221).....	57
5.4.	MANEJO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN – RCD .....	58
5.4.1.	SITIOS EMPLEADOS PARA LA DISPOSICIÓN DE RCD.....	60
5.4.2.	PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIONES Y DEMOLICIONES EN EL AREA .....	61
5.4.3.	LICENCIA AMBIENTAL DEL SITIO DE DISPOSICION FINAL DE RCD ...	62
5.4.4.	GESTION INTEGRAL DE RCD.....	63
4.4.5.	OBLIGACIONES.....	64
4.4.6.	DISPOSICIONES FINALES .....	66

4.4.7.	COMPONENTE ESTRATEGICO PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS RCD EN EL AREA.....	66
4.5.	VIVIENDA DE INTERES SOCIAL (VIS) .....	67
4.5.1.	ORIGEN DE LA VIVIENDA DE INTERE SOCIAL .....	68
4.5.2.	CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA DE INTERES SOCIAL EN COLOMBIA.....	68
4.5.3.	DIMENSIONES DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL .....	68
4.5.3.1.	CALIDAD DE LOS MATERIALES PARA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL 69	
4.5.3.1.2.	SOSTENIBILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL .....	69
4.5.3.2.	CONSIDERACIONES GENERALES .....	70
4.5.3.2.1.	SELECCIÓN DE LOS MATERIALES .....	70
4.5.3.3.	GRUPO DE USO DE LAS EDIFICIACIONES ANTE UN SISMO PARA VIVIENDA DE INTERES SOCIAL .....	73
4.6.	NORMA SISMORESISTENTE DE COLOMBIA (NSR) DEL 2010.....	74
4.6.1.	TITULO A: REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE .....	74
4.6.2.	TITULO E: DISEÑO DE CASA DE UNO Y DOS PISOS:.....	75
4.7.	INCENTIVOS TRIBUTARIOS.....	75
5.	METODOLOGÍA .....	76
5.1.	LOCALIZACIÓN RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y TRATAMIENTO PARA LOGRAR TAMAÑO ADECUADO .....	76
5.2.	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PROVENIENTES DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD).....	78
5.2.1.	ENSAYO DE GRANULOMETRÍA .....	79
5.2.1.1.	GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO RCD .....	80
5.2.1.2.	GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO NATURAL.....	82
5.2.1.3.	GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO NATURAL (3/4 ) .....	85
5.2.1.4.	GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO RCD (1 ½ PULG).....	88
5.2.1.5.	GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO RCD (3/4 PULG).....	91
5.2.2.	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN .....	94
5.2.3.	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO RCD .....	95
5.2.4.	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN AGREGADO FINO RCD.....	96
5.2.5.	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO NATURAL .....	97
5.2.6.	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN AGREGADO FINO NATURAL .....	98
5.2.4.	DENSIDAD DE BULK Y PORCENTAJE DE VACÍOS .....	99
5.2.4.1.	DENSIDAD DE BULK Y PORCENTAJE DE VACÍOS AGREGADO GRUESO 3/4 RCD.....	99

5.2.4.2.	DENSIDAD DE BULK Y PORCENTAJE DE VACÍOS AGREGADO GRUESO RCD 1 ½.....	100
5.2.4.3.	DENSIDAD DE BULK Y PORCENTAJE DE VACÍOS AGREGADO GRUESO NATURAL.....	101
5.2.5.	CONTENIDO DE HUMEDAD.....	102
5.2.5.1.	CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO RCD.....	102
5.2.5.2.	CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO 3/4 RCD.....	102
5.2.5.3.	CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO 1 1/2 RCD.....	103
5.2.5.4.	CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO NATURAL.....	103
5.2.5.5.	CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO NATURAL.....	104
5.2.6.	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN E IMPACTO DE AGREGADOS GRUESOS, UTILIZANDO LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES NTC 93.....	104
5.2.6.1.	AGREGADO GRUESO RCD.....	104
5.2.6.2.	AGREGADO GRUESO CONVENCIONAL.....	105
5.2.7.	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL AGREGADO FINO (NTC 174).....	105
5.2.8.	RESISTENCIA DE TRACCIÓN INDIRECTA DE LOS CILINDROS DE CONCRETO.....	106
5.3.	DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO.....	107
5.3.1.	F'C Y F'CR.....	108
5.3.2.	CÁLCULO DEL CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO SE ELIGE DETERMINADO EL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO.....	109
5.3.3.	CÁLCULO DEL CONTENIDO DE AGUA.....	109
5.3.4.	LA RELACIÓN AGUA CEMENTO.....	110
5.3.5.	SE DETERMINÓ EL CONTENIDO DEL AGREGADO GRUESO.....	111
5.3.6.	ESTABLECER EL VOLUMEN Y EL PESO DEL AGREGADO FINO.....	114
5.3.7.	HIDRATACIÓN DE LA MEZCLA.....	115
5.3.8.	DOSIFICACIÓN.....	117
5.4.	ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO.....	117
5.5.	LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	124
5.6.	DETERMINACIÓN DE LA TRACCIÓN INDIRECTA DE LOS CILINDROS.....	128
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	130
6.1.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PROVENIENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.....	130
6.1.1.	GRANULOMETRÍA.....	130
6.1.2.	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%ABSORCIÓN).....	133
6.1.3.	DENSIDAD DE BULK Y PORCENTAJE DE VACÍOS(%VACÍOS).....	136
6.1.4.	CONTENIDO DE HUMEDAD.....	140

6.1.5. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA LA DESGASTE POR ABRASIÓN E IMPACTO DE AGREGADOS GRUESOS, UTILIZANDO LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES .....	141
6.1.6. ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO .....	143
6.1.7. ENSAYO DE CONTENIDO DE MATERIA INORGÁNICA EN AGREGADO FINO 143	
6.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO 144	
6.3. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE CONCRETO:.....	145
6.4. ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA MEZCLA DE CONCRETO.....	148
6.4.1. COTIZACIÓN.....	148
6.4.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA LOS AGREGADOS .....	154
6.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL .....	157
7. CONCLUSIONES .....	158
8. RECOMENDACIONES.....	159
Bibliografía .....	161

## **LISTADO DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1: Aspectos Ambientales del perfil de los agregados/materiales de construcción, tomando como referencia una construcción industrializada. Fuente: Guía de construcción sostenible, UPB, 2015 .....	35
Ilustración 2: Recomendaciones en el curado del concreto, por efecto de la temperatura y la humedad. Fuente: Guía para el diseño de construcción sostenible, UPB, 2015 ....	39
Ilustración 3: Propiedades mecánicas del concreto afectados por la Textura Superficial. Fuente: Guía para el diseño de construcción sostenibles, UPB, 2015 .....	44
Ilustración 4: Diagrama de Toneladas de Residuos de Construcción y Demolición del Año 2015. Fuente: Actualización de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Alcaldía de Bucaramanga, 2017.....	59
Ilustración 5: Diagrama de Toneladas de Residuos de Construcción y Demolición del Año 2016. Fuente: Actualización de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Alcaldía de Bucaramanga, 2017.....	60
Ilustración 6: Identificación de Problema en la gestión inadecuada de los residuos de construcción y demolición en Bucaramanga. Fuente: Actualización de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Alcaldía de Bucaramanga, 2017.....	62
Ilustración 7: Mapa de Localización Botadero de Tierra el Parque S.A. Fuente: Google Maps.....	76
Ilustración 8: Mapa de Localización OSSA Ingeniería Escombrera Rancho Grande. Fuente: Google Maps .....	77
Ilustración 9: Mapa de Localización Veolia Aseo Bucaramanga S.A.E.S.P... Fuente: Google Maps.....	77
Ilustración 10: Mapa de Localización Sánchez Construcciones LTDA. Fuente: Google Maps.....	78
Ilustración 11: Gráfica de Granulometría de acuerdo a los límites. Fuente: Elaboración Propia.....	82
Ilustración 12: Gráfica Granulométrica del Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia.....	84
Ilustración 13: Gráfica Granulométrica del Agregado Grueso Natural (3/4). Fuente: Elaboración Propia.....	87
Ilustración 14: Gráfica Granulométrica para el Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia.....	90

Ilustración 15: Gráfica Granulométrica para el Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.....	93
Ilustración 16: Resultado del Ensayo para Determinar las Impurezas. Fuente: Elaboración Propia,.....	106
Ilustración 17: Gráfica Comparativa de los Resultados de Tracción en diseño de Mezcla realizado. Fuente: Elaboración Propia.....	107
Ilustración 18: Asentamiento 25% RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	121
Ilustración 19: Asentamiento 50% RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	122
Ilustración 20: Asentamiento 75% RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	122
Ilustración 21: Asentamiento 100% RCD. Fuente: Elaboración Propia. ....	123
Ilustración 22: Asentamiento 0% RCD (Testigos de Concreto). Fuente: Elaboración Propia.....	123
Ilustración 23: Ensayo de Tracción de los Especímenes de Concreto. Fuente: Elaboración Propia.....	128
Ilustración 24: Resultados del Ensayo de Tracción. Fuente: Elaboración Propia. ....	129
Ilustración 25: Gráfica Granulométrica del Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia.....	130
Ilustración 26: Gráfica Granulométrica del Agregado Grueso Natural. Fuente: Elaboración Propia.....	131
Ilustración 27: Gráfica Granulométrica del Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.....	132
Ilustración 28: Gráfica Granulométrica del Agregado Grueso RCD ( 1 1/2). Fuente: Elaboración Propia.....	132
Ilustración 29: Gráfica Granulométrica del Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	133
Ilustración 30: Resultado de la Tracción Indirecta de los Especímenes de Concreto. Fuente: Elaboración Propia. ....	143
Ilustración 31: Ensayo de Impurezas Inorgánicas del Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	143
Ilustración 32: Comparación de la Resistencia 25% RCD Vs. Convencional. Fuente: Elaboración Propia.....	145
Ilustración 33: Comparación de la Resistencia 50% RCD Vs. Convencional. Fuente: Elaboración Propia.....	145

Ilustración 34: Comparación de la Resistencia 75% RCD Vs. Convencional. Fuente:  
Elaboración Propia..... 146

Ilustración 35: Comparación de la Resistencia 100% RCD Vs. Convencional. Fuente:  
Elaboración Propia..... 146

Ilustración 36: Comparación de Precio de las cotizaciones. Fuente: Elaboración Propia.153

## **LISTADO DE TABLAS**

Tabla 1: Máximo Porcentaje del peso total del Agregado Fino. Fuente: Norma Técnica Colombiana 174 .....	41
Tabla 2: Porcentaje que pasa para Agregados Finos. Fuente: Norma Técnica Colombiana 174.....	42
Tabla 3: Requisitos de gradación para Agregados Grueso. Fuente: Norma Técnica Colombiana 174 .....	43
Tabla 4: Porcentaje máximo permitido para Agregado Grueso. Fuente: Norma Técnica Colombiana 174. ....	44
Tabla 5: Capacidad del Molde con respecto al tamaño máximo nominal del agregado (mm). Fuente: Norma Técnica Colombiana 237 .....	45
Tabla 6: Espesor mínimo del molde con respecto a la capacidad del molde. Fuente: Norma Técnica Colombia 237.....	46
Tabla 7: Cantidad mínima de muestra con respecto al tamaño máximo nominal. Fuente: Norma I.N.V. -223-07.....	47
Tabla 8: Masa mínima de la muestra en gramos con respecto al tamaño máximo nominal. Fuente: Norma Técnica Colombiana 1776 .....	49
Tabla 9: Número de Esferas con respecto al tipo de gradación. Fuente: Norma Técnica Colombiana 98.....	50
Tabla 10: Masa de los tamaños indicados con respecto al tamaño del tamiz. Fuente: Norma Técnica Colombiana 98. ....	51
Tabla 11: Tabla con los requisitos mínimos para el cemento. Fuente: Norma Técnica Colombiana 121. ....	56
Tabla 12: Requisitos opcionales para el cemento. Fuente: Norma Técnica Colombiana 121.....	57
Tabla 13: Tabla de las toneladas recibidas en el Botadero el Parque S.A.S año 2015. Fuente: Actualización Gestión Integral de Residuos Sólidos, Alcaldía Bucaramanga, 2017.....	58
Tabla 14: Tabla de las toneladas recibidas en el Botadero del Parque S.A.S año 2016. Fuente: Actualización Gestión Integral de Residuos Sólidos, Alcaldía de Bucaramanga, 2017. ....	59
Tabla 15: Descripción de algunos de los sitios de disposición final de Residuos de Construcción. Fuente: Actualización de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Alcaldía de Bucaramanga, 2017.....	61

Tabla 16: Gestión Inadecuada de los Residuos de Construcción y Demolición en el Área Metropolitana de Bucaramanga. Fuente: Actualización de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Alcaldía de Bucaramanga, 2017.....	61
Tabla 17: Categorización Municipal, Decreto 472 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017.....	65
Tabla 18: Metas según el Decreto 472. Fuente: Decreto 472 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017. ....	67
Tabla 19: Características permitidas en Viviendas de Interés Social. Fuente: Guía para la Construcción de Viviendas de Interés Social Capítulo 3, Ministerio de Vivienda. ....	71
Tabla 20: Recomendaciones constructivas para la utilización de materiales Pétreos. Fuente: Guía para la Construcción de Viviendas de Interés Social, Ministerio de Vivienda. ....	71
Tabla 21: Recomendaciones constructivas para la utilización de materiales Pétreos. Fuente: Guía para la Construcción de Viviendas de Interés Social, Ministerio de Vivienda. ....	72
Tabla 22: Tabla de Peso para la Granulometría antes del secado. Fuente: Elaboración Propia.....	79
Tabla 23: Tabla de Peso para la Granulometría después de secada al horno. Fuente: Elaboración Propia.....	79
Tabla 24: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	80
Tabla 25: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	80
Tabla 26: Tabla de Cálculo del Módulo de Finura del Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	81
Tabla 27: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	81
Tabla 28: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia.....	82
Tabla 29: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia.....	83
Tabla 30: Módulo de Finura del Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia.....	83
Tabla 31: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia.....	84

Tabla 32: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Grueso Natural (3/4). Fuente: Elaboración Propia .....	85
Tabla 33: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Grueso Natural (3/4). Fuente: Elaboración Propia .....	85
Tabla 34: Tamaño máximo Nominal Agregado Grueso Natural (3/4). Fuente: Elaboración Propia.....	86
Tabla 35: Límites Superior e Inferior para Agregado Grueso. Fuente: NTC 174.....	86
Tabla 36: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Grueso Natural (3/4). Fuente: Elaboración Propia .....	87
Tabla 37: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia .....	88
Tabla 38: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia .....	88
Tabla 39: Tamaño Máximo Nominal para el Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia.....	89
Tabla 40: Tabla de Límites Superior e Inferior para el Agregado Grueso. Fuente: NTC 174 .....	89
Tabla 41: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia .....	90
Tabla 42: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia .....	91
Tabla 43: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia .....	91
Tabla 44: Tamaño Máximo Nominal para el Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.....	92
Tabla 45: Tabla de límites Superior e Inferior para Agregado Grueso. Fuente: NTC 174 .	92
Tabla 46: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia .....	93
Tabla 47: Tabla para Gravedad Específica Bulk, SSS y Aparente, Porcentaje de Absorción Para el Agregado Grueso RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	95
Tabla 48: Tabla para Gravedad Específica Bulk, SSS y Aparente, Porcentaje de Absorción Para el Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia. ....	96
Tabla 49: Tabla para Gravedad Específica Bulk, SSS y Aparente, Porcentaje de Absorción Para el Agregado Grueso Natural. Fuente: Elaboración Propia.....	97

Tabla 50: Tabla para Gravedad Especifica Bulk, SSS y Aparente, Porcentaje de Absorción Para el Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia. ....	98
Tabla 51: Masa Suelta, Masa Compacta, Densidad de Bulk y Porcentaje de Vacíos para el Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia. ....	99
Tabla 52: Masa Suelta, Masa Compacta, Densidad de Bulk y Porcentaje de Vacíos para el Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia. ....	100
Tabla 53: Masa Suelta, Masa Compacta, Densidad de Bulk y Porcentaje de Vacíos para el Agregado Grueso Natural. Fuente: Elaboración Propia. ....	101
Tabla 54: Contenido De Humedad para el Agregado Grueso Natural (3/4). Fuente: Elaboración Propia.....	102
Tabla 55: Contenido De Humedad para el Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.....	102
Tabla 56: Contenido De Humedad para el Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia.....	103
Tabla 57: Contenido De Humedad para el Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	103
Tabla 58: Contenido De Humedad para el Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia.....	104
Tabla 59: Resultado de la Máquina de los Ángeles. Fuente: Elaboración Propia.....	104
Tabla 60: Resultados del Ensayo de Desgaste por Medio de la Máquina de los Ángeles. Fuente: Elaboración Propia. ....	105
Tabla 61: Resultados de La Tracción de los Especímenes de Concreto. Fuente: Elaboración Propia.....	106
Tabla 62: F'c y F'cr. Fuente: Elaboración Propia .....	108
Tabla 63: Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso para determinar el aire atrapado. Fuente: Elaboración Propia. ....	109
Tabla 64: Asentamiento de la mezcla. Fuente: Elaboración Propia. ....	109
Tabla 65. Resistencia a la Compresión. Fuente: NTC.....	110
Tabla 66: Tabla del Cemento en KG y Bultos. Fuente: Elaboración Propia.....	111
Tabla 67: Tabla del Tamaño Máximo Nominal para tener el Módulo de Fineza adecuado. Fuente: Elaboración Propia. ....	112
Tabla 68: Peso del agregado Grueso Natural y RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	113
Tabla 69: Peso del agregado Fino Natural y RCD. Fuente: Elaboración Propia. ....	114

Tabla 70: Agua Efectiva para Agregado Grueso y Fino para Natural y RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	116
Tabla 71: Dosificación. Fuente: Elaboración Propia.....	117
Tabla 72: Diseño de Mezcla 25% RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	117
Tabla 73: Dosificación para el Diseño de Mezcla 25% RCD. Fuente: Elaboración Propia. ....	118
Tabla 74: Diseño de Mezcla 50% RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	118
Tabla 75: Dosificación para el Diseño de Mezcla 50% RCD. Fuente: Elaboración Propia. ....	118
Tabla 76: Diseño de Mezcla 75% RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	119
Tabla 77: Dosificación para Diseño de Mezcla 75% RCD. Fuente: Elaboración Propia..	119
Tabla 78: Diseño de Mezcla 100% RCD. Fuente: Elaboración Propia. ....	119
Tabla 79: Dosificación para Diseño de Mezcla 100% RCD. Fuente: Elaboración Propia.	120
Tabla 80: Diseño de Mezcla 0% RCD (Testigos de Concreto). Fuente: Elaboración Propia. ....	120
Tabla 81: Dosificación para el Diseño de Mezcla 0% RCD (Testigos de Concreto). Fuente: Elaboración Propia.....	120
Tabla 82: Resistencia a la Compresión 25% RCD. Fuente: Elaboración Propia. ....	124
Tabla 83: Resistencia a la Compresión 50% RCD. Fuente: Elaboración Propia. ....	124
Tabla 84: Resistencia a la Compresión 75% RCD. Fuente: Elaboración Propia. ....	124
Tabla 85: Resistencia a la Compresión 100% RCD. Fuente: Elaboración Propia. ....	125
Tabla 86: Resistencia a la Compresión 0% RCD (Testigos de Concreto). Fuente: Elaboración Propia.....	125
Tabla 87: Análisis Resistencia a Compresión 25% RCD. Fuente: Elaboración Propia. ....	125
Tabla 88: Análisis Resistencia a Compresión 50% RCD. Fuente: Elaboración Propia. ....	126
Tabla 89: Análisis Resistencia a Compresión 75% RCD. Fuente: Elaboración Propia. ....	126
Tabla 90: Análisis Resistencia a Compresión 100% RCD. Fuente: Elaboración Propia..	127
Tabla 91 Análisis Resistencia a Compresión 0% RCD (Testigos de Concreto). Fuente: Elaboración Propia.....	127
Tabla 92: Resultado del Ensayo de Tracción. Fuente: Elaboración Propia. ....	129

Tabla 93: Resultado del Desgaste en la Máquina de los Ángeles. Fuente: Elaboración Propia.....	141
Tabla 94: Resultado de la Máquina de los Ángeles para Agregados Naturales (3/4). Fuente: Elaboración Propia.....	142
Tabla 95: Tipo de Uso del Concreto. Fuente: Artículo 630 - 13: Concreto Estructural, 2013. ....	147
Tabla 96: Cotización Mezcla de Concreto 25% RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	148
Tabla 97: Cotización Mezcla de Concreto 50% RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	149
Tabla 98: Cotización Mezcla de Concreto 75% RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	150
Tabla 99: Cotización Mezcla de Concreto 100% RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	151
Tabla 100: Cotización Mezcla de Concreto Agregado Natural. Fuente: Elaboración Propia.....	152
Tabla 101: Análisis de Precio Unitario Agregado Fino Natural. Fuente: Sánchez Construcciones LTDA.....	154
Tabla 102: Análisis de Precio Unitario para Agregado Grueso Natural. Fuente: Sánchez Construcciones LTDA.....	155
Tabla 103: Análisis de Precio Unitario Agregado RCD. Fuente: Sánchez Construcciones LTDA.....	156

## **LISTADO DE ECUACIONES**

Ecuación 1: Ecuación de Masa Unitaria. Fuente: Norma Técnica Colombiana 237.....	46
Ecuación 2: Ecuación de Porcentajes de Vacíos. Fuente: Norma Técnica Colombiana 237. .....	46
Ecuación 3: Ecuación de Gravedad Específica de Bulk. Fuente: Norma I.N.V. -223-07. ..	48
Ecuación 4: Ecuación de Gravedad Específica de Bulk SSS. Fuente: Norma I.N.V. -223- 07.....	48
Ecuación 5: Ecuación de Gravedad Específica de Bulk Aparente. Fuente: Norma I.N.V. - 223-07.....	48
Ecuación 6: Porcentaje de Absorción. Fuente: Norma I.N.V. - 223 - 07.....	48
Ecuación 7: Ecuación de Contenido de Humedad. Fuente: Norma Técnica Colombiana 1776.....	48
Ecuación 8: Ecuación para Tracción. Fuente: NTC 722.....	52
Ecuación 9: Ecuación de Densidad para el Cemento. Fuente: Norma Técnica Colombiana 221.....	57
Ecuación 10: Ecuación de Densidad para el Cemento Relativa. Fuente: Norma Técnica Colombiana 221. ....	58
Ecuación 11: Ecuación Gravedad Específica de BULK. Fuente: I.N.V. - 223 - 07.....	94
Ecuación 12: Ecuación Gravedad Específica SSS. Fuente: I.N.V. - 223 - 07.....	94
Ecuación 13: Ecuación Gravedad Específica Aparente. Fuente: I.N.V. - 223 - 07.....	94
<i>Ecuación 14: Porcentaje de Absorción. Fuente: I.N.V. - 223 - 07.....</i>	<i>95</i>
Ecuación 15: Contenido de Cemento. Fuente: ACI.....	111
Ecuación 16: Volumen del Cemento. Fuente: ACI .....	111
Ecuación 17: Volumen del Agregado Grueso. Fuente: ACI .....	112
Ecuación 18: Peso Agregado Grueso Húmedo. Fuente: ACI.....	115
Ecuación 19: Peso Agregado Fino Húmedo. Fuente: ACI .....	115
Ecuación 20: Agua en Agregado Grueso. Fuente: ACI .....	115
Ecuación 21: Agua en Agregado Fino. Fuente: ACI.....	115
Ecuación 22: Agua Efectiva (Lts). Fuente: ACI .....	115

Ecuación 23: Esfuerzo de Tracción Indirecta. Fuente: NTC .....	129
Ecuación 24: Gravedad Específica Bulk Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.....	134
Ecuación 25: Gravedad Específica Bulk Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia.....	134
Ecuación 26: Gravedad Específica Bulk Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia. ....	134
Ecuación 27: Gravedad Específica Bulk Agregado Grueso Natural. Fuente: Elaboración Propia.....	134
Ecuación 28: Gravedad Específica Bulk Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia.....	134
Ecuación 29: Porcentaje de Absorción Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.....	135
Ecuación 30: Porcentaje de Absorción Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia.....	135
Ecuación 31: Porcentaje de Absorción Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia. ....	135
Ecuación 32: Porcentaje de Absorción Agregado Grueso Natural (3/4). Fuente: Elaboración Propia.....	135
Ecuación 33: Porcentaje de Absorción Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia.....	136
Ecuación 34: Densidad Bulk Agregado Grueso Natural. Fuente: Elaboración Propia. ....	136
Ecuación 35: Densidad Bulk Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.	137
Ecuación 36: Densidad Bulk Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia. ....	137
Ecuación 37: Porcentaje de Vacíos Agregado Grueso Natural. Fuente: Elaboración Propia.....	138
Ecuación 38: Porcentaje de Vacíos Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.....	138
Ecuación 39: Porcentaje de Vacíos Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia.....	139
Ecuación 40: Contenido de Humedad Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia. ....	140

Ecuación 41: Contenido de Humedad Agregado Grueso Natural. Fuente: Elaboración Propia.....	140
Ecuación 42: Contenido de Humedad Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia.....	140
Ecuación 43: Contenido de Humedad Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.....	140
Ecuación 44: Contenido de Humedad Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia.....	141

**RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** MEZCLA DE CONCRETO DERIVADA DE AGREGADOS RCD PARA VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL (VIS)

**AUTOR(ES):** DAVID FERNANDO TORRES CARDENAS DIEGO  
FERNANDO SANCHEZ BECERRA

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** CARLOS FERNANDO RIVERA PENA

**RESUMEN**

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia en el 2017 decretó la resolución 0472, implementando una reglamentación para una gestión integral de residuos derivados de la construcción y demolición. Es indiscutible que las personas generan la necesidad de incrementar el consumo de materiales reciclables y energía sostenible, es por eso que es una prioridad investigar con materiales reciclables, sobre todo el concreto, ya que este es el producto más confeccionado por año en el mundo e igualmente causante de un impacto ambiental. Las consecuencias de esta industria es la producción de altos volúmenes de residuos de construcciones y demoliciones que derivan de actividades constructivas. El material proveniente de los residuos de las edificaciones y desechos generados en los ciclos del proyecto de obra civil, denominados RCD, un nombre derivado de los Residuos de Construcción y Demolición, lo cual contiene estructuras como vigas, columnas, placas, ladrillos, mortero, cerámica y materiales descalificados que han sido utilizados y posteriormente rechazados. La investigación se centra en la elaboración de una mezcla de concreto, sustituyendo los agregados naturales y reutilizando los agregados RCD. Se analizan aspectos como la caracterización de materiales y la resistencia al esfuerzo de la compresión a los 7, 14, 21 y 28 días; y se plantean recomendaciones para ser reutilizados en una mezcla de concreto aplicando políticas de construcción sostenible. Para la investigación se elaboraron dos mezclas diferentes, una mezcla con agregados naturales con una resistencia de 3.000 psi y otra mezcla con agregados no convencionales basándonos en la normatividad del American Concrete Institution (ACI); Para la mezcla no convencional se sustituyeron los agregados residuales en un 25%, 50%, 75% y 100% en los agregados naturales para determinar una mezcla óptima en cuanto al rendimiento de la resistencia y lograr un costo económico adecuado para su utilización.

**PALABRAS CLAVE:**

Diseño de Concreto; RCD; Resistencia; Costo;

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

**GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** CONCRETE MIX DERIVED FROM RCD AGGREGATES FOR HOUSES OF SOCIAL INTEREST (VIS)

**AUTHOR(S):** DAVID FERNANDO TORRES CARDENAS  
DIEGO FERNANDO SANCHEZ BECERRA

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** CARLOS FERNANDO RIVERA PENA

**ABSTRACT**

The Ministry of Environment and Sustainable Development of Colombia in 2017 decreed resolution 0472, implementing a regulation for a comprehensive management of waste derived from construction and demolition. It is indisputable that people generate the need to increase the consumption of recyclable materials and sustainable energy, that is why it is a priority to investigate with recyclable materials, especially concrete, since this is the most made product per year in the world and equally causing an environmental impact. The consequences of this industry is the production of high volumes of construction and demolition waste derived from construction activities. The material from building waste and waste generated in the civil works project cycles, called RCD, a name derived from Construction and Demolition Waste, which contains structures such as beams, columns, plates, bricks, mortar, ceramics and disqualified materials that have been used and subsequently rejected. The research focuses on the preparation of a concrete mixture, replacing natural aggregates and reusing RCD aggregates. Aspects such as the characterization of materials and the resistance to compression stress at 7, 14, 21 and 28 days are analyzed; and recommendations are made to be reused in a concrete mix applying sustainable construction policies. For the investigation two different mixtures were prepared, a mixture with natural aggregates with a resistance of 3,000 psi and another mixture with unconventional aggregates based on the regulations of the American Concrete Institution (ACI); For the unconventional mixture, the residual aggregates were substituted by 25%, 50%, 75% and 100% in the natural aggregates to determine an optimal mixture in terms of resistance performance and achieve an adequate economic cost for its use.

**KEYWORDS:**

Concrete; RCD; Resistance; Economic cost; Recycled aggregate; Concrete Design

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## INTRODUCCIÓN

Es indiscutible que las personas generen la necesidad de incrementar el consumo de materiales y energía eficientemente, es por eso que es una prioridad investigar con materiales reciclables, sobre todo el concreto, ya que este es el producto más confeccionado por año en el mundo e igualmente causante de un impacto ambiental a gran escala. Se argumenta que son más de diez mil millones de toneladas de concreto en el mundo, es decir, que el producto per cápita es de más de una tonelada por persona al año. En el país, existe un índice más reducido, pero los sectores de obras civiles e infraestructura son los más dinámicos y con mayor incidencia en el desarrollo económico de Colombia. Las consecuencias de esta industria es la producción de altos volúmenes de residuos de construcciones y demoliciones (RCD) que derivan de actividades constructivas. El material proveniente de los residuos de las edificaciones y desechos generados en los ciclos del proyecto de obra civil, son los llamados RCD, un nombre derivado de los Residuos de Construcción y Demolición, lo cual contiene estructuras como vigas, columnas, placas, ladrillos, mortero, cerámica y materiales descalificados que han sido utilizados y posteriormente rechazados. Surge alternativas para el tratamiento de dichos residuos como una valorización de su uso como un material reutilizable en la producción de agregado grueso y agregado fino reciclados, que sean aptos para generar mezclas de concreto como sustitutos de los agregados naturales convencionales. Según el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), estiman que Colombia demanda en agregados 18 millones de metros cúbicos por año, por lo que la producción del cemento gris al año es de 9 millones de toneladas por año, se permite deducir que el consumo de concreto es de 35 millones de toneladas por año.

La investigación es de carácter comparativo entre las propiedades mecánicas y físicas de los agregados no convencionales provenientes de residuos de construcciones y demoliciones, con respecto a los materiales naturales provenientes de la explotación de ríos y montañas que se utilizan en las áreas de construcción, con el propósito de demostrar la viabilidad técnica en la fabricación de mezclas de concreto. Los ensayos técnicos para el tratamiento de los materiales de residuos de construcciones y demoliciones (RCD) se desarrollaran en el laboratorio de materiales de construcción de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

## 1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La investigación se centra en gestionar la reutilización de materiales residuales, producto de demoliciones (RCD) donde se pueda hallar un sustituto que cumpla con especificaciones técnicas para la construcción de estructuras en las grandes urbes. Existen investigaciones aisladas en toda América Latina pero el conocimiento sobre el tema es muy escaso, razón por la cual esta investigación en la construcción podrá ser una alternativa para los proyectos de Vivienda de Interés Social (VIS). Estas metodologías todavía no se han regulado ni se ha desarrollado y por esta razón no pueden ser aplicadas a obras civiles con alto nivel de esfuerzos, además de ser un material de bajo costo se puede proyectar en obras de interés social, ya que en la dosificación de materiales se puede modificar la cantidad de agregado grueso y agregado fino según sea el caso a experimentar.

En el área metropolitana de Bucaramanga se usa el método tradicional de áreas donde disponen todos los residuos de materiales de construcción los cuales requieren grandes superficies (generalmente depresiones), en donde sitúan los residuos sólidos por celdas previamente construidas, una arriba de la otra hasta llegar a un nivel el cual esta depresión se convierte en una planicie; esto concibe un deterioro en el medio ambiente o grandes ecosistemas de estas zonas circundantes, debido a que en muchos casos tienen que hacer una tala de árboles acabando con hábitats de flora y fauna de los sectores generando impactos ambientales mayores e irreversibles.

La solución a esta problemática tendrá grandes aportes a la reutilización de materiales provenientes de la demolición de edificaciones contribuyendo a mejorar nuestro medio ambiente y crear una nueva cultura para que sean aprovechados estos materiales y sean beneficiosos para las comunidades menos favorecidas y al presupuesto de las obras a contratar. Se estudiará el efecto de la incorporación de RCD en una mezcla de concreto para que la mezcla sea maleable y a su vez no aumente el requerimiento de agua. Los elementos que conforman el RCD serán fraccionados en máquinas especiales de trituración y equipos de molienda en una planta de extracción de materia prima de ríos ubicados en el sector de pescadero, luego se transportará los materiales con sus respectivos tamaños para ser utilizados en la investigación. Todas las pruebas que especificarán, tanto la calidad del agregado resultante como de los concretos, se realizarán en el laboratorio de materiales de construcción de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La ciudad de Bucaramanga está siendo observada por entes internacionales por el alto crecimiento económico e industrial en el país, facilitando así mismo el progreso y la construcción de grandes obras civiles. Por este motivo el estudio se centra en la implementación de técnicas para la reutilización de materiales de construcción como es característico de las grandes capitales del mundo, dándose a conocer en Latinoamérica como una ciudad sostenible. La actividad de la construcción en el área metropolitana produce miles de residuos y escombros generando así una problemática de disposición, acopio y manejo. Así mismo crea inconformidad entre los ciudadanos dando como resultado debates sociales con entes gubernamentales, por problemáticas de deforestación y mal uso de suelos, sin llegar a ningún acuerdo frente al impacto ambiental que se está concibiendo por el desafortunado uso de materias primas provenientes de ríos y montañas.

Las empresas dedicadas a la elaboración de concretos para las grandes ciudades tienen un activo interés en el desarrollo sostenible. El objetivo de la CSI (Iniciativa por la Sostenibilidad del Cemento, por sus siglas en inglés) es suscitar positivamente el potencial del reciclaje actual del cemento. Este estudio compila la información y cifras sobre la recuperación de morteros y concretos por parte de escombreras del área metropolitana. Esta memoria se apoya en la experiencia y conocimientos de empresas dedicadas a la recolección de escombros y elaboración de concretos, y en la información que el grupo de trabajo logró recolectar en el transcurso de la elaboración del proyecto de grado. El informe proporciona la perspectiva general de las vigentes prácticas en el uso de agregados no convencionales provenientes de la reutilización de escombros (concretos, morteros, ladrillos, etc.) y la optimización del reciclaje de estos materiales dentro de una serie de estrategias integrales para un desarrollo sostenible. También destaca la falta de estadísticas globales estandarizadas por parte de los entes gubernamentales que vigilan estas actividades en el área metropolitana de Bucaramanga y se suministra una serie de recomendaciones para la reutilización de materiales RCD.

### **3. OBJETIVOS**

#### **OBJETIVOS GENERALES**

- Determinar la viabilidad técnica y económica de la sustitución de agregados (Agregados Finos y Agregados Gruesos) por agregados derivados de RCD, con el fin de comparar su calidad y sus propiedades mecánicas regidas por la NTC 4595 y la NSR-10 de Colombia para el desarrollo de Viviendas de Interés Social (VIS).

#### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar los residuos provenientes de RCD y su clasificación por tamaño para ser utilizado en la mezcla correspondiente, los cuales han sido definidos y seleccionados de las plantas de dragado y escombreras del Área Metropolitana de Bucaramanga determinadas en la presente investigación.
- Comparar mediante ensayos técnicos el diseño de la mezcla de concreto con los materiales provenientes de RCD contra la mezcla de agregados naturales convencional, determinando el diseño óptimo de la misma para dar cumplimiento a las normas técnicas colombianas para la construcción de viviendas de interés social (VIS).
- Identificar parámetros económicos comparando la mezcla de concreto convencional y la mezcla de concreto con agregados no convencionales (RCD).

#### 4. ANTECEDENTES:

**4.1.(Ganiron, T. U. J. (2015)):"Recycling Concrete Debris from Construction and Demolition Waste" Tomas U. Ganiron Jr.**

Reciclando los escombros de estructuras de concreto se puede ayudar a disminuir el impacto ambiental. Los residuos típicos por lo general, son cemento Portland, concreto de asfalto, madera, metal, mampostería y drywall. Ya que normalmente estos residuos terminan, depositados o incinerados. Con este estudio busca mostrar, como es de eficiente el concreto reciclado, para ayudar a reducir el impacto ambiental. Comparando las muestras y determinando sus aportes significativos.

**4.2.(Evangelista, L., & de Brito, J. (2007).):"Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates" L. Evangelista, J. De Brito.**

Este artículo determina mediante varias muestras con reemplazos parciales o globales del agregado fino natural por agregado reciclado producto de estructuras de concreto, determinando así su comportamiento mecánico.

