	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		1 (113)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Luz Neidy Quintero García Edgar David Paz Morales		
FACULTAD	Facultad de Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Civil		
DIRECTOR	Esp. Jesús David Márquez Montejo		
TÍTULO DE LA TESIS	Análisis de alternativas del uso de residuos de construcción y demolición (RCD) aplicados en elementos estructurales y arquitectónicos de edificaciones en el municipio de Ocaña, Norte de Santander		
TÍTULO EN INGLES	Analysis of alternatives for the use of construction and demolition waste (RCD) applied in structural and architectural elements of buildings in the municipality of Ocaña, Norte de Santander		
RESUMEN (70 palabras)			
<p>La actual monografía de investigación se llevó a cabo con el propósito de ejecutar la selección y análisis de estudios, tesis, documentos con argumento de los residuos de construcción y demolición (RCD), incluyendo las alternativas del uso de los RCD aplicados a los diferentes elementos estructurales y arquitectónicos, analizando el escenario actual de los RCD y su influencia en Colombia centrándose específicamente en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.</p>			
RESUMEN EN INGLES			
<p>The current research monograph was carried out with the purpose of executing the selection and analysis of studies, theses, documents with argument of construction and demolition waste (RCD), including the alternatives of the use of RCD applied to the different elements. structural and architectural, analyzing the current scenario of the RCD and its influence in Colombia focusing specifically on the municipality of Ocaña, Norte de Santander.</p>			
PALABRAS CLAVE	Análisis, elementos estructurales, gestión, medio ambiente, residuos de construcción y sostenibilidad.		
PALABRAS CLAVE EN INGLES	Analysis, structural elements, management, environment, construction waste and sustainability.		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 113	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 51	CD-ROM: 1



**Análisis de alternativas del uso de residuos de construcción y demolición (RCD) aplicados
en elementos estructurales y arquitectónicos de edificaciones en el Municipio de Ocaña,
Norte de Santander**

Luz Neidy Quintero García

Edgar David Paz Morales

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Civil

Esp. Jesús David Márquez Montejo

13 de Noviembre de 2022

Nota

El Comité Curricular del Plan de Estudios de Ingeniería Civil, según consta en el Acta No. 0010 de fecha 6 de mayo de 2022, acordó asignar como jurados de la presente monografía a los docentes **Pedro Nel Angarita Usctegui** y **Leandro Ovallos Manosalva**.

Índice

Capítulo 1. Análisis de Alternativas del Uso de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) Aplicados en Elementos Estructurales y Arquitectónicos de Edificaciones en el Municipio de Ocaña, Norte de Santander	18
1.1. Generalidades de los Residuos de Construcción y Demolición	18
1.1.1. Definición de Residuos de Construcción y Demolición (RCD).....	18
1.1.2. Clasificación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD).....	18
1.1.3. Impactos Ambientales Negativos Generados por los RCD.....	22
1.1.4. Causas que conllevan a que no se dispongan adecuadamente los RCD.....	23
1.1.5. Reutilización de los Residuos de Construcción y Demolición.....	24
1.1.6. Aprovechamiento de los Residuos de Construcción y Demolición en Edificaciones.	25
1.1.7. Consecuencias de los Usos de los RCD	26
1.1.8. Elementos Estructurales en una Edificación	27
1.1.9. Elementos Arquitectónicos en una Edificación.....	28
Capítulo 2. Marco Referencial.....	31
2.1. Marco Histórico.....	31
2.1.1. Antecedentes a Nivel Internacional sobre los Residuos de Construcción y Demolición	31
2.1.2. Antecedentes a Nivel Nacional sobre los Residuos de Construcción y Demolición...	33
2.1.3. Antecedentes a Nivel Local sobre los Residuos de Construcción y Demolición	37

2.2. Marco Conceptual	38
2.2.1. Agregados	38
2.2.2. Almacenamiento	38
2.2.3. Aprovechamiento de RCD.....	39
2.2.4. Demolición Selectiva.....	39
2.2.5. Desarrollo Sostenible.....	39
2.2.6. Edificaciones	39
2.2.7. Escombros	39
2.2.8. Generador de RCD	40
2.2.9. Gestión Integral de RCD	40
2.2.10. Gestor de RCD.....	40
2.2.11. Programa de Manejo Ambiental de RCD.....	40
2.2.12. Puntos limpios	40
2.2.13. Reciclaje de RCD	40
2.2.14. Recolección	41
2.2.15. Residuos de Construcción y Demolición (RCD) (anteriormente conocidos como escombros).....	41
2.2.16. Reutilización de RCD	41
2.2.17. Sitio de disposición final de RCD (anteriormente conocido como escombrera)	41
2.3. Marco Teórico	41

2.4. Marco Legal	43
2.4.1. Decreto 2811 de 1974.....	43
2.4.2. Resolución 541 de 1994	43
2.4.3. Decreto 948 de 1995.....	43
2.4.4. Ley 1259 del 2008	44
2.4.5. Resolución 472 del 2017	44
2.4.6. Resolución 1257 de 2021	44
Capítulo 3: Diseño Metodológico	45
3.1. Tipo de Investigación	45
3.2. Población	45
3.3. Muestra	45
3.4. Recolección de Información	46
3.4.1. Métodos de Recolección de Información	46
3.4.2. Herramientas para la Recolección de Información.....	46
3.5. Análisis de Información	47
Capítulo 4. Estado del arte de los residuos de construcción y demolición utilizados en elementos estructurales y arquitectónicos de edificaciones	48
4.1. Estado del Arte	48
4.1.1. Antecedentes Internacionales	48
4.1.2. Antecedentes Nacionales.....	51

4.1.3. Antecedentes Locales	55
-----------------------------------	----

Capítulo 5. Recopilación de investigaciones realizadas por diferentes autores sobre el uso de RCD en edificaciones	58
---	-----------

5.1. Investigaciones Internacionales	58
---	-----------

5.1.1. Investigación en Estados Unidos.....	58
---	----

5.1.2. Investigación en México.....	58
-------------------------------------	----

5.1.3. Investigación en China (Hong Kong).....	59
--	----

5.1.4. Investigación en Dinamarca	60
---	----

5.1.5. Investigación en India.....	60
------------------------------------	----

5.1.6. Investigación en Egipto	61
--------------------------------------	----

5.2. Investigaciones Nacionales	61
--	-----------

5.2.1. Investigación en Bogotá, Colombia (Gestión Integral de RCD)	61
--	----

5.2.2. Investigación en Bogotá, Colombia (Fabricación de adoquín)	63
---	----

5.2.3. Investigación en Bogotá, Colombia (Comparación estructural)	63
--	----

5.3. Investigaciones Locales	64
---	-----------

5.3.1. Investigación en Ocaña, Norte de Santander (Reutilización y Disposición de RCD). 64	
--	--

Capítulo 6. Estimación y análisis comparativo de los costos requeridos para la implementación de las alternativas de manejo de RCD en edificaciones	65
--	-----------

6.1. Alternativa No. 1 (Medellín, 2020).....	65
---	-----------

Análisis Crítico	67
------------------------	----

6.2. Alternativa No. 2 (Bogotá, 2018)	68
6.2.1. Reducción del precio al emplear RCD	68
6.3. Alternativa No. 3 (Bogotá, 2017)	71
6.3.1. Evaluación de Estructuras e Interpretación de Valores	71
6.4. Alternativa No. 4 (Bogotá, 2017)	74
6.4.1. Análisis Técnico y Económico	74
6.5. Alternativa No. 5 (Ocaña, 2017)	78
6.5.1. Análisis Comparativo de la Resistencia y los Costos	78
6.6. Alternativa No. 6 (Bogotá, 2015)	82
6.6.1. Análisis de Pruebas y Costos de Adoquín	82
6.7. Alternativa No. 7 (Bogotá, 2012)	87
6.7.1. Costos	87
6.8 Alternativa N°8 (Medellín, 2016)	90
6.8.1 Fabricación de prefabricado para revestimiento.....	90
6.9. Análisis Comparativo de las Alternativas	92
Conclusiones	100
Recomendaciones	103
Referencias	104

Figuras

Figura 1. Porcentaje de RCD reciclado sobre el porcentaje de RCD producido	33
Figura 2. Generación anual (toneladas) de RCD en Cali.....	35
Figura 3. Toneladas diarias promedio por departamento.....	37
Figura 4. Resistencia al Esfuerzo de la Compresión.....	66
Figura 5. Prueba a compresión.....	84
Figura 6. Prueba a flexotracción	84
Figura 7. Precio de 1m ³ para la disposición final de RCD en lugares legales por las entidades de Bogotá D.C.	89
Figura 8. Resistencias alcanzadas por las mezclas para tabletas de revestimiento.....	91
Figura 9. Mosaicos de tabletas de revestimiento.	92
Figura 10. Compilación de alternativas sobre resistencia vs edad del ensayo.....	95
Figura 11. Compilación de alternativas sobre el ahorro económico.....	98

Tablas

Tabla 1. Clasificación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD)	21
Tabla 2. Alternativas de gestión de uso de los RCD.....	62
Tabla 3. Resistencia al esfuerzo de la compresión; promedio de tres probetas por edad de acuerdo con la NTC 1377 (ASTM C192)	66
Tabla 4. APU para la producción de Concreto sustituyendo agregados naturales por RCD	67
Tabla 5. Resistencia a la compresión de concreto con RCD (Mpa)	67
Tabla 6. Precio del triturado y arena para producir concreto.....	68
Tabla 7. Costo de 1 m ³ de concreto convencional	69
Tabla 8. Costo de 1 m ³ sustituyendo el 30% de agregados por RCD	69
Tabla 9. Cantidades de concreto para construcción de una estructura básica	70
Tabla 10. Costo promedio del transporte para la colocación en escombreras autorizadas en la ciudad de Bogotá.....	70
Tabla 11. Cuantificación de concreto y acero para una estructura convencional y para una estructura con concreto RCD	71
Tabla 12. APU para un concreto convencional de 28 MPa	72
Tabla 13. APU para un concreto con 100% de RCD.....	73
Tabla 14. APU para un concreto con 25% de RCD.....	73
Tabla 15. Resultados ensayos de resistencia a la compresión	74
Tabla 16. Ahorro por disposición y transporte	76
Tabla 17. Comparación de precios de agregados.....	76
Tabla 18. Valor de 1 m ³ de mezcla (M1) con 100% de agregado natural	76
Tabla 19. Valor de 1 m ³ de mezcla (M2) con 30% de RCD	76

Tabla 20. Valor de 1 m ³ de mezcla (M3) con 100% de RCD	77
Tabla 21. Variabilidad de costos para los diferentes tipos de mezclas	77
Tabla 22. Mezcla reajustada para alcanzar la resistencia con el 100% de agregado RCD (M4)..	77
Tabla 23. Variabilidad de costos para los diferentes tipos de mezclas	78
Tabla 24. Resistencia material reciclado	79
Tabla 25. Resistencia material convencional.....	79
Tabla 26. Resistencias promedio	79
Tabla 27. Análisis de equipo para procedimiento con reciclado	80
Tabla 28. Análisis de equipo para procedimiento con reciclado	81
Tabla 29. Costo concreto reciclado.....	81
Tabla 30. Costo concreto convencional	81
Tabla 31. Análisis de materiales para 1m ² de adoquín al por mayor	85
Tabla 32. Análisis de materiales para 1m ² de adoquín al por menor	85
Tabla 33. Costo de 1m ² de adoquín reciclado.....	86
Tabla 34. Costo de 1m ² de adoquín comercial (CICLOMAT)	86
Tabla 35. Costos de mano de obra	86
Tabla 36. Estudio de precios de un concreto con agregado RCD y otro típico	87
Tabla 37. Diferencia en costos entre la disposición final de RCD y la reutilización de RCD	88
Tabla 38. Tipo de mezcla para tabletas de revestimiento.	90
Tabla 39. Estudio comparativo de resistencia para cada alternativa	94
Tabla 40. Estudio comparativo de costos para cada alternativa	97

Introducción

El sector de la construcción desde hace unos años se ha convertido en una de las industrias económicas más dinámica, lo cual ha traído consigo el aumento continuo de las condiciones de vida de la población en general en nuestro país, además es uno de los sectores que más afecta el medio ambiente, teniendo en cuenta que los principales materiales que se usan en este medio son obtenidos de la derivación de materias primas no renovables, como la caliza, arcilla, hierro, asfalto, entre otros. Es evidente que en la mayoría de proyectos de infraestructura no existe un programa de manejo de RCD que se generan progresivamente en el desarrollo y finalización de mencionados proyectos, trayendo como consecuencia la contaminación de suelos y aguas en contacto directo con la atmosfera (superficial).

Los residuos de construcción y demolición (RCD) en los últimos tiempos se han transformado en un problema ambiental en las ciudades colombianas, siendo así una fuente de contaminación ambiental por culpa de la cantidad generada e inapropiada disposición. Este tema no es exclusivo de nuestras regiones sino también es un fenómeno global, por ese motivo se toman medidas en diferentes países para una acertada gestión completa de los desechos generados en sitio. Ejemplos de una buena gestión de este tipo son: incorporar RCD en el proceso de construcción, reutilizar o utilizar RCD como producto primario, reciclar RCD para su eliminación. (Pacheco et al., 2017)

El incremento de diversos estudios y análisis encaminadas al empleo de los desechos de construcción y demolición (RCD) para la fabricación de materiales nuevos, su puesta en práctica y la obligación de educar a nuestros ingenieros, arquitectos, constructores, etc. Para poder generar una transformación en nuestra cultura y forma de pensar de manera gradual, que ha favorecido para la expedición de resoluciones, leyes, manuales y decretos en países como

Colombia, que, aunque no tienen un largo trabajo en el tema del uso, reciclaje y reutilización, pretenden minimizar el impacto en el escenario donde se desarrollarán las futuras generaciones.

Los residuos de construcción y demolición (RCD), son aquellos restos originarios de las construcciones, demoliciones y rehabilitaciones en cualquier tipo de obra. El proceso de reutilización con estos materiales es de gran importancia debido a que predomina la conservación del medio ambiente y el mejoramiento del capital natural no renovable y renovable. En la ejecución del proceso investigativo y de compilación de la estructuración de la monografía se encadenan conceptos relacionados con la ingeniería civil entre los que se destacan los mencionados a continuación: Residuos de Construcción y Demolición (RCD), usos y características de RCD, edificaciones, gestión integral, elementos estructurales y arquitectónicos.

En este orden de ideas, el objetivo fundamental de la actual monografía es analizar las alternativas del uso de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) aplicados en elementos estructurales y arquitectónicos de edificaciones en el Municipio de Ocaña, Norte de Santander, teniendo en cuenta el manejo que se está realizando actualmente y con esto plantear nuevas estrategias de gestión ajustadas a las condiciones y características del municipio. Esta investigación tiene como propósito la indagación y recopilación de información en relación a la documentación bibliográfica existente y disponible sobre el uso de RCD aplicados en elementos estructurales y arquitectónicos de edificaciones, que permita reunir esta información por capítulos y finalmente obtener un amplio conocimiento y claridad sobre el tema estudiado, generando de esta manera aportes importantes en el sector de la construcción.

Resumen

La construcción de edificaciones públicas y privadas es una de las acciones con gran utilidad y causantes de progreso, además de las actividades de demolición, por lo tanto ambas ciertamente están presentes de desechos o escombros producto del crecimiento; la construcción es considerada un problema ambiental y social de las ciudades, debido a la falta de medidas de gestión, control y regulación en la política pública, así como a la insuficiente instrucción, cultura y concientización de los constructores en el manejo y control de desechos.

El propósito de esta monografía es ejecutar la selección y análisis de estudios, tesis, documentos con argumento de los residuos de construcción y demolición (RCD), incluyendo ideas como las alternativas al uso de los RCD aplicados a los elementos estructurales y la arquitectura de las edificaciones, la investigación mundial sobre la administración y disposición correcta de los residuos, con el objetivo de evaluar el escenario actual de los RCD y la influencia de estos, lo mismo ocurre con las recomendaciones para su correcta aplicación, principalmente en Colombia centrándose específicamente en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

Para llevar a cabo el estudio, se tuvieron en cuenta las propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión y a la flexotracción. Se alcanzaron a observar resultados satisfactorios en relación a los porcentajes de sustitución de agregados reciclados del 0% al 50%, y se puede afirmar que es factible utilizar este tipo de concreto en obras nuevas y elementos estructurales, logrando disminución de costos y ventajas ambientales. La falta de conciencia medioambiental y de control en el cumplimiento de la legislación fueron algunas barreras que se evidenciaron en la identificación de las prácticas de gestión de RCD que actualmente el gremio de la construcción realiza y como solución se recomienda implementar un plan de gestión de RCD.

Palabras clave: Análisis, elementos estructurales, gestión, medio ambiente, residuos de construcción y sostenibilidad.

Abstract

The construction of public and private buildings is one of the actions with great utility and cause of progress, in addition to the demolition activities, therefore both are certainly present of waste or debris as a result of growth; construction is considered an environmental and social problem in cities, due to the lack of management, control and regulation measures in public policy, as well as insufficient instruction, culture and awareness of builders in the management and control of waste .

The purpose of this monograph is to carry out the selection and analysis of studies, theses, documents with the argument of construction and demolition waste (RCD), including ideas such as alternatives to the use of RCD applied to structural elements and the architecture of buildings, global research on the administration and correct disposal of waste, with the aim of evaluating the current scenario of RCD and their influence, the same occurs with the recommendations for its correct application, mainly in Colombia focusing specifically on the municipality of Ocaña, North of Santander.

To carry out the study, mechanical properties such as resistance to compression and flexotraction were taken into account. Satisfactory results were observed in relation to the percentages of replacement of recycled aggregates from 0% to 50%, and it can be affirmed that it is feasible to use this type of concrete in new works and structural elements, achieving cost reduction and environmental advantages. The lack of environmental awareness and control in compliance with the legislation were some of the barriers that were evidenced in the identification of the CDW management practices that the construction union currently carries out and as a solution it is recommended to implement a CDW management plan.

Key words: Analysis, structural elements, management, environment, construction waste and sustainability.

Capítulo 1. Análisis de Alternativas del Uso de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) Aplicados en Elementos Estructurales y Arquitectónicos de Edificaciones en el Municipio de Ocaña, Norte de Santander

1.1. Generalidades de los Residuos de Construcción y Demolición

1.1.1. Definición de Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

Los RCD son aquellos restos que generan las construcciones, demoliciones, excavaciones y rehabilitaciones en cualquier tipo de obra. La reutilización es muy importante en la que se permite volver a utilizar los materiales desechados proceso en el cual están a favor de la preservación y conservación del medio ambiente y la optimización del capital no renovable y renovable.

1.1.2. Clasificación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

Los RCD se clasifican primeramente según el origen de estos, por lo cual se da a conocer una idea general de sus propiedades, seguidamente se realiza una clasificación por su naturaleza y los inconvenientes mostrados al momento de su gestión.

