



**Análisis de alternativas acerca del manejo de los Residuos de Construcción y
Demolición en el ámbito estructural y ambiental**

Julián Andrés Velandia Cedeño

10481818758

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

Bogotá, Colombia

2022

**Análisis de alternativas acerca del manejo de los Residuos de Construcción y
Demolición en el ámbito estructural y ambiental**

Julián Andrés Velandia Cedeño

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

Director (a):

Ing. Esp. Alexandra Yanira Morales Rey

Línea de Investigación:

Gestión Ambiental

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

Bogotá, Colombia

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado
_____, Cumple con
los requisitos para optar
Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Ciudad, Día Mes Año.

Contenido

	Pág.
Resumen	11
Abstract	12
1. Introducción.....	13
2. Objetivos.....	14
2.1. Objetivo General	14
2.2. Objetivos específicos.....	14
3. Marco Conceptual	15
3.1. Gestión de los RCD.....	15
3.2. Ciclo sostenible de los RCD	17
3.3. Aplicación estructural de los RCD como agregado reciclado.....	18
3.3.1. Propiedades de los agregados	19
3.3.2. Propiedades del concreto	21
4. Marco normativo	23
5. Estado del conocimiento	26
5.1. Producción de documentos por año	26
5.2. Documentos por país.....	27
5.3. Aportes internacionales	28
5.5. Aportes nacionales	33
6. Planteamiento del problema.....	36
7. Metodología.....	38
8. Gestión de los RCD.....	39
8.1.1. Clasificación de los RCD	40

8.1.2. Almacenamiento.....	44
8.1.3. Tratamiento y aprovechamiento de los RCD	47
8.1.4. Disposición final de los RCD.....	51
8.1.5. Aspectos normativos frente al manejo de los RCD	52
9. RCD como agregado reciclado aplicado al concreto.....	55
9.1.1. Granulometría.....	55
9.1.2. Densidad y absorción	58
9.1.3 Desgaste	63
9.1.4. Resistencia a la compresión	66
9.1.5. Resistencia a la flexión.....	69
9.1.6. Resistencia a tensión o tracción	71
9.1.7. Asentamiento (SLUMP).....	74
10. Conclusiones.....	77
11. Recomendaciones.....	79
Referencias Bibliográficas	81

Lista de Figuras

<i>Figura 1. Etapas de Gestión de los RCD.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 2. Propiedades principales de los agregados y sus relaciones</i>	<i>19</i>
<i>Figura 3. Producción de documentos por año</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4. Documentos subidos por país</i>	<i>28</i>
<i>Figura 5. Ciclos de retroalimentación de RCD en China</i>	<i>31</i>
<i>Figura 6. Propuesta de planta de reciclaje para la ciudad de Barranquilla</i>	<i>34</i>
<i>Figura 7. Fases de investigación</i>	<i>38</i>
<i>Figura 8. Ciclo de los RCD en Colombia.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 9. Principales tipos de RCD.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 10. Transformación de los RCD en Bogotá.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 11. Ciclo de los RCD en China.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 12. Procesos de reciclaje y reventa de los RCD.....</i>	<i>49</i>
<i>Figura 13. Lugares de Disposición final autorizados según la autoridad ambiental</i>	<i>51</i>
<i>Figura 14. Lineamientos para el cierre del PIN.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 15. Muestras de concreto permeable</i>	<i>57</i>
<i>Figura 16. Absorción de agua en los agregados reciclados y naturales</i>	<i>58</i>
<i>Figura 17. Tratamiento de los RMA por el método de biodeposición.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 18. Comportamiento de la densidad aparente bajo el método de biodeposición....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 19. Pérdida de masa de acuerdo a los ciclos de humectación-secado de sulfato ...</i>	<i>65</i>
<i>Figura 20. Resistencia a compresión con la implementación de RAC y fibras de acero....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 21. Resistencia a compresión con la implementación de árido reciclado fino</i>	<i>68</i>
<i>Figura 22. Resistencia a flexión del concreto incorporando aditivo y humo de sílice.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 23. Resistencia a tensión del concreto con RCA tratado.....</i>	<i>72</i>
<i>Figura 24. Resistencia a tensión VS la relación de incorporación de RA.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 25. Asentamiento del concreto con agregado reciclado fino y escoria de cobre</i>	<i>74</i>
<i>Figura 26. Asentamiento y prueba T50 con algunos porcentajes de agregado reciclado .</i>	<i>75</i>

Lista de tablas

Tabla 1. Normatividad para el estudio de los RCD en Bogotá.....	24
Tabla 2. Normatividad para propiedades del agregado y el concreto	25
Tabla 3. Desafíos o limitantes en el manejo de los RCD.....	29
Tabla 4. Clasificación de los RCD en la ciudad de Bogotá.....	41
Tabla 5. Clasificación de los RCD en Brasil	44
Tabla 6. Almacenamiento y proceso de los RCD en la ciudad de Bogotá.....	45
Tabla 7. Alternativas de reutilización para los RCD en Bogotá	48
Tabla 8. Metas de aprovechamiento para las obras civiles en Bogotá	52
Tabla 9. Densidades de los materiales de uso más frecuente en la construcción	53
Tabla 10. Distribución granulométrica agregado fino (Límites)	56
Tabla 11. Valores de absorción promedio, mínimo y máximo.....	59
Tabla 12. Densidad aparente del agregado grueso en (kg/m ³).....	63
Tabla 13. Resistencia al desgaste.....	64
Tabla 14. Resistencia a flexión del concreto con agregado reciclado	69
Tabla 15. Descripción de las proporciones de cada mezcla.....	70

Agradecimientos

En primer lugar, a Dios por darme la salud y fuerza necesaria para completar mis metas, logrando terminar satisfactoriamente esta etapa de mi vida.

A mis padres por ser el pilar más importante para lograr mis sueños, por todas sus enseñanzas, motivaciones y compañía incondicional.

A mis hermanas por su apoyo en los momentos más importantes, por impulsarme y guiarme en todos mis objetivos.

A la ingeniera Alexandra Morales, por guiarme de la mejor manera en este proceso por medio de sus conocimientos y experiencia, y por sus enseñanzas impartidas a lo largo de la carrera.

Resumen

El incremento de la generación de residuos en la construcción es notorio, por tal motivo en este documento se pretende promover el conocimiento sobre los RCD, mostrando las limitantes que existen y la manera de mejorar esos aspectos, y así ampliar el panorama de información sobre estos residuos, demostrando que si es posible implementarlos mediante una gestión organizada y colectiva.

En este documento se presentan los diferentes procedimientos que se llevan a cabo en la gestión de los RCD, como su clasificación, almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento y disposición final, mostrando algunos aspectos relevantes que tienen otros países con respecto a cada una de estas etapas, teniendo en cuenta la normativa que implica el control de estos residuos.

Por otra parte, con el fin de mostrar el potencial de reutilización que tienen los RCD en el ámbito estructural, se muestran diversos estudios sobre las propiedades mecánicas y físicas de los agregados reciclados, tales como granulometría, densidad, absorción, desgaste, resistencia a compresión, flexión, tracción, y trabajabilidad, identificando las limitantes que poseen, así como algunas alternativas para mejorar dichas propiedades, demostrando su aplicación en la construcción de obras civiles.