**4.3.(Corinaldesi, V., & Moriconi, G. (2009) ):"Influence of mineral additions on the performance of 100% recycled aggregate concrete" Valeria Corinaldesi, Giacomo Moriconi**

Un uso debido de los recursos, durante el uso de sub productos y residuos de construcción, se puede lograr un menor impacto ambiental. Se busca reducir la emisión de Dióxido de carbono y la extracción de agregados vírgenes permite un desarrollo sostenible de edificaciones. Buscando lograr que el Hormigón con Agregados reciclados (RAC) se competente y se rijan bajo las normativas para lograr de manera satisfactoria las propiedades.

**4.4.(Rao, A., Jha, K. N., & Misra, S. (2007)):"Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete" Akash Rao, Kumar N. Jha, Sudhir Misra.**

Los residuos de construcción y demolición constituyen una parte importante de la producción total de los residuos sólidos en el mundo, y la mayoría de estos residuos terminan en rellenos de tierra. Esta investigación realizada por ingenieros de hormigón tiene las herramientas para sugerir la posibilidad de tratar y reutilizar apropiadamente dichos desechos como agregados en un concreto nuevo. De igual manera el documento ofrece un resumen del efecto del uso de agregados reciclados especialmente en las propiedades del hormigón fresco y endurecido.

- 4.5. (Tabsh, S. W., & Abdelfatah, A. S. (2009)):"Influence of recycled concrete aggregates on strength properties of concrete" Sami W. Tabsh, Akmal S. Abdelfatah.**

Algunas edificaciones construidas en el centro este de la región del Golfo, están llegando a fin con sus diseños constructivos o en su defecto no están construidos de acuerdo a las especificaciones de seguridad actuales. En la demolición o en el mantenimiento de dichas edificaciones tendrán como resultados residuos de concreto, en si este estudio lo que busca re utilizar estos residuos de concreto para investigar la fuerza que incluya residuos de demolición o mantenimiento y señalar una fuerza del concreto.

- 4.6. Ferreria J. S. (2009). Aprovechamiento de Escombros como Agregados no Convencionales en Mezcla de Concreto -- Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana-Seccional Bucaramanga.**

Desarrollo de un método que determinó unos lineamientos para el aprovechamiento de residuos de construcción y demolición como agregados no convencionales en confecciones de concreto.

- 4.7. Bautista, M. A., Parra K. M. (2010) Diseño de una mezcla de concreto utilizando residuos industriales y escombros -- Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana-Seccional Bucaramanga.**

Opción para reducir el impacto ambiental originado por los residuos de construcción y demolición, utilizando un método para el aprovechamiento de residuos derivados de la industria como agregado no tradicional en mezcla de concreto.

- 4.8. Bedoya, C. M. (2012). SOSTENIBILIDAD TECNOLOGÍA Y HUMANISMO Viviendas de Interés Social y Prioritario Sostenibles en Colombia – VISS y VIPS – Sustainable Social and Priority Housing in Colombia** Descriptores / Key Words, 27–36. Retrieved from <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/11911/27-36>

Bedoya.pdf

Este reporte investigativo habla acerca de la importancia de la implementación del concreto reciclado y otras alternativas para el mejoramiento de viviendas de interés social sostenibles VISS o Viviendas de Interés Prioritario Sostenibles VIPS. Mostrando ciertos atributos o beneficios que traen consigo estas implementaciones.

- 4.9. Susunaga, J. (2014). Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario, 1–55.**

Este trabajo de grado de especialización habla acerca de los beneficios económicos y ambientales que traen la implementación de todo tipo de reciclaje para la construcción de viviendas de interés social.

- 4.10. (Evangelista, L., Guedes, M., De Brito, J., Ferro, a. C., & Pereira, M. F. (2015)):**“Physical, Chemical and mineralógica properties of fine recycled aggregates made form concrete waste” L. Evangelista, M. Guedes, J. De Brito, A.C Ferro, M.F Pereira.

Este trabajo resume en definir las características físicas, químicas y minerales del agregado fino reciclado, obteniendo en demolición de estructuras de concreto, comparándolo con la mezcla normativa y la mezcla no convencional.

- 4.11. (Kabir, S., Al-Shayeb, A., & Khan, I. M. (2016)):** “Recycled Construction Debris as Concrete Aggregate for sustainable Construction Materials”, Shahid Kabir, Ammar Al-Shayed and Imran M. Khan.

Este programa experimental fue direccionado para comparar las propiedades ingenieriles de una muestra de concreto con agregados extraídos de una demolición, se realizaron todo las pruebas para su debida caracterización. Buscando disminuir el costo de la fabricación de muestras de concreto.

## **5. MARCO TEÓRICO**

### **5.1. EL CONCRETO**

Según las directrices de la Norma Sismo Resistente 2010 (NRS 10), la definición del concreto es una mezcla con cemento portland o cualquier tipo de cemento hidráulico, agregados finos, agregados gruesos y agua, con o sin aditivos. Es decir es un material compuesto, que se puede diseñar de una manera óptima para obtener las propiedades requeridas técnicamente para diferentes aplicaciones, todo a un bajo costo durante el ciclo de vida. Si no se realiza un diseño apropiado, o si este es expuesto a condiciones de servicio desconocidas o no previstas, pueden resultar fallas anticipadas. El tener éxito en su uso depende de entender la naturaleza del concreto. (GCS4EdificacionesSostenibles, 2015)

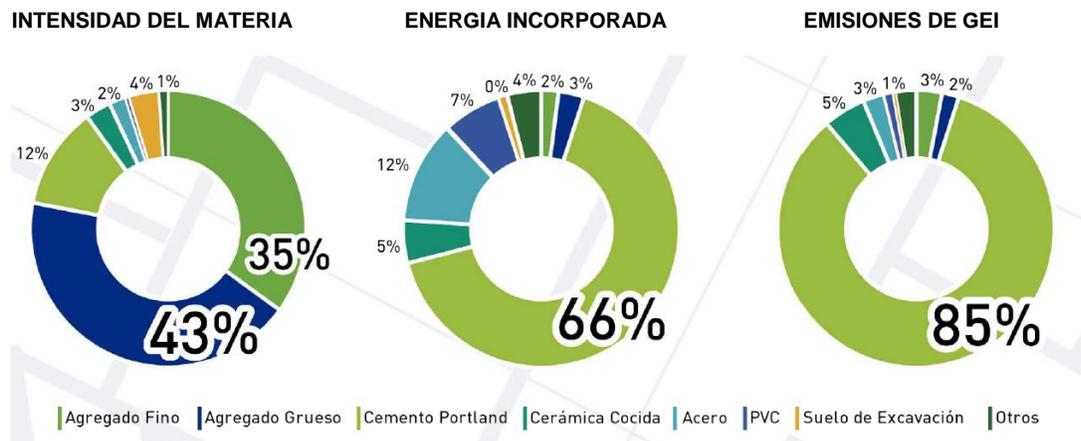
#### **5.1.1. EVOLUCIÓN DEL CONCRETO**

Hasta hace un par de décadas el consenso internacional consideraba que el factor más determinante para calificar el concreto era su resistencia. Se sospechaba que las otras características eran concernientes con esta misma. En la actualidad, las investigaciones y desarrollos en relación con el concreto se ha incrementado excesivamente en su propiedad fundamental la resistencia, pero igualmente se formulan otros criterios para el progreso que no derivan de su resistencia necesariamente y que se puedan obtener ciertas características predefinidas en adaptación a la mezcla. (GCS4EdificacionesSostenibles, 2015)

La investigación de componentes alternativos de concreto se deriva de las razones técnicas, ambientales y económicas:

- La mezcla de concreto liviana y con una alta resistencia permite una disminución del peso estructural y así mismo mejora su durabilidad, reduciendo el tiempo en las construcciones, lo cual tiene un efecto positivo en el factor económico.

- La identificación de una serie de problemas potenciales, que presenta el concreto convencional y se comprende como patologías estructurales, que han promovido un desarrollo de alternativas que logren mejorar la estabilidad fisicoquímica y la durabilidad estructural.
- El impacto ambiental que genera el producir concreto convencional es bastante considerable. Las emisiones de gas de efecto invernadero tras la ejecución del material de cemento Portland (1 ton CO<sub>2</sub> eq/Ton cemento) ha motivado a todas las industrias cementeras a ejecutar esfuerzos para el aumento eficiente de su procesamiento, equivalentemente se desarrollan nuevas tecnologías de aditivos activos o inertes, que se añaden en fábrica o en el momento de realizar la mezcla de concreto y que favorece al incremento del desempeño, disminuyendo el porcentaje de cemento en el proceso de la construcción. De igual modo se ha venido ejecutando alternativas con agregados no convencionales, basados en el aprovechamiento de residuos RCD (Escombros y Demoliciones) reduciendo de esta forma la explotación de materias primas de montañas y ríos, lo cual es consecuente con un impacto en el paisajismo de estas zonas.



*Ilustración 1 : Aspectos Ambientales del perfil de los agregados/materiales de construcción, tomando como referencia una construcción industrializada. Fuente: Guía de construcción sostenible, UPB, 2015*

(GCS4EdificacionesSostenibles, 2015)

- Tomando en referencia las Viviendas de Interés Social (VIS) que su elaboración es con el sistema constructivo industrializado se pueden analizar aspectos ambientales del concreto. En términos de Intensidad del Material, el agregado fino constituye un 35% y el agregado grueso constituye un 43% en este sistema constructivo (ver figura) el cemento Portland compone un 12% y el acero que refuerza la estructura corresponde a un 2%. Si se examina la Energía Incorporada y las Emisiones GEI, estas proporciones cambian totalmente. El cemento representaría un 66% de la energía y un 85% de las emisiones GEI. (GCS4EdificacionesSostenibles, 2015)

Bajo estos indicios, la tecnología del concreto ha venido progresando en el desarrollo de (Guía Edificaciones Sostenibles. p.82):

- Cemento de un alto desempeño, especialmente reduciendo el tamaño de su partícula.
- Aditivos que admiten la sustitución porcentual del cemento Portland
- Productos aditivos que mejoran eficientemente el condicionamiento del concreto
- Productos que mejoran diferentes condiciones del concreto a base de aditivos.
- Nuevos tipos de agregados de diferentes fuentes con una adherencia mayor y reduciendo su peso y así mismo su impacto ambiental.
- Ampliar alternativas derivadas de la producción de residuos industriales y RCDs.
- Los estudios han llevado a redescubrir nuevas reacciones químicas completamente distintas a las que promueven empresas cementantes convencionales, agregando así tipos de concretos como los geo polímeros. (GCS4EdificacionesSostenibles, 2015)

## 5.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL DESEMPEÑO DEL CONCRETO

El material que compone la mezcla de concreto posee una matriz cementante e igualmente una matriz de agregado. Estas dos matrices proveen en su mayoría propiedades que deben ser reproducibles cuando se trata de obtener un material de uso masivo y generalizado. Es necesario que el concreto cumpla con todos los requerimientos técnicos de durabilidad e igualmente de calidad. Las propiedades que se buscan imprescindiblemente son:

- Alta compacidad
  - Buenas propiedades reológicas
  - Propiedades mecánicas
  - Propiedades físicas: peso, baja transferencia del calor y del sonido, estabilidad volumétrica
  - Durabilidad según condiciones de servicio
  - Competitividad en costos
- (GCS4EdificacionesSostenibles, 2015)

Habitualmente en la construcción, se considera de menor importancia las características de los materiales disponibles y las condiciones ambientales, dejando de garantizar su durabilidad y calidad en la obra. Se debería establecer unos parámetros en la fase de diseño de cada obra, analizando el impacto patológico que establezca la selección de los materiales y el proceso constructivo, logrando así garantizar el proyecto integralmente, dando un tiempo de servicio de vida de la obra sin alteración alguna. Antes de empezar un proyecto de obra civil se debe evaluar los siguientes aspectos:

- Clima y medio ambiente.
  - Calidad de los materiales: agregados, cemento, aditivos, adiciones, calidad de las aguas de mezcla y curado.
  - Sistema de dosificación, mezclado, transporte, colocación y curado del hormigón
  - Estipular rango de condiciones (máximas y mínimas) durante la fase de servicio
- (GCS4EdificacionesSostenibles, 2015)

Los objetivos a considerar son los siguientes:

- **Resistencia mecánica:** a corto o largo plazo, a compresión, tracción o flexión. Esta propiedad depende de los siguientes factores:
  - Relación agua - cemento o agua - cementante (a/c o a/ct)
  - Grado de hidratación mínimo a alcanzar – curado básico según clima
  - Características del cemento
  - Características de los agregados
  - Sistema de colocación y compactación del concreto
  - Temperatura y humedad ambiente. Rangos de variación máximo y mínimo(GCS4EdificacionesSostenibles, 2015)
- **Trabajabilidad:** consistencia, tiempo de trabajabilidad. Depende de los siguientes factores:
  - Dimensiones y forma de los agregados gruesos y finos
  - Cantidad de agua
  - Uso de aditivos y adiciones
  - Temperatura ambiente – humedad relativa(GCS4EdificacionesSostenibles, 2015)
- **Durabilidad:** hace referencia a la resistencia química, a la abrasión, a la expansión, a la humedad, etc. Depende de los siguientes factores:
  - Permeabilidad (a/c, vibración, curado)
  - Tipo de cemento
  - Presencia de aditivos y/o adiciones
  - Aditivos supe fluidificantes + fillers activos o inertes disminuyen la permeabilidad (efectos físicos y químicos)

(GCS4EdificacionesSostenibles, 2015)

Los concretos se pueden clasificar de la siguiente forma:

1. Según el tipo de cemento

- Base cemento portland
- Base sílico-calcareo (calizas y sílice)
- Base yeso
- Aglomerantes mixtos:
  - Cemento y caliza
  - Caliza y escoria
- Aglomerantes especiales (inorgánicos y orgánicos)

2. Según el tipo de agregado

- Con base en agregados densos. Densidad > 3,0 gr/cc
- Con base en agregados normales. Densidad entre 2,4 y 2,8 gr/cc
- Con base en agregados ligeros. Densidad < 2,0 gr/cc

(GCS4EdificacionesSostenibles, 2015)

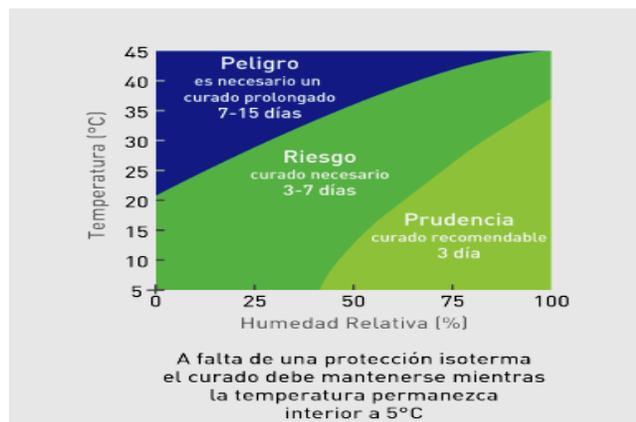
### 5.1.3. ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (NTC NO. 396)

La Normatividad determina la forma correcta para determinar el asentamiento en obra o en laboratorio. La mezcla de concreto fresco se va insertando en un molde cónico en 3 capas, en cada una de las capas se ira compactando mediante el uso de una varilla compactadora, al llenar completamente el molde cónico, se mucha precaución se levantará el molde, haciendo que la mezcla se asiente. Este valor es la diferencia de la posición inicial y la desplazada de la superficie superior del concreto. (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

### 5.1.4. CURADO DEL CONCRETO

El curado se define como el procedimiento de conservar un contenido de humedad apacible y una temperatura favorable en el concreto durante la absorción de los materiales cementantes, de manera que se desenvuelvan en el concreto las propiedades deseadas, en pocas palabras, la función de la fase de curado es controlar la temperatura y la humedad para lograr una absorción idónea del cemento. Cabe recalcar que un buen curado no representa lograr un rendimiento añadido en el comportamiento de la mezcla, pero si se puede decir que es una condición elemental para lograr las resistencias mecánicas solicitadas por las características de la durabilidad. Dentro del curado están los procedimientos aplicados en el concreto fresco, después de ser situado, hasta llegar a un endurecimiento adecuado. (GCS4EdificacionesSostenibles, 2015)

En la siguiente imagen, se muestra los efectos de la temperatura y la humedad en el curado, con su respectivo procedimiento para lograr un curado idóneo. (GCS4EdificacionesSostenibles, 2015)



*Ilustración 2: Recomendaciones en el curado del concreto, por efecto de la temperatura y la humedad. Fuente: Guía para el diseño de construcción sostenible, UPB, 2015*

### 5.1.5. FRAGUADO DEL CONCRETO

El fraguado es el proceso de endurecimiento y disminución de plasticidad del hormigón o mortero de cemento, producido por la deshidratación y recristalización de los hidróxidos metálicos originarios de la reacción química del agua de mezclado, con los óxidos metálicos presentes en el Clinker que forma el cemento.

(GCS4EdificacionesSostenibles, 2015)

Con referencia al fraguado, se deben tener en cuenta ciertas consideraciones para lograr un procedimiento idóneo. Las consideraciones son:

- Mayor de agua, mayor es el período en fraguado.
- Mayor temperatura del medio, menor es el período de fraguado.
- Menor temperatura del medio, mayor es el período de fraguado.
- Mayor finura del cemento, menor período de fraguado.
- La vejez del cemento, mayor período de fraguado
- Mayor humedad relativa, mayor período de fraguado.

(GCS4EdificacionesSostenibles, 2015)

### 5.1.6. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE AGREGADOS

- Por TAMAÑO, se clasifican en:
  - Agregado Fino
  - Agregado Grueso
- Por ORIGEN, se clasifican en:
  - Naturales: Silíceos, calcáreos, micáceos, zeolíticos, etc., según sea su roca de origen.
  - Artificiales: Arcillas expandidas, Escorias de carbón y Altos Hornos.

La normatividad técnica que regula las características de los agregados se lista a continuación:

- Granulometría (NTC 174, 77)
- Forma y Textura (NTC 174)
- Composición mineralógica
- Dureza o resistencia a la abrasión (NTC 93, 98, 183)
- Resistencia Compresión (BS 812)
- Sustancias indeseables (NTC 78, 127, 130, 174, 579, 589)
- Estabilidad Química (NTC 126, 175)
- Estabilidad Térmica

- Estabilidad Volumétrica (Sanidad)
- Densidad específica y absorción (NTC 76, 237)
- Masa unitaria (NTC 92)
- Gravedad Específica y Absorción
- Humedad total (NTC 1776)

Características generales a considerar para la selección de agregados:

- Ser partículas limpias, duras, resistentes y durables.
- Los agregados deben mantener sus propiedades físicas, químicas y térmicas a través del tiempo, para así poder brindar estabilidad a la estructura.
- Estar libres de sustancias químicas, recubrimientos de polvo u otros materiales que afecten la hidratación del cemento y la adherencia de la pasta.
- No deberán emplearse aquellos que contengan pizarras laminares naturales o esquistos, partículas porosas y deleznales.

(Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

#### 5.1.6.1. GRANULOMETRÍA (NTC 174, 77)

##### AGREGADO FINO

Para el Agregado Fino, la norma establece que debe estar compuesto de arena de procedencia natural, procedencia mecánica o mixta. (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

El agregado fino debe tener cierto porcentaje de sustancias dañinas, que se mostrará en la siguiente tabla:

Material	Máximo porcentaje del peso total de la muestra
Terrones de arcilla y partículas deleznales	3,0
Material que pasa el tamiz 75 $\mu\text{m}$ (No. 200):	
Concreto sujeto a abrasión	3,0 (a)
Todos los demás concretos	5,0 (a)
Carbón o lignito:	
Donde la apariencia superficial del concreto sea de importancia.	0,5
Todos los demás concretos	1,0

Tabla 1: Máximo Porcentaje del peso total del Agregado Fino. Fuente: Norma Técnica Colombiana 174

En el análisis granulométrico del agregado fino, debe estar entre los siguientes rangos:

<b>Tamiz NTC 32 (ASTM E 11)</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 $\mu\text{m}$	25 a 60
300 $\mu\text{m}$	10 a 30
150 $\mu\text{m}$	2 a 10

*Tabla 2 : Porcentaje que pasa para Agregados Finos. Fuente: Norma Técnica Colombiana 174*

Hay que tener en cuenta que no se puede presentar que pase más del 45% y luego quede retenido en el siguiente. Ya que los módulos de finura no deben ser menores 2,3 ni pasarse de 3,1. (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

El agregado fino debe estar libre de cantidades dañinas de impurezas orgánicas.

### **AGREGADO GRUESO**

Para el agregado grueso, se estipula que debe contener grava, grava triturada, roca triturada, o concreto triturado.

(Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

En la siguiente tabla se estipula los requisitos que debe cumplir el material para el tamaño especificado:

Tabla 2. Requisitos de gradación para agregado grueso

Número del tamaño del agregado	Tamaño nominal (tamices de abertura cuadrada)	Material que pasa uno de los siguientes tamices (porcentaje en masa)												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm (No.4)	2,36 mm (No.8)	1,18 mm (No.16)
1	90 mm a 37,5 mm	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37,5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25,0 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
357	50 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-
4	37,5 mm a 19,0 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-
467	37,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-
5	25,0 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-
56	25,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	-	-
57	25,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-
6	19,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-
67	19,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
7	12,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
8	9,5 mm a 2,36 mm (No.8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

Tabla 3: Requisitos de gradación para Agregados Grueso. Fuente: Norma Técnica Colombiana 174

Al igual que el agregado fino, existen unos requisitos de permisibilidad para la presencia de sustancias perjudiciales, que se muestra en la tabla

Tabla 3. Límites para sustancias dañinas y requisitos de las propiedades físicas del agregado grueso para concreto

Nota. Véase la Figura 1 para la localización de las regiones pluviométricas y la Nota 8 para orientación sobre el uso del mapa.  
 (S) Alta - Región pluviométrica alta- Índice pluviométrico mayor de 4 000 mm-año  
 (M) Media - Región pluviométrica media- Índice pluviométrico entre 2 000 mm- año y 4 000 mm- año  
 (N) Baja - Región pluviométrica baja-Índice pluviométrica menor de 2 000 mm- año

Designación de clase	Tipo o localización de la construcción de concreto	Porcentaje máximo permitido						
		Terrones de arcilla particuladas deleznales	Chert (c) (peso específico s.s.s. menor de 2,40)	Sumatoria de terrones de arcilla, partículas deleznales y cherts (peso específico s.s.s. menor de 2,40)	Material que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200)	Carbón y lignitos	Abrasión (a)	Sanidad por sulfato de magnesio (5 ciclos) (b)
<b>REGIONES PLUVIOMÉTRICAS ALTAS</b>								
1S	Zapatas, cimientos, columnas y vigas que no están expuestas a las condiciones atmosféricas, losas internas que van a ser cubiertas.	10,0	---	---	1,0 (d)	1,0	50	---
2S	Pisos interiores sin cubierta	5,0	---	---	1,0 (d)	0,5	50	---
3S	Muros de fundación a nivel, muros de contención, estribos, pilas, vigas compuestas y vigas expuestas a las condiciones atmosféricas.	5,0	5,0	7,0	1,0 (d)	0,5	50	18
4S	Pavimentos, puentes de tablero superior, vías de acceso, bordillos, andenes, patios, garajes o parqueaderos, corredores o estructuras ribereñas sujetas a humedecimiento frecuente.	3,0	5,0	5,0	1,0 (d)	0,5	50	18

Continúa...

Tabla 3. (Continuación)

Designación de clase	Tipo o localización de la construcción de concreto	Porcentaje máximo permitido						
		Terrones de arcilla particuladas deleznales	Chert (c) (peso específico s.s.s. menor de 2,40)	Sumatoria de terrones de arcilla, partículas deleznales y Cherts (peso específico s.s.s. menor de 2,40)	Material que pasa el tamiz 75 µm (No.200)	Carbón y lignitos	Abrasión (a)	Sanidad por sulfato de magnesio (5 ciclos) (b)
5S	Concreto arquitectónico exterior	2,0	3,0	3,0	1,0 (d)	0,5	50	18
<b>Regiones pluviométricas medias</b>								
1M	Zapatas, cimientos, columnas y vigas que no están expuestas a las condiciones atmosféricas, losas internas que van a ser cubiertas.	10,0	---	---	1,0 (d)	1,0	50	---
2M	Pisos interiores sin cubierta.	5,0	---	---	1,0 (d)	0,5	50	---
3M	Muros de fundación a nivel, muros de contención, estribos, pilas, vigas compuestas y vigas expuestas a las condiciones atmosféricas.	5,0	8,0	10,0	1,0 (d)	0,5	50	18
4M	Pavimentos, puentes de tablero superior, vías de acceso, bordillos, andenes, patios, garajes o parqueaderos, corredores, o estructuras ribereñas sujetas a humedecimiento frecuente.	5,0	5,0	7,0	1,0 (d)	0,5	50	18

Tabla 4: Porcentaje máximo permitido para Agregado Grueso. Fuente: Norma Técnica Colombiana 174.

### 5.1.6.2. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL Y TAMAÑO MÁXIMO (NTC No. 174)

El tamaño máximo nominal es la designación que se da a la abertura del tamiz siguiente al tamaño máximo absoluto, cuando por dicho tamiz pasa entre el 90% al 100% del agregado. En el caso, que le tamiz pase menos del 90% el tamaño máximo nominal será igual al tamaño máximo absoluto. (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

### 5.1.6.3. TEXTURA SUPERFICIAL(NTC No. 174)

La textura superficial de los agregados puede tener un impacto significativo sobre el desempeño del concreto. (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.) La tabla muestra el efecto de la textura superficial en las propiedades mecánicas del concreto.

Partícula (%)		Resistencia 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	
Lisas	Rugosas	Flexión	Compresión
100	0	41,7	340
50	50	45,2	315
0	100	47	289

Ilustración 3: Propiedades mecánicas del concreto afectados por la Textura Superficial. Fuente: Guía para el diseño de construcción sostenibles, UPB, 2015

#### 5.1.6.4. ANÁLISIS PETROGRÁFICO ASTM C-295

De la roca de origen se desprenden las siguientes propiedades:

- Características químicas y mineralógicas
- Densidad o gravedad específica
- Dureza
- Resistencia Mecánica
- Estabilidad Físico-Química
- Estructura: Masiva, densa, porosa
- Color

#### 5.1.6.5. DENSIDAD DE BULK Y PORCENTAJE DE VACÍOS (NTC No. 237)

- **Densidad Absoluta:** Se refiere al volumen del material sólido que excluye todos los poros. Es muy difícil de medir y tecnológicamente no tiene gran aplicación.
- **Densidad Aparente:** Se refiere al volumen del material sólido que incluye los poros impermeables, pero no a los capilares o poros permeables.
- **Densidad Aparente en Superficie Seca Saturada:** Se refiere al volumen del material sólido que incluye los poros impermeables y permeables. Esta es la densidad que más se usa para calcular el rendimiento del concreto o la cantidad requerida de agregado para un volumen dado de concreto. (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

Busca definir la masa unitaria compactada y suelta y el porcentaje de vacíos que puedan presentarse en las partículas de los agregados finos, gruesos o mezclados. (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

Para realizar el ensayo se debe tener en cuenta el tamaño máximo nominal para determinar el molde que se va a utilizar, según la tabla dada en la norma:

Tamaño máximo nominal de agregado (mm)	Capacidad del molde*	
	(m <sup>3</sup> )	(L)
12,5	0,002 8	2,8
25,0	0,009 3	9,3
37,5	0,014 0	14,0
75,0	0,028 0	28,0
112,0	0,070 0	70,0
150,0	0,100 0	100,0

Tabla 5: Capacidad del Molde con respecto al tamaño máximo nominal del agregado (mm). Fuente: Norma Técnica Colombiana 237

Y de acuerdo a la capacidad del molde, se determinan las dimensiones mínimas del mismo:

Capacidad del molde m <sup>3</sup> (L)	Espesor mínimo del metal		
	Fondo (mm)	*Borde superior de 38 mm de pared (mm)	Resto de pared (mm)
menos de 0,011 (11)	5,0	2,5	2,5
0,011 (11) a 0,042 (42)	5,0	5,0	3,0
0,042 (42) a 0,080 (80)	10,0	6,4	3,8
0,080 (80) a 0,133 (133)	13,0	7,6	5,0

Tabla 6: Espesor mínimo del molde con respecto a la capacidad del molde. Fuente: Norma Técnica Colombia 237.

Para determinar la masa suelta del material, se debe proceder mediante el paleo. Y para determinar la masa compacta del material a evaluar, se realiza mediante el proceso de apisonamiento para agregados con tamaño máximo nominales de 37,5 mm o inferiores y el proceso de golpeteo si los agregados tienen unos tamaños máximos nominales mayores a 37,5 mm. (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

Y se calcula la masa unitaria con la siguiente fórmula:

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Ecuación 1: Ecuación de Masa Unitaria. Fuente: Norma Técnica Colombiana 237.

Donde M es la masa unitaria del agregado, G es la masa del agregado más el molde, T es la masa del molde y V es el volumen del molde.

Para encontrar el contenido de vacíos en el agregado, se debe determinar inicialmente la masa unitaria del agregado y proceder con la ecuación:

$$\%Vacíos = 100 \left( \frac{(S \times W) - M}{S \times W} \right)$$

Ecuación 2: Ecuación de Porcentajes de Vacíos. Fuente: Norma Técnica Colombiana 237.

Donde M es la masa unitaria del agregado, S es la gravedad Específica de Bulk, y W es la densidad del agua. (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

**5.1.6.6. GRAVEDAD ESPECÍFICA DE BULK Y ABSORCIÓN  
(I.N.V. -223-07)**

- **Gravedad Específica de Bulk Aparente:** Es la relación entre el peso del volumen del agregado impermeable y el peso en el aire del mismo volumen pero con agua.
- **Gravedad Específica de Bulk:** Es la relación entre el peso del volumen del agregado, teniendo en cuenta los vacíos permeables e impermeables pero sin los vacíos y el peso del mismo volumen con agua.
- **Gravedad Específica Bulk en condición saturada y superficialmente seca (sss):** Relación entre el peso del agregado saturada y superficialmente seca y el volumen del mismo pero con agua.
- **Absorción:** Peso de la agua que llena por poros de las partículas sin tener en cuenta el agua que se encuentra en la superficie.  
(Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

Para el desarrollo de esta norma, se debe tener en cuenta que de acuerdo del tamaño máximo nominal del agregado, para determinar las cantidades mínimas que se utilizaran en el ensayo, de acuerdo a la siguiente tabla presente en la norma:

Tamaño máximo nominal <sup>(a)</sup>		Cantidad mínima de muestra	
mm	pulg	kg	Lb
hasta 12.5	½	2	4.4
19	¾	3	6.6
25	1	4	8.8
37.5	1 ½	5	11
50	2	8	17.6
63	2 ½	12	26.4
75	3	18	39.6
90	3 ½	25	55
100	4	40	88
112	4 ½	50	110
125	5	75	165
150	6	125	275

Tabla 7: Cantidad mínima de muestra con respecto al tamaño máximo nominal.  
Fuente: Norma I.N.V. -223-07

En el caso de encontrar la Gravedad Específica en condición saturada y superficialmente seca, el agregado debe estar inmerso en agua durante 15 horas a 19 horas. (Normas Técnicas Colombianas Colombia, 2003.)

Para los cálculos, se requieren las siguientes ecuaciones dadas en la norma:

$$\text{Gravedad Específica Bulk} = \frac{A}{B - C}$$

*Ecuación 3: Ecuación de Gravedad Específica de Bulk. Fuente: Norma I.N.V. -223-07.*

$$\text{Gravedad Específica Bulk SSS} = \frac{B}{B - C}$$

*Ecuación 4: Ecuación de Gravedad Específica de Bulk SSS. Fuente: Norma I.N.V. -223-07.*

$$\text{Gravedad Específica Aparente} = \frac{A}{A - C}$$

*Ecuación 5: Ecuación de Gravedad Específica de Bulk Aparente. Fuente: Norma I.N.V. -223-07.*

$$\text{Porcentaje de Absorción} = \frac{B - A}{A} \times 100\%$$

*Ecuación 6: Porcentaje de Absorción. Fuente: Norma I.N.V. - 223 - 07.*

Donde A es la masa de la muestra seca, B es la masa saturada con superficie seca y C es la masa saturada.

#### 5.1.6.7. **CONTENIDO DE HUMEDAD (NTC 1776)**

El objetivo de este ensayo especificar el contenido de humedad en el agregado para mantener la calidad y la homogeneidad para desarrollar la mezcla de concreto. (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

En la norma se determina la siguiente ecuación para encontrar el contenido de humedad:

$$P = \frac{W - D}{D} \times 100\%$$

*Ecuación 7: Ecuación de Contenido de Humedad. Fuente: Norma Técnica Colombiana 1776.*

Donde la P es el contenido de humedad del agregado dado en porcentaje, W es la masa que inicialmente se pesa antes de iniciar el ensayo, D es la masa del agregado posteriormente del secado. (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

La masa de la muestra se determinará, teniendo en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado, de acuerdo a la tabla proporcionada en la norma técnica colombiana #1776 (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

Tamaño máximo nominal (mm)	Masa Mínima de la muestra (grs)
6.3	500
9.5	1500
12.5	2000
19.0	3000
25.0	4000
37.5	6000
50.0	8000
63.0	10000
75.0	13000

*Tabla 8: Masa mínima de la muestra en gramos con respecto al tamaño máximo nominal. Fuente: Norma Técnica Colombiana 1776*

Posteriormente, la muestra seleccionada se someterá al calor dentro de un horno a 110 C, durante 15 horas, y se retira la muestra y se pesa. (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

**5.1.6.8. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL DESGASTE DE AGREGADOS GRUESOS HASTA DE 37,5 MM, UTILIZANDO LA MÁQUINA DE LOS ANGELES (NTC No. 98)**

El ensayo realizado para el desgaste por medio de la Máquina de Los Ángeles es una referencia de desgaste del agregado clasificado como grueso, del cual resulta de una combinación de acciones como la abrasión, trituración o impacto dentro de un tambor que rota a medida que va realizándose el ensayo. (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

La carga a ensayar, debe consistir en balones de aceros con diámetro promedio de 46,8 mm y un masa promedio de 390 gr. (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

Según la gradación, se requerirá cierto número de balones de acero, de acuerdo a la siguiente tabla

<b>Gradación</b>	<b>Número de esferas</b>	<b>Masa de la carga. g</b>
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

*Tabla 9: Número de Esferas con respecto al tipo de gradación. Fuente: Norma Técnica Colombiana 98*

La muestra del agregado grueso debe ser lavada y secada al horno, hasta lograr una masa constante, separada en varias fracciones y reunida de acuerdo a la gradación a trabajar.

De acuerdo a la tabla, se muestra la masa de los tamaños indicados con respecto al tamiz del ensayo de granulometría

Tamaño del tamiz, mm (abertura cuadrada)		Masa de los tamaños indicados, g			
Pasa	Retenido en	Granulometría			
		A	B	C	D
37,5	25,0	1 250 ± 25	-	-	-
25,0	19,0	1 250 ± 25	-	-	-
19,0	12,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-	-
12,5	9,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-	-
9,5	6,3	-	-	2 500 ± 10	-
6,3	4,75	-	-	2 500 ± 10	-
4,75	2,36	-	-	-	5 000 ± 10
Total		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

Tabla 10: Masa de los tamaños indicados con respecto al tamaño del tamiz. Fuente: Norma Técnica Colombiana 98.

En este ensayo, se expresará la pérdida, es decir, se tendrá en cuenta el peso de la masa inicial con la masa después de que el agregado se pase por la máquina. Se reportará este valor como pérdida en porcentaje.

#### 5.1.6.9. ESTABILIDAD QUÍMICA

- Las impurezas orgánicas pueden afectar el fraguado y el desarrollo de la resistencia del cemento, también pueden llegar a afectar la durabilidad de la mezcla. Las normas NTC 127 y 579, tratan sobre los métodos para determinar las impurezas orgánicas de la arena y el método para evaluar los efectos sobre la resistencia del mortero.
- Las partículas muy finas o recubrimientos que afectan la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento, a su vez incrementan la cantidad de agua requerida en la mezcla.
- Las partículas débiles, blandas o inestables que afectan la trabajabilidad y la durabilidad de las mezclas y en alguna medida su resistencia. Algunas pueden producir manchas o reventones en las superficies del concreto. Entre ellas se encuentran: el carbón, la pirita, la mica, etc. (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

#### 5.1.6.10. MÓDULO DE FINURA

Es la suma de los porcentajes retenidos acumulados dividido entre 100. Según la norma NTC 2240 no deberá variar más que en 0.20 del promedio de módulo de finura obtenido entre todas las muestras probadas. Cuando no se cumple con éste rango, se deberá rechazar la arena o rediseñar la mezcla. Para escoger un agregado hay que conocer las dimensiones del elemento así como el tamaño, distribución y cantidad de acero. El tamaño máximo no debe exceder de:

- 1/5 de la dimensión mínima de los miembros sin refuerzo
- 3/4 de la distancia libre entre refuerzos o entre éstos y los moldes
- 1/3 del espesor de las losas sin refuerzo situadas sobre el terreno.

Los agregados tienen la finalidad de reducir el valor monetario en la elaboración de la composición, inicialmente se reduce el contenido de pasta de cemento cada metro cúbico, otro aspecto importante, es como el agregado ayuda a manejar los cambios volumétricos durante algunos procesos como el curado, fraguado o secado de la mezcla y finalmente ayuda en la resistencia final.

(Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

#### 5.1.6.11. TRACCIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO ( NTC 722)

La resistencia a la tracción es de gran importancia para determinar el diseño estructural de miembros de concreto, para evaluar la resistencia al cortante y así encontrar la longitud adecuada para el refuerzo.