Clasificación Según el Origen

Residuos Provenientes de la actividad de extracción de Áridos o de movimientos de tierras en la obra. Se caracterizan por ser residuos que se componen principalmente por materiales pétreos con granulometría y que son de naturaleza variable, estos residuos no se encuentran contaminados por ninguna otra sustancia que se utiliza en la obra. (De Santos, Monercillo y García, 2011, p.17)

Residuos de Construcción. Por lo general son residuos pétreos y cerámicos los cuales pertenecen al 75% del total, que tiene gran presencia de otro tipo de materiales. Los de origen pétreo (escombros) se hallan especialmente restos de concreto y cerámicos que proceden de materiales rotos y recortes. (De Santos et al, 2011, p.17)

Los residuos restantes que equivalen al 25% está conformado de una mezcla heterogénea de vidrio, madera y desde papel hasta disolventes, metales como el plomo en ciertos casos son considerados residuos bastante peligrosos y contaminantes. Entre estos residuos heterogéneos, hay plástico y papel parte del material de embalaje del edificio. (De Santos et al, 2011, p.17)

Residuos de Demolición. Son residuos parecidos a los de construcción en lo que se refiere a desechos y otra clase de escombros, pero la principal incompatibilidad radica en que la mezcla no es heterogénea como los residuos anteriores por lo cual dificulta las actividades de separación provocando que los residuos se contaminen más que los de una obra de construcción. (De Santos et al, 2011, p.17)

Clasificación Según su Naturaleza

Residuos Inertes. Son residuos que particularmente no se consideran como peligrosos y que no han sido modificados en cuanto aspecto químico, físico y biológico. Este residuo no contiene materiales solubles y biodegradables que reaccionen químicamente o físicamente con otros materiales; un factor significativo es que no altera la salud humana y no provocan contaminación al medio ambiente. Usualmente a estos residuos se le conocen como “escombros”, entre estos también se encuentran los residuos de extracción de áridos o de excavaciones en las obras; la mayoría de los RCD pertenecen a este tipo. (De Santos et al, 2011, p.18)

Residuos No Peligrosos. No tienen el problema de la toxicidad de los residuos inofensivos. Como tal, no pueden causar cambios físicos, químicos o biológicos en otras sustancias, dando lugar a la aparición de sustancias nocivas para el cuerpo humano y la contaminación ambiental. Los desechos inofensivos incluyen productos como plástico, fibra, madera y metales en gran parte. (De Santos et al, 2011, p.19)

Residuos Peligrosos y Tóxicos. Tienen sustancias peligrosas, tóxicas para los humanos o contaminantes del medio ambiente. Aunque su magnitud no es alta en RCD globales, no se debe subestimar el potencial de contaminación o toxicidad. La capacidad de infectar otros desechos, específicamente los inertes, es la problemática más sobresaliente de este tipo de residuos. La mezcla de desechos peligrosos con desechos inertes dará como resultado la contaminación de desechos en el futuro, aumentando el número de residuos que corresponden entregarse a las entidades autorizadas. La mezcla de residuos y contaminación afecta la vitalidad humana y el medio ambiente, lo que además amplifica significativamente el coste de las actividades de gestión. (De Santos et al, 2011, p.19)

Otra forma de clasificar los RCD, es separarlos en aprovechables y no aprovechables, de acuerdo a la división de los tres grandes grupos respecto a su clasificación como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 1. Clasificación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD)

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

Nota. Tomado de (Guía para la elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición RCD en obra, Secretaría Distrital de Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá D. C., 2015. Citado por Pacheco et al., 2017)

1.1.3. Impactos Ambientales Negativos Generados por los RCD

La modificación medioambiental se define como cualquier alteración que ocurre en el medio ambiente debido a la intervención antrópica. Dependiendo de la definición dada, las influencias ambientales pueden ser beneficiosas, dañinas o no peligrosas, aunque a menudo se asocian con cambios humanos perjudiciales para el medio ambiente. (De Santos et al, 2011, p.20)

Los trabajos de construcción y demolición afectan directamente al medio ambiente debido a la producción de residuos. Ocurren dos veces: durante la extracción de materiales directos de construcción y agregados producidos internamente en la realización de las tareas de construcción y demolición. (De Santos et al, 2011, p.20)

Durante el proceso de extracción se ocasiona el mayor impacto negativo. Durante el mismo periodo de extracción se producen unos residuos similares a los del proceso de elaboración, pero este efecto es pequeño en comparación con el propio proceso de extracción. Así, durante la extracción del mineral se comienza el ciclo de generación de residuos, esto se debe principalmente a que, si no se extrajera la materia prima, no se generaría ningún residuo. El impacto ambiental negativo de las colisiones durante la construcción se debe en su totalidad a la generación de residuos. (De Santos et al, 2011, p.20)

Los RCD afecta negativamente al medio inerte definido como parte del medio formado por el contorno físico como el clima, la atmósfera, la geología e hidrología (de superficie a superficie y subsuelo), los principales efectos adversos del medio inerte incluyen materias primas y costos de materias primas y energía, cambios geológicos, contaminación de aguas directamente

en contacto con la atmosfera y acuíferos, además de la contaminación atmosférica. (De Santos et al., 2011, p.36)

La biodiversidad, por su parte, especifica el entorno original formado por el estado edáfico de la superficie, las plantas y los animales. Los principales efectos adversos de RCD en el entorno biológico son el deterioro del ecosistema debido a la sustracción de componentes, el uso del suelo como basurero y la pérdida de suelo marino donde se recolectan los desechos, aunque se retiren posteriormente. (De Santos et al, 2011, p.37)

De igual forma, en el medio humano se definen como naturaleza socioeconómica, las condiciones de calidad del ser humano, los métodos de aprovechamiento de los recursos, la calidad y existencia del patrimonio, las condiciones de percepción del entorno circundante (paisaje). Los primordiales efectos adversos asociados a RCD en el medio humano son: vibraciones provocadas por el movimiento de vehículos pesados, tanto en la industria minera como en vertederos, el deterioro del paisaje en el medio natural especialmente debido a los vertederos y la minería, la degradación del paisaje en entornos urbanos especialmente debido a la acumulación de residuos en solares y baldíos, en cunetas, caminos y ocupaciones de suelo urbano susceptibles de ser destinados a otros usos. (De Santos et al, 2011, p.37)

1.1.4. Causas que conllevan a que no se dispongan adecuadamente los RCD

El precio de transferencia y evacuación de los RCD, normalmente se hace una recolección informal por volquetas particulares o vehículos de tracción animal, puesto que dicha acción representa el menor valor de realizar la disposición de los RCD, provocando un problema ambiental y social debido a que la mayoría de personas contratadas para tal fin hacen disposición

de estos materiales en sitios que no están autorizados, ya sea en humedales, lotes baldíos, ríos entre otros. (Pacheco, Fuentes, Sánchez & Rondón, 2017, p.13)

Otra causa es la falta de planificación de las obras, desconocimiento tanto de la normatividad y de los lugares autorizados para ubicar los desechos producidos en los proyectos de edificación por parte de los generadores de residuos. Además, las entidades de acueductos, alcantarillado, aseo, instituciones de control y generación de la normatividad ambiental, las cuales son las encargadas del manejo, tratamiento y administración de los RCD no implementan el procedimiento de gestión de desechos que se generan a diario, por otro lado, se debe ir educando a los constructores que acepten y utilicen dichos planes, una idea que puede hacer que estos planes se lleven a flote podría ser la generación de beneficios a las compañías que disminuyan la producción de los RCD así como se le hacen a las empresas que “combaten la huella de carbono”. (Pacheco et al., 2017, p.8)

1.1.5. Reutilización de los Residuos de Construcción y Demolición

Reutilizar RCD es extender la vida útil de los residuos que se pueden reutilizar o crear nuevos materiales en el proceso de conversión, este proceso consiste en la reutilización de residuos de las edificación para así fabricar nuevos productos o elementos no estructurales como: candeleros, tuberías, canalones, muros prefabricados, muros cortina, mobiliario urbano, nuevas materias primas y reducción del uso de la piedra como agregado, originando un impacto ambiental y económico, debido a que el procedimiento de reciclaje es el sistema más económico debido al extenso mercado existente para aprovechar los materiales reciclados. Por otra parte, se estaría abriendo camino a la posibilidad de que las compañías de construcción elaboren sus propios insumos. (Sánchez, 2020, pp.4-6)

Según Bravo (2010), afirma que se logra obtener nuevos componentes que podrán ser comercializados y reutilizados como materiales constructivos mediante el reciclaje de los RCD, los cuales pueden ser: mortero, ladrillos, rellenos de canteras, gravas para jardines, entre otros. La reutilización de los RCD no únicamente contribuye al medioambiente sino también reporta ventajas en la economía. Esta acción también ayuda a impedir el uso excesivo de canteras y de áridos naturales.

A la hora de recuperar y reciclar desechos de edificaciones, el aspecto principal a considerar es que los beneficios económicos y ambientales compiten en el mismo sitio. Por lo tanto, el reto para el futuro es combinar el mejoramiento económico de la sociedad con la conservación del medio o como se le conoce comúnmente desarrollo sostenible. En este mismo sentido, todas las labores enmarcadas en la recuperación y el reciclaje tienen gran prioridad. Si bien de ninguna manera es posible sustituir completamente la actividad primaria por un proceso secundario o el proceso de reciclaje, cualquier iniciativa que favorezca el avance de este último es un paso hacia el desarrollo sostenible antes mencionado, y lo que se requiere es la única alternativa que puede avanzar hacia el futuro actividades de producción. (Natalini, Klees & Tirner, 2013, p.1)

1.1.6. Aprovechamiento de los Residuos de Construcción y Demolición en Edificaciones

El crecimiento de las ciudades produce altas construcciones que con el pasar del tiempo han demostrado ser una de las acciones importantes que afecta al ambiente; el cual se pretende que con los RCD se realice una reincorporación en edificaciones nuevas con estos materiales por medio de un proceso de recuperación, implementando eficientemente las técnicas adecuadas dentro de las que se destacan la reutilización, revalorización, entre otras. (Ospina & Castro, 2016)

El aprovechamiento de residuos se muestra como un tema preeminente para proteger la explotación de recursos naturales, cubrir necesidades crecientes de materia prima y básicamente minimizar la necesidad de colocar residuos en los espacios para proteger al medio ambiente. (Flor, 2012)

El no aprovechamiento de los materiales tipo RCD, pueden producir, desperdicios de materiales, elevados precios globales para la sobreexplotación de canteras y escombreras e intervención de edificaciones, entre otros. Al ejecutar el aprovechamiento de estos RCD, se tiene la posibilidad de reducir afectaciones al medio ambiente y reducir costos al proyecto, ya que se reducirán ítems a la hora de la compra de materiales. (Jiménez & García, 2016)

1.1.7. Consecuencias de los Usos de los RCD

La construcción en las últimas décadas ha estado en aumento en las ciudades colombianas produciendo residuos de edificaciones, los cuales han generado una problemática ambiental muy evidente, debido a su innumerable cantidad e inadecuada disposición, estos residuos han sido desviados al suelo y fuentes superficiales, contaminando de esta manera el recurso hídrico. Por otra parte, las reparaciones de tuberías o limpieza de canales son labores que también generan residuos. (Pacheco et al., 2017)

No todos los residuos de demolición pueden ser reutilizados, por lo que algunos deben retirarse a un lugar designado únicamente para este fin. Esto es importante porque, la eliminación de los residuos dañados no solo reduce el ciclo de vida del vertedero, sino que además obstaculiza la adecuada gestión debido a los procesos para reciclar y reutilizar los residuos, por esta razón el poco control tiene como consecuencia la generación y clasificación de residuos que poseen potencial para su aprovechamiento. (Pacheco et al., 2017)

El problema ambiental genera un deterioro de salud pues empeora la calidad del aire produciendo afectaciones al funcionamiento del sistema respiratorio, además de la contaminación del paisaje, uso de espacio público y daños en la vida y ecosistemas de miles de especies animales y vegetales que habitan en ecosistemas naturales. (Castiblanco, 2020)

1.1.8. Elementos Estructurales en una Edificación

Cada elemento estructural, aunque relacionado, está marcado por una parte donde la estructura se puede dividir en sus propios propósitos de diseño. Según los postulados de resistencia de materiales estos elementos se diseñan, calculan y verifican en las áreas de la ingeniería civil, arquitectura, estructural y mecánica. Son elementos que soportan cargas vivas, su propio peso, fuerzan horizontales (Vientos y sismos). (TRIO Procesos Constructivos S.L., 2019)

Para dar cumplimiento a lo anteriormente mencionado estos componentes están planteados, calculados o dimensionados con los siguientes requerimientos:

- **Criterio de resistencia.** Incluye verificar que las presiones más elevadas no excedan alguna presión permisible del material del componente.
- **Criterio de rigidez.** Incluyendo el hecho de que bajo la influencia de las fuerzas aplicadas se obtienen las mayores desproporciones o desplazamientos que no sobrepasen un determinado límite de aceptación.
- **Criterios de estabilidad.** Esto incluye verificar que la desviación de las fuerzas reales sobre la carga esperada no provoque un efecto no deseado que pueda generar inestabilidad elástica o una pérdida de equilibrio mecánico.

- **Criterios de funcionalidad.** Esto incluye un grupo de escenarios adicionales en cuanto a los requerimientos y fuerzas que alcanzan a surgir durante el uso de cualquier elemento estructural. (TRIO Procesos Constructivos S.L., 2019)

Clasificación de los Elementos Estructurales

Dimensionalidad del Elemento. Según puedan ser modelizados como elementos unidimensionales como los arcos, vigas, columnas, entre otros, están además los bidimensionales dentro de los que se encuentran las placas, láminas y membranas por último se destacan los elementos tridimensionales.

Forma Geométrica y/o Posición. La geometría específica altera las especificaciones del patrón de tejido utilizado; Por lo tanto, el modelo debe tener en cuenta estas diferencias, ya sea que la pieza sea curva como un arco o recta como una viga. La posición u orientación también afecta directamente la naturaleza del estado de tensión del componente.

Estado Tensional y/o Solicitaciones Predominantes. Los principales esfuerzos son de arrastre (membranas y cables), de tensión (separadores), de inflexión (vigas, ménsulas, placas, carcasas) o de torsión (ejes de transmisión, etc.). (TRIO Procesos Constructivos S.L., 2019)

1.1.9. Elementos Arquitectónicos en una Edificación

El elemento arquitectónico es el elemento que da estructura, forma y calidad estética a un edificio. Existen elementos arquitectónicos destinados a separar el volumen de un edificio de su entorno, componentes externos como frentes o cubiertas y componentes internos que dividen plantas (aquellos elementos que normalmente solo están soportando su propio peso y no hacen parte del sistema estructural de la edificación). (Arquitectura Pura, 2021)

Tipos de Elementos Arquitectónicos. Variedades clases de elementos arquitectónicos son producto de la relación entre el espacio que ocupan en la edificación y el entorno. A continuación, se muestra la clasificación de los diferentes tipos de elementos arquitectónicos:

Elementos Sustentados. Estos incluyen componentes de soporte como tilo y arcos, de los cuales son los siguientes generadores de ingeniería produce techos planos y cúpulas. Todo tipo de vigas, cubiertas y sus elementos componentes tales como arcos, ranuras, volantes y dinteles. Las columnas y las columnas vienen en secciones transversales poligonales y circulares, al igual que todos los tipos de paredes. (Arquitectura Pura, 2021)

Se pueden clasificar bien sea según su frecuencia o por materiales de construcción, tales como muros: ciclópeos, de mampostería, cantería, ladrillo, sin quemar y muro, considerando de igual manera los tensores y la parte trasera. En este tipo de arquitectura se tienen en cuenta los elementos básicos de columna, capitel y eje. Algunos elementos estructurales soportan y sostienen al mismo tiempo, como pasamanos, columpios de cúpulas o zapatas voladoras de algunas aberturas. Los pilares están dispuestos de la misma manera que los soportes de la estructura del techo. (Arquitectura Pura, 2021)

Elementos Arquitectónicos Funcionales. En arquitectura se pueden encontrar elementos que juegan un papel decisivo en la relación entre los diferentes espacios, así como en la relación entre el espacio urbano y su entorno, como puentes, escaleras, miradores, balcones, ventanas y puertas, etc. Los elementos funcionales separados juegan el papel de dividir el espacio, tales como: tabiques, tabiques y muros sin carga, tabiques de vidrio, muros cortina, rejillas, puertas, ventanas y barandillas de balcones. (Arquitectura Pura, 2021)

Elementos Arquitectónicos Decorativos. Cumplen una función decorativa dentro del edificio. Los elementos arquitectónicos decorativos son principalmente estéticos, pero pueden ser elementos de carga o parte de elementos funcionales. Dado que no es una estructura, puede perderse en la estructura, pero esto no indica que el edificio tenga poca resistencia estructural. Algunos de estos elementos son: metopas, triglifos, molduras, acanaladuras, falsos arcos, canecillos, mocárabes, artesones, falsos techos o cielos rasos, revestimientos interiores e iluminación indirecta. (Arquitectura Pura, 2021)

Capítulo 2. Marco Referencial

2.1. Marco Histórico

Según Hoornweg & Bhada (2012), afirman que la producción global de residuos sólidos se encuentra cerca de 1.300 millones de toneladas por año y se deduce que crezca a 2.200 millones de toneladas para 2025, lo cual es una advertencia y un llamado a una estrategia para mitigar esta problemática que afecta la salud, el medio ambiente y la economía a nivel local y mundial. (Segura, Rojas & Pulido, 2020)

Alrededor de 93 millones de toneladas de basura se generan anualmente en Asia oriental y central. En América Latina y el Caribe, la producción de desechos equivale a 160 millones de toneladas al año. Por otra parte, en la región de Medio Oriente y Norte de África, la cantidad de residuos sólidos asciende a 63 millones de toneladas por año. Finalmente, el sur de Asia produce alrededor de 70 millones de toneladas por año debido a las actividades de construcción. (Trujillo & Quintero, 2021)

2.1.1. Antecedentes a Nivel Internacional sobre los Residuos de Construcción y Demolición

Muchos países cuentan con planes y modelos integrados de gestión de RCD como Bélgica, Dinamarca y Holanda con más del 75% de utilización de estos residuos, sumados a otros países como Reino Unido o Austria con el 40% y España con un 15% de utilización de los RCD, los cuales son vendidos en construcciones de vías como bases, sub bases y rellenos. (Vega & Duran, 2017, p. 11)

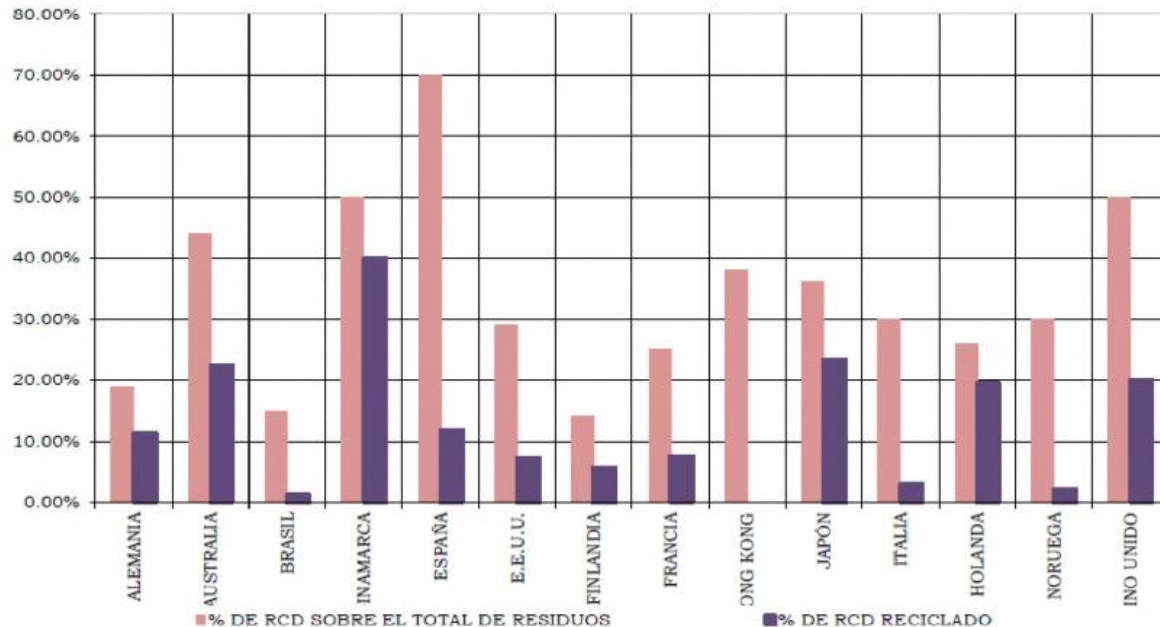
Según Lia, Zheng, & Zhou (2011), se implementaron en varios países leyes de separación, de eliminación y reciclaje de RCD, para dar una idea, en Japón se formuló la primera ley en 1970 siendo derogada en 1991 por la “Ley de Promoviendo la reutilización del recurso”

con el objetivo de que dichos residuos, deban ser llevados a plantas de reaprovechamiento para su almacenamiento definitivo, en Austria comenzó a regir de manera similar desde el año de 1993 (Gobierno Vasco, 2014), en el mismo año en Finlandia la ley de Residuos expone los grados establecidos en la Directiva 91/156/CEE del 18 de marzo incluyendo las primacía sobre los compromisos de los generadores y portadores de residuos. (Burgos, 2010 citado en Bermejo, 2016)

Por otro lado, en Alemania no está permitido la utilización de los RCD en la producción de nuevos concretos, debido a que estos, según las políticas de esta nación no tiene la resistencia para su utilización en concreto, pero dicha prohibición está siendo revaluada a causa de las grandes cantidades de materiales reciclados en la post-guerra con los cuales se crearon concretos de hasta 30 MPa. (Doria Villareal & Miranda Morales, 2004 citado en Bermejo, 2016)

No obstante, la Unión Europea también ha creado diferentes normas legislativas con la finalidad de promover la gestión de los RCD recalcando los impuestos generados al vertimiento, acción que ha sido tomada en los siguientes países: Dinamarca, Holanda, Suecia, Finlandia, Bélgica, Austria, Alemania, Reino Unido, Italia y Francia, así como estos países muchos son los que han implementado leyes y planes de gestión de los RCD, en Latinoamérica el pionero en esto fue Brasil y en Centro América México. En la siguiente Figura se expone el Porcentaje de RCD reciclado sobre la proporción de RCD originados a nivel internacional. (IHOBE, 2004 citado en Bermejo, 2016)

Figura 1. Porcentaje de RCD reciclado sobre el porcentaje de RCD producido



Nota. La figura representa el porcentaje de RCD reciclado sobre el porcentaje de RCD producido a nivel mundial. Tomado de (Martín Morales, 2013)

2.1.2. Antecedentes a Nivel Nacional sobre los Residuos de Construcción y Demolición

La industria de la construcción en el último tiempo se ha transformado en uno de los sectores económicos más dinámicos, lo que ha propiciado la mejora continua de la calidad de vida de considerables personas en nuestro país, al punto que la construcción en las ciudades colombianas se ha incrementado significativamente, lo que ha resultado en residuos de construcción y demolición dado a su gran cantidad y disposición inapropiada, se han convertido en un problema ambiental.