Palabras clave: Reciclaje, Agregado, Residuos, Construcción, Demolición.

Abstract

The increase in the generation of construction waste is notorious. For this reason, this document aims to promote knowledge about CDW, showing the limitations that exist and how to improve these aspects, and thus expand the information panorama about this waste, demonstrating that it is possible to implement it through an organized and collective management.

This document presents the different procedures that are carried out in the management of CDW, such as classification, storage, treatment, use and final disposal, showing some relevant aspects that other countries have with respect to each of these stages, taking into account the regulations involved in the control of these wastes.

On the other hand, in order to show the reuse potential of CDW in the structural field, several studies on the mechanical and physical properties of recycled aggregates are shown, such as granulometry, density, absorption, wear, resistance to compression, bending, traction, and workability, identifying the limitations they have, as well as some alternatives to improve these properties, demonstrating their application in the construction of civil works.

Keywords: Recycling, Aggregate, Waste, Construction, Demolition.

1. Introducción

La construcción es el sector que más genera residuos a nivel global, esto debido al gran crecimiento que ha tenido durante los últimos años, por lo tanto esto presenta un grave problema ya que empieza a incrementar el agotamiento de las materias primas, así como de los sitios de disposición autorizados, trayendo consigo afectaciones ambientales en el agua, suelo, flora y fauna; además por almacenamientos indebidos en lugares no aptos se generan inestabilidad en los terrenos, deterioro paisajístico, entre otros focos de contaminación (Haider et al., 2022).

Por estos motivos se han desarrollado diferentes alternativas en la gestión de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), implementando la ejecución de la economía circular, que consiste en un sistema que sustituye el fin de la vida útil de un material, por la reducción, reutilización, reciclaje y recuperación en los procesos de distribución y consumo de estos materiales (Lynch, 2022).

A lo largo de este documento se pretende mostrar cómo se lleva a cabo el manejo de los RCD, identificando los aspectos más relevantes que implican cada etapa de la gestión de estos residuos, desde su generación hasta su disposición final, y como enfoque a las metodologías de reutilización de estos residuos, se analizó su potencial aprovechable como agregados reciclados aplicados al concreto, evaluando sus propiedades físicas y mecánicas que demuestren el impacto positivo que tienen al implementarlos en las obras civiles, permitiendo determinar su viabilidad en el ámbito estructural y ambiental.

2. Objetivos

2.1. Objetivo General

Mostrar el desarrollo del manejo de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) haciendo énfasis en la ciudad de Bogotá D.C., presentando los procedimientos que se realizan actualmente en las etapas del ciclo de gestión de estos residuos, analizando los aspectos que se podrían mejorar o implementar; identificando si su aplicación es viable tanto estructural como ambientalmente.

2.2. Objetivos específicos

Identificar los Residuos de Construcción y Demolición RCD y sus metodologías de reutilización en la construcción de obras civiles.

Investigar distintas alternativas que se han utilizado frente al manejo de los RCD en otros países, con el propósito de comparar sus métodos con los de la ciudad de Bogotá D.C.

Evaluar el potencial de reutilización de los RCD como agregado reciclado para su aplicación en el concreto, por medio de la recopilación de estudios sobre las principales propiedades físicas y mecánicas que permitan determinar el alcance de su aplicación a nivel estructural.

3. Marco Conceptual

Dentro del contexto que abarcan los RCD, es significativo conocer las variables relacionadas con la gestión de los mismos, así como conceptos que permitan analizar estos residuos en su aprovechamiento y aplicación estructural.

3.1. Gestión de los RCD

El óptimo tratamiento de los RCD en Colombia y en el mundo debe gestionarse integralmente para mitigar los impactos ambientales por su inadecuado uso, conceptos como la demolición selectiva, almacenamiento, puntos limpios, plantas de reciclaje o aprovechamiento y sitios de disposición final, y actores involucrados como generador y gestor de RCD, son temas que trascienden en el manejo óptimo de estos residuos.

- **Almacenamiento**

Consiste en un espacio temporal habilitado exclusivamente para la colección. Transporte para su posterior reutilización o disposición final (MinAmbiente, 2017).

- **Demolición selectiva**

Aborda el proceso de separación adecuada de los residuos durante la demolición, identificando los que pueden ser destinados para reutilización y los que se dirigen a su disposición final (MinAmbiente, 2017).

- **Generador de RCD**

Se refiere a las personas naturales o jurídicas que generan RCD en sus respectivos procesos al realizar actividades afines con la construcción, reparación y demolición (MinAmbiente, 2017).

- **Aprovechamiento de RCD**

Esto comprende actividades que incluyen la reutilización, el reciclaje y el tratamiento de RCD para permitir un uso óptimo de los mismos (MinAmbiente, 2017).

- **Gestor de RCD**

Se dirige a los responsables de los procesos de recolección, transporte, almacenamiento, reutilización y/o disposición final de RCD (MinAmbiente, 2017).

- **Planta de aprovechamiento**

Son lugares aptos para elaborar las actividades de separación, reutilización, almacenamiento, y procesamiento de los RCD (MinAmbiente, 2017).

- **Puntos limpios**

Hacen referencia a los lugares donde el gestor respectivo separa y almacena los Residuos provenientes de Construcción y Demolición (MinAmbiente, 2017).

- **Simbiosis industrial**

Corresponde a una estrategia colaborativa con la intención de realizar intercambios o compartir servicios entre actores, para permitir el uso óptimo de los recursos y mitigar los impactos ambientales de los sistemas industrializados (MinAmbiente, 2017).

- **Sitio de disposición final de RCD**

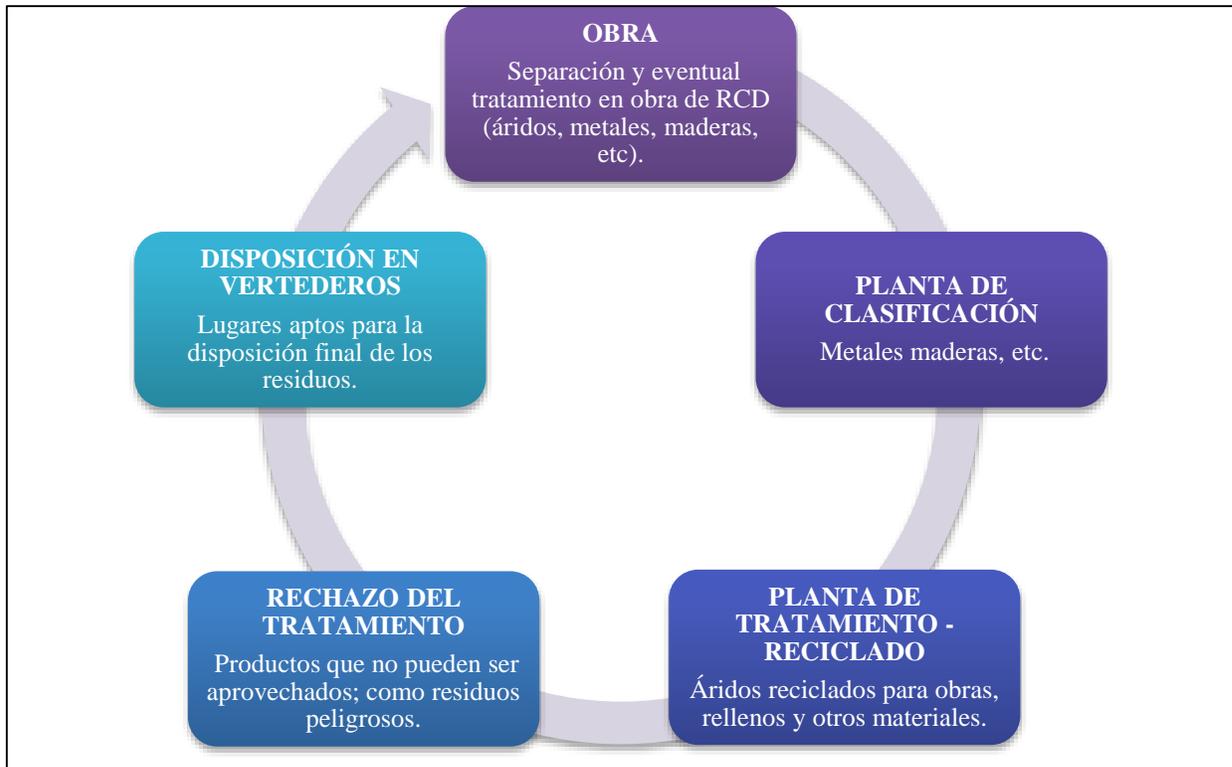
Es el lugar específico para la dispuesta final de los escombros, permitiendo mitigar la contaminación por medio del aislamiento de los mismos (MinAmbiente, 2017).