La metodología trata en la colocación de una fuerza de compresión a lo largo del espécimen. Se ubican láminas esbeltas para garantizar una carga uniforme durante el ensayo.

<b>Tensión media [MPa]</b>	$\sigma = \frac{F}{S_0}$	F: Fuerza aplicada [N] S <sub>0</sub> : área sección transversal original [mm <sup>2</sup> ]
<b>Deformación media (adimensional)</b>	$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$	Δl: cambio de longitud después de haber aplicado una tensión (mm) l <sub>0</sub> : Longitud de referencia inicial (mm)

*Ecuación 8: Ecuación para Tracción. Fuente: NTC 722.*

#### **5.1.6.12. ENSAYO PARA DETERMINAR LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN LOS AGREGADOS ( NTC 127)**

Según la Norma Técnica Colombiana 127, se requieren los siguientes equipos para realizar el ensayo:

- Agua
- Botella de vidrio graduada con tapón hermético.
- Agregado Fino.
- Hidróxido de Sodio
- Escala Calorimétrica de Gardner.

Para el procedimiento se realiza el llenado de la botella de vidrio con el Agregado Fino requerido, se le adiciona la solución de Hidróxido de Sodio y el agua. Se mezcla la botella de agua, hasta el punto que el Hidróxido y el agua, se mezclan por completo, y se cierra la misma con el tapón hermético y mantiene en reposo por 24 horas. Posteriormente, se compara el color del líquido con la escala calorimétrica de Gardner.

#### **5.1.7. IMPORTANCIA DE LOS AGREGADOS**

Los agregados tienen una participación principal en la mezcla, ya que representa un 65% como mínima en la totalidad. Por esta participación afectan de manera significativa en las propiedades de la mezcla, como los agregados gruesos en la manejabilidad o los agregados finos en los asentamientos de la mezcla, ya que los agregados finos influyen en la relación agua/material cementante.

En la mezcla se debe tener en cuenta, un límite de cantidades para los agregados, ya que los excesos afectan de manera negativa la mezcla. El agregado grueso en exceso, se puede presentar segregación, y si existe un exceso de agregado fino, se afectaría la mansedumbre y la consistencia final del concreto.

Los agregados tienen la finalidad de reducir el valor monetario en la elaboración de la composición, inicialmente se reduce el contenido de pasta de cemento cada metro cúbico, otro aspecto importante, es como el agregado ayuda a manejar los cambios volumétricos durante algunos procesos como el curado, fraguado o secado de la mezcla y finalmente ayuda en la resistencia final.

## 5.2. AGUA DE LA MEZCLA

El agua que se utiliza para diseñar la mezcla de concreto debe cumplir con los requerimientos técnicos de la norma NTC 3459 o ASTM C1602M cuando mínimamente deberá cumplir la exigencia de la norma NTC 3459. Al seleccionar la fuente hídrica se considerara los siguientes parámetros:

- El agua puede contener material impuro que impide el fraguado del cemento, obteniendo manchas en las superficies o generando una resistencia adversa.
- Es preciso diferenciar los efectos del agua en el mezclado y el efecto de aguas agresivas por parte del endurecimiento de la mezcla.  
(Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

Estableciendo una resistencia mínima del 85%, con aguas obtenidas en un alto grado de pureza, se instauró:

No se aceptan aguas:

- Aguas ácidas - ácido húmico,
- Aguas básicas provenientes de curtiembres,
- Aguas carbonatadas provenientes de descargas de plantas de galvanización,
- Aguas que contengan más del 3% de  $\text{ClNa}$  o 3.5% de  $\text{SO}_3\text{Na}_2$ ,
- Aguas conteniendo azúcares.  
(Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

Se aceptan aguas:

- Aguas con un contenido máximo de 1% de Sulfatos,
- Agua de mar pero no para concretos reforzados,
- Aguas alcalinas con un contenido máximo del 0.15% de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  o  $\text{NaCl}$ ,
- Aguas provenientes de minas de carbón y yeso,
- Agua residual de fábricas de: Cerveza, plantas de gas, pinturas y jabón.  
(Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003)

### 5.3. CEMENTO

El cemento es el agregado principal del concreto, además que es el agregado que le da su propiedad adhesiva. Está definido como un agregado de partículas diminutas y finas de color gris que proviene de un procedimiento de transformación de materiales como la caliza y la arcilla, del cual, se someten a unas temperaturas altas. (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

El cemento más usado en Colombia, se denomina Cemento Portland. Este tipo de cemento, recibe este nombre, gracias a la similitud con la piedra de la isla Portland (Inglaterra), que es utilizada para la construcción de diversos tipos de obras. (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

#### 5.3.1. CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO (NTC NO. 30)

Según la Norma Técnica Colombiana # 30, el cemento Portland tiene una clasificación y nomenclatura representativa y aprobada en Colombia, de igual manera, define las cualidades y especifica el uso a fin de cada uno de los tipos de cemento.

- **Cemento Portland TIPO 1**  
Este tipo de cemento está definido para obras en general, aquellas que no se requieren propiedades exclusivas.
- **Cemento Portland TIPO 1 M**  
Este tipo de Cemento está destinado para el uso de obras en general, pero con la diferencia que da mayor resistencia que el cemento Portland Tipo 1.
- **Cemento Portland TIPO 2**  
Esta clase de cemento está destinado para obras que se ven sumamente afectadas por la acción del sulfato, como en donde se requiera una saturación moderada de calor.
- **Cemento Portland TIPO 3**  
Este tipo de cemento, presenta altas resistencias en los primeros días después de fundir.
- **Cemento Portland TIPO 4**  
Clase de cemento que produce mínimo calor de saturación.
- **Cemento Portland TIPO 5**  
Ofrece mejor resistencia a la reacción de los sulfatos.

- **Cemento Portland Blanco**  
Cemento que se obtiene con agregados seleccionados con rigurosidad que le transmiten el color.
- **Cemento Portland con incorporadores de aire**  
Son los cementos que se le agregan un material que suministra aire durante la pulverización o reducción del material.  
(Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

### 5.3.2. ESPECIFICACIONES DE DESEMPEÑO DEL CEMENTO HIDRAULICO. (NTC NO. 121)

El cemento en Colombia está especificado en la Norma Técnica Colombiana # 121, que tiene como nombre Especificaciones de desempeño para Cemento Hidráulico. Esta normatividad tiene como propósito dar las características que debe tener el Cemento Hidráulico en Colombia para poder ser utilizado en cualquier tipo de construcción donde se requiera manipular cemento.

(Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

La norma expresa de manera obligatoria, el cumplimiento de los requisitos expresados en la tabla que se mostrara a continuación

	Tipo 1	Tipo 1M	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5
Finura, superficie específica en m <sup>2</sup> /kg						
- Ensayo por medio de permeabilidad al aire, mínimo.	280	280	280	-	280	280
Estabilidad	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Expansión en autoclave, máximo, %						
Tiempo de fraguado (Métodos alternativos).						
- Ensayo por agujas de Vicat: Tiempo inicial, en minutos, no debe ser menor de	45	45	45	45	45	45
Tiempo final, en horas, no debe ser mayor de	8	8	8	8	8	8
Resistencia a la compresión en Mpa (aprox. kgf/cm <sup>2</sup> ). La resistencia a la compresión de cubos de mortero hechos con una parte de cemento y 2,75 partes de un arena gradada normalizada para este ensayo, preparados y probados de acuerdo con la NTC 220, no debe ser menor que , los valores indicados abajo, para cada edad.						
1 d		-	-	10,0 (100)		
3 días	8,0 (80)	12,5 (125)	10,5 (105)	21,0 (210)	-	8,5 (85)
7 días	15,0 (150)	19,5 (195)	17,5 (175)	-	7,0 (70)	15,5 (155)
28 días	24,0 (240)	-	-	-	17,5 (175)	21,0 (210)

Tabla 11: Tabla con los requisitos mínimos para el cemento. Fuente: Norma Técnica Colombiana 121.

Otra parte de la norma, habla de los requisitos opcionales que el cemento portland debe tener,

	Tipo 1	Tipo 1 M	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5
Tiempo de fraguado (Métodos alternativos).						
- Ensayos por agujas de Gillmore :						
Tiempo inicial, en minutos, no debe ser menor de	60	60	60	60	60	60
Tiempo final, en horas, no debe ser mayor de	10	10	10	10	10	10
Falso fraguado, penetración final mínimo %	50	50	50	50	50	50
Calor de hidratación						
7 días máximo kJ/kg (aprox. cal/g)	-	-	290 (70)	-	250 (60)	-
28 días, máximo kJ/kg (aprox. cal/g)	-	-	330 (80)	-	290 (70)	-
Resistencia a la compresión 28 días, MPa (aprox. kgf/cm <sup>2</sup> )	-	28,0 (280)	24 (240)	-	-	-
Expansión a los sulfatos 14 días , máximo %	-	-	-	-	-	0,045

Tabla 12: Requisitos opcionales para el cemento. Fuente: Norma Técnica Colombiana 121.

### 5.3.3. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRAULICO (NTC NO. 221)

Determinar la densidad del Cemento es de gran importancia para el diseño y control de la mezcla que se va a utilizar. La densidad del Cemento Hidráulico se define como la masa sobre el volumen unitario. En el ensayo se realizara en el Frasco de Le Chatelier que esta normalizado con una sección circular e indispensable cumplir con las dimensiones de tolerancia. (Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

Para llevar a cabo el ensayo, se debe introducir un líquido en el Frasco de Chatelier hasta la marca de 1 mililitro, posteriormente se introducirá una masa de 0,05 gramos de cemento y se sella el frasco. A penas se selle el frasco, se iniciará a girar el frasco, hasta el punto que no se presente más burbujas. Finalmente la densidad será determinada con la siguiente expresión,

$$\rho \left( \frac{g}{cm^3} \right) = \frac{Masa\ del\ Cemento\ (gramos)}{Volumen\ Desplazado\ (m^3)}$$

Ecuación 9: Ecuación de Densidad para el Cemento. Fuente: Norma Técnica Colombiana 221.

(Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

En el caso de diseño y control de la mezcla, es recomendable utilizar la densidad relativa por lo que el número es adimensional.

$$\rho(\text{Relativa}) = \frac{\text{Densidad del Cemento}}{\text{Densidad del agua} \left( 1 \frac{\text{gramo}}{\text{m}^3} \right)}$$

*Ecuación 10: Ecuación de Densidad para el Cemento Relativa. Fuente: Norma Técnica Colombiana 221.*

(Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.)

#### 5.4. MANEJO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN – RCD

El procesamiento de datos mensual de la producción en el Área Metropolitana de Bucaramanga de residuos de construcciones y demoliciones, se requiere la información suministrada por dos empresas encargadas de su recolección, la cual se resume en la siguiente tabla: (Bucaramanga, 2017)

RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DEMILICIÓN GENERADOS EN 2015			
AÑO 2015	EMAB S.A.	BOTADERO EL PARQUE S.A.S.	PARCIAL
ENERO	51,02	19644,52	19695,54
FEBRERO	118,05	60376,52	60494,57
MARZO	264,28	70001,92	70266,2
ABRIL	486,1	38165,68	38651,78
MAYO	441,03	24622,19	25063,22
JUNIO	663,3	26121,86	26785,16
JULIO	628,09	34925,14	35553,23
AGOSTO	566,85	36546,94	37113,79
SEPTIEMBRE	579,05	48560,84	49139,89
OCTUBRE	324,36	40086,34	40410,7
NOVIEMBRE	517,68	24516,04	25033,72
DICIEMBRE	365,2	15613,48	15978,68
<b>TOTAL</b>	<b>5005,01</b>	<b>439181,47</b>	<b>444186,48</b>

*Tabla 13: Tabla de las toneladas recibidas en el Botadero el Parque S.A.S año 2015. Fuente: Actualización Gestión Integral de Residuos Sólidos, Alcaldía Bucaramanga, 2017.*

RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DEMILICIÓN GENERADOS EN PARTE DE 2016			
AÑO 2016	EMAB S.A.	BOTADERO EL PARQUE S.A.S.	PARCIAL
ENERO	183,05	17858,16	18041,21
FEBRERO	570,98	15886,5	16457,48
MARZO	836,73	15676,72	16513,45
ABRIL	610,09	20327,24	20937,33
MAYO	988,5	14353,44	15341,94
JUNIO	799,35	15807,96	16607,31
JULIO	849,8	14902,32	15752,12
AGOSTO	637,17	14144	14781,17
SEPTIEMBRE	704,26	16106,48	16810,74
OCTUBRE	90,13	12845,2	12935,33
<b>TOTAL</b>	<b>6270,06</b>	<b>157908,02</b>	<b>164178,08</b>

Tabla 14: Tabla de las toneladas recibidas en el Botadero del Parque S.A.S año 2016. Fuente: Actualización Gestión Integral de Residuos Sólidos, Alcaldía de Bucaramanga, 2017.

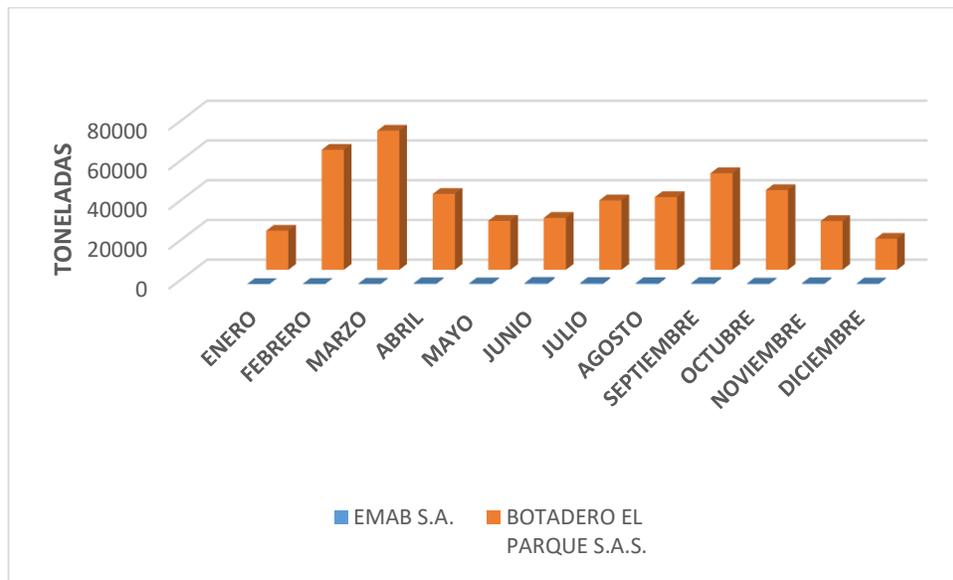
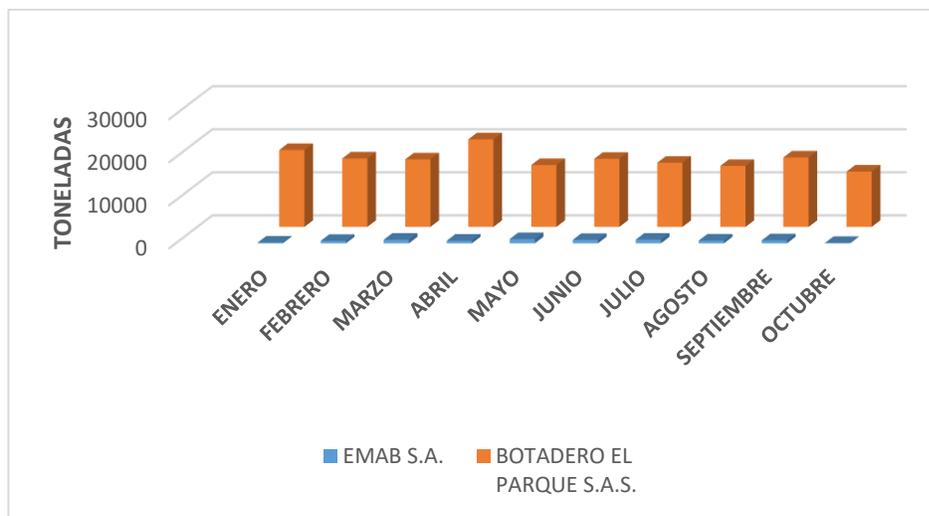


Ilustración 4 : Diagrama de Toneladas de Residuos de Construcción y Demolición del Año 2015. Fuente: Actualización de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Alcaldía de Bucaramanga, 2017



*Ilustración 5: Diagrama de Toneladas de Residuos de Construcción y Demolición del Año 2016. Fuente: Actualización de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Alcaldía de Bucaramanga, 2017*

Según el estudio hecho por la Alcaldía del municipio de Bucaramanga se puede deducir que con respecto al año 2015 y 2016 hubo una reducción considerable en la producción de residuos de construcción. Ya que la diferencia es de 280.008,4 Toneladas en lo que iba del año 2016, se puede concluir que hubo una disminución de un 37%, esto se puede deber a que la construcción y reformas en viviendas se han visto afectadas, gracias al crecimiento de proyectos de obras civiles en lo que tuvo lugar del 2010 al 2015. La producción mensual de cada año en estudio fue 37.015,54 Toneladas en el 2015 y 16.417,80 Toneladas en lo que iba del 2016. (Bucaramanga, 2017)

#### **5.4.1. SITIOS EMPLEADOS PARA LA DISPOSICIÓN DE RCD**

Actualmente, se disponen de tres sitios para la disposición de los residuos de demoliciones RCD en el Área Metropolitana de Bucaramanga las cuales se localizan en puntos estratégicos limítrofes a los municipios que disponen de estas áreas de recolección. Dentro de estos lugares no se realiza ningún aprovechamiento de este tipo de residuos, el único tratamiento es seleccionar los materiales de concreto como columnas y vigas que contengan acero dentro de su interior para luego separarlo del concreto, por lo cual disminuye el riesgo de contaminación debido a la corrosión y posteriormente oxidación del suelo. (Bucaramanga, 2017)

Tipo de Sitio	Razón Social	Ubicación	Capacidad Inicial Instalada	Capacidad Actual Instalada
Botadero de Tierra	Botadero de Tierra el Parque	Km 4- autopista Girón, antigua ladrillera	3.200.000 m <sup>3</sup>	800.000 m <sup>3</sup>
Escombrera	El Chaparral S.A.S	Sector Rosal 9 Los Colorados	No Aplica	No Aplica
Escombrera	Ossa Ingeniería	km2 vía Piedecuesta	No Aplica	No Aplica

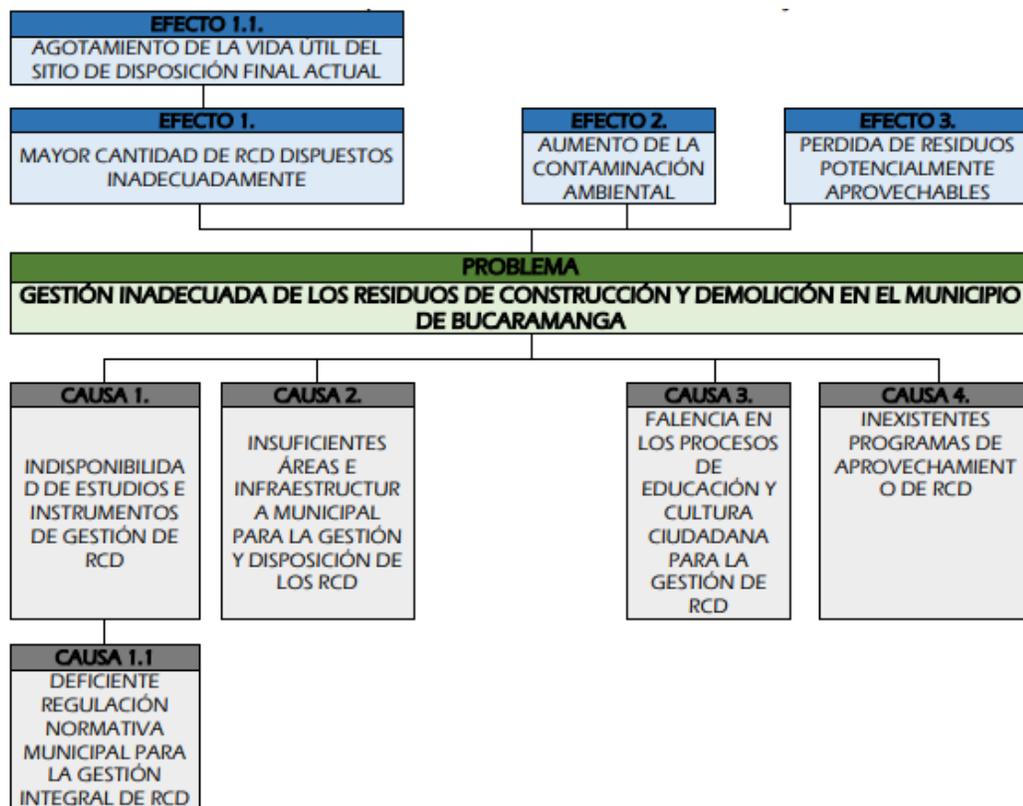
Tabla 15: Descripción de algunos de los sitios de disposición final de Residuos de Construcción. Fuente: Actualización de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Alcaldía de Bucaramanga, 2017.

#### 5.4.2. PROBLEMÁTICA DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIONES Y DEMOLICIONES EN EL AREA

Gestión de residuos de construcción y demolición

PROBLEMA	GESTION INADECUADA DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCION Y DEMOLICION EN EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA
Causa 1	Indisponibilidad de estudios e instrumentos de gestion de RCD
Causa 1.1	Deficiente regulación normativa municipal para la gestion integral RCD
Causa 2	Insuficiente areas e infraestructura municipal para gestion y disposicion de RCD
Causa 3	Falencia en los procesos de educación y cultura ciudadana para la gestion de RCD
Causa 4	Inexistentes programas de aprovechamiento de RCD
Efecto 1	Mayor cantidad de RCD dispuestos inadecuadamente
Efecto 1.1	Agotamiento de la vida útil del sitio de disposición final actual
Efecto 2	Aumento de la contaminación ambiental
Efecto 3	Perdida de residuos potencialmente aprovechables

Tabla 16: Gestión Inadecuada de los Residuos de Construcción y Demolición en el Área Metropolitana de Bucaramanga. Fuente: Actualización de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Alcaldía de Bucaramanga, 2017.



Fuente: Grupo Técnico PGIRS

*Ilustración 6: Identificación de Problema en la gestión inadecuada de los residuos de construcción y demolición en Bucaramanga. Fuente: Actualización de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Alcaldía de Bucaramanga, 2017.*

### 5.4.3. LICENCIA AMBIENTAL DEL SITIO DE DISPOSICION FINAL DE RCD

Según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en su Resolución 0472 del 28 de febrero de 2017 desarrolla una reglamentación para la gestión integral de los residuos provenientes de actividades de construcción y demoliciones RCD, donde se insta unos parámetros para el adecuado tratamiento de estos materiales.

(2017, 2017)

#### **5.4.4. GESTION INTEGRAL DE RCD**

Según el artículo 4 donde se señala la gestión integral de RCD se consideran las siguientes actividades:

1. Prevención y Reducción
2. Recolección y Transporte
3. Almacenamiento
4. Aprovechamiento
5. Disposición Final

Según el artículo 5 de prevención y reducción de RCD se deben implementar medidas de prevención y disminución de producción de RCD como mínimo se deben incluir las siguientes:

1. Planeación en obra, que contenga un análisis estricto de los materiales que se van a utilizar en el proyecto para evitar pérdidas de los mismos.
2. Ejecutar una separación de los tipos de RCD en obra.
3. Almacenamiento y organización de los materiales de construcción.
4. Control de aguas lluvias y escorrentía en el proyecto cuando este aplique.  
(2017, 2017)

Según el artículo 7 Almacenamiento, los grandes generadores de residuos de construcción y demolición deben establecer sitios de acopio temporal de estos residuos en obra, donde se ejecutara una separación de tipos de RCD y que formaran parte integral de las medidas de la resolución, así mismo se deberán cumplir unas normas mínimas para el manejo:

1. Construir barreras para impedir el contacto visual de los alrededores del sitio de acopio.
2. Ejecutar obras de drenaje y una intervención de sedimentos.
3. Señalización de acuerdo con lo estipulado.
4. Efectuar acciones para impedir la propagación de partículas.

Según el artículo 8 se dispondrá de unos puntos limpios donde se llevara a cabo la separación y posterior almacenamiento temporal y deberá contar con las siguientes áreas de trabajo:

1. Recepción y pesaje
2. Separación por tipo de RCD
3. Almacenamiento

Según el artículo 9 aprovechamiento, se ejecutará una planta fija o móvil de aprovechamiento de estos residuos que deberá contar con las siguientes áreas de trabajo:

1. Recepción y pesaje
2. Selección, separación y almacenamiento por tipos de RCD
3. Aprovechamiento
4. Almacenamiento de productos

Según el artículo 10 señala las medidas mínimas que se deberán tener presente al momento de desarrollar un manejo ambiental con plantas de aprovechamiento y los puntos limpios. Se elaborara un documento donde se especifiquen las normas mínimas de manejo:

1. Puntualizar los procesos ejecutados con los RCD
2. Diseñar y realizar un control de sedimentos y drenaje
3. Contar con el equipo de pesaje calibrado de acuerdo con la normativa vigente
4. Construir barreras para impedir el impacto visual en los alrededores de la planta
5. Efectuar acciones para impedir la propagación de partículas
6. Organizar los RCD correspondiendo a cada tipo  
(2017, 2017)

#### **4.4.5. OBLIGACIONES**

Según el artículo 16 los gestores de RCD están en la obligación de cumplir con los siguientes parámetros:

1. Registrarse ante la autoridad ambiental regional o urbana que compete en el área donde se va a desarrollar sus actividades
2. Contar con toda la maquinaria para el manejo de residuos de RCD
3. Remitir una constancia al generador de los residuos donde contenga toda la información de los formatos que están establecidos en esta resolución.
4. Reportar a la autoridad ambiental competente de cada municipio un reporte en el primer trimestre del año inmediatamente al año anterior, sobre la cantidad y la disposición final de los residuos
5. Los gestores que manejen los puntos limpios o plantas de aprovechamiento, formularan e implementaran un documento contentivo de la normativa de manejo ambiental.
6. Los gestores responsables del sitio donde se dispone finalmente todos los residuos RCD, formularan e implementaran un documento contentivo de la normativa de manejo ambiental  
(2017, 2017)

Según el artículo 17 los municipios y distritos están en las siguientes obligaciones:

1. Ajustar el programa de gestión integral de residuos sólidos – PGIRS municipal o regional acatando lo dispuesto en esta resolución
2. Promover campañas de cultura ciudadana educando y sensibilizando la gestión integral de RCD
3. Identificar y localizar áreas donde se podrán ubicar las plantas de aprovechamiento, puntos limpios y áreas de disposición final de los residuos, adecuándose al POT de cada municipio  
(2017, 2017)

Según el artículo 18 las autoridades ambientales competentes deberán cumplir con las siguientes obligaciones:

1. Implementar mecanismo para la realización de inscripciones de los gestores RCD, lo cual deberá ser público y de fácil acceso a todos los ciudadanos.
2. Ejecutar controles y seguimiento a las actividades desarrolladas por los generadores y gestores RCD.
3. Disponer al público en su página web un listado de los gestores inscritos a cada jurisdicción  
(2017, 2017)

Según el artículo 19 se realizan unas metas de aprovechamiento de RCD donde los grandes generadores deberán reutilizar los residuos de RCD con un porcentaje no inferior a un 2% en peso de los materiales usados en el proyecto, acorde con lo dispuesto la siguiente tabla:

<b>CATEGORIA MUNICIPAL</b>	<b>CUMPLIMIENTO DE META</b>
Especial, 1, 2 y 3	1 de enero de 2018
4, 5 y 6	1 de enero de 2023

*Tabla 17: Categorización Municipal, Decreto 472 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017.*

Se deberá garantizar en los años posteriores un aumento de dos puntos porcentuales, hasta alcanzar un mínimo de 30% de RCD aprovechable en peso total de los materiales constructivos de obra.

(2017, 2017)

#### **4.4.6. DISPOSICIONES FINALES**

Según el artículo 20 se prohíbe:

1. El abandono de los residuos de demoliciones y construcciones RCD en el territorio
2. Disponer residuos de demoliciones y construcciones en espacios públicos o rellenos sanitarios.
3. Mezclar los diferentes residuos sólidos ordinarios y peligrosos con RCD
4. Recibir en lugares de disposición de RCD, residuos sólidos ordinarios o peligrosos mezclados con RCD
5. Almacenamiento transitoriamente o permanentemente de RCD en áreas de resguardos, arborizadas, reservas forestales, áreas de recreación, parques, ríos, caños, humedales, manglares y zonas ribereñas.  
(2017, 2017)

#### **4.4.7. COMPONENTE ESTRATEGICO PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS RCD EN EL AREA**

En la producción y posterior manejo de los residuos industriales, se hallan los residuos de demoliciones y construcciones, donde su disposición final es controlada en áreas denominadas “escombreras”, pero igualmente son objeto de vertimientos de residuos en resguardos ambientales y escarpas en el área metropolitana de Bucaramanga porque no se posee un control apropiado. En el proceso de estabilización las “escombreras” cumplen un papel de ejecutar posteriormente en estos sitios zonas de recreación o parques, pero analizando diferentes opciones el aprovechamiento y procesamiento de estos materiales se pueden reutilizar en la confección de adoquines, bloques y materiales para el espacio público, cumpliendo un propósito diferente y así disponerlos para un fin más productivo. La AMB en el plan integral de desarrollo del área metropolitana de Bucaramanga adhiere unas metas e indicadores a desarrollar para el manejo de los residuos de construcción y escombros: (2017, 2017)

No.	META	INDICADOR	LINEA BASE	VALOR ESPERADO
1	Implementar campañas de información, educación y comunicación en instituciones educativas de los municipios del AMB en relación a la importancia de la gestión de residuos posconsumo, materiales de construcción y escombros	No. De campañas educativas implementadas	0	10
2	Sensibilizar a la comunidad metropolitana sobre la importancia de la gestión de residuos posconsumo, materiales de construcción y escombros	No. De habitantes sensibilizados	0	50.000
3	Incrementar las jornadas de recolección de residuos posconsumo en el AMB	No. De jornadas anuales	2	6
4	Implementar campañas de información, educación y comunicación con gremios empresariales para promover la gestión de residuos posconsumo, materiales de construcción y escombros	No. De campañas implementadas	0	10
5	Implementar campañas de información, educación y comunicación en los talleres de mecánica automotriz para fomentar la gestión de residuos posconsumo	No. De campañas implementadas	0	10
6	Realizar acompañamiento y apoyo a los sistemas de recolección selectiva y gestión ambiental - SRSGA de residuos posconsumo y materiales de construcción en el AMB	No. De SRSGA con acciones de acompañamiento y apoyo	5	8
7	Incrementar el número de puntos de recolección de residuos posconsumo en el AMB	No. De puntos de recolección	37	50

Tabla 18: Metas según el Decreto 472. Fuente: Decreto 472 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017.

#### 4.5. VIVIENDA DE INTERES SOCIAL (VIS)

Según el decreto 2190 de 2009, que rige a nivel nacional. Da el concepto jurídico de Vivienda de Interés Social, que son aquellas que reúnen los elementos que aseguran su habitabilidad, estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción cuyo valor máximo es de ciento treinta y cinco (135) salarios mínimos legales vigentes (SMLM). (Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. )

#### **4.5.1. ORIGEN DE LA VIVIENDA DE INTERE SOCIAL**

La Vivienda de Interés Social, nace por los Derechos Humanos de las Naciones Unidas, hace parte de los derechos humanos económicos y sociales, de cual, todo ser humano tiene derecho a acceder y mantener un hogar para vivir con paz y dignidad, además que es un elemento fundamental para la dignidad humana, la salud y calidad de vida que permite el debido desarrollo del ser humano. (Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. )

#### **4.5.2. CARACTERÍSTICAS DE LA VIVIENDA DE INTERES SOCIAL EN COLOMBIA**

En toda vivienda se deben considerar las siguientes características, para suplir el derecho a la vivienda digna:

- Un área adecuada para dormir, que incluya el espacio para el mobiliario de almacenamiento de prendas de vestir, como medida de protección de las circunstancias de salud para los miembros de la vivienda.
- Área adecuada para el mobiliario para el aseo personal y aseo de las prendas de vestir, es decir, que toda vivienda tenga un área destinada para la unidad sanitaria que brinde todas las facilidades tales como disposición sanitaria de excretas, unidad sanitaria de limpieza y un área destinada para el proceso de lavado, secado y planchado de las prendas de vestir.
- Área destinada para la preparación, almacenamiento, limpieza y consumo de alimentos.

Además de estas características, la vivienda debe tener el área adecuada para el desarrollo de actividades relacionados con el ocio y/o generación de ingresos, es necesario saber previamente para el boceto mismo del plan, se vuelva sostenible. (Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial).

#### **4.5.3. DIMENSIONES DE LA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL**

Además de estas características, la vivienda debe tener el área adecuada para el desarrollo de actividades relacionados con el ocio y/o generación de ingresos, es necesario saber previamente para el boceto mismo del plan, se vuelva sostenible.

Las Viviendas de Interés Social se considera ciertas dimensiones esenciales para su concepción holística, las condiciones van desde una Seguridad jurídica de la tenencia, es decir, que se garantice protección legal contra la expulsión, el hostigamiento u otras situaciones de riesgo, otra condición esencial es la disponibilidad de servicios, materiales e infraestructuras, esta condición trata que los beneficiarios tengan la disponibilidad de agua bebible, energía, instalaciones higiénicas, almacenamiento de suministros, sistema de eliminación de remanentes y servicios de emergencia. La siguiente dimensión trata acerca de los gastos de vivienda soportables, en el cual, los gastos no deben afectar ni comprometer otras necesidades básicas, las dimensiones restantes son acerca de la vivienda sea habitables, asequible, adecuada ubicación para acceder a centro de empleo, servicios de salud, escuelas u otros servicios sociales, y finalmente la vivienda debe estar acorde a la identidad cultural de el/los ocupantes. (Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial).

Estos espacios destinados deben ser diseñados para un uso sostenible de recursos naturales como el consumo de agua, energía, seguridad y aprovechamiento de residuos sólidos.

#### **4.5.3.1. CALIDAD DE LOS MATERIALES PARA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL**

##### **4.5.3.1.2. SOSTENIBILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL**

Los aspectos ambientales en la extracción y confección de materiales está relación con la adaptación, en los procedimientos de elaboración, de las correcciones necesarias para reducir el manejo del impacto ambiental sobre los recursos naturales renovables y los que no. (Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial).

Toda obra urbanística destinada para Viviendas de Interés Social, debe garantizar estas dimensiones generales:

- Selección adecuada de los materiales, garantizando un aislamiento auditivo y climático, que permita a los inquilinos establecer relaciones interpersonales armónicas, buscando una sostenibilidad humana.
- EL sistema de construcción y sus materiales debe ser acorde a la identidad cultural de los próximos habitantes.

- Los costos de mantenimiento debe ser bajos, y concordancia de las condiciones económicas.
- Deben adaptarse con el clima y la geografía.
- Debe emplear materiales producidos en la región.
- Debe optimizar el uso de materiales, agua y energía.  
(Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial).

#### 4.5.3.2. **CONSIDERACIONES GENERALES**

Debido al crecimiento exponencial de la vivienda en Colombia, las Viviendas de Interés Social debe contener las especificaciones claras de todo lo que realice, desde las áreas, especificaciones técnicas, dimensiones, y sistema constructivo. (Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial).

##### 4.5.3.2.1. **SELECCIÓN DE LOS MATERIALES**

Los materiales de construcción son aquellos que tienen como funciones específicas en las obras arquitectónicas o de ingeniería, sin importar su naturaleza.

Según su función en la obra, se estipula una clasificación para lograr una claridad de información tanto para los trabajadores como para los próximos propietarios:

- **Materiales Principales:** Aquellos que se usan de manera predominantes en las partes de resistencia tales como piedras, ladrillos, concreto, madera y materiales metálicos.
- **Los aglomerantes:** Sirven para adherir materiales entre si, estos materiales que se adhieren son materiales principales.
- **Los auxiliares:** Materiales utilizados para acabados finales.

Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. )

Para los agregados pétreos, definidos como materiales inorgánicos, naturales o elaborados derivados de elementos naturales como roca, su selección está definida como se muestra en la siguiente tabla:

Materiales pétreos			
Materiales de origen natural	Características	Función del material en la obra	Uso del material en la obra
Arenas para morteros de pega y concretos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Por su origen se dividen en arenas de peña, de río, marinas y artificiales</li> <li>Se subdividen en gruesas (5 -2 m m) medias ( 2 -1mm) y finas (&lt; a 1m m)</li> <li>Son parte esencial para la elaboración de morteros y concretos.</li> </ul>	Aglomerante	Cimentación Estructura Mampostería Cerramientos Acabados
Agregados para concretos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Formas regulares</li> <li>Alta resistencia térmica</li> <li>Alto aislamiento acústico</li> <li>Impermeabilidad</li> <li>Larga durabilidad</li> </ul>	Resistente	Cimentación Estructura Pisos y placas de contrapiso
Tierra para paredes y pisos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Es uno de los materiales más antiguos y el más utilizado por el hombre para construir.</li> <li>Se obtiene a partir de la arcilla y de la arena.</li> <li>Mezclada con cemento, se construyen pisos en suelo cemento y bloques para mampostería.</li> <li>Posee una gran inercia térmica.</li> </ul>	Auxiliar	Cerramientos Pisos

*Tabla 19: Características permitidas en Viviendas de Interés Social. Fuente: Guía para la Construcción de Viviendas de Interés Social Capítulo 3, Ministerio de Vivienda.*

Y se estipula unas recomendaciones para la utilización constructiva de los materiales:

Recomendaciones constructivas para la utilización de materiales pétreos	
Arenas para morteros y concretos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las arenas son de varias calidades y se pueden utilizar de diferente forma en las obras. Cuando se utilizan como mortero de pega la arena requerida tiene un contenido de arcilla superior al que se requiere para pañetar o repellar las paredes.</li> <li>En los concretos, la cantidad de arena cuando pase los tamices 50 y 100 afecta la manejabilidad, la facilidad para lograr buenos acabados, la textura superficial y la exudación del concreto.</li> <li>Cuando se desea una textura superficial tersa en la estructura, se debe usar un agregado fino que pase, cuando menos el 15% el tamiz 50 y 3% el tamiz 100.</li> <li>Se debe evitar la presencia de materia orgánica en la arena que va a utilizarse en la mezcla de concreto, debido a que ésta llega a interrumpir, parcial o totalmente, el proceso de fraguado del cemento.</li> </ul>

*Tabla 20: Recomendaciones constructivas para la utilización de materiales Pétreos. Fuente: Guía para la Construcción de Viviendas de Interés Social, Ministerio de Vivienda.*

Recomendaciones constructivas para la utilización de materiales pétreos	
Agregados para concretos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La falta de 2 o más tamaños intermedios sucesivos en la selección de los agregados puede generar segregación, por tanto es necesario una buena gradación de los agregados (gravillas), utilizando tamaños intermedios que aseguren una mezcla homogénea.</li> <li>• Cuanto mayor sea la densidad del agregado, mejor serán la calidad y absorción.</li> <li>• No deben contener terrones de arcilla ni partículas deleznable (que se deshacen fácilmente).</li> <li>• Debe evitarse el uso de agregados planos o alargados.</li> <li>• Los agregados que presenten muchas aristas, son los más convenientes para concreto.</li> <li>• Para losas de concreto o pavimentos, los límites recomendados de ocupación del agregado grueso, deben ser menores del 35% y para otras estructuras menor del 40%.</li> <li>• En concretos de alta resistencia, el tamaño del agregado deberá ser menor para una mayor eficiencia.</li> </ul>

*Tabla 21: Recomendaciones constructivas para la utilización de materiales Pétreos. Fuente: Guía para la Construcción de Viviendas de Interés Social, Ministerio de Vivienda.*

Para los materiales aglomerantes, que se definen como aquellos se mezclan con agua, y adquieren las propiedades para adherirse sin mayor dificultad con otros materiales, y lograr llegar a las resistencias mecánicas requeridas:

(Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. )

Estos materiales aglomerantes, se especifica con el concreto, que posee una clasificación para los diversos tipos de concretos que son utilizados en las viviendas de interés social:

- Concreto Lanzado: Concreto utilizado para elaborar o arreglar estructuras difíciles, de igual manera, se utiliza para contener taludes.
- Concreto ciclópeo: Concreto formado por arena, agua, grava, cemento y piedra.
- Concreto autonivelantes: Concretos que emplean aditivos fluidificantes y mejoran la manejabilidad.
- Concreto reforzado con fibras: Concreto de uso en pavimentos o losas, donde la relación área y volumen son de mayor valor y requiere controlar las grietas superficiales.

- Concreto Ligero: Concreto elaborado con materiales artificiales.
- Concreto compactado con rodillo: Concreto que se compacta con rodillo.
- Concreto pretensado: Concreto que elimina los esfuerzos de tensión, al crear esfuerzos de compresión. (Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. )

#### **4.5.3.3. GRUPO DE USO DE LAS EDIFICACIONES ANTE UN SISMO PARA VIVIENDA DE INTERES SOCIAL**

La importancia para la recuperación de un sismo, Las Viviendas de Interés Social no son ajenas a los imprevistos naturales, como sismos, por eso la normatividad colombiana, clasifica el uso de las edificaciones ante un sismo. Estos grupos son:

- Grupo 4: Edificaciones indispensables, es decir, edificaciones para la atención de la comunidad, estas edificaciones deben funciones, antes, durante y después del sismo, y cuya operación no puede parar.
- Grupo 3: Edificaciones de atención a la comunidad, son aquellas que son de accesos obligatorio para atender imprevistos y mantener la salud y seguridad de la comunidad.
- Grupo 2: Estructuras de ocupación especial, son las estructuras que tiene la capacidad de albergar más de 200 personas en un solo sitio.
- Grupo 1: Estructuras de ocupación normal, estructuras que no cumplan con los requerimientos de los anteriores grupos. (Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial).

Para Viviendas de Interés Social, se ubican en la categoría Grupo 1.

De acuerdo al proyecto de Vivienda de Interés Social, se aplicará la normatividad de la Norma Sismo resistente de Colombia. En el caso que sea viviendas de uno o dos pisos, se aplicara toda la normatividad de seguridad que está estipulada en el Título E de la Norma Sismo resistente de Colombia (NSR) del 2010. Este título aplica siempre y cuando, el proyecto no supere los dos pisos, y no superen los 3000 m2 de área en conjunto. En el caso que los supere, aplicara el Titulo A de la Norma Sismo resistente de Colombia (NRS) del 2010.

(Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial).

#### **4.6. NORMA SISMORESISTENTE DE COLOMBIA (NSR) DEL 2010**

El Gobierno Nacional de Colombia, por medio del Decreto 926 del 19 de Marzo de 2010, estipuló la Norma Sismo Resistente 2010. Este reglamento actualiza la norma de 1998, con la aplicación de tecnología al estudio, modelado y confección de las edificaciones, con el fin de hacerlas más competitivas y generan mayor seguridad en el país, donde el 87% de la comunidad, se encuentra en zonas sísmica intermedia y alta.

La Norma Sismo Resistente de Colombia del 2010, incluyó una normatividad en la construcción sostenible con el medio ambiente como requisitos para la protección contra el fuego.

##### **4.6.1. TITULO A: REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE**

Para el modelado, diseño e inspección técnica de edificaciones en Colombia, se debe cumplir sin excepción alguna con los criterios y requisitos que establece la norma.

Para el diseño estructural se debe seguir rigurosamente estos pasos para lograr el riguroso cumplimiento:

- Predimensionamiento y coordinación con los profesionales.
- Análisis de las solicitudes definitivas.
- Obtener el nivel de afectación sísmica.

- Diseño de movimientos sísmicos.
- Caracterización de la estructura y material estructural.
- Irregularidad de la estructura y su análisis
- Determinación de los esfuerzos sísmicos.
- Análisis de las fuerzas sísmicas.
- Movimiento irregular horizontal.
- Verificación de las derivas.
- Combinación de las solicitantes.
- Diseño de los elementos estructurales.
- Diseño de elementos no estructurales.
- Revisión de los diseños.

Después de estos pasos, y su debida aprobación se procederá a la construcción y a la supervisión técnica.

#### **4.6.2. . TITULO E: DISEÑO DE CASA DE UNO Y DOS PISOS:**

El titulo presente establece los requerimientos para la construcción sismo resistente de viviendas de uno o dos pisos. Se busca establecer las condiciones. Estructurales optimas que permitan la funcionalidad adecuada antes cargas laterales y verticales.

Presenta las dimensiones mínimas que se deben estar dentro de las limitaciones y recomendaciones para cumplir a cabalidad.

(2017, 2017)

#### **4.7. INCENTIVOS TRIBUTARIOS**

En la República de Colombia, las personas jurídicas que ejecuten prácticas de preservación del medio ambiente acceden a beneficios tributarios que se traducen en un ahorro económico; esto se puede evidenciar en los estatutos tributarios que promueve el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por medio de inversiones en maquinaria y equipo que disminuyan el impacto ambiental negativo, que causen a través de sus procedimientos operacionales. Los incentivos tributarios que se pueden certificar son los siguientes:

1. Exclusión de IVA por adquisición de elementos, maquinaria y equipo requeridos para el sistema de control y monitoreo ambiental. La importación de maquinaria y equipos para reciclar y procesar residuos, depuración y tratamiento de fuentes hídricas con alto grado de contaminación por aguas residuales, emisiones atmosféricas o desechos sólidos, proyectos que disminuyan las emisiones de gas de efecto invernadero.

El ahorro económico para estas personas jurídicas es del 16% del valor de la compra de maquinaria y equipos (Artículos 424-5 numeral 4 y 428 literales “f” e “i” del Estatuto Tributario).

2. Deduciones en la base de impuesta en la renta para personas jurídicas deduciendo el valor de la inversión en control y mejoramiento ambiental de la base de liquidación de renta hasta un monto que no supere el 20% de la renta líquida (Artículo 158-2 Estatuto Tributario)

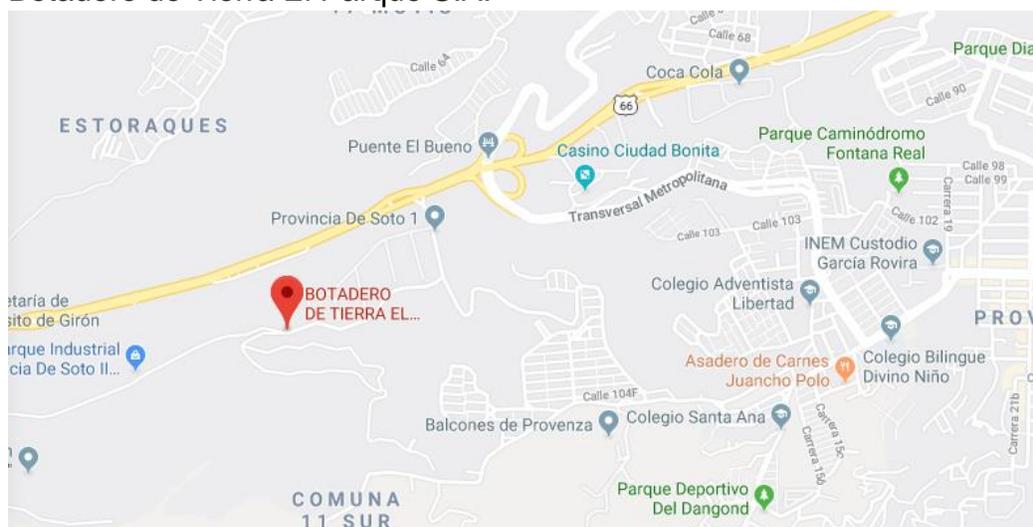
## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. LOCALIZACIÓN RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y TRATAMIENTO PARA LOGRAR TAMAÑO ADECUADO

Para iniciar la investigación, se inició con la localización de los sitios de disposición final de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) que estén autorizadas por la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB). Se tuvo acceso limitado en todas las empresas autorizadas, y otras no permitieron el ingreso, ni se obtuvo respuesta por parte de la empresa.

Las empresas a la que se obtuvo acceso fueron:

- Botadero de Tierra El Parque S.A.



*Ilustración 7 : Mapa de Localización Botadero de Tierra el Parque S.A. Fuente: Google Maps*

- Ossa Ingeniería Escombrera Rancho Grande



*Ilustración 8: Mapa de Localización Ossa Ingeniería Escombrera Rancho Grande. Fuente: Google Maps*

- Veolia Aseo Bucaramanga S.A.E.S.P



*Ilustración 9: Mapa de Localización Veolia Aseo Bucaramanga S.A.E.S.P... Fuente: Google Maps*

Se realizaron reuniones en sus respectivas instalaciones, logrando la autorización de retirar 20 sacos de Residuos de Construcción y Demolición. La empresa que permitió el retiro de los sacos de RCD, no autorizó mencionarla.

Se trasladaron los sacos de RCD a la empresa Sánchez Construcciones LTDA. Ubicada en el sector de Pescadero del Cañón del Chicamocha.



*Ilustración 10: Mapa de Localización Sánchez Construcciones LTDA. Fuente: Google Maps*

La empresa posee una planta de trituración de agregado naturales, en la planta mencionada se le suministra el material RCD, para reducirlo en los tamaños 3/4 pulgada, 1 ½ pulgada y Agregado Fino además que la empresa donó para la investigación agregado natural 3/4 pulgada y Agregado Fino natural. El RCD ya triturado es depositado en los sacos y trasladados a las instalaciones del Laboratorio de Construcciones de la Universidad Pontificia Bolivariana.

## **5.2. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PROVENIENTES DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD)**

Ya el material depositado en el Laboratorio de Construcciones, se procede a la caracterización del material:

### 5.2.1. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Tanto el agregado natural como el agregado proveniente de RCD, se separó en recipientes con los siguientes pesos:

<b><u>AGREGADO RCD</u></b>	<b><u>PESO (gramos)</u></b>
Agregado 3/4 RCD	5000
Agregado 1 1/2 RCD	15500
Agregado Fino RCD	1100
<b><u>AGREGADO NATURAL</u></b>	<b><u>PESO (gramos)</u></b>
Agregado 3/4	10472
Agregado Fino	1062

Tabla 22: Tabla de Peso para la Granulometría antes del secado. Fuente: Elaboración Propia.

Estos moldes son puestos en el horno secándose a 110 C como temperatura constante del horno y se deja por 1 día, los recipientes son retiradas con guantes de protección y cada muestra es debidamente pesada, dando los siguientes resultados:

<b><u>AGREGADO RCD</u></b>	<b><u>PESO (gramos)</u></b>
Agregado 3/4 RCD	4902
Agregado 1 1/2 RCD	15358
Agregado Fino RCD	1032,8
<b><u>AGREGADO NATURAL</u></b>	<b><u>PESO (gramos)</u></b>
Agregado 3/4	10373
Agregado Fino	1028

Tabla 23: Tabla de Peso para la Granulometría después de secada al horno. Fuente: Elaboración Propia.

### 5.2.1.1. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO RCD

Ahora, el agregado será ensayado pasando por los respectivos tamices de acuerdo al agregado a tamizar, según la Norma Técnica Colombiana (NTC) 174, para el agregado fino de RCD es pasado por los tamices #4, #8, #16, #30, #50, #100, y FONDO, obteniendo los siguientes resultado:

AGREGADOS FINOS (ARENA)			
MASA INICIAL (GR) =			1032,8
TAMIZ	ABERTURA	MASA RETENIDA (GR)	PORCENAJE DE ERROR
#4	4,75	64	0,14%
#8	2,36	126,8	
#16	1,18	163,4	
#30	0,6	162,4	
#50	0,3	269,8	
#100	0,15	128	
FONDO		117	
SUMATORIA			1031,4

Tabla 24: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia

Con la información obtenida con la granulometría, se necesita encontrar el porcentaje (%) RETENIDO, porcentaje (%) RETNIDO ACUMULADO y el porcentaje (%) QUE PASA, resultado la siguiente tabla:

AGREGADOS FINOS (ARENA)					
MASA INICIAL (GR) =			1032,8		
TAMIZ	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA (GR)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
#4	4,75	64	6,21%	6,21%	93,79%
#8	2,36	126,8	12,29%	18,50%	81,50%
#16	1,18	163,4	15,84%	34,34%	65,66%
#30	0,6	162,4	15,75%	50,09%	49,91%
#50	0,3	269,8	26,16%	76,25%	23,75%
#100	0,15	128	12,41%	88,66%	11,34%
FONDO		117	11,34%	100,00%	0,00%
SUMATORIA (GR)		1031,4	100,00%		

Tabla 25: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia

El porcentaje que queda retenido (%RETENIDO), se calcula al dividir la masa retenida sobre la masa total de la muestra, el resultado es multiplicado por 100%, el porcentaje que retenido acumulado (% RETENIDO ACUMULADO) se calcula al sumar el porcentaje que queda retenido en el tamiz con el porcentaje que queda retenido en el tamiz anterior, finalmente se calcula el porcentaje que si logra pasar el tamiz al restar el porcentaje retenido (%RETENIDO) al 100%.

Con la información obtenida en la tabla, se logra calcula el Módulo de Finura que es esencial para hacer el diseño de mezcla del concreto que se va a investigar,

AGREGADOS FINOS (ARENA)	
CÁLCULO DE MODULO DE FINURA (MF)	
$MF = \frac{\sum \%RETENIDO ACUMULADO DESDE EL TAMIZ N^{\circ}4 HASTA EL N^{\circ}100}{100}$	
$MF = \frac{6,21 + 12,29 + 15,84 + 15,75 + 26,16 + 12,41 + 11,34 + 100}{100}$	
MODULO DE FINURA	2,7404%

Tabla 26: Tabla de Cálculo del Módulo de Finura del Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia.

Con la información obtenida hasta el momento, se requiere llegar a la gráfica de aceptación del material, esta gráfica consiste en que el porcentaje que pasa el tamiz (%PASA), se encuentra entre los límites suministradas por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 174:

AGREGADOS FINO (ARENA)				
LÍMITES PARA LA GRÁFICA				
TAMIZ	ABERTURA DEL TAMIZ (mm)	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR	% PASA
#4	4,75	100%	95%	93,79%
#8	2,36	100%	80%	81,50%
#16	1,18	85%	50%	65,66%
#30	0,6	60%	25%	49,91%
#50	0,3	30%	10%	23,75%
#100	0,15	10%	2%	11,34%

Tabla 27: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia

Y así obteniendo la siguiente gráfica:

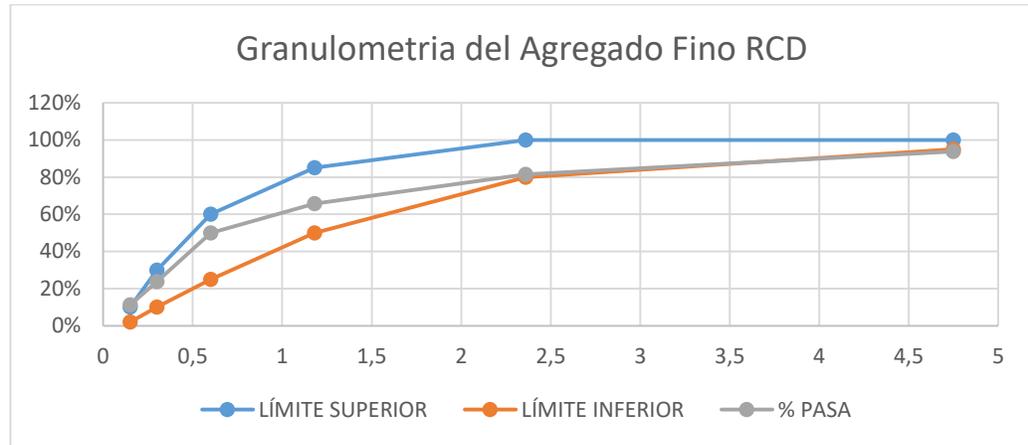


Ilustración 11: Gráfica de Granulometría de acuerdo a los límites. Fuente: Elaboración Propia.

### 5.2.1.2. GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO NATURAL

Este mismo procedimiento se realiza para el Agregado Fino Natural, este agregado se pasa según la Norma Técnica Colombiana (NTC) 174, para el Agregado Fino Natural es pasado por los tamices #4, #8, #16, # 30, #50, # 100, y FONDO, obteniendo los siguientes resultado:

AGREGADOS FINOS (ARENA)			
MASA INICIAL (GR) =			1028
TAMIZ	ABERTURA	MASA RETENIDA (GR)	PORCENAJE DE ERROR
#4	4,75	22,6	0,175%
#8	2,36	74,8	
#16	1,18	215	
#30	0,6	304,4	
#50	0,3	309	
#100	0,15	73	
FONDO		27,4	
SUMATORIA			1026,2

Tabla 28: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia

Con la información obtenida con la granulometría, se necesita encontrar el porcentaje (%) RETENIDO, porcentaje (%) RETENIDO ACUMULADO y el porcentaje (%) QUE PASA, resultado la siguiente tabla:

AGREGADOS FINOS (ARENA)					
MASA INICIAL (GR) =			1032,8		
TAMIZ	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA (GR)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
#4	4,75	22,6	2,20%	2,20%	97,80%
#8	2,36	74,8	7,29%	9,49%	90,51%
#16	1,18	215	20,95%	30,44%	69,56%
#30	0,6	304,4	29,66%	60,11%	39,89%
#50	0,3	309	30,11%	90,22%	9,78%
#100	0,15	73	7,11%	97,33%	2,67%
FONDO		27,4	2,67%	100,00%	0,00%
SUMATORIA (GR)		1026,2	100,00%		

Tabla 29: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia

El porcentaje que queda retenido (%RETENIDO), se calcula al dividir la masa retenida sobre la masa total de la muestra, el resultado es multiplicado por 100%, el porcentaje que retenido acumulado (% RETENIDO ACUMULADO) se calcula al sumar el porcentaje que queda retenido en el tamiz con el porcentaje que queda retenido en el tamiz anterior, finalmente se calcula el porcentaje que si logra pasar el tamiz al restar el porcentaje retenido (%RETENIDO) al 100%.

Se requiere de igual manera, obtener el módulo de Finura del Agregado Fino Natural:

AGREGADOS FINOS (ARENA)	
CÁLCULO DE MODULO DE FINURA (MF)	
$MF = \frac{\sum \%RETENIDO ACUMULADO DESDE EL TAMIZ N^{\circ}4 HASTA EL N^{\circ}100}{100}$	
$MF = \frac{6,21 + 12,29 + 15,84 + 15,75 + 26,16 + 12,41 + 11,34 + 100}{100}$	
MODULO DE FINURA	2,8979%

Tabla 30: Módulo de Finura del Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia

Con la información obtenida hasta el momento, se requiere llegar a la gráfica de aceptación del material, esta gráfica consiste en que el porcentaje que pasa el tamiz (%PASA), se encuentra entre los límites suministradas por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 174:

AGREGADOS FINO (ARENA)				
LÍMITES PARA LA GRÁFICA				
TAMIZ	ABERTURA D	LÍMITE SUPE	LÍMITE INFER	% PASA
#4	4,75	100%	95%	97,80%
#8	2,36	100%	80%	90,51%
#16	1,18	85%	50%	69,56%
#30	0,6	60%	25%	39,89%
#50	0,3	30%	10%	9,78%
#100	0,15	10%	2%	2,67%

Tabla 31: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia

Y así obteniendo la siguiente gráfica:

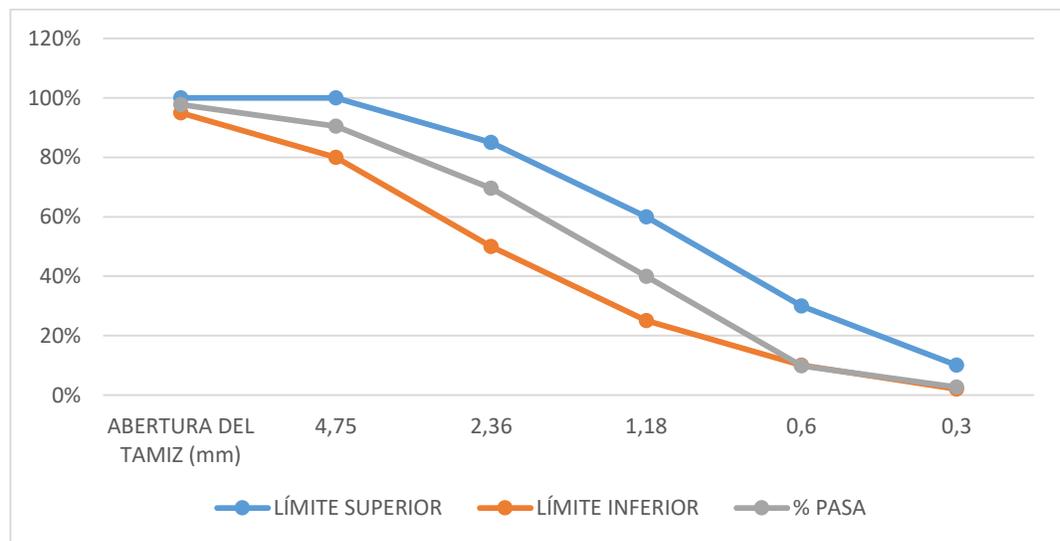


Ilustración 12: Gráfica Granulométrica del Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia.

Con la gráfica, se concluye que el Agregado Fino Natural, cumple con los límites dados por la Norma Técnica Colombia (NTC) 174.

### 5.2.1.3. GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO NATURAL (3/4 )

Este procedimiento se le hace exactamente igual para el Agregado Grueso RCD como para el Agregado Grueso Natural, con la excepción que no se debe buscar obtener un módulo de Finura, sino un Tamaño Máximo Nominal, para poder obtener los límites para sus debidas gráficas, para el Agregado Grueso 3/4 pulgada se obtuvieron los siguientes datos:

AGREGADO GRUESO (3/4)			
MASA INICIAL (GR) =			10373
TAMIZ	ABERTURA	MASA RETEN	PORCENAJE DE ERROR
1 1/2"		0	
1"	25	25,6	0,28%
3/4"	19	1177,6	
1/2"	12,7	3830,6	
3/8"	9,5	2061,6	
#4	4,75	2831,6	
FONDO		417,2	
		SUMATORIA	10344,2

Tabla 32: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Grueso Natural (3/4). Fuente: Elaboración Propia

Al obtener la masa retenida, se calcula el porcentaje %RETENIDO, %RETENIDO ACUMULADO Y EL %PASA:

AGREGADO GRUESO (3/4)					
MASA INICIAL (GR) =			10373		
TAMIZ	ABERTURA (mm)	MASA RETEN	% RETENIDO	% RETENIDO	% PASA
1 1/2"		0	0%	0%	100,00%
1"	25	25,6	0,25%	0,25%	99,75%
3/4"	19	1177,6	11,38%	11,63%	88,37%
1/2"	12,7	3830,6	37,03%	48,66%	51,34%
3/8"	9,5	2061,6	19,93%	68,59%	31,41%
#4	4,75	2831,6	27,37%	95,97%	4,03%
FONDO		417,2	4,03%	100,00%	0,00%
SUMATORIA (GR)		10344,2	100,00%		

Tabla 33: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Grueso Natural (3/4). Fuente: Elaboración Propia

Con los porcentajes obtenido, se obtiene el Tamaño del agregado:

AGREGADO GRUESO (3/4)	
TAMAÑO DEL AGREGADO	
TAMAÑO MÁXIMO	1 1/2"
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	3/4"
TAMAÑO MINIMO	(3/8) ó 9,5 mm

Tabla 34: Tamaño máximo Nominal Agregado Grueso Natural (3/4). Fuente: Elaboración Propia.

Con el tamaño máximo nominal, se analiza en la tabla dada por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 174 y se obtiene los límites que cumplan con el tamaño dado:

Tabla 2. Requisitos de gradación para agregado grueso

Número del tamaño del agregado	Tamaño nominal (tamices de abertura cuadrada)	Material que pasa uno de los siguientes tamices (porcentaje en masa)												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm (No.4)	2,36 mm (No.8)	1,18 mm (No.16)
1	90 mm a 37,5 mm	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37,5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25,0 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
357	50 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-
4	37,5 mm a 19,0 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-
467	37,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-
5	25,0 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-
56	25,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	-	-
57	25,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-
6	19,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-
67	19,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
7	12,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
8	9,5 mm a 2,36 mm (No.8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

Tabla 35: Límites Superior e Inferior para Agregado Grueso. Fuente: NTC 174

Y así, se obtiene la siguiente tabla:

AGREGADO GRUESO (3/4)				
LÍMITES PARA LA GRÁFICA				
TAMIZ	ABERTURA D	LÍMITE SUPE	LÍMITE INFER	% PASA
1 1/2"	37,5	100%		100,00%
1"	25	100%	95%	99,75%
3/4"	19			88,37%
1/2"	12,7	70%	35%	51,34%
3/8"	9,5	30%	10%	31,41%
#4	4,75	5%	0%	4,03%

Tabla 36: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Grueso Natural (3/4). Fuente: Elaboración Propia

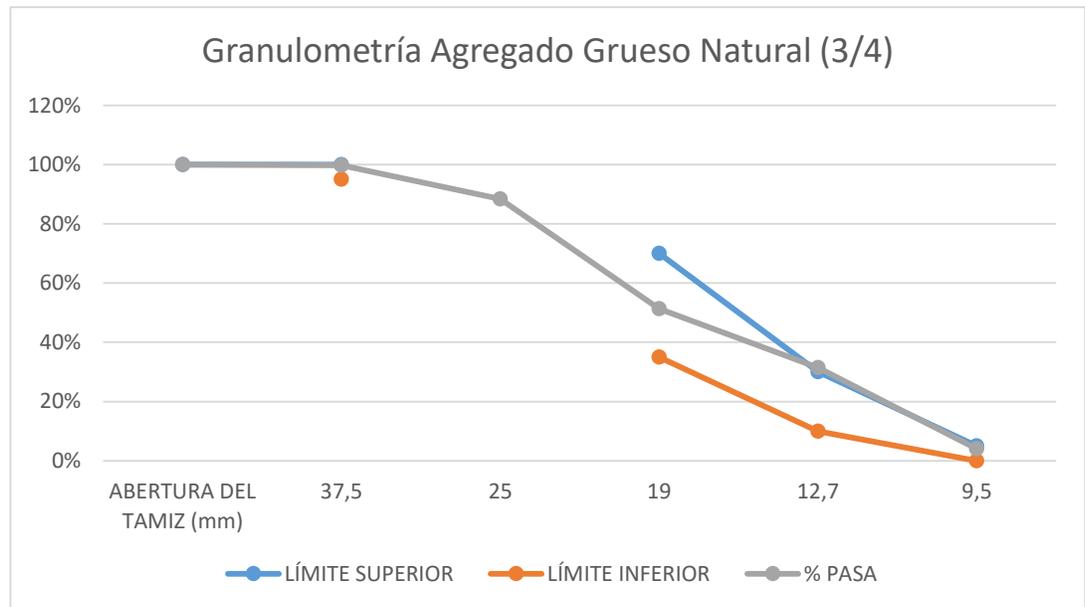


Ilustración 13: Gráfica Granulométrica del Agregado Grueso Natural (3/4). Fuente: Elaboración Propia.

#### 5.2.1.4. GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO RCD (1 ½ PULG)

El mismo procedimiento se realiza para el Agregado Grueso RCD de tamaño 1 ½ pulgada,

AGREGADO GRUESO (1 1/2")				
MASA INICIAL (GR) =			15358	
TAMIZ	ABERTURA	MASA RETENIDA (GR)	PORCENAJE DE ERROR	
2"		0	0,05%	
1 1/2"		0		
1"		11471		
3/4"		3209,4		
1/2"		329,2		
3/8"		27,2		
# 4		38,6		
FONDO		274,8		
SUMATORIA				15350,2

Tabla 37: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia

Al obtener la masa retenida en los tamices, se obtiene los %RETENIDO, %RETENIDO ACUMULADO Y %PASA:

AGREGADO GRUESO (1 1/2")					
MASA INICIAL (GR) =			15358		
TAMIZ	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA (GR)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
2"		0	0,00%	0,00%	100,00%
1 1/2"		0	0,00%	0,00%	100,00%
1"		11471	74,73%	74,73%	25,27%
3/4"		3209,4	20,91%	95,64%	4,36%
1/2"		329,2	2,14%	97,78%	2,22%
3/8"		27,2	0,18%	97,96%	2,04%
# 4		38,6	0,25%	98,21%	1,79%
FONDO		274,8	1,79%	100,00%	0,00%
SUMATORIA (GR)		15350,2	100,00%		

Tabla 38: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia

Con los porcentajes obtenidos, se obtiene el tamaño máximo nominal:

AGREGADO GRUESO (1 1/2")	
TAMAÑO DEL AGREGADO	
TAMAÑO MÁXIMO	1" 0 25,4 mm
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	1 1/2" 0 50,8 mm
TAMAÑO MINIMO	3/4 o 19,05 mm

Tabla 39: Tamaño Máximo Nominal para el Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia.

Y con el tamaño máximo y tamaño máximo nominal, se analiza la tabla dada por la Norma Técnica Colombiana (NTC) 174,

Tabla 2. Requisitos de gradación para agregado grueso

Número del tamaño del agregado	Tamaño nominal (tamices de abertura cuadrada)	Material que pasa uno de los siguientes tamices (porcentaje en masa)												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm (No.4)	2,36 mm (No.8)	1,18 mm (No.16)
1	90 mm a 37,5 mm	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37,5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25,0 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
357	50 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-
4	37,5 mm a 19,0 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-
467	37,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-
5	25,0 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-
56	25,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	-	-
57	25,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-
6	19,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-
67	19,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
7	12,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
8	9,5 mm a 2,36 mm (No.8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

Tabla 40: Tabla de Límites Superior e Inferior para el Agregado Grueso. Fuente: NTC 174

Y se obtiene los límites del agregado Grueso RCD 1 ½ pulgada.

AGREGADO GRUESO (1 1/2)				
LÍMITES PARALA GRÁFICA				
TAMIZ	ABERTURA (mm)	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR	% PASA
2"	50	100%		100,00%
1 1/2"	38,1	100%	90%	100,00%
1"	25,4	55%	25%	25,27%
3/4"	19,5	10%	0%	4,36%
1/2"	12,7	5%	0%	2,22%
3/8"	9,525			2,04%
# 4	4,75			1,79%

Tabla 41: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia

La tabla se gráfica, dando los resultados,

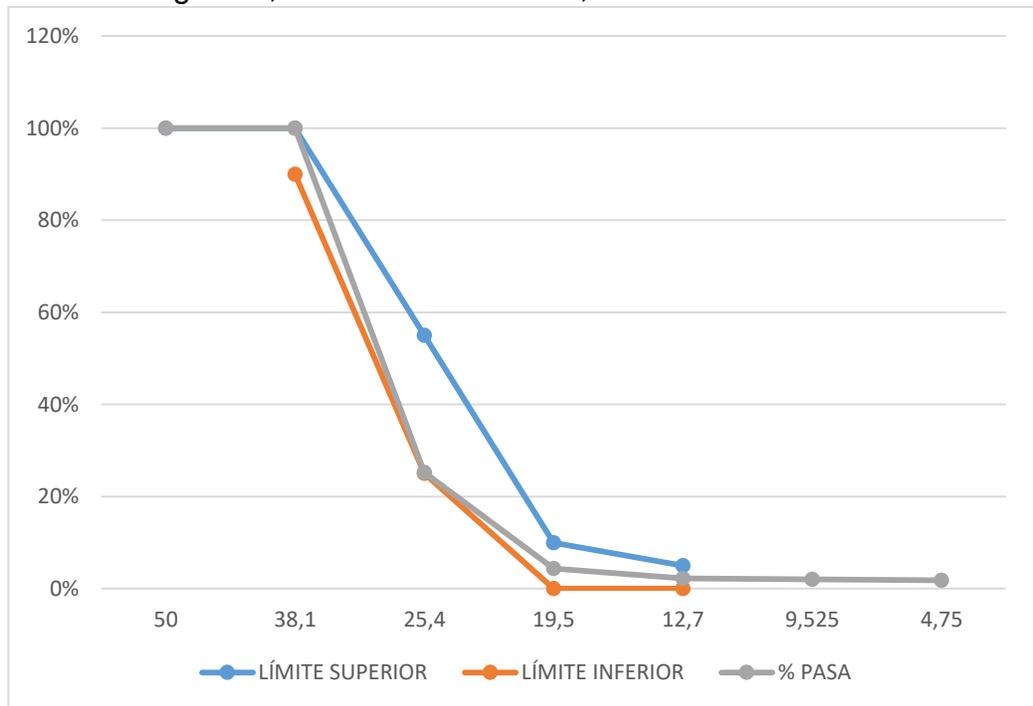


Ilustración 14: Gráfica Granulométrica para el Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia.

### 5.2.1.5. GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO RCD (3/4 PULG)

El mismo procedimiento se hace para el Agregado Grueso RCD de 3/4 pulgada:

AGREGADO GRUESO (3/4)				
MASA INICIAL (GR) =			4902	
TAMIZ	ABERTURA	MASA RETENIDA (GR)	PORCENAJE DE ERROR	DE
1"	25	571	0,04%	
3/4"	19	1406		
1/2"	12,7	1547,6		
3/8"	9,5	671,4		
#4	4,75	611		
FONDO		93,2		
SUMATORIA			4900,2	

Tabla 42: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Grueso RCD (3/4).  
Fuente: Elaboración Propia

Con la masa retenida por tamiz, se calcula el %RETENIDO, %RETENIDOACUMULADO Y EL %PASA

AGREGADO GRUESO (3/4)					
MASA INICIAL (GR) =			4902		
TAMIZ	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA (GR)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
1"	25	571	11,65%	11,65%	88,35%
3/4"	19	1406	28,69%	40,35%	59,65%
1/2"	12,7	1547,6	31,58%	71,93%	28,07%
3/8"	9,5	671,4	13,70%	85,63%	14,37%
#4	4,75	611	12,47%	98,10%	1,90%
FONDO		93,2	1,90%	100,00%	0,00%
SUMATORIA (GR)		4900,2	100,00%		

Tabla 43: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Grueso RCD (3/4).  
Fuente: Elaboración Propia

Con los porcentajes calculado, se obtiene el tamaño máximo nominal y el tamaño máximo:

AGREGADO GRUESO (3/4)	
TAMAÑO DEL AGREGADO	
TAMAÑO MÁXIMO	1" 0 25,4 mm
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	1 1/2"
TAMAÑO MINIMO	(3/8) ó 9,5 mm

Tabla 44: Tamaño Máximo Nominal para el Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.