En 2019, Colombia produjo 237 millones de toneladas de CO₂, de las cuales el 11% provino del sector de la construcción o alrededor de 26 millones de toneladas. De lo anterior, se demuestra que la industria de la construcción nacional es uno de los importantes emisores de contaminantes y una fuente importante de residuos sólidos, por lo que las construcciones

sustentables junto con el manejo de residuos pueden ayudar a reducir este contaminante. (Trujillo et al., 2021)

En Colombia existen muy pocos datos actuales a nivel nacional, según un estudio realizado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el año 2011 se produjo 22.270.338 toneladas de RCD en las ciudades de Bogotá, Medellín, Cali, Manizales, Cartagena y Pereira, del 60% al 90% de estas toneladas totales se procesan en instalaciones autorizadas. (Martínez, 2019)

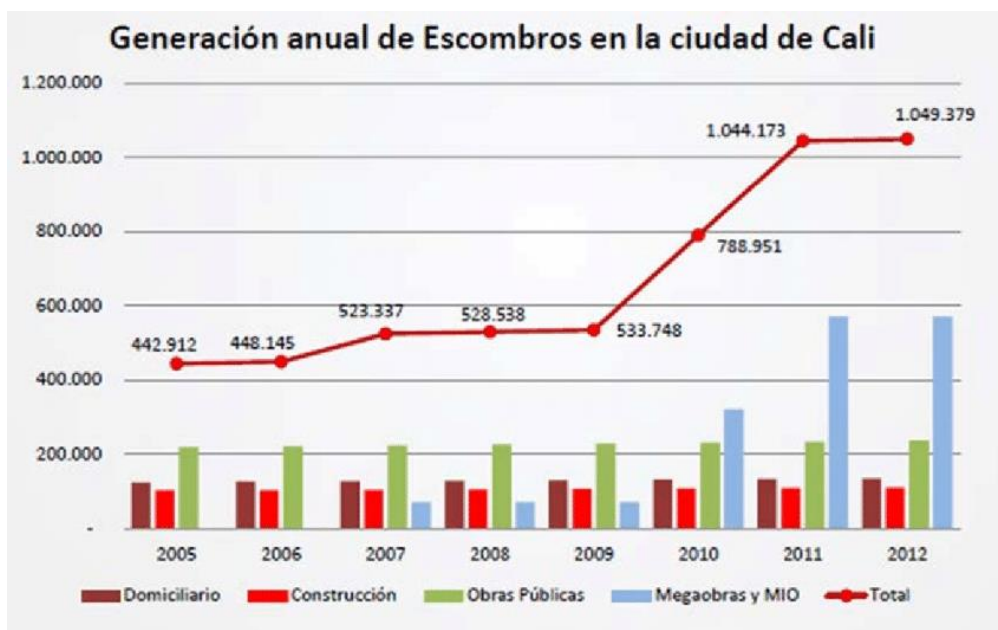
De acuerdo con Castaño, Misle, Lasso, Gómez & Ocampo (2013), la ciudad de Bogotá produce alrededor de 15 millones de toneladas de RCD al año, los principales productores de estos residuos son el Instituto de Desarrollo Urbano y las edificaciones privadas, donde solo el 5% a El 10% se recicla y se consume, teniendo en cuenta que la ciudad tiene la ordenanza 2397 en 2011 emitida por la secretaria ambiental del distrito que permite a los constructores utilizar los desechos de su trabajo, además, ahora está disponible un Manual de preparación del plan integral de construcción y demolición (RCD).

En total, la ciudad de Medellín produce 6.000 toneladas de RCD por día, transportadas por al menos 300 motos o camiones y unas 2.500 volquetas, principalmente a tres puntos de acopio temporal y tres rellenos sanitarios regionales, sin embargo, existen unas 500 instalaciones que se disponen de sin control especial, Medellín cuenta con el Acuerdo No. 062 “Plan Integral de Gestión de Residuos Sólidos” en 2009. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental [ACODAL], 2016)

La capital del Valle del Cauca produce actualmente un promedio de 2.480 m³ de RCD por día. Cerca del 76,6% (1.900 m³) es producido por empresas constructoras y de obras

públicas en la denominada “Generación Formal”, mientras que el 23,4% restante (580 m3) corresponde a construcciones privadas y obras renovables y al denominado “Sector Informal”. Ahora existe el Decreto 0291 de la Ciudad en 2005 que establece lineamientos para una buena gestión por parte del gobierno, que incluye la regulación, la producción, la recolección, el transporte y la disposición final. (Robayo, Matthey, Silva, Burgos & Delvasto, 2015)

Figura 2. Generación anual (toneladas) de RCD en Cali



Nota. Tomado de (DAGMA, 2012 citado en Robayo et al., 2015)

Por otro lado, según El País (2018), Cali produce cerca de un millón de toneladas al año; buscando una solución regional integral para el manejo de residuos y, en lo posible, siguiendo un llamado de la Sociedad Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, seccional Occidente, tras advertir que “Cali está tomando acciones con decisión” en este tema. Según la organización, en la ciudad y sus alrededores se generan más de 2.500 m3 de residuos de construcción y demolición (RCD), lo que supone casi un millón de toneladas al año.

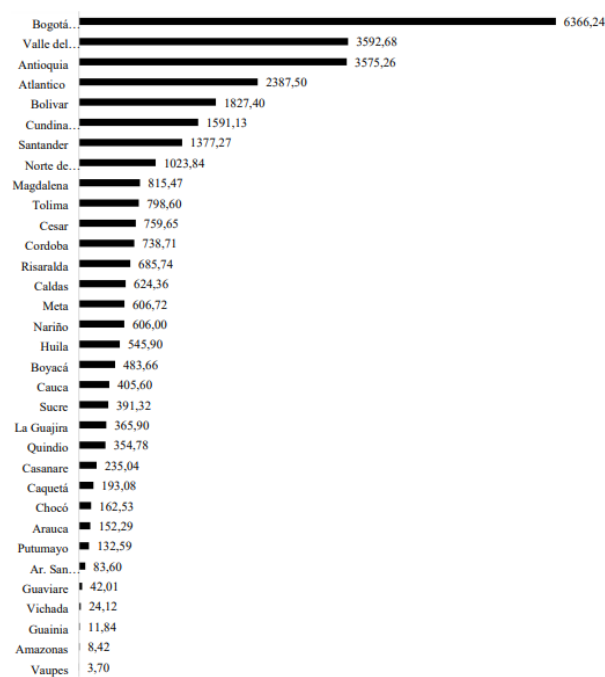
Uriel Ariza, vocero de la Asociación Mutual Ecoambiental de Cali, agregó que anualmente recolectan entre 80,000 y 92,000 m³ de basura, tanto en carretas como en vehículos con tecnología removible. “Debería ser imperativo, como ocurre en Europa, obligar a los constructores, que, el que más residuos genera, reutilice estos materiales para trabajos similares”, dice Ariza. (Redacción de El País, 2018)

Según el Distrito de Cartagena de Indias (2016), los productores registraron un promedio mensual de RCD de 555.635,09 toneladas en 2019, de las cuales solo se utilizó el 3,3%, según datos difundidos por el Establecimiento Público Ambiental para los programas de gestión ambiental para la construcción, que se ha implementado para la gestión integral de RCD, cubre principalmente 3 aspectos importantes como son la adecuada prevención, aprovechamiento y disposición final. (p.71)

En cambio en Barranquilla diferentes consultoras y empresas reportan la producción de diferentes cantidades de materiales dependiendo de las actividades que realizan, las estructuras analizadas generan aproximadamente 48.2 m³ RCD cada semana, en la ciudad existen 3 plantas para el tratamiento de estos residuos, uno se refiere a la recolección, transporte y disposición de residuos; otra agencia es responsable de auditar y redactar leyes ambientales y otra es responsable de garantizar la sostenibilidad ambiental aunque el plan de manejo no se implemente adecuadamente. (Pacheco et al., 2017)

A continuación, se muestra una figura compilada por el Departamento Nacional de Planeación en 2018 que muestra las toneladas diarias promedio por departamento.

Figura 3. Toneladas diarias promedio por departamento



Nota. Tomado de (Departamento Nacional de Planeación, 2018 citado en Trujillo, 2021)

2.1.3. Antecedentes a Nivel Local sobre los Residuos de Construcción y Demolición

Según Vega & Duran (2017) el municipio de Ocaña cuenta con una escombrera la cual acoge en teoría el total de los RCD, puesto que la generación de RCD excede el 100% de la capacidad de la escombrera, es transcendental señalar que la tesis elaborada por los autores solo tomo en cuenta 8 edificaciones en construcción, estas obras generan aproximadamente más de 3 veces la capacidad de la escombrera, panorama que es preocupante para dicho municipio por consiguiente los RCD son dispuestos en cualquier lugar, ya sea en las calles, lotes baldíos, humedales, etc. Presentando una proporción del 60% en excavaciones, 30% en concreto y cerámicos y el porcentaje restante en otros materiales como vidrio, cartón, plástico y papel.

La cantidad de RCD en Ocaña genera aproximadamente 11 toneladas por mes, lo cual cambia en el mes de diciembre aumentando a 15 toneladas por mes con un volumen alrededor de

500 m³ por mes, en lo relacionado a la composición de residuos destinados a la escombrera municipal principalmente se generan ladrillos fragmentados, tierra, tuberías, entre otros escombros. (Unidad Técnica Ambiental [UTA], 2015)

También hay una organización como lo es CORPONOR que es la responsable de supervisar y hacer cumplir las leyes y reglamentos de RCD, sin embargo esta función se hace de manera deficiente prácticamente nula porque actualmente no existe un manual de RCD en construcciones para la ciudad de Ocaña, pese a que la escombrera no da abasto y a que la ciudad se encuentra en pleno crecimiento tanto horizontal como vertical, la implementación de un manual podría desacelerar la generación de RCD alta que hay en el municipio y podría ser una medida primaria para la ayuda de la construcción sostenible.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Agregados

Son un conjunto de granos, de origen artificial o natural, que al ser mezclado con agua y cemento da origen al concreto, estos constituyen cerca del 70% al 75% de la mezcla. (Arqhys Arquitectura, 2022)

2.2.2. Almacenamiento

Es la localización provisional de los RCD en contenedores, patios de almacenamiento temporal y/o instalaciones de almacenamiento para la recolección y transporte para uso o disposición final. (MADS, 2021)

2.2.3. Aprovechamiento de RCD

Es la transformación que se genera de la restauración de los materiales provenientes de las construcciones y demoliciones de las edificaciones, con el fin de darle una reincorporación a estos materiales en construcciones nuevas, por medio de un proceso de reciclaje y reutilización. (MADS, 2017)

2.2.4. Demolición Selectiva

Esta es una operación planificada que tiene como objetivo utilizar los desechos de demolición. (MADS, 2017)

2.2.5. Desarrollo Sostenible

Es el avance que satisface las necesidades básicas de la población sin perjudicar el medio ambiente. (Línea Verde, 2018)

2.2.6. Edificaciones

Son todas aquellas construcciones ejecutadas artificialmente por el ser humano en diferentes espacios, tamaños y formas, para específicos propósitos. (Bembibre, 2009)

2.2.7. Escombros

Es el conjunto de materiales desechados por una obra de construcción, demolición, destrucción o el deterioro de una estructura, tales como madera, hierro, ladrillos, bloques, metal, piedras, y cualquier material que participa en una obra.

2.2.8. Generador de RCD

Es la persona que produce RCD, mediante la ejecución de tareas de construcción, demolición, reparación o mejoras locativas. (MADS, 2017)

2.2.9. Gestión Integral de RCD

Es el conjunto de actividades dirigidas a prevenir, reducir, aprovechar y disponer finalmente los RCD. (MADS, 2017)

2.2.10. Gestor de RCD

Es la persona que desarrolla labores de recolección, transporte, almacenamiento, aprovechamiento o disposición final de RCD. (MADS, 2017)

2.2.11. Programa de Manejo Ambiental de RCD

Es el instrumento de administración que contiene la información que garantiza la gestión integral de los RCD generados en la obra y de las actividades que se realizan. (MADS, 2017)

2.2.12. Puntos limpios

Estas son las áreas creadas por el gestor para realizar la separación y almacenamiento temporal de RCD. (MADS, 2017)

2.2.13. Reciclaje de RCD

Este es un proceso o reciclaje realizado mediante la recolección y conversión de RCD para convertirlos en materias primas o productos para su reutilización en nuevos materiales de construcción. (MADS, 2017)

2.2.14. Recolección

Es una selección de los residuos ocasionados por las construcciones y demoliciones de las edificaciones para ser tratados en plantas especializadas para producir nuevos materiales para edificaciones nuevas.

2.2.15. Residuos de Construcción y Demolición (RCD) (anteriormente conocidos como escombros)

Son los residuos sólidos que se producen de las actividades de excavación, construcción, demolición, reparaciones o mejoras locativas de obras civiles. (MADS, 2017)

2.2.16. Reutilización de RCD

Es la extensión de la vida útil de los residuos recuperados que se utilizan nuevamente, sin que para ello se necesite un proceso de transformación. (MADS, 2017)

2.2.17. Sitio de disposición final de RCD (anteriormente conocido como escombrera)

Es el lugar técnicamente elegido para la disposición final controlada de RCD, minimizando y examinando los impactos ambientales y empleando principios de ingeniería, para la confinación y aislamiento de dichos residuos. (MADS, 2017)

2.3. Marco Teórico

Quintero y Trujillo (2021) revelan en su trabajo, “Análisis de la Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y la Sustentabilidad de la Construcción en Bogotá, D.C.”, información estudiada en las diversas fuentes bibliográficas durante la última década sobre generación y gestión de residuos con el fin de poder generalizar la política pública y así observar qué obras de construcción se están realizando en las principales ciudades de Colombia, y

principalmente en Bogotá, las cuales están fallando, con el fin de proponer un plan de manejo para reducir el impacto ambiental de los RCD. Al mismo tiempo, describe de forma clara y breve todas las leyes aplicables en Bogotá, D.C, para implementar un adecuado plan de manejo de RCD, mostrando los beneficios de la reutilización, reciclaje y reutilización de estos materiales, incluyendo asesoría técnica y legal.

Urquijo (2021) construye “un modelo de gestión integral de los residuos de construcción y demolición (RCD) con foco en los beneficios económicos, ambientales y de consumo, sujeto a la ciudad de Tunja. En su proyecto, presenta un método de trabajo basado en investigaciones y análisis relevantes sobre la gestión de RCD, utilizando una metodología de inferencia cualitativa para proporcionar criterios adecuados para la resolución de problemas relacionados con la gestión de residuos. Esto se hace visitando obras de construcción en la ciudad, donde se ha identificado el impacto ambiental de la disposición inadecuada. Además, brinda alternativas para ser utilizadas en beneficio de la ciudad, que incluyen, entre otras, recolección privada, almacenamiento limpio, reciclaje.

Vega y Duran (2017) determinan la composición óptima de la mezcla para la producción de hormigón reciclado a partir de residuos pétreos y cerámicos de edificaciones en el municipio de Ocaña, Norte de Santander. Esto se hace investigando el reciclaje y la reutilización de RCD mediante el diagnóstico de la formación y el reciclaje de estos materiales. Se realizó un estudio comparativo de la resistencia y costo del concreto convencional y reciclado, y finalmente se dieron a conocer los Lineamientos de Manejo de Residuos de Construcción y Demolición. Este proyecto se desarrolló visitando 8 obras de construcción para recolectar muestras y así poder realizar este tipo de concreto, se realizaron en obra una serie de pruebas, comparaciones y

análisis para identificar los pros y contras del manejo solidario de residuos con el plan de manejo de residuos.

2.4. Marco Legal

2.4.1. Decreto 2811 de 1974

“Se establece el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente, el cual tiene por objeto preservación, restauración y conservación del ambiente, prevenir y controlar los efectos nocivos de la explotación de los recursos naturales no renovables, y regular la conducta humana, individual o colectiva y la Administración Pública” (Alcaldía de Bogotá, s.f.)

2.4.2. Resolución 541 de 1994

“Se reglamenta el cargue, descargue, transporte, depósitos y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y estrato orgánica, suelo y subsuelo de excavación” (Ministerio del Medio Ambiente, 1994)

2.4.3. Decreto 948 de 1995

“Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire” (Ministerio del Medio Ambiente, 1995)

2.4.4. Ley 1259 del 2008

“Por medio de la cual se instaure en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones” (Congreso de la República de Colombia, 2008)

2.4.5. Resolución 472 del 2017

“Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de Construcción y Demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2017)

2.4.6. Resolución 1257 de 2021

“Por la cual se modifica la Resolución 0472 de 2017 sobre la gestión integral de Residuos de Construcción y Demolición - RCD y se adoptan otras disposiciones” (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS], 2021)

Capítulo 3: Diseño Metodológico

3.1. Tipo de Investigación

Para la ejecución de esta monografía de investigación su principal propósito es la indagación y recopilación de información en relación a la documentación bibliográfica existente y disponible sobre el uso de RCD aplicados en elementos estructurales y arquitectónicos de edificaciones, que permita reunir esta información para finalmente obtener un amplio conocimiento y claridad sobre el tema estudiado, generando de esta manera aportes significativos en la industria de la construcción, por tanto, con este método se podrá obtener la información necesaria para el análisis de alternativas del uso de residuos de construcción y demolición (RCD) aplicados en elementos estructurales y arquitectónicos de edificaciones en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

3.2. Población

La población enmarcada dentro de esta monografía son las investigaciones internacionales, nacionales y locales más representativas sobre las alternativas del uso de residuos de construcción y demolición (RCD) aplicados en elementos estructurales y arquitectónicos de edificaciones en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

3.3. Muestra

Luego de establecida la población de estudio, se establece una muestra de la cual se seleccionará una muestra significativa de 8 alternativas para recopilar y conocer información relevante sobre sus características, con las cuales se va a trabajar en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

3.4. Recolección de Información

3.4.1. Métodos de Recolección de Información

La recopilación de información para esta monografía se llevará a cabo de acuerdo con los siguientes métodos:

La Observación. Basado en estudios de observación detallados de alternativas que se han llevado a cabo utilizando residuos de construcción y demolición para centrarse en la gestión, el uso y la disposición final de RCD.

El Análisis. Se analizará la información concerniente al uso de residuos de construcción y demolición (RCD) aplicados en elementos estructurales y arquitectónicos; proceso que consiste principalmente en las correlaciones entre las alternativas utilizadas en Colombia y en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, asumiendo los diferentes usos de los RCD donde se ha demostrado cierta relación entre ellos incluyendo costos, propiedades mecánicas y otras características sobresalientes en cada práctica utilizada para su adecuada gestión y aprovechamiento, al mismo tiempo que se analizarán las diferencias y semejanzas entre las investigaciones relacionadas con las alternativas similares en varios puntos geográficos, así como los factores que han influido en el manejo que se le ha dado a los residuos y las afectaciones sociales, económicas y ambientales que han ocasionado.

3.4.2. Herramientas para la Recolección de Información

Para lograr el objetivo del trabajo propuesto, se utilizarán diversos métodos para facilitar el diseño del estudio. El trabajo se desarrolla en las siguientes etapas:

Etapas 1: Revisión bibliográfica y documentación.

Etapa 2: Optar por bibliografía relevante de calidad: trabajos de grado, trabajos de investigación, tesis, informes y contribuciones se han realizado a nivel nacional e internacional sobre el tema de investigación.

Etapa 3: Recopilación de información relevante.

Etapa 4: Desarrollo de capítulos.

3.5. Análisis de Información

Teniendo en cuenta la información recopilada y el manejo de los métodos y herramientas anteriores, se realizará un análisis sobre la alternativa más recomendada para el uso de RCD en el municipio de Ocaña, Norte de Santander.

Para el análisis de toda la información se organizará por medio de capítulos en los que se incluirán gráficos y tablas que facilitarán mejor su interpretación, generando de esta manera aportes nuevos y originales sobre el tema de estudio, con la información recolectada y analizada se direccionarán los resultados en cuales de los elementos estructurales y arquitectónicos son los más viables y rentables social, económica y ambiental en la ciudad de Ocaña, teniendo en cuenta las características que abarquen desde su geografía hasta las propiedades de los elementos más representativos en las zonas de gran demanda constructiva y qué residuos de construcción y demolición se generan en mayor cantidad para su respectivo tratamiento y aprovechamiento.

Capítulo 4. Estado del arte de los residuos de construcción y demolición utilizados en elementos estructurales y arquitectónicos de edificaciones

4.1. Estado del Arte

Los análisis modernos realizados aquí se agrupan en dos categorías: la primera es sobre la gestión y eliminación de RCD, y la segunda es sobre la investigación en la implementación de alternativas para la reutilización de residuos desde la construcción y demolición teniendo en cuenta diferentes aspectos.

4.1.1. Antecedentes Internacionales

Europa, América y Colombia - 2019

Según la investigación que realizó Vargas (2019) sobre administración de residuos en la construcción que tuvo como fin precisar la importancia de la gestión de residuos en la construcción entre Europa, América Latina y Colombia, a través de una revisión normativa sistemática comparativa. En relación a su metodología se llevó a cabo un estudio observacional retrospectivo de datos en tesis, artículos y revistas ambientales revisadas por pares en las Américas, Europa y Colombia.

Con la revisión normativa anterior, queda claro que la comunidad europea tiene los mismos estándares de gestión de residuos, con ligeras diferencias en algunos países. En América Latina en países como Bolivia, Chile, México, Colombia y Europa en España, Bélgica e Italia, la legislación cubre gran parte de los requisitos ambientales. La construcción vertical en Colombia, como en todas partes del mundo, ha crecido a lo largo de los años y se ha convertido así mismo en uno de los sectores más importantes de la economía y del crecimiento poblacional, sin

embargo, como está escrito a lo largo del documento, se necesitan medidas de control para que este tipo se acumula en sus operaciones o sus etapas no aumentan el daño al medio ambiente al generar muchas infecciones dañinas. (Vargas, 2019)

Lima, Perú - 2018

Carbajal (2018) hace referencia al estado actual del manejo y tratamiento de los residuos sólidos provenientes de la construcción en el sector vivienda en las ciudades de Lima y Callao, teniendo como propósito analizar la situación actual de la gestión y tratamiento de este tipo de residuos. La metodología consistió en hacer un examen de documentos científicos, artículos, normas legales y técnicas tomadas de la página web del SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental), en el caso de las normas técnicas se realizó el estudio, y se presentó en la página web del INACAL. (López, 2020)

Chile es uno de los miembros de la OCDE cuyas economías muestran un mayor grado de uso de recursos según el reciente informe “Evaluación del Desempeño Ambiental de Chile 2016”. Durante el período 2000-2010, el consumo interno de materias primas (DMC) aumentó un 36 %, en comparación con una disminución promedio del 7 % para el grupo de países de la OCDE (OCDE, 2016). Al mismo tiempo, la cantidad de residuos generados ha aumentado de unos 12 millones de toneladas en el año 2000 a unos 16,9 millones de toneladas. (CONAMA, 2010 citado en López, 2020)

San José, Costa Rica – 2015

En el estudio de Cruz (2015) sobre la importancia económica de reutilizar RCD en Costa Rica: el caso del municipio de Alajuela, se usó un estudio bibliográfico para referencias sobre

este tema en América Latina y el mundo, entrevistas a actores clave en Chile y Costa Rica, y referencias a datos de demanda relevantes en cuanto a la producción de residuos, por favor refiérase a una bibliografía basada en estudios universitarios. , tomando como base de sus estudios la tasa de producción de residuos, calculando el metro cúbico de residuos asociado al crecimiento poblacional y luego por el metro cuadrado de edificación tramitado por la Federación de Ingenieros y Arquitectos (CFIA). Los datos de crecimiento de la población son consistentes con las estimaciones oficiales del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INES).