- **PIN**

Es el número de inscripción que se otorga por la Secretaría Distrital de Ambiente a los actores involucrados en las actividades del ciclo de gestión de los RCD como los generadores y gestores (MinAmbiente, 2012).

3.2. Ciclo sostenible de los RCD

Dado que la producción de residuos es inevitable, es indispensable formar un ciclo sostenible [Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**] con las fases encargadas de la gestión de los RCD mencionadas anteriormente, y de esta manera garantizar una demanda sostenida por parte de las empresas relacionadas, logrando contribuir activamente en la protección del medio ambiente, y a nivel económico (Observatorio Internacional de Ciudadanía y Medio Ambiente Sostenible (CIMAS), n.d.).

Figura 1*Etapas de Gestión de los RCD*

Nota. Tomado y adaptado de (Observatorio Internacional de Ciudadanía y Medio Ambiente Sostenible (CIMAS), n.d.)

3.3. Aplicación estructural de los RCD como agregado reciclado

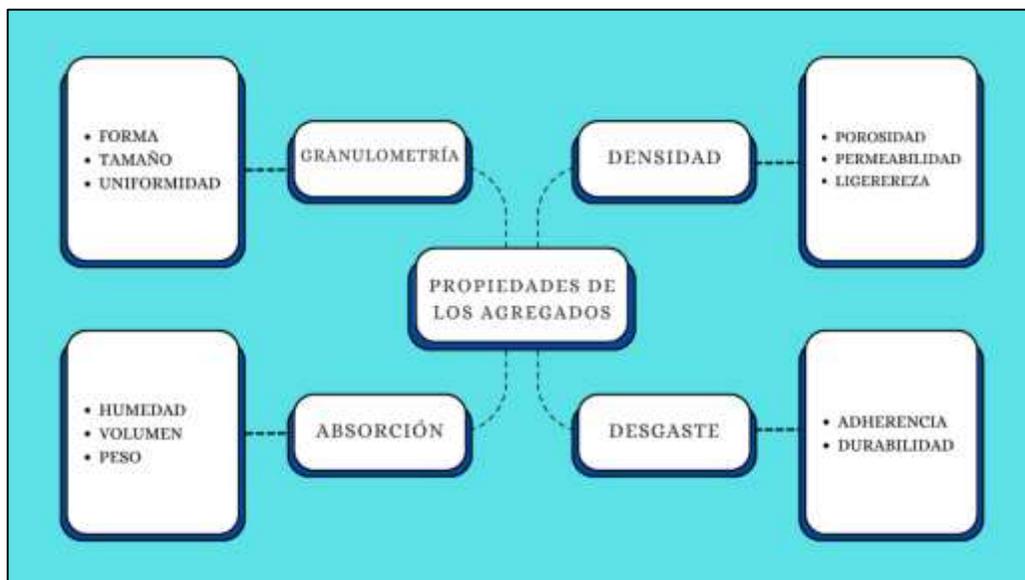
Para evaluar el potencial de reutilización de los agregados reciclados enfocando su aplicación para el concreto, es importante conocer sus propiedades físicas y mecánicas que permiten comparar su comportamiento y calidad frente a los materiales de procedencia natural convencionales.

3.3.1. *Propiedades de los agregados*

Los agregados tienen diversas funciones en el campo de la construcción, por tal motivo es importante conocer su comportamiento frente a las características como la granulometría, que está relacionada con la forma, tamaño y uniformidad del agregado, la densidad que influye principalmente en el peso volumétrico y la resistencia a compresión del concreto, además puede indicar la ligereza, porosidad y permeabilidad del agregado; con el desgaste se puede determinar la capacidad de adherencia y durabilidad, y con la absorción se puede identificar la humedad, volumen y peso. Por lo tanto, la granulometría, densidad, desgaste y absorción se convierten en las propiedades principales (Ver Figura 2) para poder evaluar el potencial estructural de los agregados reciclados (Chan Yam et al., 2003).

Figura 2

Propiedades principales de los agregados y sus relaciones



Nota. Elaboración propia

- **Granulometría.** La granulometría o evaluación granulométrica, se refiere al proceso de la separación de las partículas de un material según el tamaño de las mismas, utilizando mallas con aberturas definidas conocidas como tamices, mediante un movimiento de agitado permite tomar el peso de las masas retenidas en cada tamiz, y de esta manera, clasificar los suelos de acuerdo a la cantidad de finos y gruesos que este posea. Por lo general, la granulometría se realiza desde el tamiz de 2 pulgadas (50 mm), donde se retienen las gravas más gruesas, hasta el tamiz #200 (0.3 mm), en el cual se retienen los suelos más finos como limos y arcillas (Botía Díaz, 2015).
- **Densidad.** En general, la densidad es la relación de masa por unidad de volumen, pero se determinan tres densidades diferentes para estudiar el comportamiento de los agregados. La densidad nominal, que corresponde a la masa de aire en el volumen de agregado, pero excluye los poros no saturables; la densidad aparente, también se relaciona con la masa de aire en el volumen agregado, pero incluye poros saturables y no saturables, y sin considerar los vacíos entre partículas. La densidad aparente permite determinar el volumen de áridos en los diseños de mezcla con el concreto. También hay otro tipo de densidad, Saturada Superficialmente Seca (SSS), que se refiere a la misma densidad aparente, pero incluye una masa de agua en los poros que son susceptibles a la saturación. Además, se mide después de sumergir el agregado en agua durante 24 horas. Esto se tiene en cuenta cuando la absorción del material es óptima. (Lamond & Peilert, 2006).