Y con los tamaños obtenidos, se obtienes lo límites superiores e inferiores de acuerdo a la tabla proporcionada con la Norma Técnica Colombiana (NTC) 174:

Tabla 2. Requisitos de gradación para agregado grueso

Número del tamaño del agregado	Tamaño nominal (tamices de abertura cuadrada)	Material que pasa uno de los siguientes tamices (porcentaje en masa)												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm (No.4)	2,36 mm (No.8)	1,18 mm (No.16)
1	90 mm a 37,5 mm	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37,5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25,0 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
357	50 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-
4	37,5 mm a 19,0 mm	-	-	-	-	100	90-100	-	0-15	-	0-5	-	-	-
467	37,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-
5	25,0 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-
56	25,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	-	-
57	25,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-
6	19,0 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-
67	19,0 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
7	12,5 mm a 4,75 mm (No.4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
8	9,5 mm a 2,36 mm (No.8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

Tabla 45: Tabla de límites Superior e Inferior para Agregado Grueso. Fuente: NTC 174

Y así obtener la tabla:

AGREGADO GRUESO (3/4)				
LÍMITES PARA LA GRÁFICA				
TAMIZ	ABERTURA DEL TAMIZ (mm)	LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR	% PASA
1"	25	100%	90%	88,35%
3/4"	19	85%	40%	59,65%
1/2"	12,7	40%	10%	28,07%
3/8"	9,5	15%	0%	14,37%
#4	4,75	5%	0%	1,90%

Tabla 46: Resultado obtenido de la Granulometría del Agregado Grueso RCD (3/4).  
Fuente: Elaboración Propia

Y lograr encontrar la gráfica,

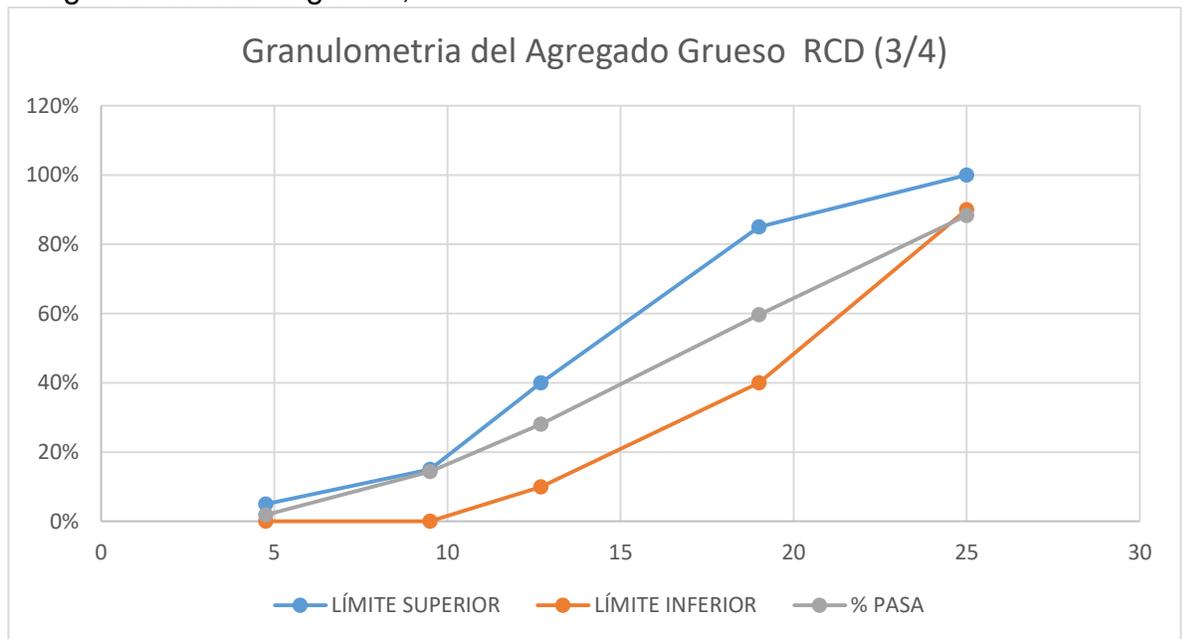


Ilustración 15: Gráfica Granulométrica para el Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.

## 5.2.2. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

De acuerdo a la Norma I.N.V. – 223- 07, se estipula encontrar las características:

$$GRAVEDAD ESPECIFICA BULK = \frac{A}{B - C}$$

*Ecuación 11: Ecuación Gravedad Específica de BULK. Fuente: I.N.V. - 223 - 07*

A : Masa en el aire de la muestra seca (gramos)

B: Masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca (gramos)

C: Masa sumergida en agua de la muestra saturada (gramos)

$$GRAVEDAD ESPECÍFICA_{SSS} = \frac{B}{B - C}$$

*Ecuación 12: Ecuación Gravedad Específica SSS. Fuente: I.N.V. - 223 - 07*

SSS : Saturado - Superficialmente Seca

B : Masa en el aire, muestra de Ensayo Saturada

C : Masa en el Agua de Ensayo Saturada

Densidad del Agua : 1 gr/ cm<sup>3</sup>

$$GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE = \frac{A}{A - C}$$

*Ecuación 13: Ecuación Gravedad Específica Aparente. Fuente: I.N.V. - 223 - 07*

A : Masa del Ensayo Secado en el Horno

C : Masa en el Agua de Ensayo Saturada

Densidad del Agua : 1 gr/ cm<sup>3</sup>

$$\% \text{ ABSORCIÓN} = \left[ \frac{B - A}{A} \right] \times 100\%$$

Ecuación 14: Porcentaje de Absorción. Fuente: I.N.V. - 223 - 07

A : Masa del Ensayo Secado en el Horno

B : Masa en el aire, muestra de Ensayo Saturada

### 5.2.3. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO RCD

Gravedad Especifica Bulk 1 1/2"	Gravedad Especifica Bulk 3/4"
$GRAVEDAD \text{ ESPECÍFICA BULK} = \frac{A}{B - C} = \frac{4798}{5186 - 2881} = 2,08$	$GRAVEDAD \text{ ESPECÍFICA BULK} = \frac{A}{B - C} = \frac{2896}{3210 - 1730} = 1,96$
A : Masa del Ensayo secado en el horno: 4798 gr	A : Masa del Ensayo secado en el horno: 2896 gr
B : Masa en el aire, muestra de Ensayo Saturada : 5186 gr	B : Masa en el aire, muestra de Ensayo Saturada : 3210 gr
C : Masa en el Agua de Ensayo Saturada : 2881 gr	C : Masa en el Agua de Ensayo Saturada : 1730 gr
DENSIDAD APARENTE SSS 1 1/2"	DENSIDAD APARENTE SSS 3/4"
$GRAVEDAD \text{ ESPECÍFICA}_{SSS} = \frac{5186 \text{ GR}}{5186 \text{ GR} - 2881 \text{ GR}} = 2,25$	$GRAVEDAD \text{ ESPECÍFICA}_{SSS} = \frac{3210 \text{ GR}}{3210 \text{ GR} - 1730 \text{ GR}} = 2,17$
B : Masa en el aire, muestra de Ensayo Saturada : 5186 gr	B : Masa en el aire, muestra de Ensayo Saturada : 3210 gr
C : Masa en el Agua de Ensayo Saturada : 2881 gr	C : Masa en el Agua de Ensayo Saturada : 1730 gr
	Densidad del Agua : 1 gr/ cm <sup>3</sup>
DENSIDAD NOMINAL 1 1/2"	DENSIDAD NOMINAL 3/4"
$GRAVEDAD \text{ ESPECÍFICA APARENTE} = \frac{4798 \text{ GR}}{4798 \text{ GR} - 2881 \text{ GR}} = 2,50$	$GRAVEDAD \text{ ESPECÍFICA APARENTE} = \frac{2896 \text{ GR}}{2896 \text{ GR} - 1730 \text{ GR}} = 2,48$
A : Masa del Ensayo secado en el horno: 4798 gr	A : Masa del Ensayo secado en el horno: 2896 gr
C : Masa en el Agua de Ensayo Saturada : 2881 gr	C : Masa en el Agua de Ensayo Saturada : 1730 gr
Densidad del Agua : 1 gr/ cm <sup>3</sup>	Densidad del Agua : 1 gr/ cm <sup>3</sup>
% Absorción 1 1/2"	% Absorción 3/4"
$\% \text{ ABSORCIÓN} = \left[ \frac{5186 \text{ gr} - 4798 \text{ gr}}{4798 \text{ gr}} \right] \times 100\% = 8,09 \%$	$\% \text{ ABSORCIÓN} = \left[ \frac{3210 \text{ GR} - 2896 \text{ GR}}{2896 \text{ GR}} \right] \times 100\% = 10,84 \%$
A : Masa del Ensayo secado en el horno: 4798 gr	A : Masa del Ensayo secado en el horno: 2896 gr
B : Masa en el aire, muestra de Ensayo Saturada : 5186 gr	B : Masa en el aire, muestra de Ensayo Saturada : 3210 gr

Tabla 47: Tabla para Gravedad Especifica Bulk, SSS y Aparente, Porcentaje de Absorción Para el Agregado Grueso RCD. Fuente: Elaboración Propia.

#### 5.2.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN AGREGADO FINO RCD

De acuerdo a las fórmulas planteadas en la norma I.N.V. – 223- 07, se obtiene los siguientes resultados:

Densidad Aparente (BULK)
$GRAVEDAD\ ESPECIFICA\ BULK = \frac{469,6\ gr}{691,2\ gr + 500\ gr - 979,6\ gr} = 2,21$
A : Masa del Ensayo Secado en el Horno : 469,6 gr
B : Peso del Picnometro lleno de Agua : 691, 2 gr
C : Peso del Picnometro con la muestra de agua ensaya saturada : 979,6 gr
S : Masa en el aire de ensayo saturada superficialmente seca : 500 gr
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK SSS
$GRAVEDAD\ ESPECIFICA\ BULK_{SSS} = \frac{500\ gr}{691,2\ gr + 500\ gr - 979,6\ gr} = 2,36$
B : Peso del Picnometro lleno de Agua : 691, 2 gr
C : Peso del Picnometro con la muestra de agua ensaya saturada : 979,6 gr
S : Masa en el aire de ensayo saturada superficialmente seca : 500 gr
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE
$GRAVEDAD\ ESPECIFICA\ APARENTE = \frac{469,6\ GR}{691,2\ GR + 469,6\ GR - 979,6\ GR} = 2,59$
A : Masa del Ensayo Secado en el Horno : 469,6 gr
B : Peso del Picnometro lleno de Agua : 691, 2 gr
C : Peso del Picnometro con la muestra de agua ensaya saturada : 979,6 gr

Y para el porcentaje de Absorción se obtuvo,

% Absorción
$\% ABSORCIÓN = \left[ \frac{500\ gr - 469,6\ gr}{469,6\ gr} \right] \times 100\% = 6,47\%$
A : Masa del Ensayo Secado en el Horno : 469,6 gr
S : Masa en el aire de ensayo saturada superficialmente seca : 500 gr

Tabla 48: Tabla para Gravedad Especifica Bulk, SSS y Aparente, Porcentaje de Absorción Para el Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia.

### 5.2.5. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO NATURAL

Gravedad Específica Bulk
$GRAVEDAD\ ESPECÍFICA\ BULK = \frac{A}{B - C} = \frac{4923}{5000 - 3015} = 2,48$
A : Masa del Ensayo secado en el horno: 4923 gr
B : Masa en el aire, muestra de Ensayo Saturada : 5000 gr
C : Masa en el Agua de Ensayo Saturada : 3015 gr
DENSIDAD APARENTE SSS
$GRAVEDAD\ ESPECÍFICA_{SSS} = \frac{5000\ GR}{5000\ GR - 3015\ GR} = 2,52$
B : Masa en el aire, muestra de Ensayo Saturada : 5000 gr
C : Masa en el Agua de Ensayo Saturada : 3015 gr
DENSIDAD NOMINAL
$GRAVEDAD\ ESPECÍFICA\ APARENTE = \frac{4923\ GR}{4923\ GR - 3015\ GR} = 2,58$
A : Masa del Ensayo secado en el horno: 4923 gr
C : Masa en el Agua de Ensayo Saturada : 3015 gr
% Absorción
$\% ABSORCIÓN = \left[ \frac{5000\ gr - 4923\ gr}{4923\ gr} \right] \times 100\% = 1,56\ \%$
A : Masa del Ensayo secado en el horno: 4923 gr
B : Masa en el aire, muestra de Ensayo Saturada : 5000 gr

Tabla 49: Tabla para Gravedad Específica Bulk, SSS y Aparente, Porcentaje de Absorción Para el Agregado Grueso Natural. Fuente: Elaboración Propia.

## 5.2.6. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN AGREGADO FINO NATURAL

Densidad Aparente (BULK)				
$GRAVEDAD\ ESPECIFICA\ BULK = \frac{490\ gr}{690\ gr + 500\ gr - 997\ gr} = 2,54$				
A : Masa del Ensayo Secado en el Horno : 490 gr				
B : Peso del Picnometro lleno de Agua : 690 gr				
C : Peso del Picnometro con la muestra de agua ensaya saturada : 997 gr				
S : Masa en el aire de ensayo saturada superficialmente seca : 500 gr				
GRAVEDAD ESPECIFICA BULK SSS				
$GRAVEDAD\ ESPECIFICA\ BULK_{SSS} = \frac{500\ gr}{690\ gr + 500\ gr - 997\ gr} = 2,59$				
B : Peso del Picnometro lleno de Agua : 690 gr				
C : Peso del Picnometro con la muestra de agua ensaya saturada : 997 gr				
S : Masa en el aire de ensayo saturada superficialmente seca : 500 gr				
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE				
$GRAVEDAD\ ESPECIFICA\ APARENTE = \frac{490\ GR}{690\ GR + 490\ GR - 997\ GR} = 2,68$				
A : Masa del Ensayo Secado en el Horno : 490 gr				
B : Peso del Picnometro lleno de Agua : 690 gr				
C : Peso del Picnometro con la muestra de agua ensaya saturada : 997 gr				
% Absorción				
$\% ABSORCIÓN = \left[ \frac{500\ gr - 490\ gr}{490\ gr} \right] \times 100\% = 2,04\%$				
A : Masa del Ensayo Secado en el Horno : 490 gr				
S : Masa en el aire de ensayo saturada superficialmente seca : 500 gr				

Tabla 50: Tabla para Gravedad Especifica Bulk, SSS y Aparente, Porcentaje de Absorción Para el Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia.

## 5.2.4. DENSIDAD DE BULK Y PORCENTAJE DE VACÍOS

Este ensayo se realiza de acuerdo a la Normatividad I.N.V. – 217 – 07

### 5.2.4.1. DENSIDAD DE BULK Y PORCENTAJE DE VACÍOS AGREGADO GRUESO 3/4 RCD

Agregado Grueso 3/4 "			
Medidas del molde			
Altura (cm)			30
Diametro (cm)			20,5
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )			9901,907345
Peso (gr)			3976
Masa Suelta 3/4"			
Primero Intento			10771
Segundo Intento			10680
Tercero Intento			10728
Promedio 3/4 masa suelta			10726,33333
$DENSIDAD\ BULK = \frac{Masa\ Suelta\ Promedio}{Volumen\ del\ Molde} = \frac{10726,33333}{9901,907345}$			
Masa Unitaria Suelta (gr/cm <sup>3</sup> )			1,083259312
% Vacios SUELTA 3/4"			
$\%Vacios = \frac{100 * [(S * W) - M]}{[S * W]} = \frac{100 * [(1,95 * 1) - 1,083259312]}{[1,95 * 1]}$			
M: Masa Unitaria del Agregado			
S : Gravedad Especifica de Bulk : 1,95 gr/cm <sup>3</sup>	%Vacios		44,44824043
W: Densidad del Agua: 1 gr/cm <sup>3</sup>			
Agregado Grueso 3/4 "			
Medidas del molde			
Altura (cm)			30
Diametro (cm)			20,5
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )			9901,907345
Peso (gr)			3976
Masa Compacta 3/4"			
Primero Intento			11480
Segundo Intento			11474
Tercero Intento			11477
Promedio 3/4 masa suelta			11477
$DENSIDAD\ BULK = \frac{Masa\ Suelta\ Promedio}{Volumen\ del\ Molde} = \frac{11477}{9901,907345}$			
Masa Unitaria Compacta (gr/cm <sup>3</sup> )			1,159069622
% Vacios COMPACTADA 3/4"			
$\%Vacios = \frac{100 * [(S * W) - M]}{[S * W]} = \frac{100 * [(1,95 * 1) - 1,159069622]}{[1,95 * 1]}$			
M: Masa Unitaria del Agregado			
Gravedad Especifica de Bulk : 1,95 gr/cn	%Vacios		40,56053222
W: Densidad del Agua: 1 gr/cm <sup>3</sup>			

Tabla 51: Masa Suelta, Masa Compacta, Densidad de Bulk y Porcentaje de Vacíos para el Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.

### 5.2.4.2. DENSIDAD DE BULK Y PORCENTAJE DE VACÍOS AGREGADO GRUESO RCD 1 ½

Agregado Grueso 1 1/2"		
Medidas del molde		
Altura (cm)		30
Diametro (cm)		20,5
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )		9901,907345
Peso (gr)		3976
Masa Suelta 1 1/2"		
Primero Intento		10716
Segundo Intento		10849
Tercero Intento		10783
Promedio 3/4 masa suelta		10782,66667
$DENSIDAD\ BULK = \frac{Masa\ Suelta\ Promedio}{Volumen\ del\ Molde} = \frac{10782,66667}{9901,907345}$		
Masa Unitaria Suelta (gr/cm <sup>3</sup> )		1,088948451
% Vacios SUELTA 1 1/2"		
$\%Vacios = \frac{100 * [(S * W) - M]}{[S * W]} = \frac{100 * [(2,08 * 1) - 1,088948451]}{[(2,08 * 1)]}$		
M: Masa Unitaria del Agregado :	%Vacios	47,64670908
S : Gravedad Especifica de Bulk : 2,08 gr/cm <sup>3</sup>		
W: Densidad del Agua: 1 gr/cm <sup>3</sup>		
Agregado Grueso 1 1/2"		
Medidas del molde		
Altura (cm)		30
Diametro (cm)		20,5
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )		9901,907345
Peso (gr)		3976
Masa Compacta 1 1/2"		
Primero Intento		11407
Segundo Intento		11348
Tercero Intento		11377
Promedio 3/4 masa suelta		11377,33333
$DENSIDAD\ BULK = \frac{Masa\ Suelta\ Promedio}{Volumen\ del\ Molde} = \frac{11377,33333}{9901,907345}$		
Masa Unitaria Compacta (gr/cm <sup>3</sup> )		1,149004221
% Vacios COMPACTADA 1 1/2"		
$\%Vacios = \frac{100 * [(S * W) - M]}{[S * W]} = \frac{100 * [(2,08 * 1) - 1,149004221]}{[(2,08 * 1)]}$		
M: Masa Unitaria del Agregado	%Vacios	44,75941246
Gravedad Especifica de Bulk : 2,08 gr/cm <sup>3</sup>		
W: Densidad del Agua: 1 gr/cm <sup>3</sup>		

Tabla 52: Masa Suelta, Masa Compacta, Densidad de Bulk y Porcentaje de Vacíos para el Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia.

### 5.2.4.3. DENSIDAD DE BULK Y PORCENTAJE DE VACÍOS AGREGADO GRUESO NATURAL

Agregado Grueso		
Medidas del molde		
Altura (cm)		18,5
Diametro (cm)		18,5
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )		4952
Peso (gr)		3065
Masa Suelta 3/4"		
Peso Molde +agregado		10444
Peso molde +vidrio		3825
Peso molde + vidrio + agua		8777
Masa Unitaria Suelta		7379
$DENSIDAD\ BULK = \frac{Masa\ Unitaria\ Suelta}{Volumen\ del\ Molde} = \frac{7379}{4952}$		
Masa Unitaria Suelta (gr/cm <sup>3</sup> )		1,490105008
% Vacios SUELTA 3/4"		
$\%Vacios = \frac{100 * [(S * W) - M]}{[S * W]} = \frac{100 * [(2,48 * 1) - 1,490105008]}{[2,48 * 1]}$		
M: Masa Unitaria del Agregado	%Vacios	39,83480853
Gravedad Especifica de Bulk : 2,48 gr/cn		
W: Densidad del Agua: 1 gr/cm <sup>3</sup>		
Agregado Grueso		
Medidas del molde		
Altura (cm)		30
Diametro (cm)		21,3
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )		10022
Peso (gr)		3974
Masa Compacta 3/4"		
Peso del molde +agregado compacto		19166
Peso molde + vidrio		4735
Peso molde + vidrio + agua		14757
Masa Unitaria Compacta		15192
$DENSIDAD\ BULK = \frac{Masa\ Unitaria\ Compacta}{Volumen\ del\ Molde} = \frac{15192}{10022}$		
Masa Unitaria Compacta (gr/cm <sup>3</sup> )		1,515865097
% Vacios COMPACTADA 3/4"		
$\%Vacios = \frac{100 * [(S * W) - M]}{[S * W]} = \frac{100 * [(2,48 * 1) - 1,515865097]}{[2,48 * 1]}$		
M: Masa Unitaria del Agregado	%Vacios	38,87640739
Gravedad Especifica de Bulk : 1,95 gr/cn		
W: Densidad del Agua: 1 gr/cm <sup>3</sup>		

Tabla 53: Masa Suelta, Masa Compacta, Densidad de Bulk y Porcentaje de Vacíos para el Agregado Grueso Natural. Fuente: Elaboración Propia.

## 5.2.5. CONTENIDO DE HUMEDAD

### 5.2.5.1. CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO RCD

AGREGADO FINO	
$H = \frac{M_I - M_F}{M_F} * 100$	
H	Contenido de Humedad
MI	Masa Inicial de la muestra : 1100 gr
MF	Masa Final de la muestra: 1032,8 gr
$H = \frac{1100gr - 1032,8gr}{1032,8gr} * 100$	
H	6,506584043

Tabla 54: Contenido De Humedad para el Agregado Grueso Natural (3/4). Fuente: Elaboración Propia.

### 5.2.5.2. CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO 3/4 RCD

AGREGADO GRUESO 3/4"	
$H = \frac{M_I - M_F}{M_F} * 100$	
H	Contenido de Humedad
MI	Masa Inicial de la muestra: 5000 gr
MF	Masa Final de la muestra: 4902 gr
$H = \frac{5000gr - 4902gr}{4902gr} * 100$	
H	1,999184007

Tabla 55: Contenido De Humedad para el Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.

**5.2.5.3. CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO 1 1/2 RCD**

AGREGADO GRUESO 1 1/2"	
$H = \frac{M_I - M_F}{M_F} * 100$	
H	Contenido de Humedad
MI	Masa Inicial de la muestra: 15500 gr
MF	Masa Final de la muestra: 15358 gr
$H = \frac{15500gr - 15358gr}{15358gr} * 100$	

*Tabla 56: Contenido De Humedad para el Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia.*

**5.2.5.4. CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO NATURAL**

AGREGADO FINO	
$H = \frac{M_I - M_F}{M_F} * 100$	
H	Contenido de Humedad
MI	Masa Inicial de la muestra : 1062 gr
MF	Masa Final de la muestra: 1028 gr
$H = \frac{1062gr - 1028gr}{1028gr} * 100$	
H	3,307392996

*Tabla 57: Contenido De Humedad para el Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia.*

### 5.2.5.5. CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO NATURAL

AGREGADO GRUESO 3/4"	
$H = \frac{M_I - M_F}{M_F} * 100$	
H	Contenido de Humedad
MI	Masa Inicial de la muestra: 10472 gr
MF	Masa Final de la muestra: 10373 gr
$H = \frac{10472gr - 10373gr}{10373gr} * 100$	
H	0,954400848

Tabla 58: Contenido De Humedad para el Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia.

### 5.2.6. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN E IMPACTO DE AGREGADOS GRUESOS, UTILIZANDO LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES NTC 93

#### 5.2.6.1. AGREGADO GRUESO RCD

Proyecto:	MEZCLA DE CONCRETO DERIVADA DE AGREGADOS RCD PARAVIS				
Fecha:	2 de agosto de 2019				
Gradación	Número de esferas	Masa de la carga. g			
A	12	5 000 ± 25			
B	11	4 584 ± 25			
C	8	3 330 ± 20			
D	6	2 500 ± 15			
<b>DATOS SOBRE GRADACIÓN, CARGA ABRASIVA Y REVOLUCIONES</b>					
<b>TAMICES</b>					
PASA		MASA DE LOS TAMAÑOS INDICADOS			
in	mm				
1"	25	1253,8 g			
1/2"	12,5	1250 g			
3/4"	19	1250 g			
3/8"	9,5	1250,6 g			
<b>TOTAL INICIAL</b>		<b>5004,4 g</b>			
<b>Tamaño del tamiz, mm (abertura cuadrada)</b>		<b>Masa de los tamaños indicados, g</b>			
Pasa	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25,0	1 250 ± 25	-	-	-
25,0	19,0	1 250 ± 25	-	-	-
19,0	12,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-	-
12,5	9,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	-	-
9,5	6,3	-	-	2 500 ± 10	-
6,3	4,75	-	-	2 500 ± 10	-
4,75	2,36	-	-	-	5 000 ± 10
Total		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10
<b>MUESTRA</b>		<b>1</b>			
Gradación Usada		1			
Condición de Humedad del Material		SECO			
No. Esferas		12			
No. Revoluciones		1000			
Pa= Masa Muestra seca antes del ensayo		5004,4 g			
Pb= Masa Muestra seca despues del ensayo sobre el Tamiz No. 12		2217 g			
Pa - Pb = Perdida		2787,4 g			
% Desgaste= [(Pa-Pb)/Pa]x100		55,70%			

Tabla 59: Resultado de la Máquina de los Ángeles. Fuente: Elaboración Propia.

### 5.2.6.2. AGREGADO GRUESO CONVENCIONAL

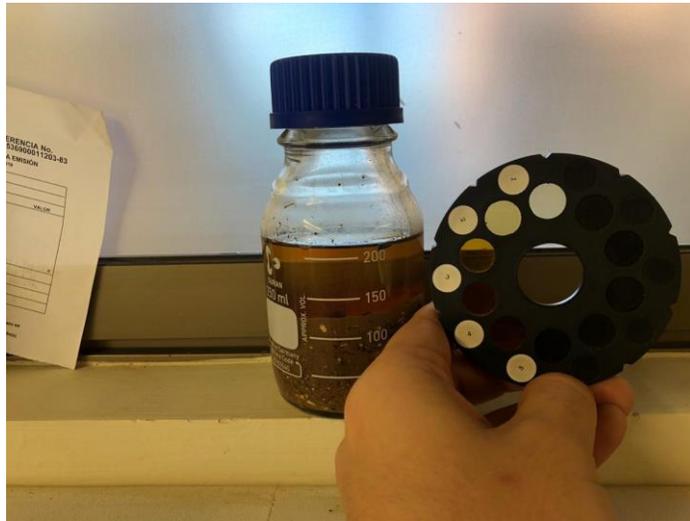
	<b>METODO DE ENSAO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN E IMPACTO DE AGREGADOS GRUESOS, UTILIZANDO LA MAQUINA DE</b>	
Proyecto:	MEZCLA DE CONCRETO DERIVADA DE AGREGADOS RCD PARA VIS	
Fecha:	2 de agosto de 2019	
<b>MUESTRA DE AGREGADO GRUESO 3/4" MEZCLA DE CONCRETO CONVENCIONAL</b>		
	MUESTRA	2
	Gradación Usada	1
	Condición de Humedad del Material	SECO
	No. Esferas	12
	No. Revoluciones	1000
	Pa= Masa Muestra seca antes del ensayo	4992 g
	Pb= Masa Muestra seca despues del ensayo sobre el Tamiz No. 12	2780 g
	Pa - Pb = Perdida	2212 g
	% Desgaste= $[(Pa-Pb)/Pa] \times 100$	<b>44,31%</b>

Tabla 60: Resultados del Ensayo de Desgaste por Medio de la Máquina de los Ángeles. Fuente: Elaboración Propia.

### 5.2.7. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL AGREGADO FINO (NTC 174)

Para realizar este ensayo, es necesario seguir las indicaciones de la Norma Técnica Colombiana (NTC) 174 y la Norma Técnica Colombiana (NTC) 716. Para realizar el ensayo se utilizó botella de vidrio transparente graduada de 350 mililitros con tapón hermético, 97 gramos de Agua, 130 mililitros de Agregado Fino RCD y 3 gramos de Hidróxido de Sodio o Soda Cáustica.

Se llenó el recipiente de vidrio con 130 mililitros de Agregado Fino RCD, y se adiciona 3 gramos de Hidróxido de Sodio y 97 gramos de agua. Se sella la botella graduada con el tapón hermético y se agita hasta mezclar el agua con la soda caustica y se deja reposar por 24 horas.



*Ilustración 16: Resultado del Ensayo para Determinar las Impurezas. Fuente: Elaboración Propia,*

Después de las 24 horas de reposo, se puede observar que el líquido obtuvo un color 3.

#### **5.2.8. RESISTENCIA DE TRACCIÓN INDIRECTA DE LOS CILINDROS DE CONCRETO**

<b>Edad (días)</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>28</b>
<b>Esfuerzo Tracción (Psi) 25% RCD</b>	17,082	22,12	22,52	26,28
<b>Esfuerzo Tracción (Psi) 50% RCD</b>	15,69	17,48	17,68	20,55
<b>Esfuerzo Tracción (Psi) 75% RCD</b>	12,92	15,07	19,21	19,38
<b>Esfuerzo Tracción (Psi) 100% RCD</b>	11,55	13,8	14,9	15,48
<b>Esfuerzo Tracción (Psi) Convencional</b>	22,49	22,96	24,12	28,16

*Tabla 61: Resultados de La Tracción de los Especímenes de Concreto. Fuente: Elaboración Propia.*

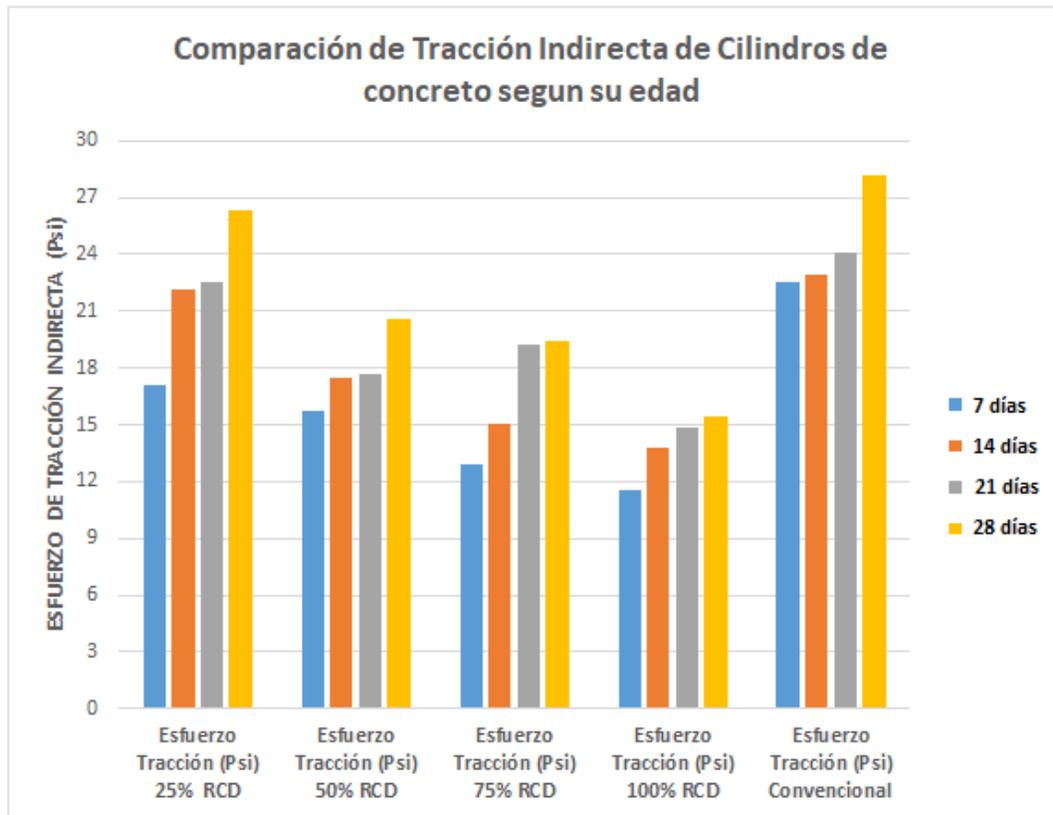


Ilustración 17: Gráfica Comparativa de los Resultados de Tracción en diseño de Mezcla realizado. Fuente: Elaboración Propia.

### 5.3. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

El comité de la ACI desarrollo un procedimiento de diseño de mezclas de concreto bastante simple, en el cual está basado de una seria de tablas elaboradas mediante ensayos de los agregados grueso y fino, donde se permite entrever los valores de diferentes materiales que componen la unidad cubica del concreto.

Para esta investigación se diseñó una mezcla de concreto convencional la cual su fin es servir de testigo para hacer la comparación entre el diseño de la mezcla de concreto de agregados residuales de construcciones. Se utilizara el mismo sistema de parámetros de la ACI para diseñar la mezcla de concreto no convencional, para así analizar el comportamiento físico y mecánico de estos materiales expuestos al mismo comportamiento del diseño de mezcla convencional.

Los factores que se tuvieron en cuenta para el diseño de estas dos mezclas son:

La consistencia: determina la maleabilidad del concreto como fluye durante su colocado afectando la trabajabilidad y que se puede comprobar realizando una prueba de asentamiento o “Slump”.

La generación de calor: a la hora de hidratar el cemento, este genera una elevación de temperatura del concreto entre 5% a 8% por cada 60 kg de cemento en un metro cubico.

La resistencia: a la edad de 28 días donde se frecuenta el parámetro de diseño estructural el concreto debe adquirir su máxima resistencia para ser evaluada.

Relación agua cemento a/c: Según la cantidad neta de agua empleada por la cantidad unitaria de cemento, se ve afectada su resistencia.

Considerando estos factores se llevó a cabo el diseño de las dos mezclas cumpliendo los parámetros que demanda la ACI, en estos sencillos pasos:

### 5.3.1. F'c Y F'cr

La investigación se centra en hallar una mezcla de concreto que cumpla con la NTC – 10 para la construcción de viviendas de interés social (VIS), el parámetro fundamental es la resistencia que debe alcanzar los 3000 psi (21 MPa). Cuando no se tiene registro de la resistencia de probetas correspondientes a obras o ensayos anteriores se debe establece un F'c y un F'cr, como se señala en la siguiente tabla:

F'c	F'cr
Menos de 210	F'r +70
<b>210 - 350</b>	<b>F'c + 84</b>
>350	F'c + 98

Tabla 62: F'c y F'cr. Fuente: Elaboración Propia

Inmediatamente se aplica la fórmula para hallar el F'cr:

$$F'cr = F'c + 84 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F'cr = 210 + 84 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F'cr = 295 \text{ Kg/cm}^2$$

### 5.3.2. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO SE ELIGE DETERMINADO EL TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO

El cálculo del contenido de aire atrapado se elige determinado el tamaño máximo nominal del agregado grueso, donde en este caso el aire atrapado es del 1% para el agregado no convencional y del 2% para el agregado grueso natural.

Tamaño Máximo Nominal del Agregado grueso.	Aire atrapado
3/8 "	3.0 %
1/2 "	2.5 %
3/4 "	2.0 %
1 "	1.5 %
1 1/2 "	1.0 %
2 "	0.5 %
3 "	0.3 %
4 "	0.2 %

Tabla 63: Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso para determinar el aire atrapado. Fuente: Elaboración Propia.

### 5.3.3. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE AGUA

Para el cálculo del contenido de agua se requirió la tabla volumen unitario de agua, en la cual también se tiene en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el asentamiento (slump) determinando una consistencia óptima para el uso de la mezcla de concreto sin aire incorporado. Se estableció que para la mezcla no convencional se requirió 190 L/m<sup>3</sup> y para la mezcla de agregado natural 216 L/m<sup>3</sup>.

Agua en l/m <sup>3</sup> , para los tamaños máx. nominales de agregado grueso y consistencia indicada.								
Asentamiento	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-----
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-----

Tabla 64: Asentamiento de la mezcla. Fuente: Elaboración Propia.

### 5.3.4. LA RELACIÓN AGUA CEMENTO

La relación agua cemento se selecciona a partir de dos criterios con lo que se garantiza las especificaciones que son la resistencia o la durabilidad, para este caso en concreto se utilizó el criterio de la resistencia a la compresión la cual se determina por el  $F'_{cr}$ , tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6.1. Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto.

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS ( $f'_{cr}$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )*	RELACION AGUA/CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

\* Los valores corresponden a resistencias promedio estimadas para concretos que no contengan más del porcentaje de aire mostrado en la tabla 5.1. Para una relación agua/cemento constante, la resistencia del concreto se reduce conforme aumenta el contenido de aire.

Tabla 65. Resistencia a la Compresión. Fuente: NTC

Para este caso no se pudo establecer directamente el valor, entonces se dispuso de la interpolación para hallar el valor con exactitud.