A través de esta investigación, pudieron determinar que la población era pequeña y no podía generar la cantidad de residuos necesaria para que la planta fuera económicamente viable, y que una posible solución sería recibir los residuos de otros sitios cercanos; Sin embargo, se deben desarrollar estrategias para convencer a la gente de usar la planta. (López, 2020)

Madrid, España - 2014

Villoria (2014) menciona en esta investigación el sistema de administración de residuos de construcción y demolición en la edificación de uso familiar. Buenas prácticas en la edificación, contemplando el objetivo fundamental de mejorar la gestión de RCD en obras mediante la definición e implementación de un método que ayude a los técnicos no solo a gestionar los RCD de acuerdo con las leyes que se pueden aplicar, sino también a reducir los RCD en su origen y con la aplicación de buenas prácticas, turnos con certeza y claridad a la consecución de cero residuos en las obras Edificación.

Con el objetivo de saber la realidad actual de la gestión de la IG en la obra, se decide realizar un estudio bibliográfico mediante encuestas a los expertos que estuvieron en el proceso constructivo. La metodología utilizada en la elaboración de la encuesta se desarrolló siguiendo

varias etapas, para fue conocer la gestión actual que se está realizando sobre los RCD a través de la experiencia de los actores involucrados en el proceso de construcción fue necesario diseñar y realiza una encuesta arrojando resultados bastantes significativos. (Villoria, 2014)

El 53 % de los encuestados se fijó objetivos cuantitativos con respecto a la gestión de daños por colisión, así mismo la práctica más común realizada por los encuestados fue proporcionar espacio en el lugar de trabajo para recolectar adecuadamente los RCD generados, igualmente se determinó que la mayor parte de los residuos generados en todas las edificaciones, en cuanto a peso y volumen, corresponde al resto: hormigón, ladrillo y otros materiales cerámicos, yeso y madera. En general, los costos más bajos de gestión de daños por colisión se logran cuando la distancia al sitio de eliminación es inferior a 10-15 km. Mejora y mejora los procesos de construcción potenciando el control, ahorrando materias primas por el uso y reduciendo los residuos. Se ha observado que este procedimiento ayuda a cuantificar más de cerca el RCD. (Villoria, 2014)

4.1.2. Antecedentes Nacionales

Bogotá, Cundinamarca - 2021

Benavides, Chavarro, Forero, Moreno & Ramírez (2021) se centraron en la evaluación de la gestión de RCD de obras de infraestructura de Concreto S.A., con la finalidad de llevar a cabo un proceso de utilización de los residuos mencionados para desarrollar sugerencias sostenibles para el uso y la fabricación de nuevos materiales. Esta investigación tiene un enfoque heterogéneo, cualitativamente, pretende analizar, comprender y captar el impacto de los resultados de una buena gestión del alivio de daños por colisión en Concreto, en un enfoque cualitativo, cuantitativo, que será medido por medio de encuestas, históricos registros e

indicadores que faciliten refrendar diversos lineamientos respecto a la cantidad de RCD generados en las edificaciones y recabar información sobre variables. (Benavides, Chavarro, Forero, Moreno y Ramírez, 2021)

Concreto es una empresa que cuenta con 3.902 empleados, divididos en 1.879 empleados directos y 2.023 empleados indirectos, entre los que se encuentran gerentes, jefes de proyecto, diseñadores, ingenieros, docentes de arquitectura, puestos de trabajo, locales, docentes, constructores y personal administrativo y ejecutivo. Con base en lo anterior, es posible establecer una unidad de muestreo compuesta por unos 18 empleados que estarán involucrados en el proceso de recopilación de datos, como herramientas de recolección de información se utilizaron encuestas, entrevistas, índices, observaciones directas, archivos históricos, documentos internos y datos secundarios para recolectar la información a ser procesada. (Benavides et al., 2021)

Los residuos de construcción y demolición son un material altamente reciclable; Si no se utiliza, generará problemas ambientales como disposición inadecuada, reducción de la vida útil de los rellenos sanitarios y sitios de disposición final de RCD, y efectos no favorables como alteración del paisaje, contaminación del agua, cambio de uso de suelo y agua de lluvia. Los RCD deben tratarse, no como la solución, sino con medidas preventivas, separado en origen e incluidas en procesos que no solo faciliten la reutilización, sino que también amplíen la vida útil de los RCD. La prolongación de su vida en el medio ambiente es inminente. Se puede reutilizar y tiene un uso conveniente. (Benavides et al., 2021)

Medellín, Antioquia - 2015

Mejía, Osorno & Osorio (2015) indican claramente que los residuos de la construcción son una opción para la restauración de suelos, con una adecuada caracterización química y

mineral de los RDC generados en las MAM e identificación de su uso en la rehabilitación de suelos degradados por la acción urbana y la minería. Con respecto a su metodología los especímenes fueron entregados por el Relleno Sanitario de Conasfaltos y recolectados al azar. Se obtuvo una muestra mixta de hormigón, ladrillo y cemento. Las muestras se secaron a temperatura ambiente (28 °C) durante 8 días. Luego, se determinó el contenido de humedad por secado en estufa (105 °C por 24 h) y se determinó el contenido máximo de capacidad de retención de agua. Además, se realizó un proceso de trituración y trituración. Luego se muele en una lechada de ágata y se tamiza para asegurar una distribución de malla 200 a lo largo de la línea de tamiz Tyler.

En los resultados obtenidos de la caracterización química y mineral de RDC, estos ayudan a identificar elementos utilizables en la bio remediación de suelos degradados por minerales en áreas urbanas. El contenido de humedad de la muestra fue de 1,42% y el valor máximo de capacidad de retención de agua fue de 53%, lo que indica que los RCD (residuos de construcción y demolición) en suelos degradados pueden mejorar la capacidad de retención de agua, ventaja que se pierde por la degradación del suelo por la minería. Los RCD tienen el potencial de utilizar la recuperación biológica de suelos mineros urbanos degradados, ya que contienen elementos necesarios para la nutrición microbiana de plantas y suelos, también ayuda a restaurar propiedades físicas como la capacidad de retención de agua y la permeabilidad. (Mejía et al., 2015; López, 2020)

Montería, Córdoba - 2015

Zabala & Arroyo (2015) se refiere a la visión global de RCD que se realizó en un estudio de caso en Montería, para cumplir con el objetivo se abordó la problemática asociada a los RCD,

en donde se revisó detalladamente la bibliografía sobre la normativa, características, identificación, tratamiento y eventual disposición final de estos residuos. Gracias a la información secundaria que proporciona la base de datos, la información a nivel internacional y local se encuentra en la mayoría de los artículos de prensa.

Especialmente para la ciudad de Montería, debido a la falta de información sobre los RCD en la ciudad, se buscó información básica a través de observaciones, fotografías y numerosas consultas a los pobladores, los lugareños quienes conocieron de manera importante la existencia de estos restos. Los resultados obtenidos durante el ensayo de esfuerzo y erosión son que los bloques de suelo con adición de 70% RCD se comportan mejor que los bloques hechos con agregados convencionales, en cuanto a sus propiedades mecánicas, bloques de suelo con adición de RCD que cumplan con las especificaciones mecánicas y físicas definidas por la Especificación Técnica Colombiana para uso en la construcción de bloques de suelo de cemento con BSC 20 y BCS 40 respectivamente. (Zabala et al., 2015)

Montería necesita abrir un vertedero municipal, según los lineamientos del POT con el fin de prevenir y asegurar la protección del medio ambiente y la salud humana, promoviendo de igual manera la participación de empresas económicamente viables, del mismo modo utilizar RCD, que pueden reintegrarse al ciclo productivo con productos competitivos en el mercado, reduciendo la presión sobre los recursos no renovables utilizados como materia prima para los procesos de construcción. (Zapala et al., 2015; López, 2020)

Cali, Valle del Cauca - 2014

Silva, Robayo, Matthey & Delvasto (2014) reportaron la obtención de concreto autoapisonable a partir de desechos de demolición, el ensayo de regla cónica de Abrams tiene

como propósito evaluar la capacidad de deformación del concreto bajo su impacto. Atractivo específico sin ninguna limitación, aparte de la verificación visual de la separabilidad específica. El rango de valores para un flujo de estancamiento adecuado es de 550 mm a 850 mm. Si el valor es inferior a 550 mm, es posible que el hormigón no tenga suficiente fluidez para atravesar el refuerzo en estructuras muy apiñadas y si el valor es superior a 800 mm, se deben extremar las precauciones con respecto a la separación de partículas gruesas.

Técnicamente es posible utilizar elementos de demolición en obras de construcción para la producción de hormigón auto fabricado, que reemplaza parcialmente al cemento. Los tipos de concreto en los que se utilizaron los finos de este desecho tienen las propiedades necesarias que pueden considerarse autocompactantes; Estas propiedades conducen a un flujo adecuado con buena resistencia a la separación, perfusión, excelente transitabilidad y capacidad de llenado, además, en la condición resistente, tiene buena apariencia y propiedades estéticas. Sus mecanismos como la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción indirecta permiten que este hormigón auto compresor compita sin problemas con el hormigón convencional. (Silva et al., 2014; López, 2020)

4.1.3. Antecedentes Locales

Cúcuta, Norte de Santander - 2020

Peña (2020) describe los beneficios de implementar alternativas a la reutilización de materiales de construcción, además se planteó desarrollar alternativas al reciclaje de residuos de construcción para reducir la contaminación ambiental, en este proyecto de documentación en el que no realizaron experimentos, sino que leyeron y analizaron literatura y bibliografía previa. Se enfocó en recopilar los resultados estadísticos del plan de ordenamiento territorial de la ciudad de

Cúcuta, en el cual intervendrán diferentes regiones en el desarrollo económico y social, y se abordará la problemática de diferentes poblaciones y comunidades, donde se podrá obtener información detallada cuando sea necesario. Sobre el plan estadístico y estratégico que contempla la ciudad, y sobre el alcance del impacto del proyecto en el desarrollo económico y social, donde se propone el proyecto.

Los resultados especificados en este apartado son los ensayos de laboratorio realizados para comprobar el efecto del contenido de sustancia en polvo sobre los áridos finos procedentes de residuos de construcción y demolición en morteros de cemento portland. Durante la elaboración de un documento de proyecto (Ventajas de la Implementación de Alternativas de Reutilización de Materiales de Construcción), se presenta una alternativa socioeconómica, cultural y ambiental en la ciudad de Cúcuta, que indica que la ciudad y su casco urbano debido a falta de planificación en la reutilización de los materiales de construcción, así como de los diversos residuos que se generan a diario en la ciudad. En la ciudad de Cúcuta, tener mucha infraestructura construida principalmente con barro dificulta la implementación de proyectos que incluyan hormigón para estructuras con materiales RCD. (Kruger et al., 2020 citado en Peña, 2020)

Ocaña, Norte de Santander - 2017

Vega & Duran (2017) tratan sobre el tratamiento y reutilización de residuos de construcción y demolición de edificaciones con el fin de estudiar el tratamiento y reutilización de los residuos de construcción y demolición en el municipio de Ocaña, Norte de Santander, para la implementación de este proyecto se aplicará una investigación de tipo descriptiva, ya que lo revelado a través de este método será posible obtener la información necesaria para realizar esta investigación. La población de este proyecto fue de 18 edificios en construcción, de los cuales 8

serán muestreados en la ciudad de Ocaña, Norte de Santander, un aspecto importante fue la revisión de la bibliografía y literatura sobre el tema; Como textos, normas y manuales, entre otras cosas, a través de visitas de campo, relevamientos y levantamientos fotogramétricos de diversas edificaciones y vertederos municipales, se recolectará toda la información necesaria para el procesamiento de los RCD. (Vega et al., 2017)

En Ocaña, existe una organización encargada de hacer cumplir las leyes y reglamentos (UTA) que supervisa la administración de los RCD, pero existe una falta de supervisión por su parte para que se cumplan las directivas contenidas en estos documentos. La falta de eficiencia es un factor bastante significativo al momento de realizar el seguimiento de la correcta ejecución de las actividades relacionadas con el manejo de los RCD y se ve reflejado en la gran cantidad de este material que se acumula diariamente en las vías y lugares públicos. Al implementar ladrillos y cerámica como ensamblajes de concreto, ayudando a reducir la explotación de las fuentes de agua existentes, un fenómeno que ha tenido un impacto significativo en la ciudad. (Vega et al., 2017)

Capítulo 5. Recopilación de investigaciones realizadas por diferentes autores sobre el uso de RCD en edificaciones

5.1. Investigaciones Internacionales

El mejoramiento de la calidad de vida por parte de los proyectos de edificaciones y obras afines, viene aumentando la cantidad de residuos de construcción y de demolición provocando un problema ambiental a nivel mundial debido a la inapropiada disposición y eliminación.

5.1.1. Investigación en Estados Unidos

González (2010) enfatiza que en “USA se recicla el concreto como si fuera algo natural, la Asociación Federal de Carreteras, en 1985, en el periodo de ampliación de 7,000 carreteras de Wyoming, el agregado usado fue mixto entre agregados naturales y otros provenientes de reciclaje, con una economía del 16%”. (Benavides et al., 2021, p.15)

5.1.2. Investigación en México

“A partir del año 2013 específicamente en el mes de agosto los constructores están comprometidos a obedecer con la formulación de un PM-RCD conforme a la NOM-161-SEMARNAT-2011. Esta norma dicta que los RCD se clasifican como Residuos de Manejo Especial, lo que impulsa a realizar acciones para su reciclaje y reutilización, así como la disposición de los no son usados en ese proceso”. (Cmic, s.f. citado en Vargas, 2019, p.23)

Esto se hace con la intención de usar materiales nuevos o reciclados en construcción, para que sean aprovechados en reutilización; este es un método para aprovechar los materiales RCD y así poder minimizar la propagación de los residuos, se debe realizar a conciencia la separación de y almacenamiento de los materiales según su reutilización, de este modo se busca abarcar más el

beneficio en los proyectos, los materiales que no se puedan utilizar nuevamente tiene que ser llevados a los sitios autorizados para su manejo final. (Cmic, s.f. citado en Vargas, 2019, p.23)

En la ciudad de México en el 2004 se puso en funcionamiento una planta para la reutilización de los residuos de construcción, que implementa las especificaciones y clasificación de manejo para (RCD), en el distrito federal. (Catarina, s.f. citado en Vargas, 2019, p.23)

5.1.3. Investigación en China (Hong Kong)

Kang, Besklubova, Dai & Zhong (2022) diseñan la utilización del modelo BIM (que normalmente es usado para la eficiencia del diseño de edificios, etapas en construcción y su debido mantenimiento) como una alternativa en la gestión de construcción y demolición realizando una planificación eficaz en donde exista una evaluación de la cantidad de residuos generados, tarea que es difícil debido a la particularidad de los materiales, las rutas de eliminación óptimas y la elección de métodos de gestión de residuos; se busca con esta alternativa el aumento de la cantidad de recuperación de materiales.

Asimismo, se permitió mirar el panorama completo del proceso en las diferentes etapas del proyecto; actualmente se utiliza el proceso de demolición de arriba hacia abajo y se recomienda que sea selectiva y clasificada en situ por lo que se busca con modelo BIM mejorar la eficiencia de este proceso, estimar costos y ayudar a la toma de decisiones. En síntesis, esta alternativa es vista con un gran interés pese que dicho proceso debe probarse ampliamente antes de ser incorporado en la práctica con un alto nivel de confianza, objetivo que será abordado en un estudio posterior. (Kang et al., 2022)

5.1.4. Investigación en Dinamarca

En esta investigación se comparan dos alternativas de demolición. Una de manera selectiva, proceso seguido del acondicionamiento para el aprovechamiento del revestimiento del acero que está planificado para su reutilización, junto con la disposición para el reciclaje del revestimiento dañado y la generación de un nuevo revestimiento para equilibrar el desperdicio de materiales y la otra demolición convencional seguida de una curación de residuos con reciclaje de la cubierta de fachada de acero originados de la demolición, con la elaboración de un nuevo revestimiento para balancear las pérdidas de material en el tratamiento de residuos. Obteniendo una efectividad de tiempo en la demolición convencional sin embargo en el balance general los resultados favorables corresponden a la demolición selectiva pues al reutilizar el acero se redujeron la distancia de los transportes bajando las emisiones de CO₂ un 44% además de los costos mismos del transporte. Se recomienda estudios de demolición selectiva y de reutilización a otros tipos y materiales de fachadas. (Andersen, Stokbro & Walbech, 2022)

5.1.5. Investigación en India

Según Ayele (2022) el agregado de concreto reciclado y el agregado reciclados proveniente de los RCD se utilizan para sustituir el agregado más grueso y fino de un concreto normal sustituyendo hasta un 30% y un 20% respectivamente debido a si emplean mayor cantidad de residuos reduce significativamente la resistencia a la compresión. Para este estudio se clasifico el diámetro de los RCD dependiendo de su procedimiento de demolición antes del proceso de trituración. Los autores recomiendan la utilización de estos residuos en proyectos donde no se necesite una alta resistencia como lo son edificios de baja altura.

5.1.6. Investigación en Egipto

Para este análisis se utilizaron tres tipos de agregados, arena natural como agregado fino, agregados grueso y escombros de concreto triturado triturados y tamizados a la clasificación necesitada con el fin de equiparar concreto con agregado natural y con agregado de RCD. Según ellos el concreto con RCD sustituyendo el 100% de los agregados naturales genero una resistencia promedio de 33 Mpa teniendo en cuenta que la densidad del concreto utilizada fue de 400 kg/m³ es importante mencionar que hasta el 50% de sustitución de los agregados naturales se obtuvo un buen desempeño en las mezclas de concreto puesto que con el porcentaje mencionado redujo la resistencia esperada entre un 7% y 13%. (Wagih, El-Karmoty, Ebid & Okba, 2019)

5.2. Investigaciones Nacionales

5.2.1. Investigación en Bogotá, Colombia (Gestión Integral de RCD)

Para elaborar un método de control y manejo relacionado con la utilización de RCD en obra, para lograr dicha gestión se deber seguir un orden jerárquico el cual consiste en 1) reducir la generación de desechos, 2) reutilizar lo máximo posible, 3) reciclar lo que se pueda reutilizar y 4) dar valor a la materia prima y elementos adquiridos por los RCD dando el aprovechamiento necesario a los materiales, sustancias y subproductos que contengan. Se procede entonces con una demolición selectiva que no es más que una separación coordinada con mayor atención a los materiales potencialmente reciclables y reutilizables como los residuos y perfiles no fijos, extracción de portones, láminas de cubierta, infraestructuras de agua y eléctrica, demolición del edificio entre otros. Además, se recomienda la compra de cantidad mínima de productos auxiliares como pintura, disolventes, etc. (Ortega, Casas & Figueroa, 2021)

También establecer las zonas de trabajo y acopio de suministros, además de lugares para la acumulación de residuos dispuestos para una libre circulación. En la excavación clasificar la capa vegetal y por medio de estudios de suelos identificar la calidad del suelo que se extraerá, estimar las cantidades y en donde pueden ser reutilizadas. Por ultimo definir y cuantificar los tipos de materiales que no son reciclables o reutilizables para su disposición final, en la siguiente tabla se presentan las opciones de utilización de los residuos. (Ortega et al., 2021)

Tabla 2. Alternativas de gestión de uso de los RCD

RESIDUOS	ALTERNATIVA
Concretos	Reutilizar como masa para rellenos
	Reutilizar como suelos en carreteras
	Reciclar como grava suelta
	Reciclar para producción de morteros y cemento
	Reciclar como granulado
Cerámicos	Reciclar como adoquín
	Reciclar como fachada
	Reciclar para acabados
Asfaltos	Reutilizar como masa para rellenos
	Reciclar como asfalto
Metales	Reutilizar para aplicación en otros productos
	Reciclar como aleación
Madera	Reutilizar para casetones, vallados y linderos
	Reciclar para tableros y aglomerados
Vidrio	Reciclar para vidrio
Pétreos	Reutilizar como áridos finos y gruesos
Plásticos	Reciclar como plásticos
Telas, bloques, entre otros	Reciclar como base para nuevos productos
Residuos de excavación	Reutilizar como relleno y recuperación de taludes
	Reutilizar como estabilización de suelos
Elementos arquitectónicos	Reutilizar como nuevos productos

Nota. Tomado de (Secretaría Distrital de Ambiente; Alcaldía mayor de Bogotá D.C. Castellanos et al., 2017; Ortega et al., 2021)

5.2.2. Investigación en Bogotá, Colombia (Fabricación de adoquín)

Martínez & Poveda (2015) plantean la fabricación en obra de un tipo de adoquín a partir del reemplazo del material fino y grueso por RCD en un plan de arquitectura que trabaje como un componente no estructural.

Para el proceso de fabricación en obra plantean 1) contenedores para la acumulación del material, 2) aseo de los residuos, 3) trituración de los escombros, 4) cinta de transporte, 5) Tamizaje, 6) realización de mezclas, 7) máquina de vibro compactación de adoquines, 8) Carpas de secado y 9) Estribas o repisas de fraguado y curado. Es importante mencionar que los adoquines son utilizados mayormente en pavimentos, en pisos o áreas comunes sin embargo el sistema puede ser utilizado para bloque o elementos divisorios siempre y cuando cumpla con los requisitos de las normas técnicas colombianas y en obras que cuenten con al menos 70 m² de espacio disponible para el montaje de las máquinas. (Martínez et al., 2015)

5.2.3. Investigación en Bogotá, Colombia (Comparación estructural)

Según Castellanos, Rivera & Roa (2017) son elementos no estructurales los andenes, materas, etc. Debido a que no requisitos exigentes son una alternativa económicamente más viable al utilizar los RCD, puesto que se pueden emplear en mayor en un mayor porcentaje que en concreto estructural. Por otro lado, los costos con la utilización de RCD en el sistema estructural los ahorros son de hasta un 0,97%, por lo que se puede concluir que el costo es equivalente, de manera que cuando se reemplaza un 25% de agregado natural por RCD, la resistencia a la compresión del concreto disminuye 4-5%, donde se agregan agregados obtenidos de los RCD están sujetos a las pruebas técnicas requeridas por NSR-10 antes de su uso, con

mayor énfasis en las pruebas de sulfato y azul de metileno, teniendo en cuenta la cantidad de posibles aditivos que pueda tener la fuente del RCD.