- **Absorción.** Esta corresponde a un aumento en la masa del agregado debido al agua dentro de los vacíos o poros del material, excluyendo el agua del exterior superficial de las partículas. La absorción se puede expresar como el porcentaje de la masa seca del árido o agregado. Esta propiedad se puede determinar sumergiendo el agregado con la humedad natural en agua durante 24 horas, y puede variar dependiendo de la porosidad; la absorción es indispensable para determinar la durabilidad de un agregado, y así mismo la calidad del concreto (Lamond & Peilert, 2006).
- **Desgaste.** Los agregados tienen diversas funciones en la construcción, por lo tanto, están expuestos a diferentes fuerzas mecánicas ya sea en el concreto, en pavimentos o losas que soportan el tráfico pesado, además de fuerzas de erosión del agua en movimiento, entre otros factores; el agregado debe ser capaz de soportar tensiones y deformaciones excesivas garantizando una transferencia de esfuerzos uniforme, es decir, que tengan una mayor durabilidad (Lamond & Peilert, 2006).

3.3.2. *Propiedades del concreto*

El hormigón o concreto es el material más usado en el campo de la construcción, se compone principalmente de agua, agregados, cemento, en ocasiones aditivos, que permiten obtener una mezcla para la realización de la mayoría de obras civiles; la calidad del concreto depende de diversos factores como la resistencia bajo una carga a compresión, cuya propiedad está directamente relacionada con la granulometría, forma y textura del agregado, ya que con una buena uniformidad, permite una mayor densidad en el estado endurecido, por ende mayor resistencia y durabilidad del hormigón. Otra propiedad es la

resistencia bajo una carga a flexión que determina la capacidad de deformación del concreto; la resistencia bajo una carga a tensión o tracción, igualmente permite evaluar otros comportamientos del hormigón; además, un buen concreto también se puede identificar por su trabajabilidad, la cual se encuentra afín con el ensayo de asentamiento; por ende las resistencias y trabajabilidad son las propiedades principales del concreto, con las que se puede evaluar la implementación de los RCD.

- **Resistencia a la compresión.** Esta es la característica más significativa del concreto, ya que permite medir y evaluar si una estructura resiste una carga aplicada; por lo general la resistencia a compresión se determina por medio de cilindros de concreto de 4 y 6 pulgadas de ancho, adicionando una carga de tipo axial (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) a diferentes edades, principalmente 7, 14 y 28 días; es decir, esta propiedad es utilizada para analizar el comportamiento a compresión a largo plazo, esto permite proporcionar información para identificar dosificaciones en las mezclas de concreto, para lograr las características requeridas de acuerdo a las necesidades de la estructura (P.E. & P.E., 2020).
- **Resistencia a flexión.** Esta propiedad, permite determinar la deformación o flexión que alcanza el concreto bajo la aplicación de cargas; generalmente se determina mediante un espécimen conocido como vigueta, y el tipo de falla puede presentarse como un tercio central o una carga central según sea el caso (Lamond & Peilert, 2006).

- **Resistencia a tracción.** Es otra forma de evaluar el concreto bajo una carga a compresión, pero en este caso diametral, que va a lo largo de la longitud del espécimen de concreto (Cilindro), produciendo un esfuerzo a tracción que por lo general es de un rango de (690 – 1380 kPa/min); esta propiedad no influye significativamente como la resistencia a compresión o flexión, sin embargo se tiene en cuenta en diseños estructurales y oscila entre 1 a 2,5 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión (Lamond & Peilert, 2006).
- **Trabajabilidad.** Esta propiedad es variable ya que depende diferentes factores individuales como el tipo de equipo para la colocación del concreto, el método de consolidación y el tipo de concreto; por parte de las características físicas, la trabajabilidad va relacionada directamente de la clasificación de los agregados, el porcentaje de aire, agua y aditivos en la mezcla, los tiempos de transporte, etc. La forma más eficiente de identificar la manejabilidad del concreto es por medio del ensayo del asentamiento (SLUMP); este no determina todos los factores para identificar la trabajabilidad, sin embargo, permite tener un control de la uniformidad del concreto, garantizando las mismas proporciones de agua / cemento, un adecuado tamaño del agregado, optimizando la calidad del concreto de acuerdo a las necesidades del elemento a fundir (Lamond & Peilert, 2006).

4. Marco normativo

Para el estudio y análisis del manejo y aprovechamiento de los escombros es importante tener presente la normativa vigente mostrada a continuación en la “Tabla 1”.

Tabla 1

Normatividad para el estudio de los RCD en Bogotá.

Norma	Descripción
Resolución 541 de 1994	
Decreto 4741 de 2005	
Ley 1259 de 2008	
Decreto 357 de 1997	
Decreto 312 de 2006	
Resolución 1115 de 2012	“Gestión, regulación, aprovechamiento y tratamiento de los residuos provenientes de la construcción y demolición (RCD)”
Resolución 715 de 2013	
Decreto 586 de 2015	
Resolución 932 de 2015	
Resolución 472 de 2017	
Resolución 1257 de 2021	
Resolución 1330 de 2019	

Nota. Elaboración propia

Con respecto a los agregados reciclados, en Bogotá no existen lineamientos técnicos o normativas específicas para evaluar sus propiedades físicas y mecánicas, por lo que los estándares de calidad van de acuerdo a las normas INVIAS y NTC, y por ende sus equivalentes a nivel internacional serían las normas ASTM respectivas.

Tabla 2*Normatividad para propiedades del agregado y el concreto*

Norma	Descripción
NTC 673	
INVIAS E – 410 – 13	“Resistencia a compresión del hormigón”
ASTM C 39	
NTC 2871	
INVIAS E – 414 – 13	“Resistencia a flexión del hormigón”
ASTM C 78	
NTC 396	
INVIAS E – 404 – 13	“Asentamiento del concreto (SLUMP)”
ASTM C 143	
NTC 722	
INVIAS E – 411 – 13	“Resistencia a la tracción indirecta del concreto”
ASTM C 496	
NTC 1522	
INVIAS E – 213 - 13	“Granulometría por tamizado”
ASTM C 136	
NTC 237	
INVIAS E – 222 – 13	“Densidad y absorción del árido fino”
ASTM C 128	
NTC 176	
INVIAS E – 223 – 13	“Densidad y absorción del árido grueso”
ASTM C 127	

NTC 98	
NTC 93	
INVIAS E – 208 – 13	“Resistencia al desgaste de los áridos”
INVIAS E – 219 – 13	
ASTM C 131	