250	→	0,62
295	→	x
300	→	0,55

$$\frac{300 - 295}{0,55 - x} = \frac{300 - 250}{0,55 - 0,62}$$

$$\frac{5}{0,55 - x} = \frac{50}{-0,07}$$

$$\frac{5(-0,07)}{50} = 0,55 - x$$

$$x = 0,557$$

$$A/c = 0,557$$

Teniendo en cuenta la relación agua cemento se pudo establecer el contenido de cemento de la mezcla de concreto, despejando así la ecuación:

$$\text{Contenido de cemento} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{Contenido de agua de mezclado} \left( \frac{\text{lbs}}{\text{m}^3} \right)}{\text{Relacion} \frac{a}{c} \text{ (para F'cr)}}$$

Ecuación 15: Contenido de Cemento. Fuente: ACI.

$$\text{Volomen de cemento} (\text{m}^3) = \frac{\text{Contenido de Cemento} (\text{kg})}{\text{Peso especifico del Cemento} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}$$

Ecuación 16: Volumen del Cemento. Fuente: ACI

DISEÑO CONVENCIONAL	DISEÑO DE MEZCLA CON RCD
$\frac{A}{C} = 0,557$ $\frac{216 \text{ KG}}{C} = 0,557$ $\text{CEMENTO} = \frac{216}{0,557}$	$\frac{A}{C} = 0,557$ $\frac{190 \text{ KG}}{C} = 0,557$ $\text{CEMENTO} = \frac{190}{0,557}$
<b>CEMENTO = 387,79 KG</b>	<b>CEMENTO = 341,11 KG</b>
BULTOS= 7,76 = 8 Bultos de cemento	BULTOS= 6,82 = 7 Bultos de cemento

Tabla 66: Tabla del Cemento en KG y Bultos. Fuente: Elaboración Propia.

### 5.3.5. SE DETERMINÓ EL CONTENIDO DEL AGREGADO GRUESO

Se determinó el contenido del agregado grueso de las dos mezclas mediante la tabla de la ACI, donde los parámetros que infieren son el tamaño máximo del agregado grueso y el módulo de fineza del agregado fino. Igualmente el valor no se logra directamente así que se recurrió otra vez a la interpolación mediante la siguiente tabla:

TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO GRUESO		Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino.			
		MODULO DE FINEZA DEL AGREG. FINO			
mm.	Pulg.	2.40	2.60	2.80	3.00
10	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
20	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
40	1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
70	3"	0.81	0.79	0.77	0.75
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Tabla 67: Tabla del Tamaño Máximo Nominal para tener el Módulo de Fineza adecuado. Fuente: Elaboración Propia.

Seguidamente, se aplicó la siguiente fórmula para hallar el peso seco y el volumen

$$\text{Peso seco del A. Grueso} \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{b}{b^{\circ}} x (\text{Peso unitario compactado del A. Grueso})$$

$$\text{Volumen Agregado Grueso (m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso seco del A. Grueso}}{\text{Peso Esp}^{\circ}\text{cifico del A. Grueso}}$$

Ecuación 17: Volumen del Agregado Grueso. Fuente: ACI



### 5.3.6. ESTABLECER EL VOLUMEN Y EL PESO DEL AGREGADO FINO

Se logró establecer el volumen y el peso del agregado fino, efectuando la sumatoria de los volúmenes absolutos de cada uno de los elementos que conforman la mezcla de concreto.

DISEÑO DE MEZCLA CON RCD	DISEÑO DE MEZCLA CONVENCIONAL
<p>Peso Específico del Cemento 2,9 g/cm<sup>3</sup></p> $\text{Volumen Cemento} = \frac{341,11 \text{ kg}}{2,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 1000} = 0,118 \text{ m}^3$ $\text{Volumen Agua} = \frac{190 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0,190 \text{ m}^3$ $\text{Vol. A. Grueso} = \frac{841,41 \text{ kg}}{(2,203)/3 * 1000} = 0,396 \text{ m}^3$ $\text{Volumen del Aire} = 0,001 \text{ m}^3$ $\sum \text{Vol} = 0,118 + 0,190 + 0,396 + 0,01$ $\sum \text{Vol} = 0,714 \text{ m}^3$ $\text{Volumen Agregado Fino} = 0,286 \text{ m}^3$ $\text{Peso. A. Fino} = 0,286 \left( \frac{(2,21+2,36+2,59)}{3} * 1000 \right) \text{ Peso. A. Fino} = 658,59 \text{ Kg}$	<p>Peso Específico del Cemento 2,9 g/cm<sup>3</sup></p> $\text{Volumen Cemento} = \frac{387,79 \text{ kg}}{2,9 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 1000} = 0,134 \text{ m}^3$ $\text{Volumen Agua} = \frac{216 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0,216 \text{ m}^3$ $\text{Vol. A. Grueso} = \frac{927,792 \text{ kg}}{(2,53)/3 * 1000} = 0,367 \text{ m}^3$ $\text{Volumen del Aire} = 0,001 \text{ m}^3$ $\sum \text{Vol} = 0,134 + 0,216 + 0,367 + 0,01$ $\sum \text{Vol} = 0,727 \text{ m}^3$ $\text{Volumen Agregado Fino} = 0,273 \text{ m}^3$ $\text{Peso. A. Fino} = 0,273(2,60 * 1000)$ $\text{Peso. A. Fino} = 710,71 \text{ Kg}$

Tabla 69: Peso del agregado Fino Natural y RCD. Fuente: Elaboración Propia.

### 5.3.7. HIDRATACIÓN DE LA MEZCLA

La hidratación de la mezcla de concreto forma parte esencial para la adecuada integración de los elementos, razón por la cual se determinó el ajuste por humedad y absorción de cada una de las mezclas. Según la normativa de la ACI el agua efectiva para la mezcla se establece mediante ajustes por medio de estas fórmulas:

$$\text{Peso A. Grueso Humedo (kg)} = (\text{Peso A. Grueso Seco}) \times \left(1 + \frac{\%Wg}{100}\right)$$

*Ecuación 18: Peso Agregado Grueso Húmedo. Fuente: ACI*

$$\text{Peso A. Fino Humedo} = (\text{Peso A. Fino Seco}) \times \left(1 + \frac{\%Wf}{100}\right)$$

*Ecuación 19: Peso Agregado Fino Húmedo. Fuente: ACI*

$$\text{Agua en Agregado Grueso} = (\text{Peso A. Grueso Seco}) \times \left(\frac{\%Wg - \%ag}{100}\right)$$

*Ecuación 20: Agua en Agregado Grueso. Fuente: ACI*

$$\text{Agua en Agregado Fino} = (\text{Peso A. Fino Seco}) \times \left(\frac{\%Wf - \%af}{100}\right)$$

*Ecuación 21: Agua en Agregado Fino. Fuente: ACI*

$$\text{Agua Efectiva (Lts)} = \text{Agua del Diseño} - (\text{Agua en A. grueso} + \text{Agua en A. Fino})$$

*Ecuación 22: Agua Efectiva (Lts). Fuente: ACI*

DISEÑO DE MEZCLA CON RCD	DISEÑO DE MEZCLA CONVENCIONAL
$A. \text{ Fino} = 658,59 \left( \frac{6,51}{100} + 1 \right) = 727,026 \text{ Kg}$ $A. \text{ Grueso} = 841,41 \left( \frac{2}{100} + 1 \right) = 858,26 \text{ kg}$ <p><b>A. Fino</b> <span style="float: right;"><b>A.</b></span> <b>Grueso</b></p> <p>%H= 6,51% <span style="float: right;">%H=</span> 2%</p> <p>%Abs= 6,47% <span style="float: right;">%Abs=</span> 10,84%</p> $Agua \text{ A. Grueso} = \frac{(2 - 10,84) * 858,26}{100} = -75,58 \text{ L}$ $Agua \text{ A. Fino} = \frac{(6,51 - 6,47) * 727,026}{100} = 0,291 \text{ L}$ $\sum \text{ Litros} = -75,58 \text{ litros}$ $Agua \text{ Efectiva} = 216 - (-75,58) = 265,58 \text{ Litros}$	$A. \text{ Fino} = 710,71 \left( \frac{3,307}{100} + 1 \right) = 734,21 \text{ Kg}$ $A. \text{ Grueso} = 927,8 \left( \frac{0,9544}{100} + 1 \right) = 936,65 \text{ kg}$ <p><b>A. Fino</b> <span style="float: right;"><b>A.</b></span> <b>Grueso</b></p> <p>%H= 3,307% <span style="float: right;">%H=</span> 0,954%</p> <p>%Abs= 2,04% <span style="float: right;">%Abs=</span> 1,56%</p> $Agua \text{ A. Grueso} = \frac{(2 - 10,84) * 858,26}{100} = -75,58 \text{ L}$ $Agua \text{ A. Fino} = \frac{(0,9544 - 2,04) * 936,65}{100} = -5,67 \text{ L}$ $\sum \text{ Litros} = 3,63 \text{ litros}$ $Agua \text{ Efectiva} = 216 - (3,63) = 212,37 \text{ L}$

Tabla 70: Agua Efectiva para Agregado Grueso y Fino para Natural y RCD. Fuente: Elaboración Propia.

### 5.3.8. DOSIFICACIÓN

Se calculó la dosificación de ambas mezclas de concreto correspondiente a la caracterización de cada uno de los materiales que las componen para posteriormente realizar la mezcla correspondiente y ensayarla.

DISEÑO DE MEZCLA CON RCD	DISEÑO DE MEZCLA CONVENCIONAL
Cemento: 341,11 Kg	Cemento: 387,79 Kg
Agregado Fino: 727,026 Kg	Agregado Fino: 734,21 Kg
Agregado Grueso: 858,26 Kg	Agregado Grueso: 936,65 Kg
Agua: 266 Litros	Agua: 212 Litros

Tabla 71: Dosificación. Fuente: Elaboración Propia.

### 5.4. ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO

De acuerdo a la Norma Técnica Colombiana (NTC) 550.

Para poder desarrollar los cilindros para determinar la resistencia a compresión, se debe obtener los pesos de cada uno de los materiales a realizar, estos pesos los determina el diseño de mezcla.

- Para la mezcla de concreto con 25% de Residuo de Construcción y Demolición (RCD), el diseño de mezcla determinó:

PORCENTAJE 25% ESCOMBROS		Tabla			
25 Cilindros = 0,0039 m <sup>3</sup>		<b>Cemento</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agua</b>
Desperdicio: 15%		16,93 kg	32,47 kg	41,11 kg	10,15 litros
Volumen Total = 0,045 m <sup>3</sup>					
<b>Mezcla Convencional 75%</b>		<b>Mezcla Escombros 25%</b>			
Volumen = 0,034 m <sup>3</sup>		Volumen = 0,011 m <sup>3</sup>			
<b>Cemento</b>		<b>Cemento</b>			
1 m <sup>3</sup>	→ 387,79 kg	1 m <sup>3</sup>	→ 341,1 kg		
0,034 m <sup>3</sup>	→ x	0,011 m <sup>3</sup>	→ x		
x = 13,18 kg		x = 3,75 kg			
<b>Agregado Fino</b>		<b>Agregado Fino</b>			
1 m <sup>3</sup>	→ 734,21 kg	1 m <sup>3</sup>	→ 628,59 kg		
0,034 m <sup>3</sup>	→ x	0,011 m <sup>3</sup>	→ x		
x = 24,96 kg		x = 7,51 kg			
<b>Agregado Grueso</b>		<b>Agregado Grueso</b>			
1 m <sup>3</sup>	→ 936,65 kg	1 m <sup>3</sup>	→ 841,43 kg		
0,034 m <sup>3</sup>	→ x	0,011 m <sup>3</sup>	→ x		
x = 31,85 kg		x = 9,26 kg			
<b>Agua</b>		<b>Agua</b>			
1 m <sup>3</sup>	→ 212 litros	1 m <sup>3</sup>	→ 266 litros		
0,034 m <sup>3</sup>	→ x	0,011 m <sup>3</sup>	→ x		
x = 7,21 litros		x = 2,93 litros			

Tabla 72: Diseño de Mezcla 25% RCD. Fuente: Elaboración Propia.

<b>Tabla</b>			
<b>Cemento</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agua</b>
<b>16,93 kg</b>	<b>32,47 kg</b>	<b>41,11 kg</b>	<b>10,15 litros</b>

Tabla 73: Dosificación para el Diseño de Mezcla 25% RCD. Fuente: Elaboración Propia.

- Para la mezcla de concreto con 50% de Residuo de Construcción y Demolición (RCD), el diseño de mezcla determinó:

<b>PORCENTAJE 50% ESCOMBROS</b>		<b>Tabla</b>			
25 Cilindros = 0,0039 m <sup>3</sup>		<b>Cemento</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agua</b>
Desperdicio: 15%		<b>16,77 kg</b>	<b>32,59 kg</b>	<b>40,89 kg</b>	<b>11 litros</b>
Volumen Total = 0,045 m <sup>3</sup>		<b>Mezcla Escombros 50%</b>			
<b>Mezcla Convencional 50%</b>		Volumen = 0,023 m <sup>3</sup>			
Volumen = 0,023 m <sup>3</sup>		<b>Cemento</b>			
1 m <sup>3</sup>	→	387,79 kg			
0,023 m <sup>3</sup>	→	x			
x = 8,92 kg					
<b>Agregado Fino</b>					
1 m <sup>3</sup>	→	734,21 kg			
0,023 m <sup>3</sup>	→	x			
x = 16,89 kg					
<b>Agregado Grueso</b>					
1 m <sup>3</sup>	→	936,65 kg			
0,023 m <sup>3</sup>	→	x			
x = 21,54 kg					
<b>Agua</b>					
1 m <sup>3</sup>	→	212 litros			
0,023 m <sup>3</sup>	→	x			
x = 4,88 litros					
		<b>Mezcla Escombros 50%</b>			
		Volumen = 0,023 m <sup>3</sup>			
		<b>Cemento</b>			
1 m <sup>3</sup>	→	341,1 kg			
0,023 m <sup>3</sup>	→	x			
x = 7,85 kg					
		<b>Agregado Fino</b>			
1 m <sup>3</sup>	→	628,59 kg			
0,023 m <sup>3</sup>	→	x			
x = 15,7 kg					
		<b>Agregado Grueso</b>			
1 m <sup>3</sup>	→	841,43 kg			
0,023 m <sup>3</sup>	→	x			
x = 19,35 kg					
		<b>Agua</b>			
1 m <sup>3</sup>	→	266 litros			
0,023 m <sup>3</sup>	→	x			
x = 6,12 litros					

Tabla 74: Diseño de Mezcla 50% RCD. Fuente: Elaboración Propia.

<b>Tabla</b>			
<b>Cemento</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agua</b>
<b>16,77 kg</b>	<b>32,59 kg</b>	<b>40,89 kg</b>	<b>11 litros</b>

Tabla 75: Dosificación para el Diseño de Mezcla 50% RCD. Fuente: Elaboración Propia.

- Para la mezcla de concreto con 75% de Residuo de Construcción y Demolición (RCD), el diseño de mezcla determinó:

PORCENTAJE 75% ESCOMBROS		Tabla			
25 Cilindros = 0,0039 m <sup>3</sup>		<b>Cemento</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agua</b>
Desperdicio: 15%		<b>15,87 kg</b>	<b>31,29 kg</b>	<b>38,91 kg</b>	<b>11,37 litros</b>
Volumen Total = 0,045 m <sup>3</sup>		<b>Mezcla Escobros 75%</b>			
<b>Mezcla Convencional 25%</b>		Volumen = 0,034 m <sup>3</sup>			
Volumen = 0,011 m <sup>3</sup>		<b>Cemento</b>			
1 m <sup>3</sup>	→ 387,79 kg	1 m <sup>3</sup>	→ 341,1 kg		
0,011 m <sup>3</sup>	→ x	0,034 m <sup>3</sup>	→ x		
x = 4,27 kg		x = 11,6 kg			
<b>Agregado Fino</b>		<b>Agregado Fino</b>			
1 m <sup>3</sup>	→ 734,21 kg	1 m <sup>3</sup>	→ 628,59 kg		
0,011 m <sup>3</sup>	→ x	0,034 m <sup>3</sup>	→ x		
x = 8,08 kg		x = 23,21 kg			
<b>Agregado Grueso</b>		<b>Agregado Grueso</b>			
1 m <sup>3</sup>	→ 936,65 kg	1 m <sup>3</sup>	→ 841,43 kg		
0,011 m <sup>3</sup>	→ x	0,034 m <sup>3</sup>	→ x		
x = 10,30 kg		x = 28,61 kg			
<b>Agua</b>		<b>Agua</b>			
1 m <sup>3</sup>	→ 212 litros	1 m <sup>3</sup>	→ 266 litros		
0,011 m <sup>3</sup>	→ x	0,034 m <sup>3</sup>	→ x		
x = 2,33 litros		x = 9,044 litros			

Tabla 76: Diseño de Mezcla 75% RCD. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla			
<b>Cemento</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agua</b>
<b>15,87 kg</b>	<b>31,29 kg</b>	<b>38,91 kg</b>	<b>11,37 litros</b>

Tabla 77: Dosificación para Diseño de Mezcla 75% RCD. Fuente: Elaboración Propia.

- Para la mezcla de concreto con 100% de Residuo de Construcción y Demolición (RCD), el diseño de mezcla determinó:

PORCENTAJE 100% ESCOMBROS		Tabla			
25 Cilindros = 0,0039 m <sup>3</sup>		<b>Cemento</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agua</b>
Desperdicio: 15%		<b>15,35 kg</b>	<b>30,72 kg</b>	<b>37,86 kg</b>	<b>11,97 litros</b>
Volumen Total = 0,045 m <sup>3</sup>		<b>Mezcla Escobros 100%</b>			
<b>Mezcla Convencional 0%</b>		Volumen = 0,045 m <sup>3</sup>			
Volumen = 0 m <sup>3</sup>		<b>Cemento</b>			
1 m <sup>3</sup>	→ 387,79 kg	1 m <sup>3</sup>	→ 341,1 kg		
0 m <sup>3</sup>	→ x	0,045 m <sup>3</sup>	→ x		
x = 0 kg		x = 15,35 kg			
<b>Agregado Fino</b>		<b>Agregado Fino</b>			
1 m <sup>3</sup>	→ 734,21 kg	1 m <sup>3</sup>	→ 628,59 kg		
0 m <sup>3</sup>	→ x	0,045 m <sup>3</sup>	→ x		
x = 0 kg		x = 30,72 kg			
<b>Agregado Grueso</b>		<b>Agregado Grueso</b>			
1 m <sup>3</sup>	→ 936,65 kg	1 m <sup>3</sup>	→ 841,43 kg		
0 m <sup>3</sup>	→ x	0,034 m <sup>3</sup>	→ x		
x = 0 kg		x = 37,86 kg			
<b>Agua</b>		<b>Agua</b>			
1 m <sup>3</sup>	→ 212 litros	1 m <sup>3</sup>	→ 266 litros		
0 m <sup>3</sup>	→ x	0,045 m <sup>3</sup>	→ x		
x = 0 litros		x = 11,97 litros			

Tabla 78: Diseño de Mezcla 100% RCD. Fuente: Elaboración Propia.

<b>Tabla</b>			
<b>Cemento</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agua</b>
<b><u>15,35 kg</u></b>	<b><u>30,72 kg</u></b>	<b><u>37,86 kg</u></b>	<b><u>11,97 litros</u></b>

Tabla 79: Dosificación para Diseño de Mezcla 100% RCD. Fuente: Elaboración Propia.

- Para la mezcla de concreto con 0% de Residuo de Construcción y Demolición (RCD), es decir, testigos de concreto, el diseño de mezcla determinó:

<b>TESTIGOS DE CONCRETO</b>		<b>Tabla</b>			
12 Cilindros = 0,0019 m <sup>3</sup>		<b>Cemento</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agua</b>
Desperdicio: 15%		<b>8,53 kg</b>	<b>16,15 kg</b>	<b>20,61 kg</b>	<b>4,66 litros</b>
Volumen Total = 0,022 m <sup>3</sup>		<b>Mezcla Escombros 0%</b>			
<b>Mezcla Convencional 100%</b>		Volumen = 0 m <sup>3</sup>			
Volumen = 0,022 m <sup>3</sup>		<b>Cemento</b>			
<b>Cemento</b>		1 m <sup>3</sup> → 387,79 kg			
0,022 m <sup>3</sup> → x		0 m <sup>3</sup> → x			
x = 8,53 kg		x = 0 kg			
<b>Agregado Fino</b>		<b>Agregado Fino</b>			
1 m <sup>3</sup> → 734,21 kg		1 m <sup>3</sup> → 628,59 kg			
0,022 m <sup>3</sup> → x		0 m <sup>3</sup> → x			
x = 16,15 kg		x = 0 kg			
<b>Agregado Grueso</b>		<b>Agregado Grueso</b>			
1 m <sup>3</sup> → 936,65 kg		1 m <sup>3</sup> → 841,43 kg			
0,022 m <sup>3</sup> → x		0 m <sup>3</sup> → x			
x = 20,61 kg		x = 0 kg			
<b>Agua</b>		<b>Agua</b>			
1 m <sup>3</sup> → 212 litros		1 m <sup>3</sup> → 266 litros			
0,022 m <sup>3</sup> → x		0 m <sup>3</sup> → x			
x = 4,66 litros		x = 0 litros			

Tabla 80: Diseño de Mezcla 0% RCD (Testigos de Concreto). Fuente: Elaboración Propia.

<b>Tabla</b>			
<b>Cemento</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Agregado Grueso</b>	<b>Agua</b>
<b><u>8,53 kg</u></b>	<b><u>16,15 kg</u></b>	<b><u>20,61 kg</u></b>	<b><u>4,66 litros</u></b>

Tabla 81: Dosificación para el Diseño de Mezcla 0% RCD (Testigos de Concreto). Fuente: Elaboración Propia.

Con los diseños de cada mezcla, se procede a su debida fundida. Se decidió fundir 25 cilindros de cada una de las mezclas con porcentaje de RCD y 12 cilindros del diseño de mezcla convencional.

Los moldes antes de ser llenados con la mezcla, fueron cubiertos con ACPM, para que durante el desenconamiento de los especímenes no se vean afectados por la adherencia de la mezcla.

Se fundieron en total 112 cilindros, y al día siguiente de cada fundida se desencofraron con la ayuda de un compresor, ya que los moldes eran de PVC, y se inició el proceso de curado.

Para determinar el asentamiento, se utilizó la Norma Técnica Colombiana (NTC) 396, donde las indicaciones expresaba que, que durante la mezcla de concreto, antes de llenar los cilindros se debían establecer el asentamiento mediante un molde con forma de cono con dos aberturas, se metía la mezcla en 3 capas, y entre capas se debía compactar la mezcla hasta llegar al tope del molde, con precisión se levantaba el molde, y se medía la distancia que la mezcla se asentaba tomando como referencia el cono, de acuerdo al tipo de mezcla que se deseaba fundir, el asentamiento debía ser de tantos centímetros en el caso de la investigación, el asentamiento debía estar entre 5 cm y 7 cm.

En las imágenes a continuación se mostrará los asentamientos respectivamente:

- Asentamiento de la mezcla de concreto con 25% de Residuos de Construcción y Demolición (RCD):



*Ilustración 18: Asentamiento 25% RCD. Fuente: Elaboración Propia.*

- Asentamiento de la mezcla de concreto con 50% de Residuos de Construcción y Demolición (RCD):



*Ilustración 19: Asentamiento 50% RCD. Fuente: Elaboración Propia.*

- Asentamiento de la mezcla de concreto con 75% de Residuos de Construcción y Demolición (RCD):



*Ilustración 20: Asentamiento 75% RCD. Fuente: Elaboración Propia.*

- Asentamiento de la mezcla de concreto con 100% de Residuos de Construcción y Demolición (RCD):



*Ilustración 21: Asentamiento 100% RCD. Fuente: Elaboración Propia.*

- Asentamiento de la mezcla de concreto con 0% de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), es decir, testigos de concreto:



*Ilustración 22: Asentamiento 0% RCD (Testigos de Concreto). Fuente: Elaboración Propia.*

Los cilindros se mantenían en curado, hasta el día para determinar la resistencia a compresión.

## 5.5. LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

De acuerdo a la Norma Técnica Colombiana (NTC) 673 utilizando la máquina de compresión ubicada en el Laboratorio de Materiales de Construcciones ubicado en el edificio K de la Universidad Pontificia Bolivariana. Los cilindros se fallaron los días 7, 14, 21, 28 días después de ser fundidos y para cada día se determinó fallar 5 cilindros en total de cada mezcla con porcentaje de residuos de construcción y demolición, y 3 cilindros de la mezcla convencional.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (25% DE RCD)				
INTENTOS	7 días (MPa)	14 días (MPa)	21 días (MPa)	28 días (MPa)
1	8,737	13,617	14,317	16,569
2	12,720	14,245	14,429	17,507
3	11,483	11,626	13,905	17,062
4	5,867	10,029	13,039	17,389
5	10,191	13,940	14,923	16,545
<b>PROMEDIO</b>	9,800	12,691	14,120	17,078

Tabla 82: Resistencia a la Compresión 25% RCD. Fuente: Elaboración Propia.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (50% DE RCD)				
INTENTOS	7 días (MPa)	14 días (MPa)	21 días (MPa)	28 días (MPa)
1	9,400	10,191	11,159	11,626
2	8,773	9,545	10,801	11,267
3	9,617	12,075	8,756	12,326
4	8,899	9,581	11,536	13,635
5	9,517	10,083	9,796	11,644
<b>PROMEDIO</b>	9,241	10,295	10,410	12,100

Tabla 83: Resistencia a la Compresión 50% RCD. Fuente: Elaboración Propia.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (75% DE RCD)				
INTENTOS	7 días (MPa)	14 días (MPa)	21 días (MPa)	28 días (MPa)
1	5,652	6,764	9,258	9,437
2	7,428	7,464	9,025	7,822
3	5,813	6,728	9,15	10,388
4	6,19	7,499	9,634	10,191
5	6,746	8,666	10,263	9,939
<b>PROMEDIO</b>	6,366	7,424	9,466	9,555

Tabla 84: Resistencia a la Compresión 75% RCD. Fuente: Elaboración Propia.

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (100% DE RCD)</b>				
<b>INTENTOS</b>	<b>7 días (MPa)</b>	<b>14 días (MPa)</b>	<b>21 días (MPa)</b>	<b>28 días (MPa)</b>
1	5,921	7,822	8,181	9,635
2	6,226	6,674	8,684	7,23
3	6,082	8,092	8,253	7,697
4	7,374	7,015	6,656	7,858
5	6,1	8,271	9,114	10,065
<b>PROMEDIO</b>	6,3406	7,5748	8,1776	8,497

Tabla 85: Resistencia a la Compresión 100% RCD. Fuente: Elaboración Propia.

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (TESTIGOS DE CONCRETO)</b>				
<b>INTENTOS</b>	<b>7 días (MPa)</b>	<b>14 días (MPa)</b>	<b>21 días (MPa)</b>	<b>28 días (MPa)</b>
1	14,281	14,640	14,640	17,701
2	13,510	14,945	14,945	18,726
3	13,133	12,200	14,320	18,323
<b>PROMEDIO</b>	13,641	13,928	14,635	18,250

Tabla 86: Resistencia a la Compresión 0% RCD (Testigos de Concreto). Fuente: Elaboración Propia.

<b>ANÁLISIS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO MUESTRAS CON 25% DE RCD</b>				
<b>Edad (días)</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>28</b>
<b>Altura (cm)</b>	20	20	20	20
<b>Carga Máxima (Kn)</b>	76,97	99,67	101,49	118,42
<b>Carga Máxima (kg)</b>	7848,76	10163,51	10349,1	12075,48
<b>Área(cm<sup>2</sup>)</b>	78,54	78,54	78,54	78,54
<b>Esfuerzo(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	99,93	129,41	131,77	153,74
<b>Esfuerzo (Psi)</b>	1421,37	1840,67	1874,18	2186,88
<b>Esfuerzo (Mpa)</b>	9,80	12,691	12,922	17,078
<b>Esfuerzo Tracción (Psi)</b>	17,082	22,12	22,52	26,28
<b>Porcentaje (25%RCD vs Testigo)</b>	57,37%	74,29%	77,37%	93,23%

Tabla 87: Análisis Resistencia a Compresión 25% RCD. Fuente: Elaboración Propia.

<b>ANALISIS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO MUESTRAS CON 50% DE RCD</b>				
<b>Edad (días)</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>28</b>
<b>Altura (cm)</b>	20	20	20	20
<b>Carga Máxima (Kn)</b>	72,58	80,86	81,76	95,03
<b>Carga Máxima (kg)</b>	7401,1	8245,43	8337,2	9690,36
<b>Área(cm²)</b>	78,54	78,54	78,54	78,54
<b>Esfuerzo(Kg/cm²)</b>	94,23	104,98	106,15	123,38
<b>Esfuerzo (Psi)</b>	1340,29	1493,16	1509,84	1754,96
<b>Esfuerzo (Mpa)</b>	9,241	10,295	10,410	12,10
<b>Esfuerzo Tracción (Psi)</b>	15,69	17,48	17,68	20,55
<b>Porcentaje (50%RCD vs Testigo)</b>	54,09%	60,26%	60,94%	70,83%

*Tabla 88: Análisis Resistencia a Compresión 50% RCD. Fuente: Elaboración Propia.*

<b>ANALISIS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO MUESTRAS CON 75% DE RCD</b>				
<b>Edad (días)</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>28</b>
<b>Altura (cm)</b>	20	20	20	20
<b>Carga Máxima (Kn)</b>	49,99	58,31	74,35	75
<b>Carga Máxima (kg)</b>	5097,56	5945,97	7581,59	7647,87
<b>Área(cm²)</b>	78,54	78,54	78,54	78,54
<b>Esfuerzo(Kg/cm²)</b>	64,90	75,71	96,53	97,38
<b>Esfuerzo (Psi)</b>	923,31	1076,76	1372,93	1385,11
<b>Esfuerzo (Mpa)</b>	6,366	7,424	9,466	9,55
<b>Esfuerzo Tracción (Psi)</b>	12,92	15,07	19,21	19,38
<b>Porcentaje (75%RCD vs Testigo)</b>	37,27%	43,46%	55,41%	55,90%

*Tabla 89: Análisis Resistencia a Compresión 75% RCD. Fuente: Elaboración Propia.*

<b>ANÁLISIS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO MUESTRAS CON 100% DE RCD</b>				
<b>Edad (días)</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>28</b>
<b>Altura (cm)</b>	20	20	20	20
<b>Carga Máxima (Kn)</b>	49,80	59,49	64,23	66,74
<b>Carga Máxima (kg)</b>	5078,19	6066,29	6549,64	6805,59
<b>Área(cm<sup>2</sup>)</b>	78,54	78,54	78,54	78,54
<b>Esfuerzo(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	64,66	77,24	83,39	86,65
<b>Esfuerzo (Psi)</b>	919,68	1098,66	1186,12	1232,39
<b>Esfuerzo (Mpa)</b>	6,341	7,575	8,178	8,497
<b>Esfuerzo Tracción (Psi)</b>	11,55	13,80	14,90	15,48
<b>Porcentaje (100%RCD vs Testigo)</b>	37,12%	44,34%	47,87%	49,74%

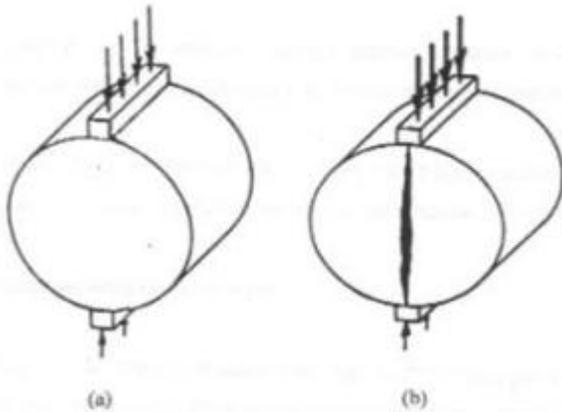
Tabla 90: Análisis Resistencia a Compresión 100% RCD. Fuente: Elaboración Propia.

<b>ANÁLISIS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO MUESTRAS CONVENCIONALES</b>				
<b>Edad (días)</b>	<b>7</b>	<b>14</b>	<b>21</b>	<b>28</b>
<b>Altura (cm)</b>	20	20	20	20
<b>Carga Máxima (Kn)</b>	107,14	109,39	114,94	134,17
<b>Carga Máxima (kg)</b>	10925,24	11154,68	11720,62	13681,53
<b>Área(cm<sup>2</sup>)</b>	78,54	78,54	78,54	78,54
<b>Esfuerzo(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	139,10	142,03	149,23	174,20
<b>Esfuerzo (Psi)</b>	1978,46	2020,09	2122,63	2477,68
<b>Esfuerzo (Mpa)</b>	13,641	13,928	14,635	17,083
<b>Esfuerzo Tracción (Psi)</b>	22,49	22,96	24,12	28,16
<b>Porcentaje (Testigo vs teórico)</b>	64,96%	66,32%	69,69%	86,90%

Tabla 91: Análisis Resistencia a Compresión 0% RCD (Testigos de Concreto). Fuente: Elaboración Propia.

## 5.6. DETERMINACIÓN DE LA TRACCIÓN INDIRECTA DE LOS CILINDROS

Las muestras de cilíndricas de las mezclas de concreto ya curadas a los 28 días y normalizadas en el laboratorio se van a exponer a cargas en un diferente plano. Se elimina el exceso de humedad de la superficie y se dispone el cilindro dentro del dispositivo centrado en cada plato de la prensa a una velocidad de 0,016 Mpa/seg, hasta que se procede a la rotura y obteniendo los datos de las cargas máximas.



*Ilustración 23: Ensayo de Tracción de los Especímenes de Concreto. Fuente: Elaboración Propia.*

<b>DATOS OBTENIDOS DE LA MAQUINA DE LA MAQUINA PARA ENSAYOS DE CONCRETO</b>				
<b>RCD 25%</b>	<b>RCD 50%</b>	<b>RCD 75%</b>	<b>RCD 100%</b>	<b>TESTIGO</b>
Carga: 56,93 Kn	Carga: 44,53 Kn	Carga: 41,99 Kn	Carga: 33,54 Kn	Carga: 61,01 Kn
Esfuerzo: 7,35 Mpa	Esfuerzo: 5,67 Mpa	Esfuerzo: 5,35 Mpa	Esfuerzo: 4,27 Mpa	Esfuerzo: 7,769 MPa

*Ilustración 24: Resultados del Ensayo de Tracción. Fuente: Elaboración Propia.*

Según la normativa I.N.V. E – 411 – 07 el esfuerzo de tracción indirecta de los cilindros de concreto se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Esfuerzo de Tracción Indirecta} = \frac{2P}{\pi Ld}$$

$$T = \text{Esfuerzo de Tracción Indirecta, Kpa} \left( \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \right)$$

$P =$  Carga Maxima Indicada por la Maquina de Ensayo, Kn ( $\square f$ )

$L =$  Longitud del cilindro, m (in)

$d =$  Diametro del cilindro, m (in)

*Ecuación 23: Esfuerzo de Tracción Indirecta. Fuente: NTC*

<b>ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA DE CILINDROS NORMALES DE CONCRETO</b>					
<b>MUESTRAS CILINDRICAS DE CONCRETO</b>	<b>CARGA MAXIMA</b>		<b>DIMENSIONES</b>		<b>Esfuerzo Tracción Indirecta (psi) 28 días</b>
	Kn	Lbf	Longitud (in)	Diámetro (in)	
TESTIGOS	61,01	1371,55	7,87	3,94	28,16
RCD 25%	56,93	1279,84	7,87	3,94	26,28
RCD 50%	44,53	1001,07	7,87	3,94	20,55
RCD 75%	41,99	943,97	7,87	3,94	19,38
RCD 100%	33,54	754	7,87	3,94	15,48

*Tabla 92: Resultado del Ensayo de Tracción. Fuente: Elaboración Propia.*

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 6.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PROVENIENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

En el análisis se realiza una detallada caracterización de cada uno de los ensayos técnicos, comparando las diferencias con el agregado natural convencional y analizando la viabilidad técnica de cada uno de los agregados tanto como de residuos de construcción y demolición (RCD) como de los agregados convencionales.

#### 6.1.1. GRANULOMETRÍA

De acuerdo a la Norma Técnica Colombiana 77, para el Agregado Fino y el Agregado Grueso deben cumplir con la Gráfica Granulométrica. Para cumplir con la gráfica Granulométrica, sus porcentajes que no es retenido debe estar entre los límites superiores e inferior, estos límites se obtienen mediante una tabla dada por la normatividad y sus límites dependen del tamaño máximo nominal.

De no cumplir con los límites, el material deberá ser rechazado.