5.3. Investigaciones Locales

5.3.1. Investigación en Ocaña, Norte de Santander (Reutilización y Disposición de RCD)

Vega & Duran (2019) plantean un esquema de composición para la realización de concreto con desechos cerámicos y de albañilería en donde se reemplaza en 100 % los agregados naturales realizando los ensayos necesarios para conocer las propiedades del material como granulometría, módulo de finura, tamaño máximo, densidad, absorción, masa unitaria, humedad y densidad del cemento sin embargo el concreto con estos residuos no alcanza la resistencia esperada aunque presenta propiedades casi iguales a un concreto normal. Además, efectuaron los costos de este proceso suponiendo la trituración con maquinarias porque estos lo hicieron de manera manual arrojando un 12.28% de ahorro.

Capítulo 6. Estimación y análisis comparativo de los costos requeridos para la implementación de las alternativas de manejo de RCD en edificaciones

Realizar un estudio en donde se comparen eventos, información, sucesos, hechos o elementos es un método que se utiliza en varias ramas de la investigación y estudios de mercados con el fin principal de establecer fundamentos sólidos en exponer divergencias o similitudes. Para este capítulo, le proporcionaremos la comparación de varias investigaciones en las que se implementaron alternativas sobre el manejo de RCD, en las cuales intervinieron procesos de transformación de estos residuos en nuevos productos utilizables en las edificaciones. (Ortega, 2021)

Por otro lado, el análisis comparativo se encarga de diversas tareas significativas que están directamente asociadas mutuamente, así como: desarrollo del entendimiento de la organización al posicionar su esquema o plan contra otros sistemas, contra la tradición, pensamientos y forma de actuar; coloca a evaluación las ideas, hipótesis en distintas situaciones y verifica la dimensión y relevancia de eventos específicos, colaborando para el avance de una ley o tesis universal, de igual manera proporciona alternativas y desarrolla estrategias efectivas para brindar soluciones más adecuadas. (Ortega, 2021)

6.1. Alternativa No. 1 (Medellín, 2020)

Este estudio confirma que la proporción ideal de concreto con agregado RCD a grado de diseño convencional es de 25%, debido a que en esta etapa las características de resistencia a la compresión son similares y este resultado está relacionado con las condiciones del ambiente de laboratorio como humedad, temperatura, calidad y cuidado de los procedimientos, este método

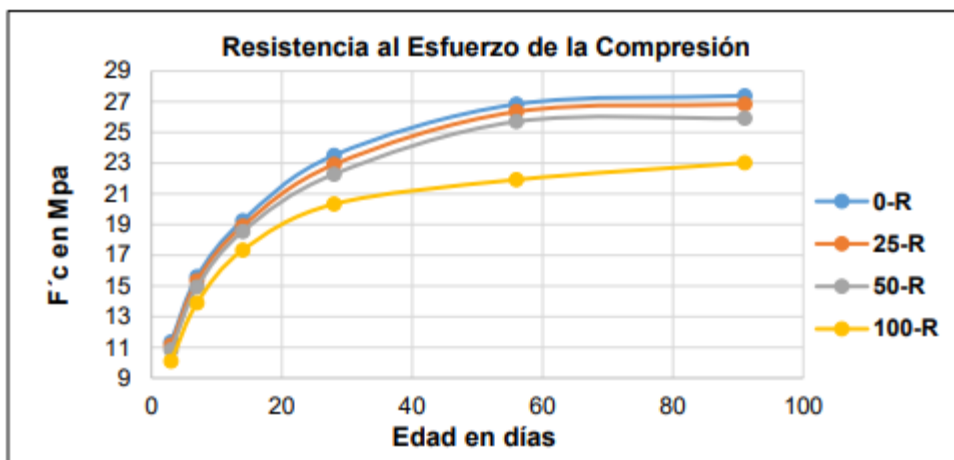
ha sido desarrollado para garantizar la correcta madurez de la muestra, 26 Mpa de hormigón o 3.770 psi. (Bedoya & Dzul, 2015 citado en Alape & Santos, 2020, p.29)

Tabla 3. Resistencia al esfuerzo de la compresión; promedio de tres probetas por edad de acuerdo con la NTC 1377 (ASTM C192)

Mezcla	Resistencia al esfuerzo de la compresión en MPa					
	3 días	7 días	14 días	28 días	56 días	91 días
0-R	11.35	15.60	19.26	23.51	26.84	27.39
25-R	11.15	15.33	18.90	22.91	26.35	26.83
50-R	10.82	14.93	18.55	22.28	25.71	25.93
100-R	10.10	13.89	17.33	20.33	21.92	23.02

Nota. Tomado de (Bedoya & Dzul, 2015 citado en Alape & Santos, 2020)

Figura 4. Resistencia al Esfuerzo de la Compresión



Nota. Tomado de (Bedoya & Dzul, 2015 citado en Alape & Santos, 2020)

Se realiza el estudio del precio para el desarrollo de 1 m³ de concreto en la ciudad de Medellín utilizando como agregado los residuos procedentes de demoliciones o construcciones, resultando ser un 65% más rentable que un concreto producido con agregados naturales, lo cual es equivalente a 1 dólar de ahorro, precios que es representativo si hablamos de proyectos que se puedan considerar como grandes. (Bedoya & Dzul, 2015 citado en Alape et al., 2020, p.30)

Tabla 4. APU para la producción de Concreto sustituyendo agregados naturales por RCD

Ítem	0-R USD/m ³	25-R USD/m ³	50-R USD/m ³	100-R USD/m ³
Agregado Fino	9.53	8.55	7.89	6.01
Agregado Grueso	9.01	8.01	7.04	5.46
Cemento	77.33	78.87	8.066	83.27
Agua	0.081	0.087	0.091	0.098
Preparación	12.55	12.55	12.55	12.55
Total	108.50	108.08	108.23	107.39

Nota. Tomado de (Bedoya & Dzul, 2015 citado en Alape & Santos, 2020)

Por otra parte, Alape & Santos (2020) en su investigación, analizan las propiedades físicas y mecánicas del concreto sustituyendo los agregados convencionales por RCD en proporciones del 50%, 75% y 100% ensayados a diferentes edades (14, 28 y 56 días) obteniendo los siguientes resultados: (p.7)

Tabla 5. Resistencia a la compresión de concreto con RCD (Mpa)

Resistencia Promedio a la compresión de especímenes (Mpa)			
Tipo de Mezcla	14 Días	28 Días	56 Días
Convencional	21.8	27.9	39.3
Mezcla con 50% RCD	22.1	31.3	41.8
Mezcla con 75% RCD	18.9	30.2	38.4
Mezcla con 100% RCD	19.7	27.9	38.2

Nota. Tomado de (Alape & Santos, 2020)

Se evidencia que la proporción con mejor comportamiento es la mezcla con 50% de RCD superando en resistencia incluso a la mezcla normal sin embargo los restantes alcanzan la resistencia esperada. (Alape et al., 2020, p.56)

Análisis Crítico

Vale la pena mencionar que en las remodelaciones estructurales que se llevan a cabo en edificaciones domésticas se deben determinar las principales propiedades mecánicas entre las que

sobresalen la resistencia, la elasticidad y demás factores para realizar una detallada comparación de valores óptimos de agregado grueso a partir de RCD que presenten las mejores características para poder ser utilizadas en el sector de la construcción, debido a que los residuos resultan ser un material conveniente de reemplazar con relación al concreto que se usa normalmente, no solo por su disponibilidad sino la rentabilidad contribuyendo a la mitigación del impacto socio-ambiental.

De la misma forma en el análisis comparativo entre un concreto convencional y un concreto con agregado grueso a partir de RCD se hace referencia a la resistencia al esfuerzo de la compresión en Mpa en donde no se menciona, ni se refleja en la tabla del diseño de la mezcla convencional esta propiedad sino que se da a conocer solo el porcentaje recomendable para un concreto reciclado compuesto de residuos de construcción y demolición, mencionando la similitud en proporción a las características de la resistencia a la compresión de las dos mezclas.

6.2. Alternativa No. 2 (Bogotá, 2018)

6.2.1. Reducción del precio al emplear RCD

Tabla 6. Precio del triturado y arena para producir concreto

Material	Und	Valor de material nuevo	Valor de material producto de RCD
Arena	M3	\$110.000,00	\$62.000,00
Triturado	M3	\$135.000,00	\$83.000,00

Nota. Tomado de (Listados de Precios IDRD, 2018 citado en Villalba, Cepeda, Rodríguez & Moreno, 2018)

Teniendo los precios de los materiales se procede con la comparación entre un concreto con materiales convencionales y un concreto a partir de RCD como se muestra en las siguientes tablas. (Villalba, Cepeda, Rodríguez & Moreno, 2018, p.33)

Tabla 7. Costo de 1 m3 de concreto convencional

Material	Und	Cantidad	Valor nuevo	Totales de material nuevo
Agua	Its	216	\$ 20,00	\$ 4.320,00
Arena	M3	0,84	\$ 110.000,00	\$ 92.400,00
Cemento gris	KG	525	\$ 420,00	\$ 220.500,00
Triturado	M3	0,42	\$ 135.000,00	\$ 56.700,00
Valor m3 con material nuevo				\$ 373.920,00

Nota. Tomado de (Listados de Precios IDR, 2018 citado en Villalba, Cepeda, Rodríguez & Moreno, 2018)

Tabla 8. Costo de 1 m3 sustituyendo el 30% de agregados por RCD

Material	Und	Cantidad de material nuevo	Cantidad de material reciclado 30%	Valor nuevo	Valor material RCD	Valor de total material nuevo	Valor total material reciclado	Valores totales
Agua	Its	216		\$20,00		\$4.320,00		\$4.320,00
Arena	M3	0,588	0,252	\$110.000,00	\$62.000,00	\$64.680,00	\$15.624,00	\$80.304,00
Cemento gris	KG	525		\$420,00		\$220.500,00		\$220.500,00
Triturado	M3	0,294	0,126	\$135.000,00	\$83.000,00	\$39.690,00	\$10.458,00	\$50.148,00
Valor total de m3 de concreto con material reciclado								\$355.272,00

Nota. Tomado de (Listados de Precios IDR, 2018 citado en Villalba, Cepeda, Rodríguez & Moreno, 2018)

Esto representa un ahorro de \$18.648,00 por metro cubico, pero para una mejor representación de estos precios se plantea una construcción básica. (Villalba et al., 2018, p.33)

Tabla 9. Cantidades de concreto para construcción de una estructura básica

M3 de Concreto con el 100% de material granular natural Opc. 1	M3 de Concreto con 30% material granular reciclado Opc. 2	Caso de construcción				
		Actividades	cantidad	Valor opc 1	Valor opc. 2	Ahorro uso de material
		M3 de zapatas	9,6	\$ 3.589.632,00	\$ 3.410.611,20	\$ 179.020,80
		M3 de Vigas	30,24	\$ 11.307.340,80	\$ 10.743.425,28	\$ 563.915,52
\$ 373.920,00	\$ 355.272,00	M3 de Columnas	18,9	\$ 7.067.088,00	\$ 6.714.640,80	\$ 352.447,20
		M3 de Placas	45	\$ 16.826.400,00	\$ 15.987.240,00	\$ 839.160,00
		M3 de escaleras	3,6	\$ 1.346.112,00	\$ 1.278.979,20	\$ 67.132,80
				\$ 40.136.572,80	\$ 38.134.896,48	\$ 2.001.676,32

Nota. Tomado de (Listados de Precios IDR, 2018 citado en Villalba, Cepeda, Rodríguez & Moreno, 2018)

Como se muestra en la tabla 9 existe un ahorro de \$ 2.001.676,32 pero en este análisis no se ha incluido el valor del transporte, ya sea para el abastecimiento del agregado natural o bien para la colocación de material originado de las actividades de excavación y demolición en los lugares autorizados para tal fin. (Villalba et al., 2018, p.34)

Tabla 10. Costo promedio del transporte para la colocación en escombreras autorizadas en la ciudad de Bogotá

Transporte/ vale	Und	Valor x Viaje	Valor por M3	Valor por M3/Km
Transporte 6M3 recorrido 30Km	Vj	\$ 108.153,00	\$ 18.025,50	\$ 600,85
Disposición de recebo 6M3	Vj	\$ 6.250,00	\$ 1.041,67	\$ 34,72
Disposición de tierra negra 6M3	Vj	\$ 3.000,00	\$ 500,00	\$ 16,67
Disposición escombro (concreto y mampostería) 6M3	Vj	\$ 2.834,00	\$ 472,33	\$ 15,74
Disposición capa vegetal 6M3	Vj	\$ 6.634,00	\$ 1.105,67	\$ 36,86

Nota. Tomado de (Listados de Precios IDR, 2018 citado en Villalba, Cepeda, Rodríguez & Moreno, 2018)

Análisis Crítico. Hay que hacer notar las ventajas y beneficios económicos que genera la adecuada gestión y manejo de los RCD en el transcurso de la realización de las obras civiles,

teniendo en cuenta aspectos fundamentales que van desde la reducción de los residuos de construcción y demolición en la fuente, la disminución de costos por la correcta gestión y uso en las obras, categorizándose todos estos aspectos como actividades eficientes sostenibles en la disposición final de los RCD.

6.3. Alternativa No. 3 (Bogotá, 2017)

6.3.1. Evaluación de Estructuras e Interpretación de Valores

Para efectuar dicha comparación es necesario cuantificar las cantidades de los elementos que componen la superestructura y en referencias a estas, estimar el valor del concreto y del acero de refuerzo de cada elemento, en la siguiente tabla se presenta las cantidades para una distribución estructural con materiales convencionales y la otra con la utilización de RCD las cuales tienen el mismo uso de material o de volúmenes y áreas debido a que se plantea el mismo tipo de edificación. (Castellanos et al., 2017, p.48)

Tabla 11. Cuantificación de concreto y acero para una estructura convencional y para una estructura con concreto RCD

ÍTEM	Área (m ²)	Volumen de concreto (m ³)		Acero de refuerzo (kg)			Cuantía de Acero		Cuantía de concreto
		f _c =28 Mpa	f _c =21 Mpa	Malla e.s. (Fy 485)	Transversal (Fy 420)	Longitudinal (Fy 420)	kg/m ²	kg/m ³	m ³ /m ²
Cimentación									
Placa de contrapiso e=0.10	225.00		22.50	799.20	0.00	0.00	3.55	35.52	0.10
Zapatas			18.37	0.00	0.00	473.14	2.10	25.76	0.08
Vigas de amarre			3.73	0.00	159.00	279.00	1.95	117.43	0.02
SUBTOTAL		0	44.60	799.20	159.00	752.14	7.60	-	0.20
Piso tipo									
Torta superior	800.00		40.00	2390.40	0.00	0.00	2.99	59.76	0.05
Torta inferior			24.00	1593.60	0.00	0.00	1.99	66.40	0.03
Vigas			61.31	0.00	2615.00	7445.00	12.58	164.08	0.08
SUBTOTAL		61.31	64.00	3984	2615	7445	17.56	---	0.16
Cubierta									
Torta superior	225.00		11.25	672.30	0.00	0.00	2.99	59.76	0.05
Torta inferior			6.75	448.20	0.00	0.00	1.99	66.40	0.03
Vigas			14.90	0.00	637.00	1118.00	7.80	117.79	0.07
SUBTOTAL		14.9	18.00	1121	637	1118	12.78	---	0.15
Elementos verticales									
Columnas	1250.00	39.07		0	3515	4612	6.50	208.01	0.031
TOTAL CON CIMENTACIÓN	1250.00	115	178	5904	7306.31	14881.8	22	-	0.23
TOTAL SIN CIMENTACIÓN	1025.00	115	133	5105	7147	14130	26	-	0.24

Nota. Tomado de (Castellanos et al., 2017)

De igual manera se procede con los APU (Análisis de precios unitarios) para los dos tipos de estructura planteados (Concreto convencional vs Concreto RCD), con una resistencia de 28 MPa para cada tipo y se hace con la intención de fijar las diferencias de los costos. (Castellanos et al., 2017, p.52)

Tabla 12. APU para un concreto convencional de 28 MPa

I. EQUIPO					
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Total
Herramienta Menor	%	1	\$ 121,344.50	5%	6067.225
Mezcladora Motor a gasolina	\$/hora	1	7975	50%	3987.5
Subtotal					\$10,055
II. MATERIALES EN OBRA					
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Total
Agua	lts	216	\$ 20.00	-	\$ 4,320.00
Arena	m3	0.84	\$ 80,000.00	-	\$ 67,200.00
Cemento gris	kg	525	\$ 598.00	-	\$ 313,950.00
Triturado	m3	0.42	\$ 100,000.00	-	\$ 42,000.00
Subtotal					\$ 427,470.00
IV. MANO DE OBRA					
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Total
Ayudante	\$/día	4	\$ 47,308.00	45%	85154.4
Oficial	\$/día	1	\$ 80,423.00	45%	36190.35
Subtotal					\$121,345
TOTAL					\$558,869

Nota. Tomado de (Castellanos et al., 2017)

Tabla 13. APU para un concreto con 100% de RCD

I. EQUIPO					
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Total
Herramienta Menor	%	1	\$ 121,344.50	5%	6067.225
Mezcladora Motor a gasolina	\$/hora	1	7975	50%	3987.5
Subtotal					\$10,055
II. MATERIALES EN OBRA					
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Total
Agua	lts	216	\$ 20.00	-	\$ 4,320.00
Arena (RECICLADA)	m3	0.84	\$ 58,000.00	-	\$ 48,720.00
Cemento gris	kg	525	\$ 598.00	-	\$ 313,950.00
Triturado (RECICLADO)	m3	0.42	\$ 58,000.00	-	\$ 24,360.00
Subtotal					\$ 391,350.00
IV. MANO DE OBRA					
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Total
Ayudante	\$/día	4	\$ 47,308.00	45%	85154.4
Oficial	\$/día	1	\$ 80,423.00	45%	36190.35
Subtotal					\$121,345
TOTAL					\$522,749

Nota. Tomado de (Castellanos et al., 2017)

Tabla 14. APU para un concreto con 25% de RCD

I. EQUIPO					
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Total
Herramienta Menor	%	1	\$ 121,344.50	5%	6067.225
Mezcladora Motor a gasolina	\$/hora	1	7975	50%	3987.5
Subtotal					\$10,055
II. MATERIALES EN OBRA					
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Total
Agua	lts	216	\$ 20.00	-	\$ 4,320.00
Arena	m3	0.84	\$ 74,500.00	-	\$ 62,580.00
Cemento gris	kg	525	\$ 598.00	-	\$ 313,950.00
Triturado	m3	0.42	\$ 89,500.00	-	\$ 37,590.00
Subtotal					\$ 418,440.00
IV. MANO DE OBRA					
Nombre	Unidad	Cantidad	Valor	Rendimiento	Total
Ayudante	\$/día	4	\$ 47,308.00	45%	85154.4
Oficial	\$/día	1	\$ 80,423.00	45%	36190.35
Subtotal					\$121,345
TOTAL					\$549,839

Nota. Tomado de (Castellanos et al., 2017)

El costo de la estructura con concreto convencional es de \$271.173.848,36 y para concreto con 25% de RCD es de \$268.527.707,35 lo cual es proporcional al 0.97% de ahorro en el costo de la estructura, es decir \$2.646.141,01. (Castellanos et al., 2017, p.54)

Análisis Crítico. Partiendo de la reutilización de los RCD en el diseño estructural de una edificación, es necesario hacer una comparación detallada de los costos directos de la fabricación de concreto estructural convencional y el concreto estructural proveniente de residuos de construcción y demolición, para determinar cuál de estos dos sistemas constructivos es la alternativa más razonable en cuanto al factor económico, beneficiando no solo al consumidor final sino causando un menor impacto al ambiente valorizando los recursos con potencial.