Nota. Elaboración propia

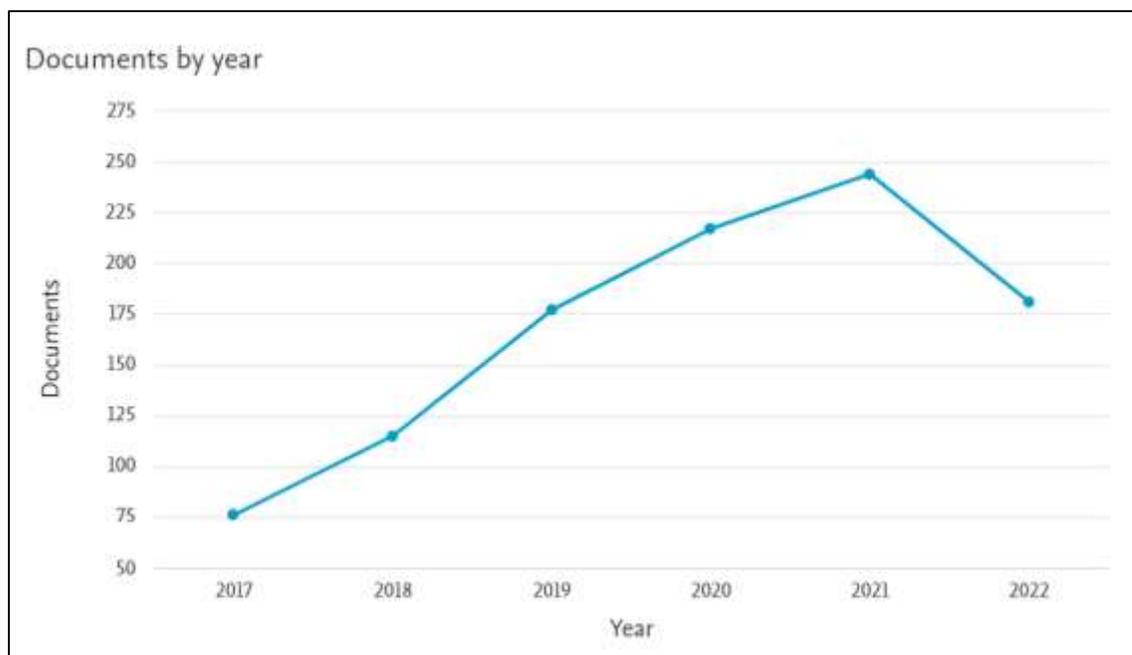
5. Estado del conocimiento

5.1. Producción de documentos por año

De acuerdo a la búsqueda realizada en el recurso electrónico de Scopus, se puede observar el incremento de la investigación acerca de los RCD durante los últimos años (Ver Figura 3); se utilizaron palabras clave como Reciclaje, Construcción, Demolición, Residuos, y Agregado; con las cuales se encontraron 1106 documentos de tipo accesible, y cuyo punto máximo ha sido en el año 2021 con 244 documentos subidos; la búsqueda se limitó a los últimos 5 años para garantizar que la información obtenida fuera actualizada frente al manejo y aprovechamiento de los RCD.

Figura 3

Producción de documentos por año



Nota. Tomado de (Scopus, 2022)

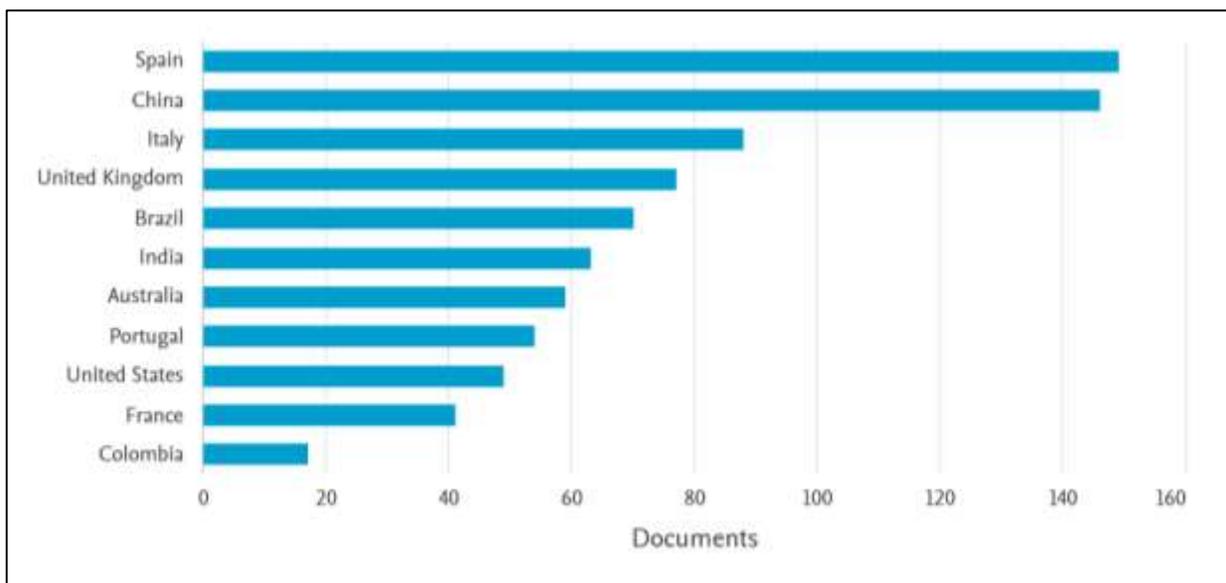
5.2. Documentos por país

El tema de los RCD ha cobrado fuerza a través del tiempo debido al gran impacto que estos generan, en la Figura 4, se puede identificar que España y China son los países que más documentos sube acerca del tema, seguidos por Italia; en Latinoamérica Brasil es el país que evidentemente más investiga acerca de estos residuos, y Colombia tiene muy poca participación, sin embargo hay 17 documentos accesibles acerca de métodos de reutilización y gestión de los escombros. La diferencia entre los países está principalmente en la necesidad de mitigar los impactos ambientales, China al ser el país más poblado del mundo, implica mayor número de construcciones y mayores cantidades de residuos, que conllevan a buscar diferentes estrategias para mantener al margen el control de los RCD;

esta investigación en China ha hecho que principalmente los países como España, se unan a la realización de estudios relacionados a la mejora de la economía circular, y a numerosos experimentos de laboratorio con respecto al comportamiento de los agregados reciclados, que han contribuido en ampliar la aplicación de los RCD en Asia y Europa.

Figura 4

Documentos subidos por país



Nota. Tomado de (Scopus, 2022)

5.3. Aportes internacionales

El manejo adecuado de los RCD tiene diferentes limitantes o desafíos que no se han desarrollado correctamente en la mayoría de países, los cuales no permiten darle un flujo a la economía circular, las causas principales de esto fueron contempladas en un estudio realizado en Dinamarca el cual abarca los aspectos que hacen falta por mejorar en la gestión de los RCD.

Tabla 3*Desafíos o limitantes en el manejo de los RCD*

		Barreras
Demolición Selectiva	Técnicas	La falta de experiencia y la compleja composición de los materiales de los edificios (estructuras, juntas y sustancias peligrosas) impiden una demolición selectiva eficaz con un producto de alta calidad.
	Legales	Los marcos jurídicos carecen de incentivos u obligaciones para clasificar y notificar los RCD por su origen
	De comportamiento	La demolición selectiva no es una prioridad en las licitaciones; se considera un coste adicional y una desviación de la práctica convencional
Evaluación de la calidad	Técnicas	La certificación y el control de calidad son complejos y únicos para cada grupo de productos, y hay una falta de conocimiento sobre cómo y qué información recoger
	Legales	Marcos jurídicos inadecuados para promover la relación entre la regulación de la gestión de residuos y la regulación de los productos
	De comportamiento	Publicar documentación que cumpla los criterios de calidad de los recursos secundarios no es una práctica habitual
Modelo de negocio	Técnicas	Los métodos ineficaces reducen la rentabilidad del negocio circular
	Legales	El complejo panorama legal y las normas armonizadas hacen que los casos de negocios circulares requieran mucho tiempo y, por lo tanto, no sean competitivos con los bajos costes del material virgen
	De comportamiento	La incertidumbre de los resultados y la disponibilidad de recursos secundarios inhiben la demanda

Nota. Tomado y adaptado de (Christensen et al., 2022).