La gráfica Granulométrica de Agregado Fino y Grueso Natural son:

- Agregado Fino Natural:

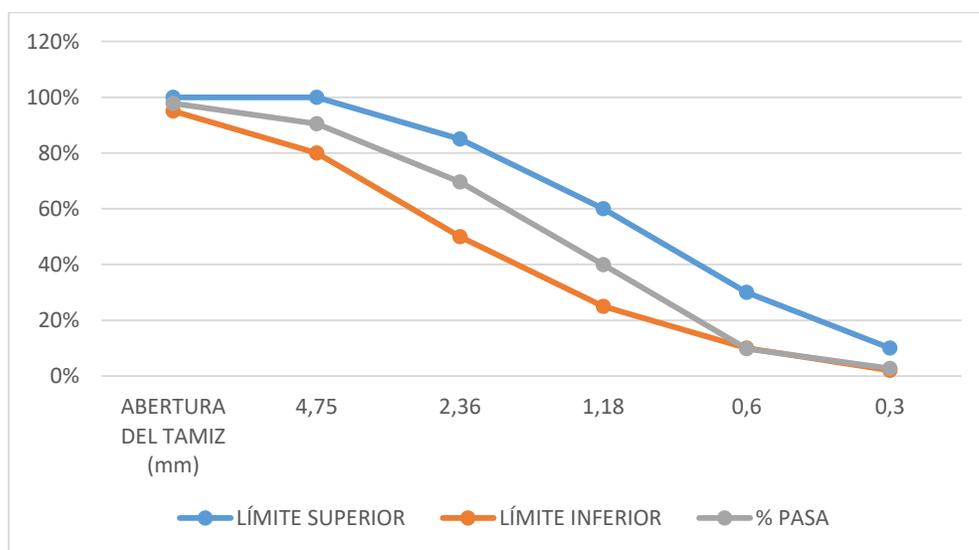
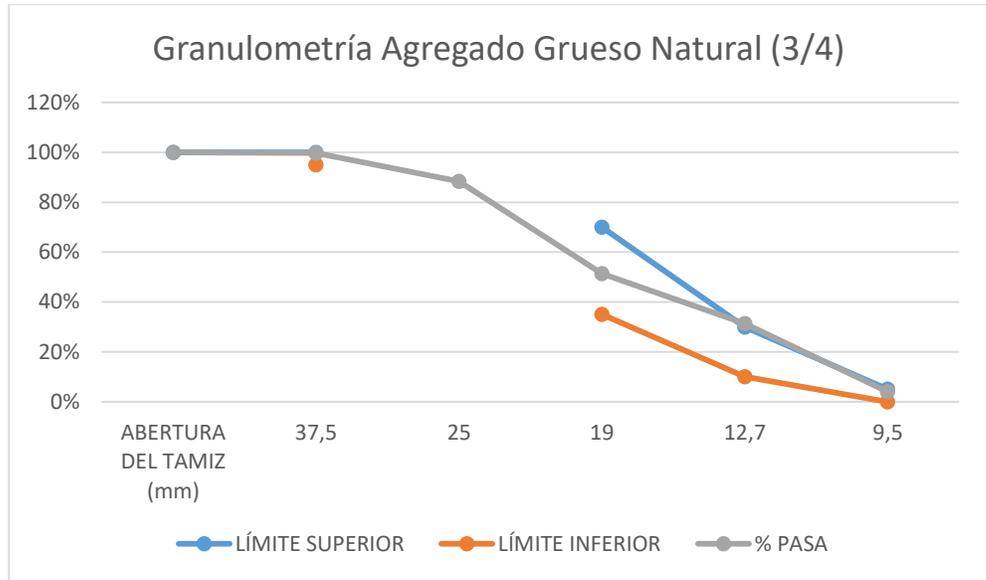


Ilustración 25: Gráfica Granulométrica del Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a la gráfica, el Agregado Fino natural no es objeto de rechazo y se puede utilizar para cualquier mezcla de concreto.

- Agregado Grueso Natural:



*Ilustración 26: Gráfica Granulométrica del Agregado Grueso Natural. Fuente: Elaboración Propia.*

De acuerdo con la gráfica, el material no se rechaza, ya que cumple con los límites.

Las gráficas Granulométrica para los Agregados RCD, tanto como Fino como grueso, dieron de esta manera:

- Gráfica Granulométrica Agregado Grueso RCD (3/4”):

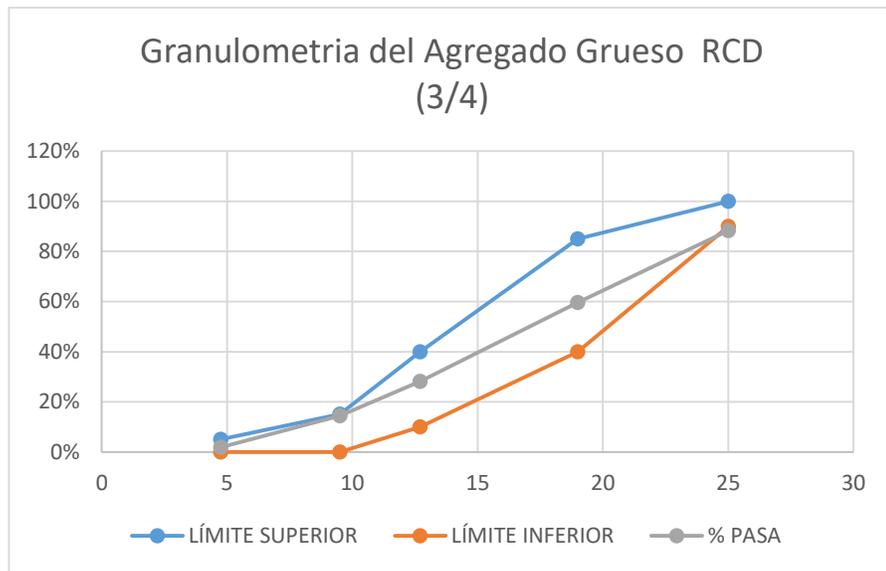


Ilustración 27: Gráfica Granulométrica del Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo con la gráfica, el material no se rechaza, ya que cumple con los límites.

- Gráfica Granulométrica Agregado Grueso RCD (1 1/2"):

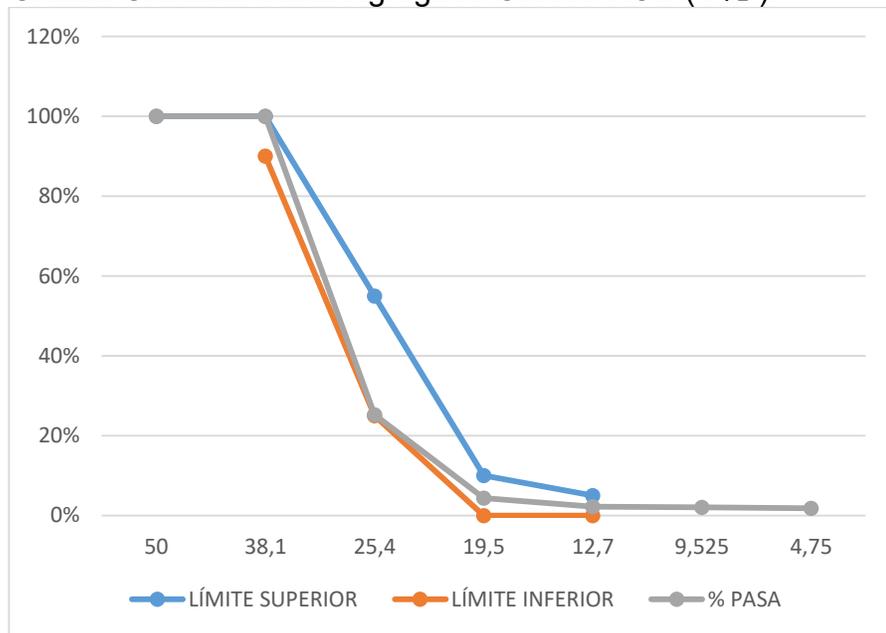
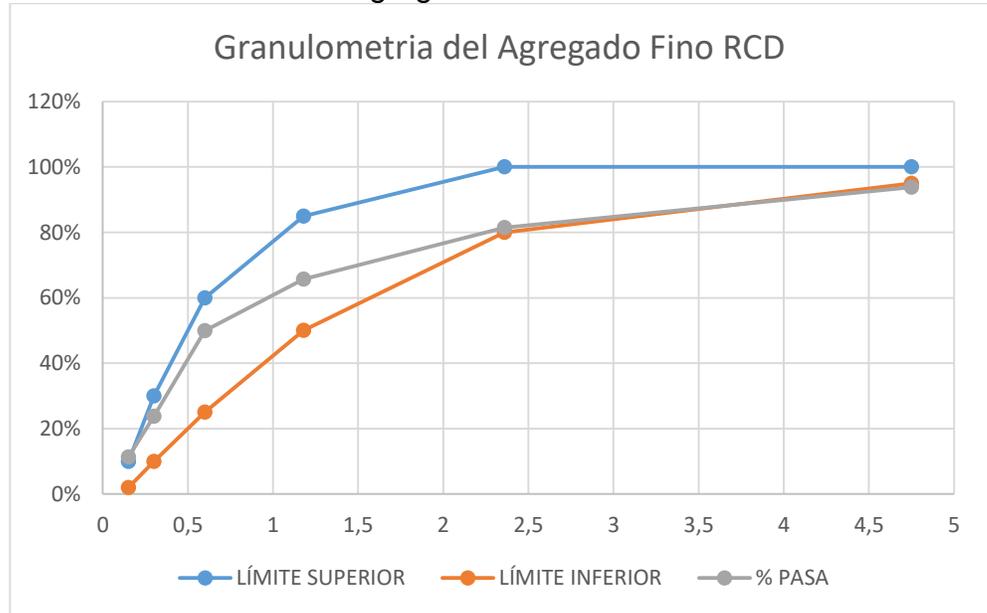


Ilustración 28: Gráfica Granulométrica del Agregado Grueso RCD (1 1/2"). Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo con la gráfica, el material no se rechaza, ya que cumple con los límites.

- Gráfica Granulométrica Agregado Fino RCD:



*Ilustración 29: Gráfica Granulométrica del Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia.*

De acuerdo con la gráfica, el material no se rechaza, ya que cumple con los límites.

Después de analizar cada gráfica, se concluye que cualquier material tanto grueso como fino, son aceptados y cumplen con la normatividad.

Por practicidad en el diseño de mezcla, se decide tomar agregado grueso Natural de  $\frac{3}{4}$ " y Agregado Fino Natural. Como Agregado Grueso RCD ( $\frac{3}{4}$ " y Agregado Fino RCD.

### **6.1.2. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (% ABSORCIÓN)**

La Gravedad Específica, determina la flotabilidad de determinado material. Posee las siguientes condiciones:

- Si la Gravedad Específica es menor a 1, el material va fluctuar en el agua.
- Si la Gravedad Específica es mayor a 1, el material se hunde en el agua.

- Si la Gravedad Específica es igual a 1, el material presenta la misma masa del agua.

Los resultados de las gravedades específicas fueron:

- Gravedad Específica del Agregado Grueso RCD (3/4")

$$GRAVEDAD ESPECIFICA BULK = \frac{A}{B - C} = \frac{4798}{5186 - 2881} = 2,08$$

*Ecuación 24: Gravedad Específica Bulk Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.*

Concluyendo que el material se hunde en el agua.

- Gravedad Específica del Agregado Grueso RCD (1 1/2")

$$GRAVEDAD ESPECIFICA BULK = \frac{A}{B - C} = \frac{2896}{3210 - 1730} = 1,96$$

*Ecuación 25: Gravedad Específica Bulk Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia.*

Concluyendo que el material se hunde en el agua.

- Gravedad Específica del Agregado Fino RCD

$$GRAVEDAD ESPECIFICA BULK = \frac{469,6 \text{ gr}}{691,2 \text{ gr} + 500 \text{ gr} - 979,6 \text{ gr}} = 2,21$$

*Ecuación 26: Gravedad Específica Bulk Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia.*

Concluyendo que el material se hunde en el agua.

- Gravedad Específica del Agregado Grueso Natural (3/4")

$$GRAVEDAD ESPECIFICA BULK = \frac{A}{B - C} = \frac{4923}{5000 - 3015} = 2,48$$

*Ecuación 27: Gravedad Específica Bulk Agregado Grueso Natural. Fuente: Elaboración Propia.*

Concluyendo que el material se hunde en el agua.

- Gravedad Específica del Agregado Fino Natural

$$GRAVEDAD ESPECIFICA BULK = \frac{490 \text{ gr}}{690 \text{ gr} + 500 \text{ gr} - 997 \text{ gr}} = 2,54$$

*Ecuación 28: Gravedad Específica Bulk Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia.*

Concluyendo que el material se hunde en el agua.

Para el Porcentaje de Absorción de cada agregado fueron:

- Porcentaje de absorción Agregado Grueso RCD ( ¾”):

$$\% \text{ ABSORCIÓN} = \left[ \frac{3210 \text{ GR} - 2896 \text{ GR}}{2896 \text{ GR}} \right] \times 100\% = 10,84 \%$$

*Ecuación 29: Porcentaje de Absorción Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.*

De acuerdo, al porcentaje de absorción es del 10,84%, es decir que al momento de hacer el diseño mezcla se requiere más del 10,84% de agua, para mantener la resistencia.

- Porcentaje de absorción Agregado Grueso RCD (1 ½”):

$$\% \text{ ABSORCIÓN} = \left[ \frac{5186 \text{ gr} - 4798 \text{ gr}}{4798 \text{ gr}} \right] \times 100\% = 8,09 \%$$

*Ecuación 30: Porcentaje de Absorción Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia.*

De acuerdo, al porcentaje de absorción es del 8,09%, es decir que al momento de hacer el diseño mezcla se requiere más del 8,09% de agua, para mantener la resistencia.

- Porcentaje de Absorción Agregado Fino RCD:

$$\% \text{ ABSORCIÓN} = \left[ \frac{500 \text{ gr} - 469,6 \text{ gr}}{469,6 \text{ gr}} \right] \times 100\% = 6,47 \%$$

*Ecuación 31: Porcentaje de Absorción Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia.*

De acuerdo, al porcentaje de absorción es del 6,47%, es decir que al momento de hacer el diseño mezcla se requiere más del 6,47% de agua, para mantener la resistencia.

- Porcentaje de Absorción Agregado Grueso (3/4”):

$$\% \text{ ABSORCIÓN} = \left[ \frac{5000 \text{ gr} - 4923 \text{ gr}}{4923 \text{ gr}} \right] \times 100\% = 1,56 \%$$

*Ecuación 32: Porcentaje de Absorción Agregado Grueso Natural (3/4). Fuente: Elaboración Propia.*

De acuerdo, al porcentaje de absorción es del 1,56%, es decir que al momento de hacer el diseño mezcla se requiere más del 1,56% de agua, para mantener la resistencia.

- Porcentaje de Absorción Agregado Fino:

$$\% \text{ ABSORCIÓN} = \left[ \frac{500 \text{ gr} - 490 \text{ gr}}{490 \text{ gr}} \right] \times 100\% = 2,04 \%$$

*Ecuación 33: Porcentaje de Absorción Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia.*

De acuerdo, al porcentaje de absorción es del 2,04%, es decir que al momento de hacer el diseño mezcla se requiere más del 2,04% de agua, para mantener la resistencia.

De igual manera se puede observar, la diferencia de absorción que hay entre en el RCD y el convencional. En el RCD esa absorción se aumenta casi 4 veces la del agregado natural, primero por la presencia de diferentes partículas, con diferentes porcentajes de absorción, en el RCD incluía el ladrillo, que presenta una absorción bastante alta en comparación a la de la piedra natural.

### 6.1.3. DENSIDAD DE BULK Y PORCENTAJE DE VACÍOS(%VACÍOS)

La densidad de Bulk, es empleada para la selección de proporciones para la mezcla.

- Densidad de Bulk Agregados Grueso 3/4 Natural

$DENSIDAD \ BULK = \frac{Masa \ Unitaria \ Suelta}{Volumen \ del \ Molde} = \frac{7379}{4952}$	
Masa Unitaria Suelta (gr/cm <sup>3</sup> )	1,490105008
$DENSIDAD \ BULK = \frac{Masa \ Unitaria \ Compacta}{Volumen \ del \ Molde} = \frac{15192}{10022}$	
Masa Unitaria Compacta (gr/cm <sup>3</sup> )	1,515865097

*Ecuación 34: Densidad Bulk Agregado Grueso Natural. Fuente: Elaboración Propia.*

- Densidad de Bulk Agregado Grueso RCD (3/4")

$DENSIDAD\ BULK = \frac{Masa\ Suelta\ Promedio}{Volumen\ del\ Molde} = \frac{10726,33333}{9901,907345}$	
Masa Unitaria Suelta (gr/cm <sup>3</sup> )	1,083259312

$DENSIDAD\ BULK = \frac{Masa\ Suelta\ Promedio}{Volumen\ del\ Molde} = \frac{11477}{9901,907345}$	
Masa Unitaria Compacta (gr/cm <sup>3</sup> )	1,159069622

*Ecuación 35: Densidad Bulk Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.*

- Densidad de Bulk Agregado Grueso RCD (1 ½)

$DENSIDAD\ BULK = \frac{Masa\ Suelta\ Promedio}{Volumen\ del\ Molde} = \frac{10782,66667}{9901,907345}$	
Masa Unitaria Suelta (gr/cm <sup>3</sup> )	1,088948451
$DENSIDAD\ BULK = \frac{Masa\ Suelta\ Promedio}{Volumen\ del\ Molde} = \frac{11377,33333}{9901,907345}$	
Masa Unitaria Compacta (gr/cm <sup>3</sup> )	1,149004221

*Ecuación 36: Densidad Bulk Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia.*

Se aprecia, que la Densidad de Bulk en los agregados RCD, son más pequeñas por lo que los agregados RCD, vienen en diferentes formas y masa, tienden a acomodarse y compactarse mejor, que los agregados naturales, exigiendo mayores cantidades.

Estos valores son necesario para las conformaciones en el momento de diseñar la mezcla de concreto.

Para el Porcentaje de Vacíos dieron los siguientes resultados:

- Porcentaje de Vacíos Agregado Grueso Natural:

% Vacios SUELTA 3/4"		
$\%Vacios = \frac{100 * [(S * W) - M]}{[S * W]} = \frac{100 * [(2,48 * 1) - 1,490105008]}{[2,48 * 1]}$		
M: Masa Unitaria del Agregado	%Vacios	39,83480853
Gravedad Especifica de Bulk : 2,48 gr/cn		
W: Densidad del Agua: 1 gr/cm <sup>3</sup>		

% Vacios COMPACTADA 3/4"		
$\%Vacios = \frac{100 * [(S * W) - M]}{[S * W]} = \frac{100 * [(2,48 * 1) - 1,515865097]}{[2,48 * 1]}$		
M: Masa Unitaria del Agregado	%Vacios	38,87640739
Gravedad Especifica de Bulk : 1,95 gr/cn		
W: Densidad del Agua: 1 gr/cm <sup>3</sup>		

*Ecuación 37: Porcentaje de Vacíos Agregado Grueso Natural. Fuente: Elaboración Propia.*

- Porcentaje de Vacíos Agregado Grueso RCD (3/4):

% Vacios COMPACTADA 3/4"		
$\%Vacios = \frac{100 * [(S * W) - M]}{[S * W]} = \frac{100 * [(1,95 * 1) - 1,159069622]}{[1,95 * 1]}$		
M: Masa Unitaria del Agregado	%Vacios	40,56053222
Gravedad Especifica de Bulk : 1,95 gr/cn		
W: Densidad del Agua: 1 gr/cm <sup>3</sup>		
% Vacios SUELTA 3/4"		
$\%Vacios = \frac{100 * [(S * W) - M]}{[S * W]} = \frac{100 * [(1,95 * 1) - 1,083259312]}{[1,95 * 1]}$		
M: Masa Unitaria del Agregado	%Vacios	44,44824043
S : Gravedad Especifica de Bulk : 1,95 gr/cm <sup>3</sup>		
W: Densidad del Agua: 1 gr/cm <sup>3</sup>		

*Ecuación 38: Porcentaje de Vacíos Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.*

- Porcentaje de Vacíos Agregado Grueso RCD ( 1 1/2):

% Vacios COMPACTADA 1 1/2"		
$\%Vacios = \frac{100 * [(S * W) - M]}{[S * W]} = \frac{100 * [(2,08 * 1) - 1,149004221]}{[(2,08 * 1)]}$		
M: Masa Unitaria del Agregado	%Vacios	44,75941246
S: Gravedad Específica de Bulk : 2,08 gr/cm		
W: Densidad del Agua: 1 gr/cm <sup>3</sup>		

% Vacios SUELTA 1 1/2"		
$\%Vacios = \frac{100 * [(S * W) - M]}{[S * W]} = \frac{100 * [(2,08 * 1) - 1,088948451]}{[(2,08 * 1)]}$		
M: Masa Unitaria del Agregado :	%Vacios	47,64670908
S : Gravedad Específica de Bulk : 2,08 gr/cm <sup>3</sup>		
W: Densidad del Agua: 1 gr/cm <sup>3</sup>		

*Ecuación 39: Porcentaje de Vacíos Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia.*

Para el Porcentaje de Vacíos, se observa que en los agregados RCD, presenta mayor porcentaje de vacíos que el natural, por su heterogeneidad de los agregados, y es importante el valor, ya que se podría absorber mas agua de lo común, llegando afectar de manera considerable la resistencia si no se controla.

Se pudo percibir que la densidad es ligeramente afectada entre los agregados de RCD y los agregados naturales, esto se debe a que las partículas de mortero poseen una mayor porosidad respecto a las piedras naturales lo cual genera esta leve disminución.

#### 6.1.4. CONTENIDO DE HUMEDAD

- Agregado Fino Natural

$H = \frac{1062gr - 1028gr}{1028gr} * 100$	
H	3,307392996

*Ecuación 40: Contenido de Humedad Agregado Fino Natural. Fuente: Elaboración Propia.*

- Agregado Grueso Natural (3/4)

$H = \frac{10472gr - 10373gr}{10373gr} * 100$	
H	0,954400848

*Ecuación 41: Contenido de Humedad Agregado Grueso Natural. Fuente: Elaboración Propia.*

- Agregado Fino RCD

$H = \frac{1100gr - 1032,8gr}{1032,8gr} * 100$	
H	6,506584043

*Ecuación 42: Contenido de Humedad Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia.*

- Agregado Grueso RCD (3/4)

$H = \frac{5000gr - 4902gr}{4902gr} * 100$	
H	1,999184007

*Ecuación 43: Contenido de Humedad Agregado Grueso RCD (3/4). Fuente: Elaboración Propia.*

- Agregado Grueso RCD ( 1 ½)

$H = \frac{15500gr - 15358gr}{15358gr} * 100$	
H	0,924599557

*Ecuación 44: Contenido de Humedad Agregado Grueso RCD (1 1/2). Fuente: Elaboración Propia.*

De los resultados obtenidos, se puede observar que el Agregado Fino Natural, Agregado Fino RCD, y el Agregado Grueso RCD (3/4) aportará agua de más a la mezcla, a diferencia del agregado Grueso Natural (3/4) y el agregado Grueso (1 ½) el aporte de agua el diseño de mezcla que el aporte de agua es menor.

#### 6.1.5. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA LA DESGASTE POR ABRASIÓN E IMPACTO DE AGREGADOS GRUESOS, UTILIZANDO LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

MUESTRA	1
Gradación Usada	1
Condición de Humedad del Material	SECO
No. Esferas	12
No. Revoluciones	1000
Pa= Masa Muestra seca antes del ensayo	5004,4 g
Pb= Masa Muestra seca despues del ensayo sobre el Tamiz No. 12	2217 g
Pa - Pb = Perdida	2787,4 g
% Desgaste= [(Pa-Pb)/Pa]x100	55,70%

*Tabla 93: Resultado del Desgaste en la Máquina de los Ángeles. Fuente: Elaboración Propia.*

	METODO DE ENSAO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN E IMPACTO DE AGREGADOS GRUESOS, UTILIZANDO LA MAQUINA DE	
	Proyecto: MEZCLA DE CONCRETO DERIVADA DE AGREGADOS RCD PARA VIS	
Fecha:	2 de agosto de 2019	
MUESTRA DE AGREGADO GRUESO 3/4" MEZCLA DE CONCRETO CONVENCIONAL		
	MUESTRA	2
	Gradación Usada	1
	Condición de Humedad del Material	SECO
	No. Esferas	12
	No. Revoluciones	1000
	Pa= Masa Muestra seca antes del ensayo	4992 g
	Pb= Masa Muestra seca despues del ensayo sobre el Tamiz No. 12	2780 g
	Pa - Pb = Perdida	2212 g
	% Desgaste= $\frac{(Pa-Pb)}{Pa} \times 100$	44,31%

Tabla 94: Resultado de la Máquina de los Ángeles para Agregados Naturales (3/4).  
Fuente: Elaboración Propia.

El Agregado Grueso, está en 5% por encima del máximo permisible que es el 50%.

Según la practica hecha en el laboratorio de materiales de construcción se obtuvo las resistencias al desgaste de los agregados que se utilizaron para la producción de las mezclas de concreto. Se analizó cada uno de los agregados, el triturado natural y el agregado residual de construcciones y demoliciones donde fueron expuestos con una gradación tipo A, la cual presento una distribución granulométrica óptima. La primera muestra del agregado RCD 3/4 " pesa 5004,4 gramos y presentó un porcentaje de desgaste del 55,70% y la segunda muestra de agregado natural pesa 4992,2 gramos y presentó un porcentaje de desgaste del 44,31%. Algunas especificaciones delimitan los porcentajes de desgaste, por este motivo estos materiales son aptos para ser usados como agregados del concreto, entre menor sea este porcentaje mayor será la resistencia de la mezcla de concreto por ende estos agregados pueden ser catalogados como regulares.

El agregado RCD se justifica su alto grado de desgaste por el alto contenido de ladrillo y cerámica, que no poseen características físicas de alta resistencia. El agregado grueso natural presenta un alto grado de desgaste que no es habitual puede que este material derive de extracciones comunes que no presentan un tratamiento adecuado o de lugares que no poseen un nivel apropiado para la producción y almacenamiento del agregado.

### 6.1.6. ENSAYO DE TRACCIÓN INDIRECTA DE LOS ESPECÍMENES DE CONCRETO

El ensayo de tracción indirecta proporciona casi la misma variación porcentual de la resistencia que se obtiene en el ensayo de compresión de los cilindros. Visualmente se pudo comprobar la adherencia de los materiales dentro de la mezcla de concreto, donde se logra percibir que la mezcla de concreto convencional producida por materiales naturales, el agregado grueso tiende a fragmentarse y no se mantiene compacto a la mezcla. En donde la falla que se forma dentro del cilindro es llana y el agregado grueso no logra resistir la carga que se efectúa sobre su área de contacto. Se obtiene casi la misma textura de la falla en la muestra de concreto con RCD, diferenciando que el agregado grueso que se usó en la mezcla de concreto convencional tiene mejores características físicas y de resistencia.



*Ilustración 30: Resultado de la Tracción Indirecta de los Especímenes de Concreto. Fuente: Elaboración Propia.*

### 6.1.7. ENSAYO DE CONTENIDO DE MATERIA INORGÁNICA EN AGREGADO FINO



*Ilustración 31: Ensayo de Impurezas Inorgánicas del Agregado Fino RCD. Fuente: Elaboración Propia.*

Según el ensayo del contenido aproximado de materia orgánica para la preparación de concretos se dispusieron los agregados dentro de cada uno de los recipientes con hidróxido de sodio donde se determinó el color adquirido por el reactivo mediante la tabla colorimétrica. Donde el agregado fino residual adquirió el color de la placa orgánica No. 1 donde se evidencia que el material está casi completamente libre de materia orgánica, esto se debe a que el material ya fue procesado en otro tipo de actividades y no es proveniente de materias primas. El agregado fino natural adquirió un color de placa orgánica No. 3 que está cerca del límite estándar para poder ser utilizado en una mezcla de concreto, esto se debe a que el material fue extraído de una quebrada o un río que contiene niveles de contaminación o no tuvo un tratamiento de limpieza adecuado.

## **6.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO**

En el diseño de mezcla de RCD, se logra diferenciar los altos porcentajes de humedad y absorción del agregado residual respecto a los agregados naturales. Motivo por el cual la diferencia entre el ajuste por humedad y absorción de los diseños es de 71,95 litros, esto genera un conflicto en la relación de agua cemento, disminuyendo la resistencia por el alto contenido de agua en la mezcla de concreto RCD y aumentando el costo de la mezcla por el contenido de agua.

Fabricando las mezclas de concreto con los agregados RCD, se percibió que el concreto no cumplía con el ensayo de “slump” (asentamiento), así que se adiciono más agua a la mezcla, esto ocurre por el alto grado de absorción que poseen los elementos que conforman los escombros. El adicionamiento de agua fue proporcionalmente ascendiendo respecto a los porcentajes de RCD en la mezcla, la mezcla de concreto con RCD de 25% se añadió 0,5 litros, la RCD 50% se añadió 1 litro, a la RCD 75% se añadió 1,5 litros y a la RCD 100% se añadió 2 litros, un alza de 0,5 litros cada 25% de escombros adicionados a la mezcla.

### 6.3. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE CONCRETO:

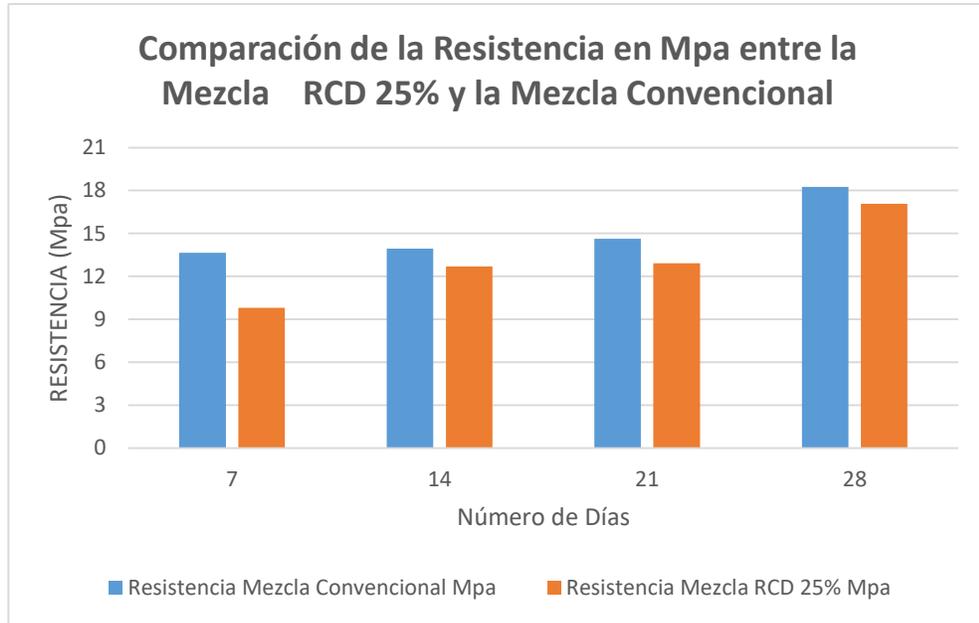


Ilustración 32: Comparación de la Resistencia 25% RCD Vs. Convencional. Fuente: Elaboración Propia.

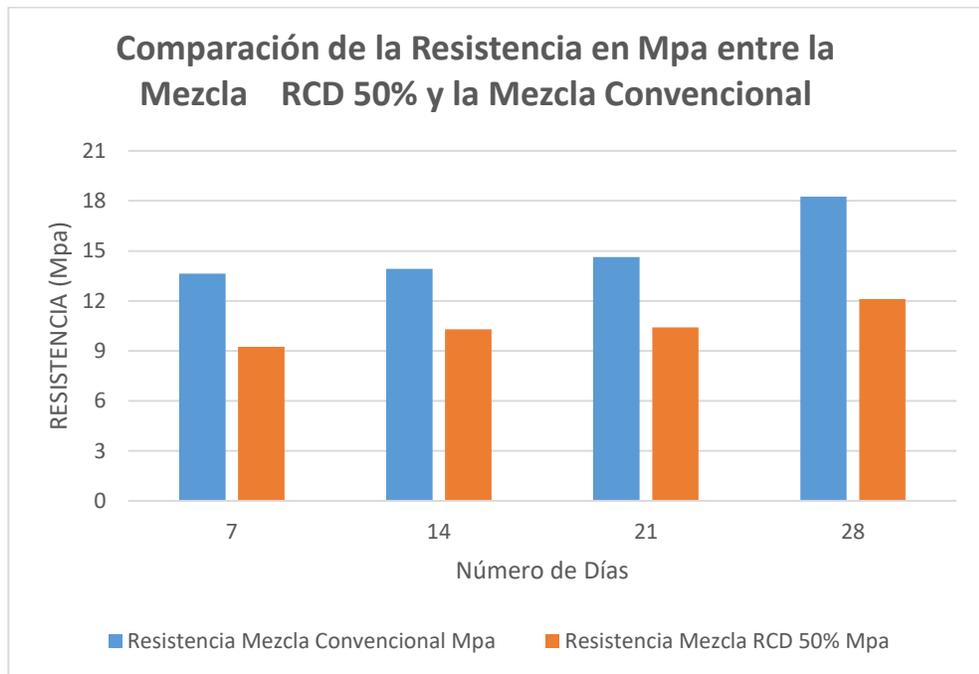
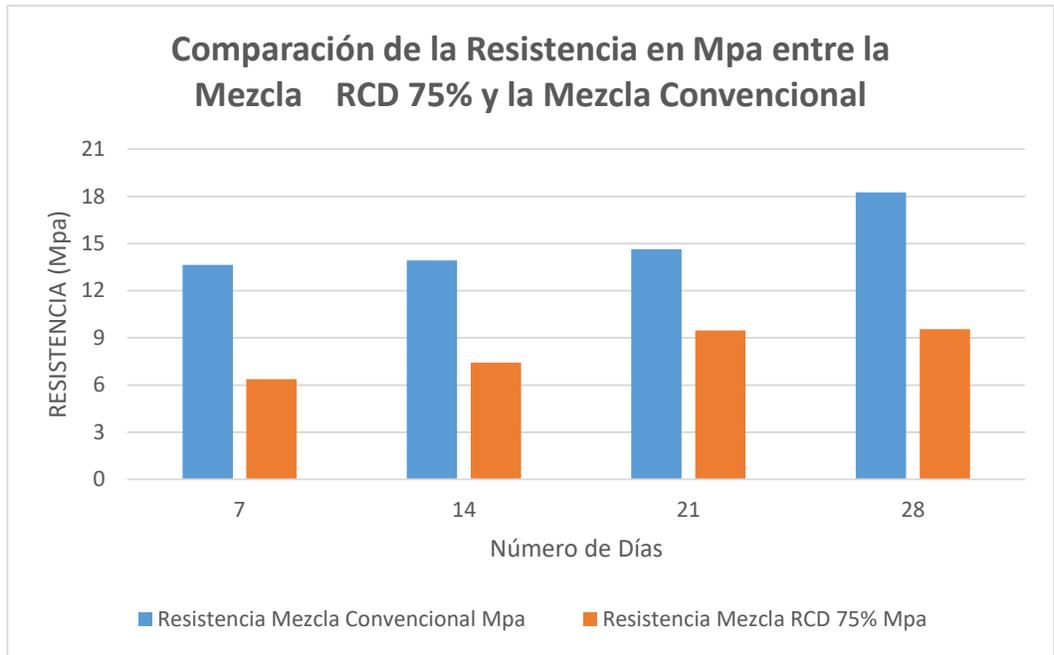
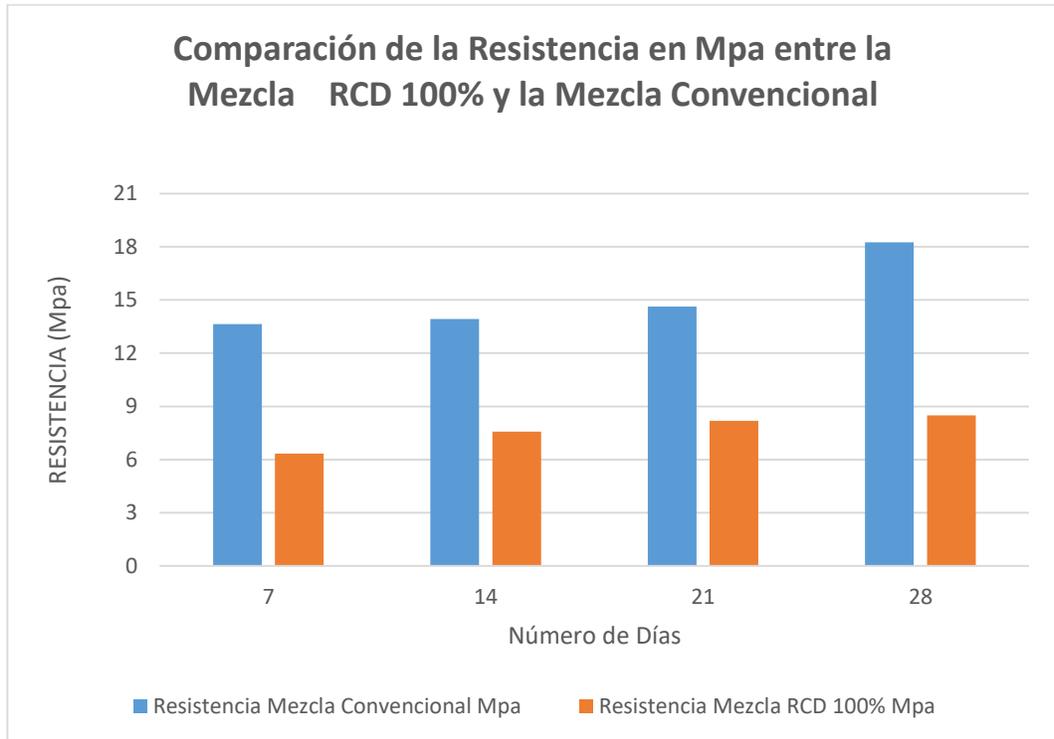


Ilustración 33: Comparación de la Resistencia 50% RCD Vs. Convencional. Fuente: Elaboración Propia.