6.4. Alternativa No. 4 (Bogotá, 2017)

6.4.1. Análisis Técnico y Económico

La Tabla 15 resume los resultados obtenidos en los diferentes ensayos de resistencia a compresión para cada mezcla de concreto, donde las probetas fallaron a los 28 días. (Ospina, Moreno & Rodríguez, 2017, p.43)

Tabla 15. Resultados ensayos de resistencia a la compresión

Cilindros sometidos a ensayos a compresión								
% Agregado grueso sustituido	ID	Diámetro (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Peso (Kg)	Carga (kN)	Resistencia (MPa) RC=P/A	Resistencia Promedio (MPa)
M1 0%	C7	0,154	0,298	0,0186	12,55	505	27,12	27,41
	C8	0,152	0,298	0,0181	12,40	503	27,70	
M2 30%	C9	0,153	0,306	0,0184	12,55	537	29,18	28,97
	C10	0,152	0,303	0,0181	12,40	522	28,76	
M3 100%	C1	0,152	0,305	0,0181	12,45	413	22,74	22,77
	C2	0,153	0,305	0,0184	1260	420	22,86	

Nota. Tomado de (Ospina, Moreno & Rodríguez, 2017)

El estudio técnico consta de una preparación de los materiales y diseño de mezclas para que se le puedan practicar las pruebas a compresión, tensión indirecta y módulo de ruptura,

arrojando los siguientes resultados: Desgaste de 22% en el agregado natural y de 29% para el agregado proveniente de RCD, asentamiento del concreto de 7.5 cm para una mezcla típica, de 7 cm para la mezcla con sustitución de agregados por RCD en un 30% y de 6 cm para la mezcla con sustitución de agregado de 100%, por otra parte, los resultados del ensayo a compresión fueron favorables para la mezcla de 30% de sustitución pues este aumento en un 6% con respecto a la mezcla típica, sin embargo para la mezcla de 100% de sustitución bajo hasta un 17% , para la prueba de la resistencia a tensión los resultados no fueron tan alentadores por llamarlo de una forma, pues para la mezcla de 30% de sustitución se redujo la resistencia en un 13% y para la mezcla de 100% de sustitución alcanzo una reducción del 20%. (Ospina et al., 2017, pp.42-44)

Desde el punto de vista económico se plantea que para que exista factibilidad en un proyecto se debe contar con demanda del producto ofertado o una necesidad vigente, que al satisfacerla genere ventajas tanto económicas como sociales y ambientales. Basándonos en lo anteriormente dicho se puede decir que la reutilización de los RCD origina bienestar, pero sin tanta viabilidad en los costos de transporte, a causa de la lejanía de las escombreras o de los sitios autorizados de trituración, transformación o tratamiento de estos RCD por lo que la mayoría de personas ven con cierto recelo dicho material sin tener en cuenta la variedad del precio de la producción de un concreto típico vs uno con agregado de RCD, que no siempre son representativo en el valor del concreto como tal sino que manifiestan en otras actividades del presupuesto como el transporte o disposición final, a continuación se presentan estas diferencias. (Ospina et al., 2017, p.44)

Tabla 16. Ahorro por disposición y transporte

Distancia promedio de 25 km		
Valor (m ³ /Km)	En Botadero por (m ³)	Total por (m ³)
\$600	\$3.570	\$18.570

Nota. Tomado de (Ospina, Moreno & Rodríguez, 2017)

Tabla 17. Comparación de precios de agregados

Tipo de Agregado	Agregado Natural	Agregado Reciclado	Ahorro
Grava	\$90.000	\$67.300	25,2%

Nota. Tomado de (Ospina, Moreno & Rodríguez, 2017)

Tabla 18. Valor de 1 m³ de mezcla (M1) con 100% de agregado natural

Mezcla 1 (100% Agregado Natural)					
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor	Valor total
1	Agua	0,21	m ³	\$ 2.210	\$ 464
2	Cemento	350	Kg	\$ 590	\$ 206.500
3	Grava	0,32	m ³	\$ 90.000	\$ 28.800
4	Arena	0,354	m ³	\$ 99.000	\$ 35.046
5	Grava Reciclada	0	m ³	\$ 67.300	\$ -
6	Costos de producción	1	m ³	\$ 53.500	\$ 53.500
7	Transporte	25	m ³ /Km	\$ 750	\$ 18.750
					\$ 343.060

Nota. Tomado de (Ospina, Moreno & Rodríguez, 2017)

Tabla 19. Valor de 1 m³ de mezcla (M2) con 30% de RCD

Mezcla 2 (70% Agregado Natural, 30% Agregado Reciclado)					
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor	Valor total
1	Agua	0,21	m ³	\$ 2.210	\$ 464
2	cemento	375	Kg	\$ 590	\$ 221.250
3	Grava	0,219	m ³	\$ 90.000	\$ 19.710
4	Arena	0,349	m ³	\$ 99.000	\$ 34.551
5	Grava Reciclada	0,096	m ³	\$ 67.300	\$ 6.461
6	Costos de producción	1	m ³	\$ 53.500	\$ 53.500
7	Transporte	25	m ³ /Km	\$ 750	\$ 18.750
					\$ 354.686

Nota. Tomado de (Ospina, Moreno & Rodríguez, 2017)

Tabla 20. Valor de 1 m³ de mezcla (M3) con 100% de RCD

Mezcla 3 (100% Agregado Reciclado)					
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor	Valor total
1	Agua	0,2	m ³	\$ 2.210	\$ 464
2	cemento	382,0	Kg	\$ 590	\$ 225.380
3	Grava	0,0	m ³	\$ 90.000	\$ -
4	Arena	0,3	m ³	\$ 99.000	\$ 34.106
5	Grava Reciclada	0,3	m ³	\$ 67.300	\$ 21.334
6	Costos de producción	1,0	m ³	\$ 53.500	\$ 53.500
7	Transporte	25,0	m ³ /Km	\$ 750	\$ 18.750
					\$ 353.534

Nota. Tomado de (Ospina, Moreno & Rodríguez, 2017)

Tabla 21. Variabilidad de costos para los diferentes tipos de mezclas

Variación de costos para las diferentes mezclas	Comparativo				
	M1	M2	M3	M2 vs M1	M3 vs M1
Costos (pesos)	343.060	354.686	353.534	3,389%	3,053%

Nota. Tomado de (Ospina, Moreno & Rodríguez, 2017)

Para alcanzar la resistencia de 28 MPa que obtuvo la mezcla típica se les hace un reajuste a las proporciones de la mezcla de 100% de agregados de RCD y se cuantifica el costo para esta, alcanzando precios superiores a la mezcla típica como se evidencia en la tabla próxima. (Ospina et al., 2017, p.45)

Tabla 22. Mezcla reajustada para alcanzar la resistencia con el 100% de agregado RCD (M4)

Mezcla Propuesta para alcanzar la resistencia con 100% Agregado Reciclado (M4)					
Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Valor	Valor total
1	Agua	0,21	m ³	\$ 2.210	\$ 464
2	Cemento	393,34	Kg	\$ 590	\$ 232.071
3	Grava	0	m ³	\$ 90.000	\$ -
4	Arena	0,3445	m ³	\$ 99.000	\$ 34.106
5	Grava Reciclada	0,317	m ³	\$ 67.300	\$ 21.334
6	Costos de producción	1	m ³	\$ 53.500	\$ 53.500
7	Transporte	25	m ³ /Km	\$ 750	\$ 18.750
					\$ 360.224

Nota. Tomado de (Ospina, Moreno & Rodríguez, 2017)

Tabla 23. Variabilidad de costos para los diferentes tipos de mezclas

Variación de costos para las diferentes mezclas					Comparativo		
Costos	M1	M2	M3	M4	M2 vs M1	M3 vs M1	M4 vs M1
(pesos)	343.060	354.686	353.534	360224	3,389%	3,053%	5,003%

Nota. Tomado de (Ospina, Moreno & Rodríguez, 2017)

En síntesis, la mezcla que cumple con los requisitos de resistencia y en la cual existe un ahorro de 3,389% es la mezcla con la sustitución del 30% por RCD. (Ospina et al., 2017, p.45)

Análisis Crítico. Cabe señalar la similitud entre las propiedades mecánicas con agregados naturales y agregados reciclados y como se puede lograr un hormigón estructural reciclando los RCD con el aumento de cemento para el reciclaje de estos materiales, disminuyendo de esta manera los costos de transporte y las áreas de disposición final de estos residuos, todo lo contrario a los costos de transporte y el impacto ambiental en la extracción de los agregados naturales, razón por la cual es importante especificar qué porcentaje de residuos de construcción y que cantidad se va a utilizar en la mezcla.

6.5. Alternativa No. 5 (Ocaña, 2017)

6.5.1. Análisis Comparativo de la Resistencia y los Costos

Para comparar la resistencia del concreto con las mezclas de concreto convencional y reciclado, se realizaron ensayos en cilindros; en las tablas 24 y 25 se muestran las cargas aplicadas a cada probeta tratada que se comprime inmediatamente después de la etapa de endurecimiento. Aquí puede ver la resistencia máxima alcanzada por cada muestra de material reciclado en comparación con la muestra de material convencional. (Vega et al., 2017, pp.80-81)

Tabla 24. Resistencia material reciclado

EDAD DE LOS ESPECIMENES RECICLADOS (DIAS)	RESISTENCIA OBTENIDA (psi)								
	IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
7	890	1468	1499						
14				1964	1988	1430			
28							2506	2511	2500

Nota. Tomado de (Vega & Durán, 2017)

Tabla 25. Resistencia material convencional

EDAD DE LOS ESPECIMENES CONVENCIONALES (DIAS)	RESISTENCIA OBTENIDA (psi)								
	IDENTIFICACION DE LAS MUESTRAS								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
7	1834	1841	1859						
14				2467	2493	2491			
28							2985	2942	2935

Nota. Tomado de (Vega & Durán, 2017)

La Tabla 26 muestra los resultados finales de la prueba de resistencia promedio para muestras de concreto reciclado y natural; Como se puede apreciar el concreto natural ha logrado la durabilidad esperada, mientras que la mezcla de concreto reconstituido es menor a la propuesta debido a que no ha alcanzado la durabilidad de diseño; pero tiene un valor aceptable. (Vega et al., 2017, pág. 82)

Tabla 26. Resistencias promedio

MATERIAL ENSAYADO	RESISTENCIA OBTENIDA PROMEDIO		
	DIA 7	DIA 14	DIA 28
CONCRETO CON AGREGADO RECICLADO	1285,60	1794,07	2505,97
CONCRETO CON AGREGADO CONVENCIONAL	1844,67	2483,67	2954,00

Nota. Tomado de (Vega & Durán, 2017)

Como puede verse en los resultados de las pruebas de compresión obtenidos los días 7, 14 y 28; muestra que el concreto con agregados reciclados tiene menor resistencia que el concreto normal, puesto en los otros ensayos de compresión hechos, su resistencia es menor en cada campo. Por otro lado, la resistencia del compuesto fabricado con materiales reciclados no es la perfecta para la construcción de elementos estructurales de alta resistencia en comparación con el hormigón convencional, pero puede utilizarse para estructuras de menor resistencia, andenes, sardineles, antepisos, entre otras. En este caso si se puede considerar una limitación el uso de este material para el ensayo de elementos estructurales, se pueden aplicar aditivos que mejoren esta propiedad. (Vega et al., 2017, p.83)

Según los ensayos para determinar la resistencia a la compresión dieron resultados desfavorables al comparar la resistencia de un concreto típico contra un concreto con agregados de RCD, pues en todas las pruebas la resistencia de las probetas fueron inferiores, cabe aclarar que se sustituyó el 100% de agregado natural por agregado proveniente de RCD y que la trituración se hizo de manera manual debido a la falta de una trituradora de estos residuos en el municipio de Ocaña, por lo que el estudio de los costos se hizo teniendo en cuenta la existencia de esta máquina teniendo los resultados que se muestran en las siguientes tablas: (Vega et al., 2017, p.83)

Tabla 27. Análisis de equipo para procedimiento con reciclado

ITEM	TRITURACION DE MATERIAL RECICLADO				
UNIDAD			m ³		
DESCRIPCION	UNID	VALOR	TARIFA	RENDIMIENTO	VALOR
	AD	UNITARIO	HORA	(m ³ /HORA)	PARCIAL
HERRAMIENTA MENOR	Gl				\$ 800,00
TRITURADOR A	Un	\$64.000,00	\$8.000,00	2 1/2	\$ 3.200,00
					\$ 4.000,00

Nota. Tomado de (Botero Giraldo, A., Pulgarin Carvajal, D. & Arboleda Eljach, R. 2012 citado en Vega & Durán, 2017)

Tabla 28. Análisis de equipo para procedimiento con reciclado

ITEM		TRANPORTE DE MATERIAL RECICLADO		
UNIDAD			m ³	
DESCRIPCION	UNIDAD	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR PARCIAL
TRANSPORTE	Viaje	\$ 70.000,00	2	\$ 140.000,00
				\$ 140.000,00

Nota. Tomado de (Vega & Durán, 2017)

Tabla 29. Costo concreto reciclado

MEZCLA		CONCRETO RECICLADO CON MATERIAL RECICLADO		
UNIDAD			m ³	
ESPECIFICACION			F' C = 21 MPA	
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
CEMENTO ARGOS	BULTO	6,8	\$ 19.000,00	\$ 129.200,00
AGREGADO RECICLADO GRUESO	m ³	0,39	\$ 74.000,00	\$ 28.860,00
AGREGADO RECICLADO FINO	m ³	0,3	\$ 74.000,00	\$ 22.200,00
AGUA	Lt	180	\$ 1,00	\$ 180,00
SIKASET-L	Kg	3,4	\$ 8.796,00	\$ 29.906,40
			TOTAL	\$ 210.346,40

Nota. Tomado de (Vega & Durán, 2017)

Tabla 30. Costo concreto convencional

MEZCLA		CONCRETO CON MATERIALES CONVENCIONALES		
UNIDAD			m ³	
ESPECIFICACION			F' C = 21 MPA	
MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
CEMENTO ARGOS	BULTO	7	\$ 19.000,00	\$ 133.000,00
AGREGADO GRUESO	m ³	0,77	\$ 100.000,00	\$ 77.000,00
AGREGADO O FINO	m ³	0,52	\$ 50.000,00	\$ 26.000,00
AGUA	Lt	180	\$ 1,00	\$ 180,00
			TOTAL	\$ 236.180,00

Nota. Tomado de (Vega & Durán, 2017)

Se evidencia un ahorro de \$25.833,60 que equivale al 12.28% por cada metro cubico de concreto, pero sin olvidar la financiación de la máquina trituradora, además resaltar que en este estudio no se tiene en cuenta el costo del transporte de los materiales. (Vega et al., 2017, p.86)

Análisis Crítico. Entendiendo de antemano las actividades de aprovechamiento, reutilización y reciclaje de materiales relacionados con los procesos constructivos en cuanto a acciones de excavación, remodelación y demolición de una obra o proyecto bien sea público o privado; lo conveniente que sería inclinarse por los beneficios al llevar a cabo procedimientos de construcción sostenibles que tengan el mínimo costo económico y ambiental, permitiendo de esta forma no solo el ahorro significativo en el presupuesto para la obra sino en la reducción de los residuos que se generan diariamente en la construcción de edificaciones, por lo tanto aumentando la vida útil de rellenos sanitarios o sitios destinados para la disposición de los RCD.

6.6. Alternativa No. 6 (Bogotá, 2015)

6.6.1. Análisis de Pruebas y Costos de Adoquín

Según las referencias se produce una mezcla con la siguiente dosificación: M1: 38% grava gruesa, 31% grava fina, 7% agua, 12% cal hidratada y 12% cemento. Las formas de procesamiento de los moldes se realizan de acuerdo con las siguientes dimensiones; largo 21 cm, ancho 6 cm y alto 6 cm. Después de 7 días de secado al aire, la mezcla n.º 1 se dejó secar intencionalmente para observar el efecto del fraguado deficiente del adoquín. (Martínez et al., 2015, pp.62-63)

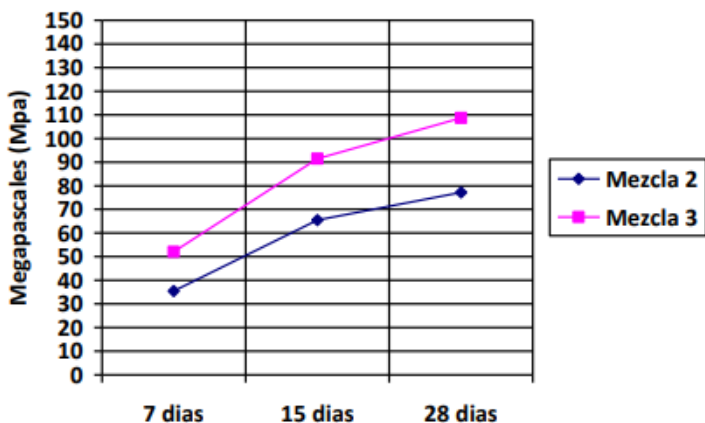
El adoquín resiste un ensayo de compresión de 28,9 kN hasta el punto de rotura después de 7 días de secado en una probeta de 20 cm de largo, 6 cm de ancho y 6 cm de altura, para estas longitudes se puede decir que la probeta, si no tiene buena fijación, resiste 2.4 MPa para esta zona baja resistencia a las mezclas para pavimentación, pues la NTC requiere un esfuerzo mínimo de flexión de 4.2 MPa, debido a que las propiedades físicas no cumplen con los requerimientos mínimos establecidos, esta mezcla es rechazada no solo por su resistencia, sino

también por sus propiedades físicas. Sin dejar la mezcla de control como base del ensayo, se aumentó la cantidad de agregado fino y la cantidad de ligante para mejorar la compactación del material rellenando los huecos con agregado fino de la siguiente manera: M2: 16 % cemento portland, 14% agua, 8% hidrocal, 38% árido fino, 24% árido grueso. (Martínez et al., 2015, p.64)

Después de 7 días de fraguado y endurecimiento controlado, el recipiente mezclado anterior se someterá a una prueba de compresión, lo que da como resultado una mejora notable en la porosidad, es decir, tiene una textura más uniforme, lo que le da una apariencia más uniforme y mejor para el producto terminado. Un cilindro con una superficie superior de 78 cm^2 , una relación de 10 cm de diámetro y 22 cm de altura, soporta una fuerza de compresión de 34.8 kN, es decir, para esta área, una unidad de presión de 4.4 MPa por muestra; Por lo que esta mezcla cumplirá con la normativa NTC 2017, por lo que se seguirá desarrollando el primer modelo de rebanada con esta segunda mezcla y la tercera diseñada de la siguiente manera: M3: 18% cemento portland, 14% agua, 6% cal hidráulica, 38% escombros fino, 24% escombros grueso. (Martínez et al., 2015, pp.65-66)

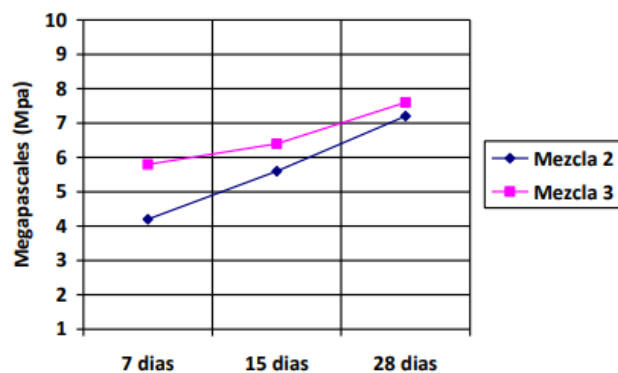
A partir de estos prototipos se realizaron tres muestras con dimensiones de 20 x 10 x 6, las cuales pasaron los ensayos de resistencia a la flexión y compresión NTC 2017, muestras con diferentes edades de curado (7-15-28 días). Tres muestras de cada mezcla se sometieron a las pruebas indicadas en los días especificados, con los siguientes resultados: (Martínez et al., 2015, pp.67-68)

Figura 5. Prueba a compresión



Nota. Tomado de (Martínez & Poveda, 2015)

Figura 6. Prueba a flexotracción



Nota. Tomado de (Martínez & Poveda, 2015)

Se analiza el valor de 1m^2 de adoquín que corresponde a 48 adoquines, teniendo en cuenta la compra de materiales al por menor y al por mayor, dependiendo de las dimensiones del proyecto. (Martínez et al., 2015, p.83)

Tabla 31. Análisis de materiales para 1m2 de adoquín al por mayor

ÍTEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	VALOR TOTAL
1	MATERIALES					
1.1	CEMENTO PORTLAND	Kg	18.0	430	7740	
1.2	CAL HIDRATADA	Kg	10.0	850	8500	
1.3	AGUA	Kg	15.6	0.00251	39.45	
TOTAL						16249.45

Nota. Tomado de (Martínez & Poveda, 2015)

Tabla 32. Análisis de materiales para 1m2 de adoquín al por menor

ÍTEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	VALOR TOTAL
1	MATERIALES					
1.1	CEMENTO PORTLAND	Kg	18.0	520	9360	
1.2	CAL HIDRATADA	Kg	10.0	1100	11000	
1.3	AGUA	Kg	15.6	0.00251	39.45	
TOTAL						20399.45

Nota. Tomado de (Martínez & Poveda, 2015)

En las tablas 31 y 32 se evidencia el costo de material para producir el producto mencionado sin tener en cuenta los RCD que sustituyen los agregados (finos y gruesos) en la mezcla y que son obtenidos de la misma obra por lo que los costos de estos no se toman en cuenta, además haciendo una comparación con otras obras existe una reducción de costos en la compra de estos materiales a grandes escalas y se estima que esto corresponde a casi 10.000 bultos conforme al material. En el paso siguiente se hace una contrastación entre un adoquín comercial con propiedades parecidas y el adoquín realizado con RCD en obra, teniendo en cuenta la mano de obra para elaborar el producto. (Martínez et al., 2015, pp.84-85)

Tabla 33. Costo de 1m2 de adoquín reciclado

ÍTEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	VALOR TOTAL
1	ADOQUÍN	UNIDAD	48	340	16320	
TOTAL						16320

Nota. Tomado de (Martínez & Poveda, 2015)

Tabla 34. Costo de 1m2 de adoquín comercial (CICLOMAT)

ÍTEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	VALOR TOTAL
1	ADOQUÍN	UNIDAD	50	544	27200	
TOTAL						27200

Nota. Tomado de (Martínez & Poveda, 2015)

Tabla 35. Costos de mano de obra

ÍTEM	ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL	VALOR TOTAL
1	MANO DE OBRA	DIA 8 HORAS	2	35000	70000	
TOTAL						70000

Nota. Tomado de (Martínez & Poveda, 2015)

Pese a que el adoquín es normalmente utilizado en contra pisos o en pavimentos, el ahorro económico que se presenta es próspero y beneficioso con el medio ambiente, esto motiva al estudio de bloques de muros divisorios no estructurales, puesto que el proceso de fabricación es similar, siempre y cuando se cumpla con todas las normas técnicas colombianas para su elaboración y podría convertir en un parámetro de ahorro significativo en la construcción de edificaciones. (Martínez et al., 2015)

Análisis Crítico. Vale la pena resaltar que la implementación adecuada de un sistema de tratamiento de escombros de hormigón y de ladrillos en proyectos de construcción es de suma importancia para los constructores debido a que se reducen los gastos en el aprovechamiento y el transporte de los residuos de construcción y demolición, fabricando adoquines con óptimas condiciones incluyendo desde su impermeabilidad hasta su resistencia, sin dejar de lado que todos estos procesos interfieran en el desarrollo normal de la obra en curso; analizando principalmente los costos que lleva la elaboración del adoquín y los precios de cada material que se utiliza en la producción de este elemento creativo e innovador.