Observando la tabla anterior, las principales falencias en el control de los RCD está en la normativa, en la falta de conocimiento en procesos como la demolición selectiva, que a su vez lleva a una falta de eficiencia en la economía circular, por lo tanto son aspectos que deben tenerse en cuenta al momento de analizar el comportamiento de los actores involucrados en el ciclo de gestión, o el apoyo que se tiene por parte de entidades como el

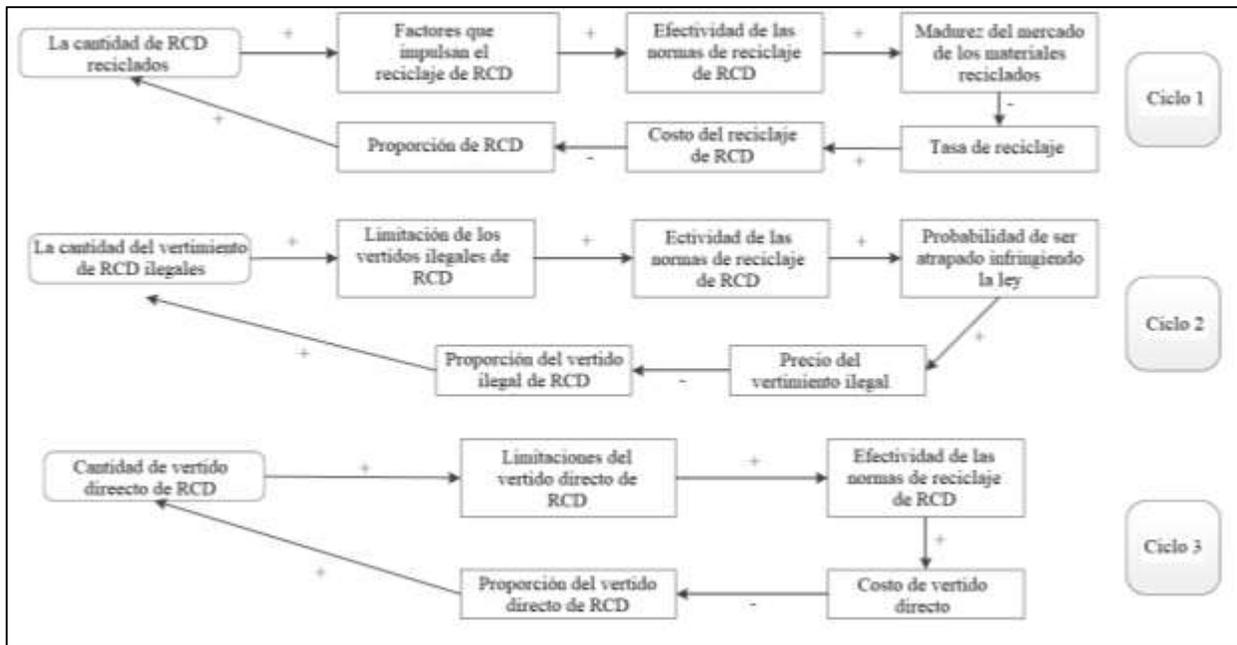
gobierno; cada aporte es significativo en la mejora del manejo de los RCD (Christensen et al., 2022).

Las nuevas tecnologías también influyen en la mejora del control de los RCD, como por ejemplo la aplicación de la metodología (BIM), ya que por medio del uso de softwares permite optimizar diseños haciendo una estimación más exacta de la cantidad de materiales de construcción que se necesitan en una obra, y así mismo reducir la generación de estos residuos; bien sea con la generación de listas de materiales, o con superposición de planos para detectar problemas antes de dar inicio a las actividades de ejecución en la obra. Sin embargo, su implementación aún sigue en desarrollo por lo tanto debe impulsarse esta metodología para mejorar el seguimiento y control de los RCD (Jahan et al., 2022)

Para el manejo óptimo de los RCD, es importante implementar estrategias que reduzcan la generación de los mismos, en China, se han ejecutado estudios para mitigar el impacto de los residuos por medio de políticas de incentivos, por ejemplo, con apoyos del gobierno e impuestos ambientales, es posible estimular la voluntad de reducir los RCD hasta en un 64%, generando circuitos de retroalimentación (C. Hua et al., 2022).

Figura 5

Ciclos de retroalimentación de RCD en China



Nota. Tomado y adaptado de (C. Hua et al., 2022).

Como se puede analizar en la Figura 5, entre más cantidad de RCD hay, se implementarán más estrategias que impulsen la reutilización de estos residuos, a su vez aumentando la certeza de las normas, desarrollando el mercado y el porcentaje de reciclaje, y posteriormente reduciendo los costos del tratamiento para reutilización, este bucle aplicándolo de la misma manera para el vertimiento ilegal y directo de los escombros, genera un beneficio total en el manejo de los mismos.

Uno de los aspectos a tener en cuenta sobre los RCD es su tratamiento luego de una demolición selectiva, por ejemplo en edificios con ladrillo se generan grandes volúmenes de escombros mixtos, elementos como el aislamiento térmico (Hecho con poliestireno expandido principalmente) que se le coloca a la mampostería son de los materiales más

difíciles de separar y requieren gran cantidad de tiempo y procesamiento, por estos motivos, en Polonia, se han desarrollado estudios que permiten mejorar este tratamiento y es por medio de la implementación de gusanos o larvas de *Tenebrio*, las cuales son capaces de digerir el poliestireno de la superficie del ladrillo, haciendo que sea un proceso automatizado, además de rápido y ecológico, permitiendo que el ladrillo sea utilizado posteriormente para la elaboración de agregados reciclados mejorando su calidad con métodos de limpieza más amigables con el medio ambiente (Przemieniecki et al., 2022).

Por otra parte, con respecto a las metodologías de reutilización de los RCD, se han realizado algunos estudios sobre la utilización agregados reciclados en el concreto, sustituidos por agregados naturales como arenas y gravas, encontrando que el uso de hasta un 50% de agregados reciclados presenta resultados satisfactorios, cumpliendo estructuralmente con respecto a la absorción del agua y la resistencia a la tracción. Además, es posible utilizar los agregados reciclados como adoquines bajo las especificaciones industriales, los resultados mencionados lograron reducir la implementación de cemento, permitiendo el ahorro en los costos y a su vez mitigando el impacto ambiental (Contreras et al., 2021).