*Ilustración 34: Comparación de la Resistencia 75% RCD Vs. Convencional. Fuente: Elaboración Propia.*



*Ilustración 35: Comparación de la Resistencia 100% RCD Vs. Convencional. Fuente: Elaboración Propia.*

La resistencia de la mezcla de concreto convencional es de 18,253 Mpa obtuvo un 86,90% a comparación del diseño de mezcla teórico que es de 21 Mpa, esto se debe al mal estado de los agregados utilizados en la mezcla convencional. El cambio de manera porcentual de los agregados residuales dejo diferenciar un cambio de resistencia notable, la mezcla de concreto con RCD de 25% obtuvo una resistencia de 17,078 Mpa, disminuyo la resistencia un 6,77% respecto a la mezcla de concreto convencional. La mezcla de concreto con RCD de 50% obtuvo una resistencia de 12,1 Mpa, disminuyó la resistencia un 28,88% respecto a la mezcla de concreto con RCD de 25%. La mezcla de concreto con RCD de 75% obtuvo una resistencia de 9,55 Mpa, disminuyo la resistencia un 14,93% respecto a la mezcla de concreto con RCD de 50%. La mezcla de concreto con RCD de 100% obtuvo una resistencia de 8,497 Mpa, disminuyo la resistencia un 6,12% respecto a la mezcla de concreto de 75%. Se logró deducir que las resistencias varían una de la otra en promedio 12,55%. Igualmente el usar una mezcla de concreto con RCD de 75% no es considerable ya que la diferencia entre esta mezcla y la mezcla de concreto con RCD de 100% es de un 6,12%, no es recomendable técnicamente y económicamente ya que se encuentra en un margen muy bajo.

Y de acuerdo al artículo 630 – 13 de la ANI, recomienda el mínimo de resistencia para cierto tipo de concreto:

TIPO DE USO	RESISTENCIA MÍNIMA A LA COMPRESIÓN, A 28 DÍAS (MPa)
Concreto pretensado y postensado	32
Concreto reforzado	21
Concreto simple (sin refuerzo)	14
Concreto ciclópeo: se compone de concreto simple y agregado ciclópeo en una proporción de 40 %, como máximo, del volumen total.	14

*Tabla 95: Tipo de Uso del Concreto. Fuente: Artículo 630 - 13: Concreto Estructural, 2013.*

(Artículo 630 -13: Concreto Estructural, 2013)

De acuerdo a los resultados de la resistencias, se puede afirmar que las mezclas diseñadas con 50% RCD, 75% RCD y 100% están clasificadas como **Concreto de Baja Resistencia**, que son aquellas resistencia que son menores o iguales a 14 MPa. Y la mezcla diseñada con 25% RCD está clasificada como **Concreto de Moderada Resistencia**, que son aquellas que están en un rango de 14 MPa y 24 MPa. (Comunidad 360, 2013)

De acuerdo, esta clasificación el uso permitido para cada uno es:

1. Concreto de Baja Resistencia:
  - Losas Aligeradas.
  - Concreto No Estructural
2. Concreto de Moderada Resistencia:
  - Edificaciones de Tipo Habitacional de pequeña altura. (Comunidad 360, 2013)

#### 6.4. ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA MEZCLA DE CONCRETO

##### 6.4.1. COTIZACIÓN

##### Cotización Para Mezcla de Concreto con 25% RCD y 75% Agregado Natural

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA COSTOS DE MATERIALES PARA MEZCLAS DE CONCRETO				
CÓDIGO	MSC-FR-19			
VERSION	1			
	1/01/19			
FECHA	DIA MES AÑO			
	9 9 2019			
<b>OBJETO DE CONTRATO</b>	Costos de materiales para producir una mezcla de concreto con un 25% de material RCD y un 75% de material natural			
DATOS ESPECIFICOS				
CODIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR UNITARIO	
MZ0001	Cemento Gris tipo I Cemex Super Resistente	Blt	\$ 22.890	
MZ0002	Agregado Fino Areana Amarilla y Fina	m <sup>3</sup>	\$ 50.000	
MZ0003	Agregado Grueso Tamaño 3/4 Triturado	m <sup>3</sup>	\$ 65.000	
MZ0004	Agregado Grueso RCD Tamaño 3/4	m <sup>3</sup>	\$ 18.911	
MZ0005	Transporte Volqueta 16 m <sup>3</sup> de RCD	vj/m <sup>3</sup>	\$ 1.250	
MZ0006	Agregado Fino RCD	m <sup>3</sup>	\$ 18.911	
MZ0007	Agua	L	\$ 0,44	
COSTOS ESPECIFICOS DE LA MEZCLA DE CONCRETO CON 25% DE RCD				
CODIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO
MZ0001	Cemento Gris tipo I Cemex Super Resistente	Kg	376,12	\$ 172.187
MZ0002	Agregado Fino Arena Amarilla y Fina	m <sup>3</sup>	0,205	\$ 10.250
MZ0003	Agregado Grueso Tamaño 3/4 Triturado	m <sup>3</sup>	0,275	\$ 17.875
MZ0004	Agregado Grueso RCD Tamaño 3/4	m <sup>3</sup>	0,099	\$ 1.872
MZ0005	Transporte Volqueta 16 m <sup>3</sup> de RCD	vj/m <sup>3</sup>	0,171	\$ 214
MZ0006	Agregado Fino RCD	m <sup>3</sup>	0,072	\$ 1.362
MZ0007	Agua	L	226	\$ 100
<b>COSTO TOTAL MEZCLA DE CONCRETO CON 25% DE RCD</b>				<b>\$ 203.860</b>

Tabla 96: Cotización Mezcla de Concreto 25% RCD. Fuente: Elaboración Propia.

## Cotización Para Mezcla de Concreto con 50% RCD y 50% Agregado Natural

 <b>Universidad Pontificia Bolivariana</b> <small>SECCIONAL BUCARAMANGA</small>	<b>UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA</b> <b>SECCIONAL BUCARAMANGA</b> <b>COSTOS DE MATERIALES PARA MEZCLAS DE CONCRETO</b>			
	<b>CÓDIGO</b>	<b>MSC-FR-19</b>		
	<b>VERSION</b>	1	1/01/19	
	<b>FECHA</b>	DIA 9	MES 9	AÑO 2019
<b>OBJETO DE CONTRATO</b>	Costos de materiales para producir una mezcla de concreto con un 50% de material RCD y un 50% de material natural			
<b>DATOS ESPECIFICOS</b>				
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	
MZ0001	Cemento Gris tipo I Cemex Super Resistente	Blt	\$	22.890
MZ0002	Agregado Fino Areana Amarilla y Fina	m <sup>3</sup>	\$	50.000
MZ0003	Agregado Grueso Tamaño 3/4 Triturado	m <sup>3</sup>	\$	65.000
MZ0004	Agregado Grueso RCD Tamaño 3/4	m <sup>3</sup>	\$	18.911
MZ0005	Transporte Volqueta 16 m <sup>3</sup> de RCD	vj/m <sup>3</sup>	\$	1.250
MZ0006	Agregado Fino RCD	m <sup>3</sup>	\$	18.911
MZ0007	Agua	L	\$	0,44
<b>COSTOS ESPECIFICOS DE LA MEZCLA DE CONCRETO CON 50% DE RCD</b>				
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>
MZ0001	Cemento Gris tipo I Cemex Super Resistente	Kg	364,46	\$ 166.850
MZ0002	Agregado Fino Arena Amarilla y Fina	m <sup>3</sup>	0,137	\$ 6.850
MZ0003	Agregado Grueso Tamaño 3/4 Triturado	m <sup>3</sup>	0,184	\$ 11.960
MZ0004	Agregado Grueso RCD Tamaño 3/4	m <sup>3</sup>	0,198	\$ 3.744
MZ0005	Transporte Volqueta 16 m <sup>3</sup> de RCD	vj/m <sup>3</sup>	0,341	\$ 426
MZ0006	Agregado Fino RCD	m <sup>3</sup>	0,143	\$ 2.704
MZ0007	Agua	L	239	\$ 105
<b>COSTO TOTAL MEZCLA DE CONCRETO CON 50% DE RCD</b>				<b>\$ 192.639</b>

*Tabla 97: Cotización Mezcla de Concreto 50% RCD. Fuente: Elaboración Propia.*

## Cotización para mezcla de concreto con 75% RCD y 25% Agregado Natural

	<b>UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA</b> <b>SECCIONAL BUCARAMANGA</b> <b>COSTOS DE MATERIALES PARA MEZCLAS DE CONCRETO</b>			
	<b>CÓDIGO</b>		<b>MSC-FR-19</b>	
	<b>VERSION</b>	1	1/01/19	
	<b>FECHA</b>	DIA 9	MES 9	AÑO 2019
<b>OBJETO DE CONTRATO</b>	Costos de materiales para producir una mezcla de concreto con un 75% de material RCD y un 25% de material natural			
<b>DATOS ESPECIFICOS</b>				
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	
MZ0001	Cemento Gris tipo I Cemex Super Resistente	Blt	\$	22.890
MZ0002	Agregado Fino Areana Amarilla y Fina	m <sup>3</sup>	\$	50.000
MZ0003	Agregado Grueso Tamaño 3/4 Triturado	m <sup>3</sup>	\$	65.000
MZ0004	Agregado Grueso RCD Tamaño 3/4	m <sup>3</sup>	\$	18.911
MZ0005	Transporte Volqueta 16 m <sup>3</sup> de RCD	vj/m <sup>3</sup>	\$	1.250
MZ0006	Agregado Fino RCD	m <sup>3</sup>	\$	18.911
MZ0007	Agua	L	\$	0,44
<b>COSTOS ESPECIFICOS DE LA MEZCLA DE CONCRETO CON 75% DE RCD</b>				
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>
MZ0001	Cemento Gris tipo I Cemex Super Resistente	Kg	352,78	\$ 161.502
MZ0002	Agregado Fino Arena Amarilla y Fina	m <sup>3</sup>	0,068	\$ 3.400
MZ0003	Agregado Grueso Tamaño 3/4 Triturado	m <sup>3</sup>	0,297	\$ 5.617
MZ0004	Agregado Grueso RCD Tamaño 3/4	m <sup>3</sup>	0,092	\$ 5.980
MZ0005	Transporte Volqueta 16 m <sup>3</sup> de RCD	vj/m <sup>3</sup>	0,512	\$ 640
MZ0006	Agregado Fino RCD	m <sup>3</sup>	0,215	\$ 4.066
MZ0007	Agua	L	253	\$ 111
<b>COSTO TOTAL MEZCLA DE CONCRETO CON 75% DE RCD</b>				<b>\$ 181.316</b>

Tabla 98: Cotización Mezcla de Concreto 75% RCD. Fuente: Elaboración Propia.

## Cotización para mezcla de concreto con 100% RCD y 0% Agregado Natural

 <b>Universidad Pontificia Bolivariana</b> <small>SECCIONAL BUCARAMANGA</small>	<b>UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA</b>			
	<b>SECCIONAL BUCARAMANGA</b>			
	<b>COSTOS DE MATERIALES PARA MEZCLAS DE CONCRETO</b>			
	<b>CÓDIGO</b>	<b>MSC-FR-19</b>		
	<b>VERSION</b>	1	1/01/19	
	<b>FECHA</b>	DIA	MES	AÑO
		9	9	2019
<b>OBJETO DE CONTRATO</b>	Costos de materiales para producir una mezcla de concreto con un 100% de material RCD			
<b>DATOS ESPECIFICOS</b>				
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	
MZ0001	Cemento Gris tipo I Cemex Super Resistente	Blt	\$	22.890
MZ0002	Agregado Fino Areana Amarilla y Fina	m <sup>3</sup>	\$	50.000
MZ0003	Agregado Grueso Tamaño 3/4 Triturado	m <sup>3</sup>	\$	65.000
MZ0004	Agregado Grueso RCD Tamaño 3/4	m <sup>3</sup>	\$	18.911
MZ0005	Transporte Volqueta 16 m <sup>3</sup> de RCD	vj/m <sup>3</sup>	\$	1.250
MZ0006	Agregado Fino RCD	m <sup>3</sup>	\$	18.911
MZ0007	Agua	L	\$	0,44
<b>COSTOS ESPECIFICOS DE LA MEZCLA DE CONCRETO CON 100% DE RCD</b>				
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>
MZ0001	Cemento Gris tipo I Cemex Super Resistente	Kg	341,11	\$ 156.160
MZ0004	Agregado Grueso RCD Tamaño 3/4	m <sup>3</sup>	0,396	\$ 7.489
MZ0005	Transporte Volqueta 16 m <sup>3</sup> de RCD	vj/m <sup>3</sup>	0,682	\$ 853
MZ0006	Agregado Fino RCD	m <sup>3</sup>	0,286	\$ 5.409
MZ0007	Agua	L	266	\$ 117
<b>COSTO TOTAL MEZCLA DE CONCRETO CON 100% DE RCD</b>				<b>\$ 170.028</b>

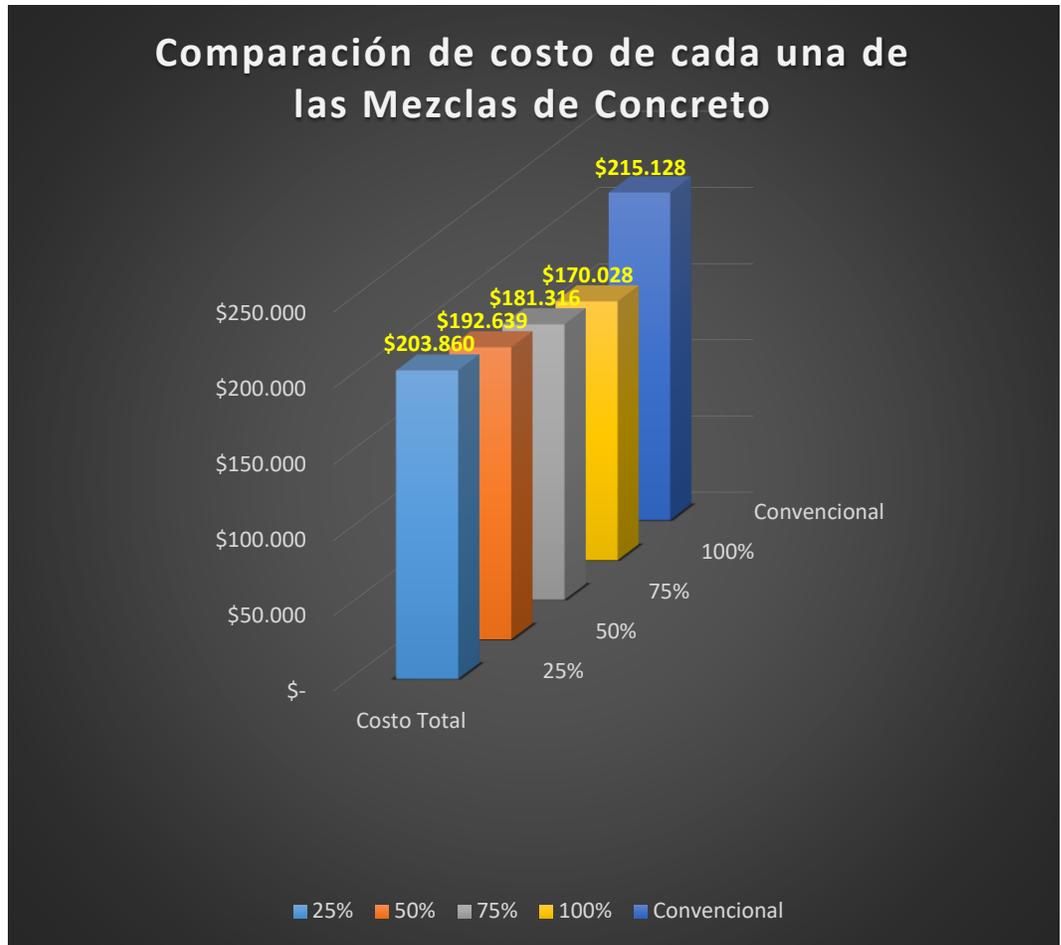
*Tabla 99: Cotización Mezcla de Concreto 100% RCD. Fuente: Elaboración Propia.*

## Cotización para mezcla de concreto 0% RCD y 100% Agregado Natural (CONVENCIONAL)

	<b>UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA</b> <b>SECCIONAL BUCARAMANGA</b> <b>COSTOS DE MATERIALES PARA MEZCLAS DE CONCRETO</b>			
	<b>CÓDIGO</b>	<b>MSC-FR-19</b>		
	<b>VERSION</b>	1	1/01/19	
	<b>FECHA</b>	DÍA	MES	AÑO
	9	9	2019	
<b>OBJETO DE CONTRATO</b>	Costos de materiales para producir una mezcla de concreto de material natural			
<b>DATOS ESPECIFICOS</b>				
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	
MZ0001	Cemento Gris tipo I Cemex Super Resistente	Blt	\$ 22.890	
MZ0002	Agregado Fino Areana Amarilla y Fina	m <sup>3</sup>	\$ 50.000	
MZ0003	Agregado Grueso Tamaño 3/4 Triturado	m <sup>3</sup>	\$ 65.000	
MZ0004	Agregado Grueso RCD Tamaño 3/4	m <sup>3</sup>	\$ 18.911	
MZ0005	Transporte Volqueta 16 m <sup>3</sup> de RCD	vj/m <sup>3</sup>	\$ 1.250	
MZ0006	Agregado Fino RCD	m <sup>3</sup>	\$ 18.911	
MZ0007	Agua	L	\$ 0,44	
<b>COSTOS ESPECIFICOS DE LA MEZCLA DE CONCRETO CONVENCIONAL</b>				
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>
MZ0001	Cemento Gris tipo I Cemex Super Resistente	Kg	387,79	\$ 177.530
MZ0002	Agregado Fino Arena Amarilla y Fina	m <sup>3</sup>	0,273	\$ 13.650
MZ0003	Agregado Grueso Tamaño 3/4 Triturado	m <sup>3</sup>	0,367	\$ 23.855
MZ0007	Agua	L	212	\$ 93
<b>COSTO TOTAL MEZCLA DE CONCRETO NATURAL CONVENCIONAL</b>				<b>\$ 215.128</b>

Tabla 100: Cotización Mezcla de Concreto Agregado Natural. Fuente: Elaboración Propia

## COMPARACIÓN DE COSTOS DE CADA UNA DE LAS MEZCLAS



*Ilustración 36: Comparación de Precio de las cotizaciones. Fuente: Elaboración Propia.*

## 6.4.2. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS PARA LOS AGREGADOS

A continuación se presenta el Análisis de Precios Unitarios:

 <b>SÁNCHEZ CONSTRUCCIONES LTDA</b> <small>NT 800-115-537-7</small>	<b>UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA</b> <b>SECCIONAL BUCARAMANGA</b> <b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>MSC-FR-19</b>		
		<b>VERSION</b>	1	1/01/2019	
		<b>FECHA</b>	DIA	MES	AÑO
			9	9	2019
<b>OBJETO DE CONTRATO</b>	Análisis de costos de extracción de materias primas del río Chicamocha frente al proceso del tratamiento de escombros para sustituir los agregados finos y gruesos de la mezcla de concreto convencional.				
<b>DATOS ESPECIFICOS</b>					
ITEM	DESCRIPCIÓN	DE AJUSTE	UNIDAD	CANTIDAD	
2	Costo de extracción de agregado fino natural como materia prima del río Chicamocha			m <sup>3</sup>	
	ITEM DE PAGO	ESPECIFICACIÓN			
<b>I. EQUIPO</b>					
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>		
AF0001	MAQUINARIA DE EXTRACCIÓN DE RÍO	m <sup>3</sup> /hr	\$ 4.000		
AF0002	CARGA DE VOLQUETA POR MEDIO DE CARGADOR	m <sup>3</sup>	\$ 1.500		
AF0004	APILADA	m <sup>3</sup>	\$ 1.500		
<b>II. MATERIALES</b>					
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>		
AF0005	LAVADA EN ZARANDA	m <sup>3</sup>	\$ 7.000		
<b>III. TRANSPORTES</b>					
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>		
AF0006	TRANSPORTE (RIO-STOP)	Km	\$ 2.000		
AF0007	VOLQUETA	m <sup>3</sup> /hr	\$ 1.500		
AF0008	CARGADOR DE VOLQUETA	m <sup>3</sup>	\$ 1.500		
AF0016	TRANSPORTE A LA ZONA DE APILADA	m <sup>3</sup>	\$ 1.500		
<b>IV. MANO DE OBRA</b>					
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>		
AF0009	OPERARIOS DE EXTRACCIÓN DE MATERIA PRIMA	hr	\$ 483		
AF0010	INGENIERO AMBIENTAL	hr	\$ 100		
AF0011	SISO	hr	\$ 69		
<b>V. COSTOS INDIRECTOS</b>					
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>		
AF0012	DERECHO DE EXPLOTACIÓN	m <sup>3</sup>	\$ 3.500		
		<b>PORCENTAJES</b>			
AF0013	ADMINISTRACIÓN	9%	\$ 2.219		
AF0014	IMPREVISTOS	1%	\$ 247		
AF0015	UTILIDAD	5%	\$ 1.233		
			<b>Subtotal</b>	\$ 24.652	
			<b>IVA</b>	19%	\$ 234
			<b>PRECIO UNITARIO TOTAL</b>	<b>\$ 28.585</b>	

Tabla 101: Análisis de Precio Unitario Agregado Fino Natural. Fuente: Sánchez Construcciones LTDA.

 <b>SÁNCHEZ CONSTRUCCIONES LTDA</b> <small>NT 800 115 557-7</small>	<b>UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>MSC-FR-19</b>			
		<b>VERSION</b>	1	1/01/2019		
		<b>FECHA</b>	DIA	MES	AÑO	
		9	9	2019		
<b>OBJETO DE CONTRATO</b>	Análisis de costos de extracción de materias primas del río Chicamocha frente al proceso del tratamiento de escombros para sustituir los agregados finos y gruesos de la mezcla de concreto convencional.					
<b>DATOS ESPECIFICOS</b>						
ITEM	DESCRIPCIÓN	DE AJUSTE	UNIDAD	CANTIDAD		
1	Costo de extracción de agregado grueso natural tamaño 3/4 " como materia prima del río Chicamocha		ITEM DE PAGO	m <sup>3</sup>		
			ESPECIFICACIÓN			
<b>I. EQUIPO</b>						
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>			
AG0001	MAQUINARIA DE EXTRACCIÓN DE RÍO	m <sup>3</sup> /hr	\$ 4.000			
AG0002	CARGA DE VOLQUETA POR MEDIO DE CARGADOR	m <sup>3</sup>	\$ 1.500			
AG0003	PROCESO DE TRITURACIÓN	m <sup>3</sup>	\$ 12.000			
AG0004	APILADA	m <sup>3</sup>	\$ 1.500			
<b>II. MATERIALES</b>						
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>			
AG0005	LAVADA EN ZARANDA	m <sup>3</sup>	\$ 7.000			
<b>III. TRANSPORTES</b>						
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>			
AG0006	TRANSPORTE (RIO-STOP)	Km	\$ 2.000			
AG0007	VOLQUETA	m <sup>3</sup> /hr	\$ 1.500			
AG0008	CARGADOR DE VOLQUETA	m <sup>3</sup>	\$ 1.500			
<b>IV. MANO DE OBRA</b>						
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>			
AG0009	7 OPERARIOS DE EXTRACCIÓN DE MATERIA PRIMA	hr	\$ 483			
AG0010	INGENIERO AMBIENTAL	hr	\$ 100			
AG0011	SISO	hr	\$ 69			
<b>V. COSTOS INDIRECTOS</b>						
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>			
AG0012	DERECHO DE EXPLOTACIÓN	m <sup>3</sup>	\$ 3.500			
		<b>PORCENTAJES</b>				
AG0013	ADMINISTRACIÓN	9%	\$ 3.164			
AG0014	IMPREVISTOS	1%	\$ 352			
AG0015	UTILIDAD	5%	\$ 1.758			
			<b>Subtotal</b>	\$ 35.152		
			<b>IVA</b>	19%	\$ 334	
			<b>PRECIO UNITARIO TOTAL</b>	<b>\$ 40.760</b>		

Tabla 102: Análisis de Precio Unitario para Agregado Grueso Natural. Fuente: Sánchez Construcciones LTDA.

	<b>UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA</b> <b>SECCIONAL BUCARAMANGA</b> <b>ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>MSC-FR-19</b>		
		<b>VERSION</b>	1	1/01/2019	
		<b>FECHA</b>	DIA	MES	AÑO
		9	9	2019	
<b>OBJETO DE CONTRATO</b>	Análisis de costos de extracción de materias primas del río Chicamocha frente al proceso del tratamiento de escombros para sustituir los agregados finos y gruesos de la mezcla de concreto convencional.				
<b>DATOS ESPECIFICOS</b>					
ITEM	DESCRIPCIÓN	GRUPO DE AJUSTE	UNIDAD	CANTIDAD	
2	Costo del proceso de trituración de Agregado Residual de Construcciones y demoliciones		ITEM DE PAGO	m <sup>3</sup>	
			ESPECIFICACIÓN		
<b>I. EQUIPO</b>					
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>		
AF0002	CARGA DE VOLQUETA POR MEDIO DE CARGADOR	m <sup>3</sup>	\$ 1.500		
AF0004	APILADA	m <sup>3</sup>	\$ 1.500		
	PROCESO DE TRITURACIÓN	m <sup>3</sup>	\$ 1.500		
<b>II. MATERIALES</b>					
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>		
AF0005	LAVADA EN ZARANDA	m <sup>3</sup>	\$ 7.000		
<b>III. TRANSPORTES</b>					
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>		
AF0007	VOLQUETA	m <sup>3</sup> /hr	\$ 1.500		
AF0008	CARGADOR DE VOLQUETA	m <sup>3</sup>	\$ 1.500		
AF0016	TRANSPORTE A LA ZONA DE APILADA	m <sup>3</sup>	\$ 1.500		
<b>IV. MANO DE OBRA</b>					
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>		
AF0009	OPERARIOS DE EXTRACCIÓN DE MATERIA PRIMA	hr	\$ 276		
AF0010	INGENIERO AMBIENTAL	hr	\$ 100		
AF0011	SISO	hr	\$ 69		
<b>V. COSTOS INDIRECTOS</b>					
<b>CODIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PORCENTAJES</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>		
AF0013	ADMINISTRACIÓN	9%	\$ 1.480		
AF0014	IMPREVISTOS	1%	\$ 164		
AF0015	UTILIDAD	5%	\$ 822		
			<b>Subtotal</b>	\$ 16.445	
			<b>IVA</b>	19%	\$ -
			<b>PRECIO UNITARIO TOTAL</b>	<b>\$ 18.911</b>	

Tabla 103: Análisis de Precio Unitario Agregado RCD. Fuente: Sánchez Construcciones LTDA.

Al revisar los Análisis de Precios Unitarios, se procede a realizar el análisis de costos de cada una de las mezclas de concreto permite diferenciar la tendencia entre la resistencia y el costo, ya que entre más disminuía la resistencia de las mezclas de concreto, el costo era más bajo. La mezcla de concreto convencional adquirió una resistencia de 17,083 Mpa, con un costo de \$ 215.128 a diferencia de la mezcla de concreto del 100% RCD obtuvo una resistencia de 8,50 Mpa, con un costo de \$ 170.028. Esto muestra que la diferencia del costo que se alcanza es de un 20,96% como respaldo para el aumento de la resistencia y poder producir un concreto que sea viable económicamente y a su vez sostenible. La diferencia de cada una de las mezclas de concreto respecto a la resistencia y su costo, da como resultado un valor promedio de \$ 11.275, esto quiere decir que cada vez que aumenta el valor promedio se obtiene una variación en el esfuerzo de compresión aplicado hasta llegar a la resistencia de la mezcla de concreto convencional. Según el análisis de precios unitarios el costo de extraer materia prima del río es elevado a comparación de realizar un adecuado tratamiento a los escombros. Disminuye los gastos de los agregados finos en un 33,84% y el agregado grueso en un 53,60% obteniendo agregados con el material residual de construcciones. El análisis de precios unitarios del RCD muestra también una disminución gracias al tratamiento de un material reutilizable, ya que el ministerio de medio ambiente y desarrollo sostenible ofrece un beneficio tributario de excluir de IVA a las empresas que lleven a cabo prácticas que protejan el medio ambiente.

## **6.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL**

De acuerdo al Departamento Nacional de Planeación y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en conjunto con el Ministerio de Vivienda, en su plantilla de “Proyecto Estándar para Vivienda de Interés Social Rural 2015”. (Viva.org.co, 2015).

Toda Edificación de Vivienda de Interés Social Rural debe ser regida por la Norma Sismo Resistente de Colombia del 2010 (NSR -10), específicamente Título E – Cada de uno o dos pisos. (Ildr.gov.co, 2010).

Para Elemento No Estructurales, la NSR -10 estipula que debe ser de Concreto de Moderada Resistencia, específicamente de 17 MPa. En la Plantilla de Proyecto Tipo del Departamento Nacional de Planeación (DNP) para Vivienda de Interés Social Rural debe ser de 17 MPa en adelante. (Viva.org.co, 2015).

Con esta información, es posible afirmar que el diseño de mezcla con 25% RCD cumple con dicha especificación, ya que los resultados dieron una resistencia de 17,078 MPa a los 28 días.

## 7. CONCLUSIONES

- El uso de los residuos de construcciones y demoliciones como agregados de una mezcla de concreto, muestra una viabilidad técnica desde el punto de vista de ensayo de materiales, ya que cumplió adecuadamente las pruebas de estudio para establecerse como agregados de la mezcla de concreto. A nivel físico y mecánico la mezcla de concreto integrada con estos materiales residuales porcentualmente al 25% cumple para los elementos no estructurales con los parámetros descritos por la NRS – 10, para ser ejecutados en Viviendas de Interés Social.
- El uso de residuos de construcción y demolición como agregado de la mezcla representado en un 25% del Agregado Fino como agregado Grueso, cumple como mezcla para la elaboración de Elementos no estructurales, ya que según la NSR-10 en el título E: Capítulo 10 y en la Estandarización realizada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), especifica la resistencia a la compresión promedio de 17 MPa a los 28 días para elementos no estructurales, y la mezcla de concreto con 25% de Residuos de Construcción y Demolición resultó con una resistencia a la compresión de 17,078 MPa.
- El uso de los residuos de construcciones y demoliciones (RCD) como agregados de una mezcla de concreto poseen un impacto ambiental favorable y así mismo una viabilidad económica para ser usado en una mezcla de concreto. Ya que el costo de extracción del agregado fino es de \$ 28.585/m<sup>3</sup> y el agregado grueso de \$ 40.760/m<sup>3</sup> que suman \$ 69.345, el tratamiento de los materiales residuales es de \$ 18.911/m<sup>3</sup>, esto quiere decir que hay un ahorro de \$ 50.434, que pueden ser utilizados para adicionar más cemento a la mezcla y obtener la resistencia deseada.
- El diseño mezcla de concreto bajo los parámetros de la ACI no funciona para este tipo de materiales residuales por el alto grado de absorción de los elementos que conforman los escombros como las arcillas de los ladrillos y el mortero, ya que el ajuste por humedad y absorción da como resultado un 39,77% más de agua que requiere la mezcla, esto no está contemplado en la tabla de relación agua/cemento establecida por la ACI y el adicionamiento de esta gran cantidad de agua permite el decrecimiento de la resistencia en la mezcla de concreto.

## 8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda un control activo a los transportadores de residuos de construcciones y demoliciones, evitando así que se generen vertederos de escombros en puntos críticos de la ciudad, como áreas de reserva o zonas boscosas. Se debe establecer una alianza entre los organismos de control de las alcaldías, la secretaria de medio ambiente y la policía nacional, para que se implante una vigilancia más eficaz y se logre disminuir el deterioro de zonas afectadas por el vertimiento de estos materiales.
- Se recomienda analizar el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del área metropolitana de Bucaramanga, para incluir o modificar los puntos de acopio de los escombros, para así establecer zonas limítrofes las cuales abarquen una cobertura total del área metropolitana, para que los transportadores de estos materiales residuales no tengan que realizar recorridos muy extensos, exponiendo la salud pública por el polvo que contienen estos materiales.
- Se recomienda a las alcaldías socializar a la población sobre el manejo de residuos de construcción y demolición para culturizar a la población y así mismo denunciar prácticas de acopio clandestino de estos materiales que afecten áreas comunes de la ciudad.
- Se recomienda a las empresas que cumplen labores de acopio de escombros que consideren un plan maestro integral de residuos de construcción y demolición, que permita un tratamiento y aprovechamiento de estos escombros como materia prima para la construcción. Implementando una separación magnética, una maquinaria y equipo que están libres de IVA por el estatuto tributario, y así organizar empresas que reciban y posteriormente comercien estos materiales, como un negocio autosustentable.

- Se recomienda a las alcaldías del área metropolitana de Bucaramanga incluya a nivel municipal un estatuto tributario que contenga más beneficios para programas y prácticas que se desarrollen en el área metropolitana que contribuya a la sostenibilidad y al medio ambiente, motivando así mismo a los grandes empresarios que desarrollen prácticas de construcción, a hacer un buen uso de sus residuos logrando un manejo integral que favorezca al medio ambiente.
- Se recomienda a los estudiantes de ingeniería civil que deseen seguir esta investigación enfocarse en la resistencia de la mezcla de concreto de 100% RCD, la cual obtuvo un 50% de la resistencia a comparación del concreto convencional. La resistencia puede variar aumentando proporcionalmente el cemento, hasta llegar a la resistencia deseada. Esto puede ser el punto de partida para realizar un diseño de mezcla que cumpla con todas las especificaciones que rige la NTC, desarrollando una tabla de relación agua/cemento para estos materiales, ya que el agua que absorben estos materiales no se contempla en el diseño de mezcla convencional planteado por la ACI. Mediante estadísticas se puede corroborar la información, realizando ensayos con cilindros que contengan un coeficiente de confiabilidad del 95%.
- Se recomienda el uso de este concreto en la construcción de elementos no estructurales, ya que su resistencia es muy baja y logra un grado de confiabilidad certificado.

## Bibliografía

Revistas.udistrital.edu.co. (2019). Vista de LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE APLICADA A LAS VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL EN COLOMBIA. [Online] Available at: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/12236/12778> [Accessed 17 Sep. 2019].

Metropol.gov.co. (2019). Guía 4 para el diseño de edificaciones sostenibles. [Online] Available at: [https://www.metropol.gov.co/ambiental/Documents/Construccion\\_sostenible/Guia-4-GCS4EdificacionesSostenibles.pdf](https://www.metropol.gov.co/ambiental/Documents/Construccion_sostenible/Guia-4-GCS4EdificacionesSostenibles.pdf) [Accessed 17 Sep. 2019].

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Normas Técnicas Colombianas. Colombia, 2003.

Alcaldía de Bucaramanga. (2017). Actualización de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Recuperado de [https://www.bucaramanga.gov.co/la-ruta/plan\\_integral\\_de\\_residuos\\_solidos/PGIRS-BUCARAMANGA-2016-2017.pdf](https://www.bucaramanga.gov.co/la-ruta/plan_integral_de_residuos_solidos/PGIRS-BUCARAMANGA-2016-2017.pdf)

Colombia, R.E.P.U.B.L.I.C.A. DE. (S.F.-B). Resolución 472 del 20 de Febrero de 2017. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/indes.php/normativa/resoluciones>.

Calidad en la vivienda de interés social / díaz reyes, Carlos Alberto; Ramírez luna, julia aurora (eds.), aicol (textos). Bogotá, d.c. Colombia, ministerio de ambiente, Vivienda y desarrollo territorial. 2011.

Los materiales en la construcción de vivienda de interés social / díaz reyes, Carlos Alberto; Ramírez luna, julia aurora (eds.), aicol (textos).-- Bogotá, d.c. Colombia: ministerio de ambiente, Vivienda y desarrollo territorial, 2011.

MALEŠEV, M., RADONJANIN, V. Y MARINKOVIĆ, S.

Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production En el texto: (Malešev, Radonjanin and Marinković, 2010) Bibliografía: Malešev, M., Radonjanin, V. and Marinković, S. (2010). Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production. [Online] MDPI. Available at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/2/5/1204> [Accessed 11 Sep. 2019].

Centeno, P., Salazar, R., Urrego, Y., Jaramillo, N. and Arjona, S. (2019). Caracterización física y mecánica de agregados reciclados obtenidos a partir de escombros de la construcción. [Online] Dialnet. Available at:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5129561> [Accessed 17 Sep. 2019].

Idrd.gov.co. (2010). *Titulo E - Casa de uno o dos pisos*. [Online] Available at: <https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/5titulo-e-nsr-100.pdf> [Accessed 17 Sep. 2019].

Artículo 630 -13: Concreto Estructural. (2013). *Artículo 630 -13: Concreto Estructural. Capitulo 6: Estructuras y Drenajes*. [Online] Available at: <http://ftp://ftp.ani.gov.co/Ruta%20del%20Sol%20I/Tramo%20Villetas%20%20-%20Guaduas/ENTREGA%20FINAL/disco28/ANEXO%20B%20-%20ESPECIFICACIONES/ESPECIFICACIONES%20CIVILES/G630.pdf> [Accessed 17 Sep. 2019].

Viva.org.co. (2015). *Construcción de Vivienda de Interés Social Rural*. [Online] Available at: [http://viva.org.co/PDT\\_para\\_la\\_Construccion\\_de\\_Paz/Proyectos\\_tipo\\_SGR-DNP/VIVIENDA%20RURAL%2025062015.pdf](http://viva.org.co/PDT_para_la_Construccion_de_Paz/Proyectos_tipo_SGR-DNP/VIVIENDA%20RURAL%2025062015.pdf) [Accessed 17 Sep. 2019].

Comunidad 360. (2013). *Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión*. [Online] Available at: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion> [Accessed 17 Sep. 2019].