6.7. Alternativa No. 7 (Bogotá, 2012)

6.7.1. Costos

Se propone hallar las divergencias del precio al utilizar materiales provenientes de RCD para la producción de nuevos elementos que mejoren la construcción y el ambiente en general por lo que es primordial realizar la comparación del concreto utilizando agregados típicos y los provenientes de residuos de construcción o demolición como se muestra en la siguiente tabla.

(Lasso & Misle, 2012, p.66)

Tabla 36. Estudio de precios de un concreto con agregado RCD y otro típico

CONCRETO CONVENCIONAL				
MATERIAL	CANTIDAD		COSTO UNITARIO	COSTO
	Kg	m ³		
CEMENTO	350.00	0.12	\$ 19,000.00 \$/Bulto	\$ 133,000.0
AGREGADOS	1750.00	0.70	\$ 34,000.00 \$/m ³	\$ 23,800.0
AGUA	175.00	0.18	\$ 1,457.00 \$/m ³	\$ 255.0
TOTAL	2275.00	0.99		\$ 157,055.0

CONCRETO RECICLADO				
MATERIAL	CANTIDAD		COSTO UNITARIO	COSTO
	Kg	m ³		
CEMENTO	350.00	0.12	\$ 19,000.00 \$/Bulto	\$ 133,000.0
AGREGADOS	1260.00	0.70	\$ 25,000.00 \$/m ³	\$ 17,500.0
AGUA	175.00	0.18	\$ 1,457.00 \$/m ³	\$ 255.0
TOTAL	1785.00	0.99		\$ 150,755.0

Nota. Tomado de (Echeverry, 2009 citado en Lasso & Misle, 2012)

Los resultados del estudio muestran un ahorro de casi el 4% cuando se usa RCD como agregado, lo cual presenta una ventaja de utilizar dicho material, además el autor realiza el análisis entre el costo de la gestión y disposición final del material frente al costo de la reutilización. (Lasso et al., 2012, p.66)

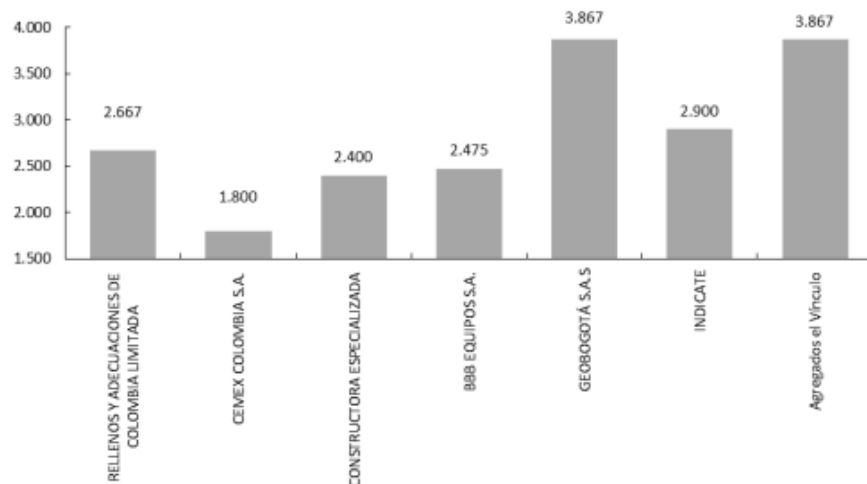
Tabla 37. Diferencia en costos entre la disposición final de RCD y la reutilización de RCD

MANEJO DE ESCOMBROS - DISPOSICIÓN	
RETIRO DE ESCOMBROS	
Coefficiente de Expansión	1.3
# Viajes Escombrera	337
Costo Viaje Escombrera	\$ 100,000.00
Costo Total	\$ 33,700,000.00
APROVECHAMIENTO DE ESCOMBROS	
PROCESO DE TRITURACIÓN	
Costo Aproximado Trituración (\$/m ³)	\$ 40,000.00
Costo Transporte (\$/Km-m ³)	\$ 500.00
Viaje Promedio (Km)	7.00
Costo Transporte (\$/m ³)	\$ 6,300.00
Coefficiente Expansión Triturado	0.80
Costo Trituración - Transporte	\$ 84,031,536.80
NUEVA MATERIA PRIMA	
Costo Promedio Viaje Agregado (\$/m ³)	\$ 30,000.00
Costo Materia Prima	\$ (54,448,080.00)
Costo Total	\$ 29,583,456.80

Nota. Tomado de (Echeverry, 2009 citado en Lasso & Misle, 2012)

De igual manera las instituciones o empresas que orienten su gestión en la utilización de estos residuos como agregados podrían causar ahorros económicos para la misma, por otro lado, la empresa CONALVIAS S.A. puso a disposición datos pertinentes en cuanto a los precios para la actividad de la disposición final de estos residuos, como el transporte a los lugares legales con un costo promedio de \$625/m³-Km aunque estos precios pueden variar, el valor del metro cubico por disponerlo en estos sitios, a continuación se muestran tarifas de este valor para diferentes lugares autorizados en la ciudad de Bogotá. (Lasso et al., 2012, p.67)

Figura 7. Precio de 1m³ para la disposición final de RCD en lugares legales por las entidades de Bogotá D.C.



Nota. Tomado de (CONALVÍAS S.A., 2011 citado en Lasso & Misle, 2012)

Por lo que se concluye que el transporte y gestión de los RCD implica gastos y trae consigo el deterioro del ambiente, y se motiva a la reutilización de estos materiales generando incluso ahorros económicos. (Lasso et al., 2012, p.67)

Análisis Crítico. Cabe mencionar que optando por una adecuada y óptima técnica de aprovechamiento y reutilización de RCD las posibilidades de realizar gestión rentable para los altos volúmenes de residuos que se producen por la construcción de viviendas genera beneficios económicos, institucionales, ambientales y sociales actuando de manera sustentable que tienden a mejorar continuamente la efectividad de cada proceso de separación, clasificación, transporte y su disposición comenzando principalmente por la necesidad de reutilización selectiva de escombros de los RCD en la ciudad por la demanda excesiva de la actividad relacionada con la construcción.

6.8 Alternativa N°8 (Medellín, 2016)

6.8.1 Fabricación de prefabricado para revestimiento

Los autores plantean la fabricación de tabletas de revestimiento sustituyendo el agregado fino por residuos mampostería que serán triturados hasta que se puedan considerar sus partículas como fina con el fin de determinar el mejor comportamiento de la mezcla en cuanto a resistencia a compresión proponen 6 tipos de mezclas, con dosificación como se especifican en la tabla 38, es importante aclarar que estas tabletas no cumplen ninguna función estructural y por el contrario cumple la función de decorar y proteger la superficie donde sean colocadas.

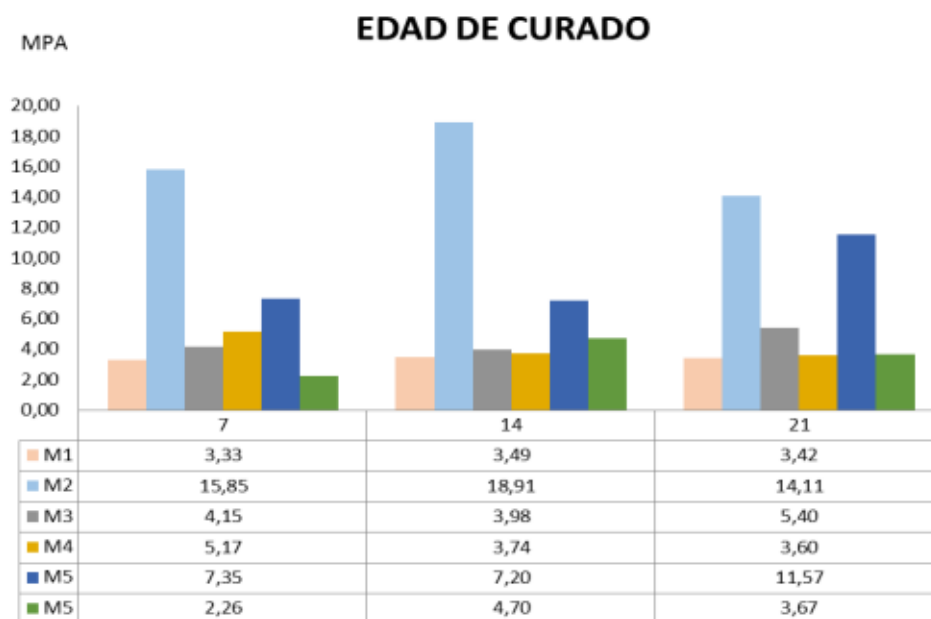
Tabla 38. Tipo de mezcla para tabletas de revestimiento.

Tipo de Mezcla	Dosificación				%RCD vs % Agregado Natural	Comentario
	Agua (gr)	Cemento (gr)	Residuos de mampostería (gr)	Arena (gr)		
1	121	250	343,7	343,7	50-50	Consistencia no plástica
2	150	250	343,7	343,7	50-50	
3	121	250	206	481,5	30-70	
4	121	250	0	687,5	0-100	
5	121	250	0	687,5	0-100	Cambio de proveedor de arena
6	150	250	687,5	0	100-0	

Nota. Tomado de (Rodríguez & Becerra, 2016)

Una vez realizados los ensayos para determinar la resistencia a la compresión se obtienen los siguientes resultados que evidencia que la mezcla 2 (50% de agregado de mampostería – 50% de agregado natural) es la que mayor resistencia alcanza a los 28 días de fraguado con un valor de 14.11 MPa, incluso superando a la mezcla 5 que se puede considerar como la mezcla convencional.

Figura 8. Resistencias alcanzadas por las mezclas para tabletas de revestimiento.



Nota. Tomado de (Rodríguez & Becerra, 2016)

Una vez obtenida la dosificación que mejor resistencia a compresión, se procede con la fabricación de las tabletas de revestimiento interior, integrando todos los materiales correspondientes como el agua, cemento, agregado fino natural y agregado fino provenientes de residuos de mampostería, obteniendo una mezcla homogénea y manejable, además a la mezcla se le agrega diferentes pigmentos artificiales para obtener variedades de tonos, se continua con el vaciado en el molde y se desmolda cuando la mezcla esté completamente seca. Estas tabletas tendrían uso en paredes creando mosaicos también se podría variar sus formas geométricas para elaborar diferentes diseños o se podrían utilizar directamente para darle el acabado que tendrá la superficie en donde sea aplicada, además reduce el impacto sonoro del espacio en el cual está integrada.

Por otro lado, no se realiza la estimación del costo de este producto sin embargo los autores concluyen que tienen un menor costo que las tabletas de revestimiento comerciales.

Figura 9. Mosaicos de tabletas de revestimiento.



Nota. Tomado de (Rodríguez & Becerra, 2016)

Análisis Crítico. La fabricación de este producto permite que se produzca una economía circular generando empleos en la producción de este tipo de productos, así mismo por medio de la reutilización de materiales que son considerados como RCD estos podrían utilizarse nuevamente cumpliendo bastantes ciclos de vida lo que favorece al medio ambiente y por ende genera una mayor calidad de vida puesto que la construcción tiene como eje fundamental abrir medios para el avance de nuestra sociedad.

6.9. Análisis Comparativo de las Alternativas

A continuación, se muestra los cuadros comparativos respecto a la resistencia y costos de cada alternativa presentada anteriormente, cabe aclarar que no todas las alternativas realizan ensayos de la resistencia a compresión y al contrario todas hacen una estimación del valor del

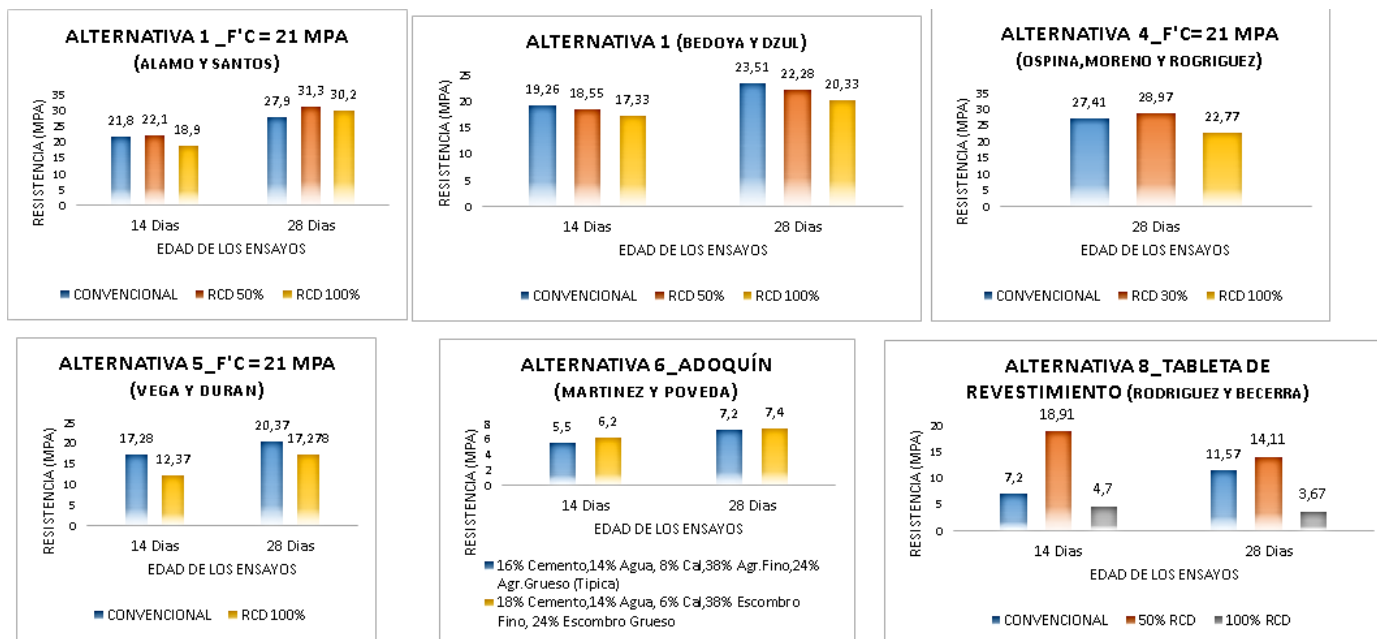
concreto por metros cúbicos excepto la alternativa n°8 que los autores no hacen dicha estimación del costo.

Tabla 39. Estudio comparativo de resistencia para cada alternativa

Alternativa	Autores	Tipo de Mezcla	Resistencia Esperada (MPa)	Resistencia (Mpa)		Uso	RCD Proviene	Año
				14 Días	28 Días			
1	Alape y Santos	CONVENCIONAL	21	21,8	27,9	Concreto Estructural	Remodelación Estructural	2020
	Alape y Santos	RCD 50%	21	22,1	31,3	Concreto Estructural	Remodelación Estructural	
	Alape y Santos	RCD 75%	21	18,9	30,2	Concreto Estructural	Remodelación Estructural	
	Alape y Santos	RCD 100%	21	18,9	30,2	Concreto Estructural	Remodelación Estructural	
	Bedoya y Dzul	CONVENCIONL	No se especifica en el estudio	19,26	23,51	Concreto Estructural	Residuos de Concreto y Mampostería	2015
	Bedoya y Dzul	RCD 50%		18,55	22,28	Concreto Estructural	Residuos de Concreto y Mampostería	
Bedoya y Dzul	RCD 100%	17,33		20,33	Concreto Estructural	Residuos de Concreto y Mampostería		
4	Ospina, Moreno, Rodríguez	CONVENCIONAL	21		27,41	Concreto Estructural	Muestras de laboratorio (Cilindros)	2017
	Ospina, Moreno, Rodríguez	RCD 30%	21		28,97	Concreto Estructural	Muestras de laboratorio (Cilindros)	
	Ospina, Moreno, Rodríguez	RCD 100%	21		22,77	Concreto Estructural	Muestras de laboratorio (Cilindros)	
5	Vega Y Duran	CONVENCIONAL	21	17,28	20,37	Concreto Estructural	Residuos de mampostería y cerámicos	2017
	Vega Y Duran	RCD 100%	21	12,37	17,278	Concreto Estructural	Residuos de mampostería y cerámicos	
6	Martínez y Poveda	16% Cemento, 14% Agua, 8% Cal, 38% Agr. Fino, 24% Agr. Gueso (Típica)	4,2 NTC-2017	5,5	7,2	Adoquín	Residuos de mampostería y Concreto	2015
	Martínez y Poveda	18% Cemento, 14% Agua, 6% Cal, 38% Escombros Fino, 24% Escombros Gueso	4,2 NTC-2017	6,2	7,4	Adoquín	Residuos de mampostería y Concreto	
8	Rodríguez y Becerra	CONVENCIONAL	No se especifica en el estudio	7,2	11,57	Tabletas de revestimiento	Residuos de Mampostería	2016
	Rodríguez y Becerra	50% RCD		18,91	14,11	Tabletas de revestimiento	Residuos de Mampostería	
	Rodríguez y Becerra	100% RCD		4,7	3,67	Tabletas de revestimiento	Residuos de Mampostería	

Seguidamente se expone las respectivas graficas de las alternativas (Resistencia vs Edad del ensayo), para tener claridad sobre el comportamiento del concreto con residuos de construcción, si bien todas las alternativas no reemplazan la misma cantidad de agregados se tomaron los valores más representativos y que no se dispersan demasiado uno con respecto al otro, lo mismo para la edad del ensayo.

Figura 10. Compilación de alternativas sobre resistencia vs edad del ensayo



Al analizar las Figuras se observa que la tendencia de la resistencia del concreto es menor al sustituir el 100% de sus agregados por RCD, aunque alcance la resistencia esperada, sin embargo, la alternativa 6 que se realizó con fines de estudios para adoquines difiere de esta tendencia, se podría decir que existe una compensación por parte de la cal y también porque tiene en su dosificación 2% de más de cemento. Por otro lado, en la alternativa 1 (Alape y Santos), se constata que el mejor comportamiento en cuanto a resistencia lo tiene la mezcla con el 50% de sustitución de sus agregados, igual que en la alternativa 4 que la resistencia más alta fue

alcanzada por la mezcla de 30% de sustitución del agregado, pero en la alternativa 1 (Bedoya y Dzul) no se mantiene este comportamiento, pues la resistencia más alta corresponde a un tipo de mezcla convencional, es decir sin sustitución de agregados, se presupone que esta diferencia corresponde a la proveniencia de los RCD, para la alternativa 1 (Alape y Santos), estos provienen de una remodelación estructural, los utilizados en la alternativa 4 son residuos de ensayos de laboratorios (cilindros) y los empleados en la alternativa 1 (Bedoya y Dzul) son una mezcla entre concreto y mampostería, por lo que esta diferencia puede influir en los comportamiento de las mezclas. En la alternativa 8 se muestran los tipos de mezcla y resistencia que para la fabricación de tabletas de revestimiento obteniendo un mejor comportamiento la mezcla 2 que tiene sustituido el 50% de agregado fino por agregado fino proveniente de residuos de mampostería, es importante mencionar que este tipo de mezcla no contiene agregado grueso.

Tabla 40. Estudio comparativo de costos para cada alternativa

Alternativa	Autores	Tipo de Mezcla	Costo	Costo Tomando la convencional como el 100%	RCD Proviene	Año
1	Alape y Santos	CONVENCIONAL	344.000,00 (\$/m3)	100%	Remodelación Estructural	2020
	Alape y Santos	RCD 50%	321.000,00 (\$/m3)	93,31%	Remodelación Estructural	
	Alape y Santos	RCD 100%	317.550,00 (\$/m3)	92,31%	Remodelación Estructural	
	Bedoya y Dzul	CONVENCIONL	108,50 (USD/m3)	100%	Residuos de Concreto	2015
	Bedoya y Dzul	RCD 50%	108,23 (USD/m3)	99,75%	Residuos de Concreto	
	Bedoya y Dzul	RCD 100%	107,39 (USD/m3)	98,98%	Residuos de concreto	
2	Villalba et al	CONVENCIONAL	373.920,00 (\$/m3)	100%	Empresas productoras de agregado reciclados	2018
	Villalba et al	RCD 30%	355.272,00 (\$/m3)	95,01%	Empresas productoras de agregado reciclados	
3	Castellanos et al	CONVENCIONAL	558.869,00 (\$/m3)	100%	Empresas productoras de agregado reciclados	2017
	Castellanos et al	RCD 25%	549.839,00 (\$/m3)	98,38%	Empresas productoras de agregado reciclados	
	Castellanos et al	RCD 100%	522.749,00 (\$/m3)	93,54%	Empresas productoras de agregado reciclados	
4	Ospina, Moreno, Rodríguez	CONVENCIONAL	343.060,00 (\$/m3)	100%	Muestras de laboratorio para malla vial	2017
	Ospina, Moreno, Rodríguez	RCD 30%	354.686,00 (\$/m3)	103,39%	Muestras de laboratorio para malla vial	
	Ospina, Moreno, Rodríguez	RCD 100%	353.534,00 (\$/m3)	103,05%	Muestras de laboratorio para malla vial	
5	Vega Y Duran	CONVENCIONAL	236.180,00 (\$/m3)	100%	Residuos de mampostería y cerámicos	2017
	Vega Y Duran	RCD 100%	210.346,00 (\$/m3)	89,06%	Residuos de mampostería y cerámicos	
6	Martínez y Poveda	16% Cemento,14% Agua, 8% Cal,38% Agr.Fino,24% Agr.Grueso (Típica)	27.200,00 (\$/m2)	100%	Residuos de mampostería y Concreto	2015
	Martínez y Poveda	18% Cemento,14% Agua, 6% Cal,38% Escombros Fino, 24% Escombros Grueso	16.320,00 (\$/m2)	60,00%	Residuos de mampostería y Concreto	
7	Laso Y Misle	CONVENCIONAL	157.055,00 (\$/m2)	100%	Concretos y Morteros	2012
	Laso Y Misle	RCD 100%	150.755,00 (\$/m2)	95,99%	Concretos y Morteros	

Se puede ver en la tabla anterior que el concreto de menor costo es cuando se reemplaza el 100% de sus agregados, exepctuando la alternativa 4 en donde el mas viable economicamente es el convencional debido a que los autores realizan un ajuste a la cantidad de cemento respecto del porcentaje del agregado a reemplazar para que pueda alcanzar la resistencia de diseño, aunque el reemplazo del 100% de agregado natural se descarta,puesto que los residuos han estado en contacto con el medio ambiente y han experimentados variso procesos internos (oxido,sulfatos, microorganismos, climas, esfuerzos, etc) y su comportamiento y resistencia no son el esperado pese a que cumplen con la resistencia de diseño, muchos autores enmarcan la alta porosidad en este tipo de mezcla por lo cual se preveer vacios en su estructura interna.