Además, en Polonia, se ha experimentado con residuos provenientes de la demolición de una nave industrial de 30 años de antigüedad, teniendo como propósito principal ser reutilizados como agregado reciclado para el concreto, pasando por un proceso termo mecánico, el cual consiste en someter el material a una etapa de calcinado en horno, con el fin de deshidratar la pasta de cemento y reducir la adherencia del mortero endurecido, es decir, permite darle una limpieza al agregado; posteriormente se realizaron

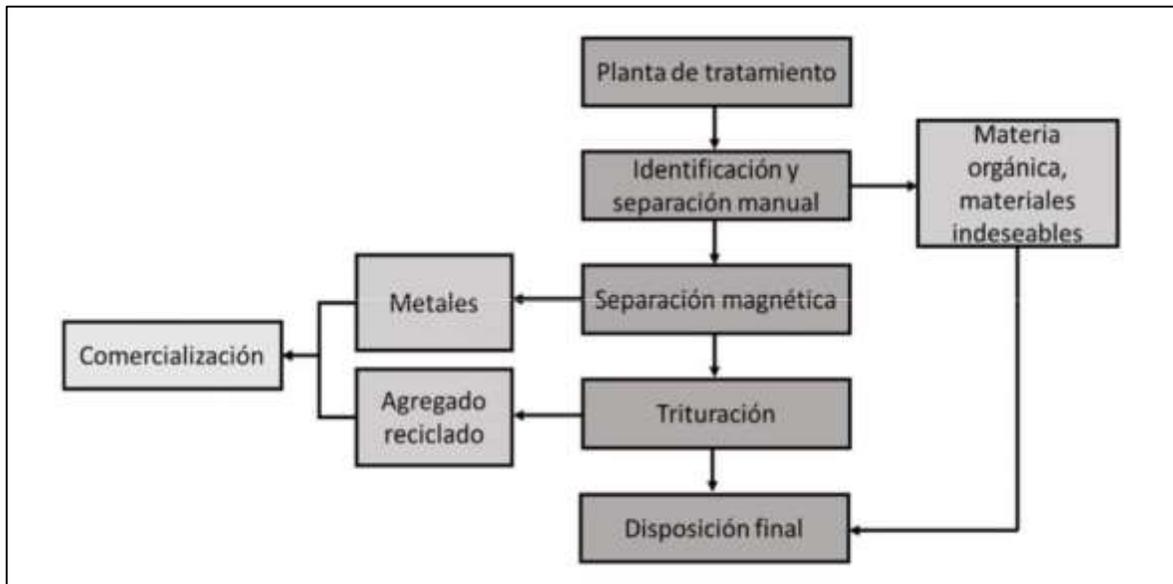
los ensayos de desgaste y resistencia a la compresión, logrando obtener un concreto de calidad, de hasta 50 Mpa a los 28 días de edad, con RCD que fueron calcinados a 600 °C por un tiempo de 50 minutos, permitiendo sustituir hasta en un 100% a los agregados naturales, por lo que se abre la posibilidad de implementar el método a nivel global, y brindar un panorama favorable tanto estructural como ambientalmente (Kalinowska-Wichrowska & Suescum-Morales, 2020).

5.5. Aportes nacionales

El tema de los RCD cuenta con falencias y limitantes similares en el territorio colombiano, en el caso de Barranquilla, el problema principal está en factores como el clima, la existencia de una sola empresa encargada de etapas de recolección y disposición final, falta de áreas legalizadas para disposición final, bajo conocimiento de la normativa y poca comunicación de las autoridades ambientales; esto evidentemente conlleva a un mal manejo de estos residuos, sin embargo por medio de estudios se han desarrollado planes de gestión que permitan mitigar estos aspectos. Además de esto se ha propuesto un diseño para una planta de reciclaje (Ver Figura 6) la cual puede traer grandes beneficios en la ciudad, con un proceso de separación selectiva, y posteriormente separación magnética, esto para que el residuo obtenga la mayor limpieza posible antes del proceso de trituración, de esta manera los residuos se pueden transformar como agregado reciclado, o en metales nuevos, y de esta manera comercializarlos para darle paso a una economía circular (Pacheco et al., 2020).

Figura 6

Propuesta de planta de reciclaje para la ciudad de Barranquilla



Nota. Tomado de (Pacheco et al., 2020)

En otras áreas del país colombiano como el departamento de Antioquia, se ha empezado a implementar el programa de “Basura Cero”, el cual tiene como meta aprovechar el 80% de los residuos generados y llevar el 20% a disposición final, esto pretende lograrse por medio de diversas estrategias como compostaje o biodegradación de materiales de tipo orgánico, hacer procesos donde haya participación ciudadana, promover mayor investigación y desarrollo, así como la educación sobre la gestión de los residuos sólidos en general, entre otros aspectos que permiten dar un paso adelante en el control y reutilización de los RCD (Asamblea Departamental de Antioquia, 2016).

En Colombia también ha sido estudiado el tema de la reutilización de los RCD, probando aplicaciones de agregados reciclados provenientes de la ciudad de Bogotá en el

concreto permeable, analizando comportamientos en compresión y flexión a una edad de 28 días, utilizando agregados retenidos por los tamices de $\frac{1}{2}$ " y $\frac{3}{8}$ ", alcanzando resistencias a compresión de 5.79 Mpa y a flexión de 2.14 Mpa, lo cual se encuentra en el rango permitido de acuerdo al American Concrete Institute (ACI), y se alcanzó una permeabilidad de 24.79 mm/s lo cual es superior a las propiedades habituales del concreto permeable (Ulloa-Mayorga et al., 2018).

Aparte de la aplicación de los RCD para el concreto, también es posible reutilizarlos en la construcción de pavimentos, se tomaron escombros de dos diferentes fuentes, la primera fue la demolición de un pavimento rígido (RCAP), y la otra de un estadio de béisbol en la ciudad de Barranquilla (RCAB); estos residuos fueron llevados a laboratorio para realizar pruebas de densidad, absorción, granulometría y desgaste, para identificar el potencial que tienen para ser reutilizados en un pavimento asfáltico. Los resultados mostraron que son viables estructuralmente, sin embargo, hay que tener en cuenta ciertas características como la composición de los escombros, ya que al ser provenientes de demoliciones vienen con mortero o pasta de cemento adheridas al material, afectan su calidad, por ende, mientras menor sea la cantidad del mortero en el agregado, menor absorción tendrá y por consiguiente una mejor calidad en lo que a la fracción gruesa del árido se refiere; por otra parte la resistencia al desgaste disminuyó en comparación al agregado natural (NA), lo cual era de esperarse por las condiciones en las que se encuentra el material, además la fuente de donde se obtengan los RCD también puede variar frente a las propiedades mecánicas, por lo que en este caso, el material puede ser reutilizado, pero no como un sustituto total al agregado convencional (Martínez-Arguelles et al., 2019).

6. Planteamiento del problema

El crecimiento de la construcción ha sido exponencial durante los últimos años, por consiguiente, este sector se ha convertido en el mayor generador de residuos actualmente, trayendo consigo problemas de contaminación en procesos desde la obtención de materias primas, fabricación de materiales, hasta actividades realizadas durante la construcción de obras civiles; esto genera agotamiento de los recursos naturales, deterioros en la flora y fauna, al igual que focos de contaminación en el suelo y el agua. En Colombia, los RCD, en gran medida son almacenados en sitios no aptos o no son utilizados correctamente, generando inestabilidad en estos terrenos, así como deterioro paisajístico, entre otras afectaciones (Pacheco et al., 2017).

Los RCD, también conocidos como escombros, corresponden a todo residuo de tipo sólido generado en el área de la construcción de obras civiles, bien sea demolición, reparación, entre otras actividades (Trujillo & Quintero, 2021).