Figura 11. *Compilación de alternativas sobre el ahorro económico.*



Colocando en consideración lo antes mencionado, se puede estimar a priori que el ahorro económico de utilizar este tipo de concreto varía entre un 4% a 5%, ahorro que no es tan elevado desde lo económico pero que es significativo desde el punto de vista ambiental es importante

exponer que este ahorro depende de muchas variables como el transporte de los RCD, costo de agregados naturales y RCD, la mano de obra para la correcta separación de los residuos, el ahorro de la tarifa para disposición final, por lo que la reutilización de este tipo de material tiene que estar incluidas desde las fases del anteproyecto.

Conclusiones

Tras el análisis, se puede deducir y evidenciar que en las investigaciones locales realizadas existen barreras en cuanto a las actividades de gestión de RCD como la falta de compromiso y sentido de pertenencia por parte de las instituciones públicas encargadas de controlar y vigilar la generación de residuos de construcción y demolición; Por otro lado, no se instruye al constructor de cómo implementar estrategias que ayuden a la reutilización de los RCD, debido que se desconocen las ventajas económicas y ambientales que pueden aportar este tipo de material, como la reducción de contaminación, optimización de procesos y disminución del volumen de residuos en rellenos sanitarios, de igual forma conocer el ambiente al que se exponen los agregados reciclados analizando sus capacidades en los diferentes porcentajes que se sustituyan estos residuos.

El comportamiento que presenta el concreto reemplazando del 0% al 50% del agregado grueso con RCD alcanza la resistencia de diseño, en algunos casos incluso supera la resistencia en comparación con un concreto convencional con agregados naturales, con los resultados alcanzados es factible utilizar este tipo de concreto en obras nuevas y elementos estructurales, siempre y cuando se realice una correcta caracterización del RCD a emplear, es decir se recomienda utilizar los RCD provenientes de pavimentos, o del concreto que hayan cumplido una función estructural ya que se espera un mejor desempeño por parte de este tipo de material.

Por otro lado, la relación costo beneficio y el desempeño del concreto, al realizar proyectos de edificaciones reemplazando agregados reciclados en el concreto estructural se puede estimar en un ahorro económico de un 4% y 5% aproximadamente, que utilizando un concreto convencional, porcentaje que no es tan elevado y que no se refleja en obras pequeñas, mientras que en obras de gran envergadura es significativo, además el ahorro económico en

concreto que no hace parte del sistema estructural como los elementos como los contra pisos, andenes, encimeras o dinteles el porcentaje de ahorro es más elevado a la hora de utilizar concreto con RCD, debido a que no tiene requisitos tan estrictos en comportamientos en cuanto a resistencia (esfuerzo cortante y flexión), rigidez, etc.

La cantidad y la variedad de residuos de construcción que se generan en una demolición de una edificación son significativos y pensar en cómo podrían ser reutilizados es una manera de alargar la vida del medio ambiente y generar una economía circular debido a que los RCD pueden aprovecharse dependiendo de su proveniencia, para dar un ejemplo la mampostería y cerámicos se pueden utilizar como agregados gruesos y finos para la realización de ladrillos, bloques, morteros, material para nivelaciones de terreno, etc. por otro lado el vidrio podría reutilizarse para la elaboración de concretos con fibra de vidrio mejorando considerablemente el comportamiento y la resistencia, para los posibles usos del resto de materiales se toma en consideración la tabla 2 (Alternativas de gestión de uso de los RCD).

Con la implementación de metodologías de separación, clasificación y utilización en obra se puede llegar a grandes resultados como se evidencia en la alternativa 6, donde se fabrica adoquín directamente en la construcción y donde se demuestra la capacidad de utilización de estos residuos en un caso real, de igual forma la alternativa 8 resulta muy interesante de aplicar en edificaciones, creando espacios y acabados agradables y que reducen la contaminación auditiva gracias a la porosidad que tiene la mezcla para realizar tabletas de revestimiento.

El beneficio económico normalmente es la variable que determina si una alternativa es rentable de utilizar sin embargo esto no debería de ser así, puesto que al utilizar los RCD, se debe resaltar el beneficio invaluable ambiental y a largo plazo al reutilizar estos materiales, generando una economía circular en la cual estos materiales podrán ser utilizados en ciclos

nuevos y aportar grande beneficios al medio ambiente, debido a que se evita la extracción de minerales, daños o socavaciones, reduce la emisión de CO₂ al transportarlos, minimiza la contaminación del paisaje y destrucción de ecosistemas naturales.

Recomendaciones

En base a los resultados recolectados en la actual investigación y a los aportes bibliográficos de esta monografía, se debe garantizar a nivel nacional el cumplimiento de las leyes existentes sobre el plan de gestión de los residuos de construcción para aprovechar estos materiales y disminuir su generación, así mismo incentivar a los constructores a que implementen este tipo de material o por ende fabricar uno nuevo a partir de este.

Una vez concluido el presente trabajo de grado modalidad monografía, se coloca a consideración del lector y la comunidad educativa seguir elaborando estudios de comportamiento de materiales variados como: ladrillos, bloques y mortero a partir de los RCD, evitando de esta manera el reemplazo por RCD en el agregado grueso sea del 100%, puesto que existe incertidumbre en alcanzar la resistencia requerida debido a que en varios estudios se encontró que este tipo de concreto no cumplía con la resistencia.

Analizar con mayor detenimiento y realizar una caracterización ideal de los materiales RCD, con el fin de obtener componentes de buena calidad, es decir, se recomienda que los materiales que vayan a sustituir el agregado grueso en el concreto sean provenientes de elementos de función estructural.

Finalmente, se sugiere implementar un plan de gestión de RCD donde se tenga en cuenta estos residuos desde la etapa de pre factibilidad e incluso en la programación de obra, con el fin de tener un buen manejo de los desechos y evitar así los problemas ambientales.

Referencias

- Alape Esguerra, C.M. & Santos Piñeros, A. (24 de Octubre de 2020). *Proyecto de Investigación. Estudio comparativo entre un concreto convencional de 3000 psi y un concreto con agregado grueso a partir de 50% 75% y 100% de RCD*. Villavicencio, Colombia. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/31319/2020cristianalape.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Alcaldía de Bogotá. (s.f.). *Documentos para CÓDIGOS: Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=26934>
- Andersen, R., Stokbro Ravn, A. & Walbech Ryberg, M. (Septiembre de 2022). Beneficios ambientales de aplicar la demolición selectiva de edificios: un caso de estudio de la reutilización del revestimiento de acero de fachada. *Revista Elsevier Ltda*, 184. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344922002737>
- Arqhys Arquitectura. (Junio de 2022). *Qué son los agregados*. Obtenido de <https://www.arqhys.com/arquitectura/queson-agregados.html>
- Arquitectura Pura. (2021) *¿Qué son los elementos arquitectónicos?* Obtenido de <https://www.arquitecturapura.com/elementos-arquitectonicos/>
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental [ACODAL]. (8 de Junio de 2016). *Manejo de escombros, un reto para el Aburrá*. Obtenido de <https://www.acodal.org.co/manejo-de-escombros-un-reto-para-el-aburra/>

- Ayele Abera, S. (14 de Marzo de 2022). Estudio analítico de propiedades de materiales de hormigón que incorporan áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición. *Revista Materialstoday: Proceedings*, 52(3), 2172-2183. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322002218>
- Bembibre, C. (Septiembre de 2009). Definición de Edificación. *Definición ABC*. Obtenido de <https://www.definicionabc.com/tecnologia/edificacion.php>
- Benavides Lozano, A.P., Chavarro Casas, L., Forero Vargas, K.P., Moreno Ortiz, G.M. & Ramírez Santa, E. (29 de Noviembre de 2021). *Evaluación del manejo de los residuos de construcción y demolición RCD originados por las obras de infraestructura de la empresa Conconcreto S.A.* Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/11393/BenavidesAngelie2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Bermejo Urzola, G.A. (Octubre de 2016). *Lineamientos para la Gestión Ambiental de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) generados en Barranquilla D.E.I.P.* Barranquilla, Colombia. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/20473/BermejoUrzolaGustavoAdolfo2016.pdf?sequence=1>
- Becerra S, R.A. (2016). *Fabricación de un prefabricado para el revestimiento de edificaciones a partir del uso de residuos de construcción y demolición.* Obtenido de <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/81ad9349-07f8-4526-a7e2-f08efce20928/content>

- Bravo, F.N. (Noviembre de 2010). *Reciclado y reutilizo de Residuos de Construcción y Demolición, una herramienta para el desarrollo económico local*. Obtenido de <http://www.ideassonline.org/public/pdf/RCDDocumentEsp.pdf>
- Castaño, J.O., Misle Rodríguez, R., Lasso, L.A., Gómez Cabrera, A. & Ocampo, M.S. (15 de Abril de 2013). Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes. *Revista Tecnura*, 17(38), 121-129. Obtenido de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/6933/8570>
- Castellanos Giraldo, J.V., Rivera Martínez, F.D. & Roa Morales, M. (17 de Noviembre de 2017). *Comparación estructural y estimación de costos de la utilización de concreto con agregados naturales y concretos con residuos de construcción y demolición (R.C.D.) como agregado*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/15275/1/Tesis%20especializacio%cc%81n%20RCD.pdf>
- Castiblanco, C. (23 de Septiembre de 2020). *Así avanza Bogotá en control ambiental de residuos de construcción y demolición*. Obtenido de <https://bogota.gov.co/mi-ciudad/ambiente/control-ambiental-de-residuos-de-construccion-y-demolicion-en-bogota>
- Congreso de la República de Colombia. (19 de Diciembre de 2008). *Ley 1259 del 2008*. Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Obtenido de <https://www.habitatbogota.gov.co/transparencia/normatividad/leyes/ley-1259-2008#:~:text=Por%20medio%20de%20la%20cual,y%20se%20dictan%20otras%20disposiciones>

De Santos, D., Monercillo Delgado, B. & García Martínez, A. (Octubre de 2011). *Gestión de residuos en las obras de construcción y demolición*. 2° Edición. Madrid, España.

Obtenido de <https://libreria.fundacionlaboral.org/extpublicaciones/gestionresiduos2.pdf>

Distrito de Cartagena de Indias. (2016). *Actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Distrito de Cartagena de Indias 2016-2027*. Obtenido de

<https://www.cartagena.gov.co/Documentos/2021/Transparencia/Planeacion/PGIRS/Documento%20PGIRS%20actualizado.pdf>

Flor Chávez, G.F. (Octubre de 2012). *Aprovechamiento de hormigón reciclado en obras viales*.

Obtenido de

https://www.academia.edu/36908624/APROVECHAMIENTO_DE_HORMIGON_RECICLADO_EN_OBRAS_VIALES

Jiménez Montero, E.C. & García Torres, H.M. (2016). *Aprovechamiento de los RCD en*

Proyectos de Construcción y Conservación de Pavimentos Urbanos. Bogotá, Colombia.

Obtenido de

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/13905/4/Aprovechamiento%20de%20los%20RCD%20en%20proyectos%20de%20construcci%C3%B3n%20y%20conservaci%C3%B3n%20de%20pavimentos%20urbanos.pdf>

Kang, Y., Besklubova, S., Dai Y. & Zhong, R.Y. (15 de Abril de 2022). Gestión de residuos de demolición de edificios a través de BIM inteligente: un estudio de caso en Hong Kong.

Revista Elsevier Ltda, 143, 69-83. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X22001118>

- Lasso Aguirre, A.L. & Misle Rodríguez, R. (Octubre de 2012). *Evaluación Técnica, Económica e Institucional de la Gestión de Residuos de Construcción y Demolición en Bogotá D.C.* Bogotá D.C., Colombia. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/15570/LassoAguirreAndresLeonardo2012.pdf?sequence=1>
- Línea Verde. (2018) *¿Qué es el desarrollo sostenible?* Ayuntamiento de Huelva. Obtenido de <http://www.lineaverdehuelva.com/lv/consejos-ambientales/conciencia-ambiental/Que-es-el-desarrollo-sostenible.asp>
- López López, M.J. (Mayo de 2020). *Estrategias sostenibles para el aprovechamiento de RCD (Residuos de Construcción y Demolición) en los proyectos de las PYMES constructoras de Montería.* Montería, Colombia. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/29419/2020manuellopez1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez Ussa, Y.R. & Poveda, J.E. (2015). *Fabricación de adoquín a partir de un sistema de aprovechamiento de escombros en obra.* Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4248/Monografia%20Sistema%20para%20Adquines%20hipervinculada.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Martínez, G. (22 de Julio de 2019). *¡ALARMANTE! Colombia produce 22'000.000 DE TONELADAS de residuos de construcción y demolición RCD al año.* Ingeniería & Construcción. Obtenido de <https://www.ingenieriaayconstruccioncolombia.com/residuos-de-construccion-y-demolicion-rcd/>

Mejía Restrepo, E., Osorno Bedoya, L. & Osorio Vega, N.W. (2 de Junio de 2015). Residuos de la construcción: una opción para la recuperación de suelos. *Revista EIA*, 1(1), 55–60.

Obtenido de <https://revistas.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/706/661>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (23 de Noviembre de 2021).

Resolución 1257 de 2021. República de Colombia. Obtenido de

<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-1257-de-2021.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]. (5 de Marzo de 2017). *Resolución 472*

del 2017. Bogotá, D.C. Obtenido de [https://acmineria.com.co/acm/wp-](https://acmineria.com.co/acm/wp-content/uploads/normativas/resolucion_472_de_2017-mads_-_residuos_de_demolicion_y_construccion.pdf)

[content/uploads/normativas/resolucion_472_de_2017-mads_-_residuos_de_demolicion_y_construccion.pdf](https://acmineria.com.co/acm/wp-content/uploads/normativas/resolucion_472_de_2017-mads_-_residuos_de_demolicion_y_construccion.pdf)

Ministerio del Medio Ambiente. (14 de Diciembre de 1994). *Resolución 541 de 1994*. Obtenido

de https://www.anla.gov.co/documentos/normativa/resoluciones/res_0541_141294.pdf

Ministerio del Medio Ambiente. (5 de Junio de 1995). *Decreto 948 de 1995*. Obtenido de

<http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527621/Decreto+948+de+1995.pdf/670a0603-4d1f-454f-941e-08e6ba70666d>

Natalini, M.B., Klees, D.R. & Tirner, J. (2013). *Reciclaje y reutilización de materiales*

residuales de construcción y demolición. Argentina. Obtenido de

<https://studylib.es/doc/4651658/reciclaje-y-reutilizaci%C3%B3n-de-materiales-residuales-de-con...>

Ortega Acosta, A.I., Casas Camargo, H.L. & Figueroa García, Y.X. (2021). *Guía para la*

Elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición - RCD en la

- obra*. Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C., Colombia. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/1uF-XlhaTES2UJYkrK3UJlgrtOPORLvAJ/view>
- Ortega, C. (5 de Agosto de 2021). Análisis comparativo: Qué es y cómo se realiza. *QuestionPro*. Obtenido de <https://www.questionpro.com/blog/es/analisis-comparativo/>
- Ospina G., M.A., Moreno Anselmi., L.A. & Rodríguez, K.A. (Septiembre de 2017). Análisis técnico-económico del uso de concreto reciclado y el concreto convencional en Colombia. Bogotá, Colombia. *Revista Actas de Ingeniería*, 3, 36-47. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/330661099_Analisis_tecnico-economico_del_uso_de_concreto_reciclado_y_el_concreto_convencional_en_Colombia
- Ospina Salcedo, J.C. & Castro Chaverra, H.L. (Junio de 2016). *Alternativa para el manejo de residuos de construcción generados por los puntos de arrojado clandestino en el perímetro urbano de Bogotá y su aprovechamiento para la restauración en áreas intervenidas por la minería*. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10398/MONOGRAFIA%20DE%20RCD%C2%B4S%20FINAL1.pdf?sequence=1>
- Pacheco Bustos, C.A., Fuentes Pumarejo, L.G., Sánchez Cotte, E.H. & Rondón Quintana, H.A. (18 de Marzo de 2017). Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión. *Revista Ingeniería y Desarrollo*, 35(2), 533-555. Barranquilla, Colombia. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v35n2/2145-9371-inde-35-02-00533>
- Peña Sepúlveda, J.P. (Diciembre de 2020). *Beneficios al implementar alternativas de reutilización de materiales de construcción*. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/347514167_Beneficios_al_implementar_alternativas_de_RCD_en_Cucuta#pfc

Redacción de El País. (13 de Febrero de 2018). Cali genera casi un millón de toneladas de escombros al año, advierte Sociedad de Ingenieros. *El País*. Obtenido de <https://www.elpais.com.co/cali/genera-casi-un-millon-de-toneladas-de-escombros-al-ano-advierte-sociedad-de-ingenieros.html>

Robayo Salazar, R.A., Matthey Centeno, P.E., Silva Urrego, Y.F., Burgos Galindo, D.M. & Delvasto Arjona, S. (01 de Abril de 2015). Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento. *Revista Tecnura*, 19(44), 157-170. doi: <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.2.a12>

Sánchez Pacheco, N.B. (07 de Julio de 2020). *Reutilización de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en la Industria de la Construcción*. Bogotá. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/36112/SanchezPachecoNickBriaran2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Segura, A.M., Rojas, L.A. & Pulido, Y.A. (14 de Mayo de 2020). *Referentes mundiales en sistemas de gestión de residuos sólidos*. *Revista Espacios*, 41(17), 22. Obtenido de <http://es.revistaespacios.com/a20v41n17/a20v41n17p22.pdf>

Silva, Y., Robayo Salazar, R.A., Matthey, P. & Delvasto, S. (25 de Junio de 2014). Obtención de concretos autocompactantes empleando residuos de demolición. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 35(1), 86-94. Cali, Colombia. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522015000100012

TRIO Procesos Constructivos S.L. (26 de Abril de 2019). *¿Qué son los elementos estructurales?*

Obtenido de <https://construccionestrio.com/que-son-los-elementos-estructurales/>

Trujillo, K.L., & Quintero, A.P. (2021). *Análisis del manejo de Residuos de Construcción y*

Demolición RCD y sostenibilidad en la construcción en Bogotá D.C. Obtenido de

https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/912

Unidad Técnica Ambiental [UTA]. (2015). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de*

Ocaña PGIRS 2015-2027. Alcaldía Municipal de Ocaña. Obtenido de

https://ocananortedesantander.micolombiadigital.gov.co/sites/ocananortedesantander/content/files/000111/5502_plan_gestion_integral_residuos_solidos_ocaa.pdf

Urquijo Fajardo, G.E. (2021). *Modelo de Gestión Integral de Residuos de Construcción y*

Demolición (RCD) Orientado al Aprovechamiento, Beneficios Económicos y Ambientales para la Ciudad de Tunja (Boyacá). Obtenido de

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/44013/geurquijof.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vargas Hernández, M.J. (2019). *Investigación sobre el manejo de residuos en construcción entre*

Europa, América y Colombia. Obtenido de

<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/21255/Vargas%20Hernandez%20Maciel%20Juanita%202019.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Vega Guerrero, M.D. & Duran Navarro, E.C. (19 de Abril de 2017). *Estudio de Disposición y*

Reutilización de los Residuos de Construcción y Demolición provenientes de las

Edificaciones en el Municipio de Ocaña, Norte de Santander. Obtenido de

<http://repositorio.ufpso.edu.co/handle/123456789/914>

- Villalba Gaviria, V.A., Cepeda Sánchez, E.C., Rodríguez Pérez, O.F. & Moreno Amaya, D.A. (Noviembre de 2018). *Evaluación de los beneficios económicos y ambientales para la adecuada gestión de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Bogotá D.C.* Obtenido de [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22403/1/EvaluacionGesti% c3% b3n% 20RCD.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/22403/1/EvaluacionGesti%c3%b3n%20RCD.pdf)
- Villoria Sáez, P. (2014). *Sistema de gestión de residuos de construcción y demolición en obras de edificación residencial. Buenas prácticas en la ejecución de obra.* Madrid, España. Obtenido de https://oa.upm.es/32681/1/PAOLA_VILLORIA_SAEZ.pdf
- Wagih, A.M., El-Karmoty, H.Z., Ebid, M. & Okba, S.H. (17 de Mayo de 2019). Residuos reciclados de hormigón de construcción y demolición como árido para hormigón estructural. *Revista HBRC*, 9(3), 193-200. Obtenido de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1016/j.hbrcj.2013.08.007>
- Zabala, C.P. & Arroyo Casarubia, J.I. (2015). *Visión general de los RCD: estudio de caso Montería.* Obtenido de [https://www.academia.edu/20961415/RESIDUOS_RCD_EN_COLOMBIA_ESTUDIO_ DE_CASO_MONTER% C3% 8DA](https://www.academia.edu/20961415/RESIDUOS_RCD_EN_COLOMBIA_ESTUDIO_DE_CASO_MONTER%C3%8DA)