En Colombia, Bogotá genera la mayor cantidad de Residuos de Construcción y Demolición, debido a su alta demanda de obras civiles. Además, el aprovechamiento inadecuado de las entidades tanto privadas como públicas y la gran cantidad de vertederos ilegales ha generado la destrucción de humedales y afectaciones en algunos cascos urbanos de la ciudad (Trujillo & Quintero, 2021).

El problema que ha presentado la ciudad de Bogotá y en todo el país con respecto a la gestión inadecuada de los RCD, se debe a varios factores, por parte de la normativa existente, se hace énfasis en la disposición final de los residuos, por lo que hay una gran

ausencia de legislación específica la cual indique la cadena productiva, es decir, prevención, recuperación, tratamiento y disposición final, ya que el problema radica en la desinformación sobre el control de estos residuos, generando así desaprovechamiento de los materiales que podrían ser recuperados y reciclados en nuevas construcciones (Carvajal & Carmona, 2016).

Actualmente, en el mes de enero del 2022, se generan unas 7479 Ton/día de Residuos de Construcción y Demolición, de las cuales solo 1091 Ton/día están siendo aprovechadas, y 6388 Ton/día sin reutilización alguna, esto generó unas 222772 Toneladas en el mes, de las cuales 40551 están siendo aprovechadas, es decir solo un 14.6%, y el 85.41% corresponden a materiales enterrados (*Observatorio de Residuos Sólidos | Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos -UAESP-, 2022*).

Anteriormente, la utilización de los RCD no se consideraba una alternativa adecuada debido a que no se tenía la información suficiente principalmente respecto al comportamiento de sus propiedades mecánicas, sin embargo, se ha demostrado mediante diferentes estudios que estos residuos, tienen diversas aplicaciones, presentando resultados óptimos a nivel estructural, económico y ambiental, por esta razón debe considerarse la reutilización adecuada de los residuos con el fin de mitigar el impacto ambiental que estos forman (Trujillo & Quintero, 2021). De acuerdo a la problemática mencionada es pertinente responder a la siguiente pregunta:

¿Qué alternativas existen actualmente sobre el manejo y aprovechamiento de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), y cuál es su viabilidad estructural y ambiental?

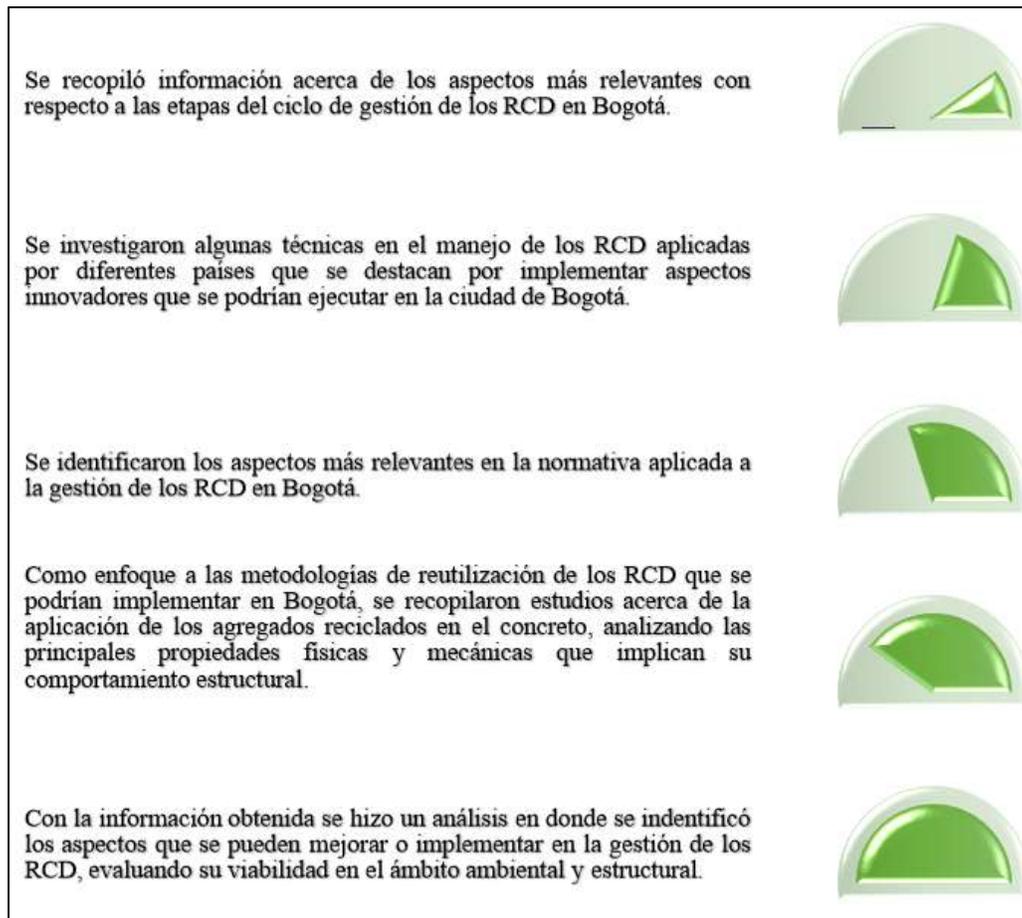
7. Metodología

En la en lo que implica el aspecto ambiental y estructural.

Figura 7, se puede observar las etapas de investigación utilizadas en este documento para el estudio de los RCD en lo que implica el aspecto ambiental y estructural.

Figura 7

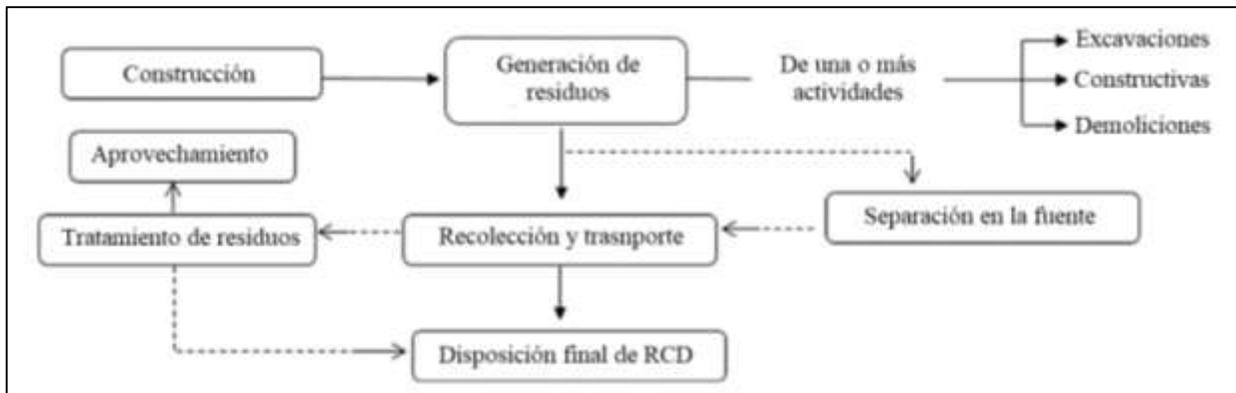
Fases de investigación



Nota. Elaboración propia.

8. Gestión de los RCD

El ciclo óptimo en el manejo de los RCD, está contemplado en la implementación de las diversas etapas que permiten brindar una economía circular, sin embargo, en Colombia, las fases de estos residuos operan de la siguiente manera.

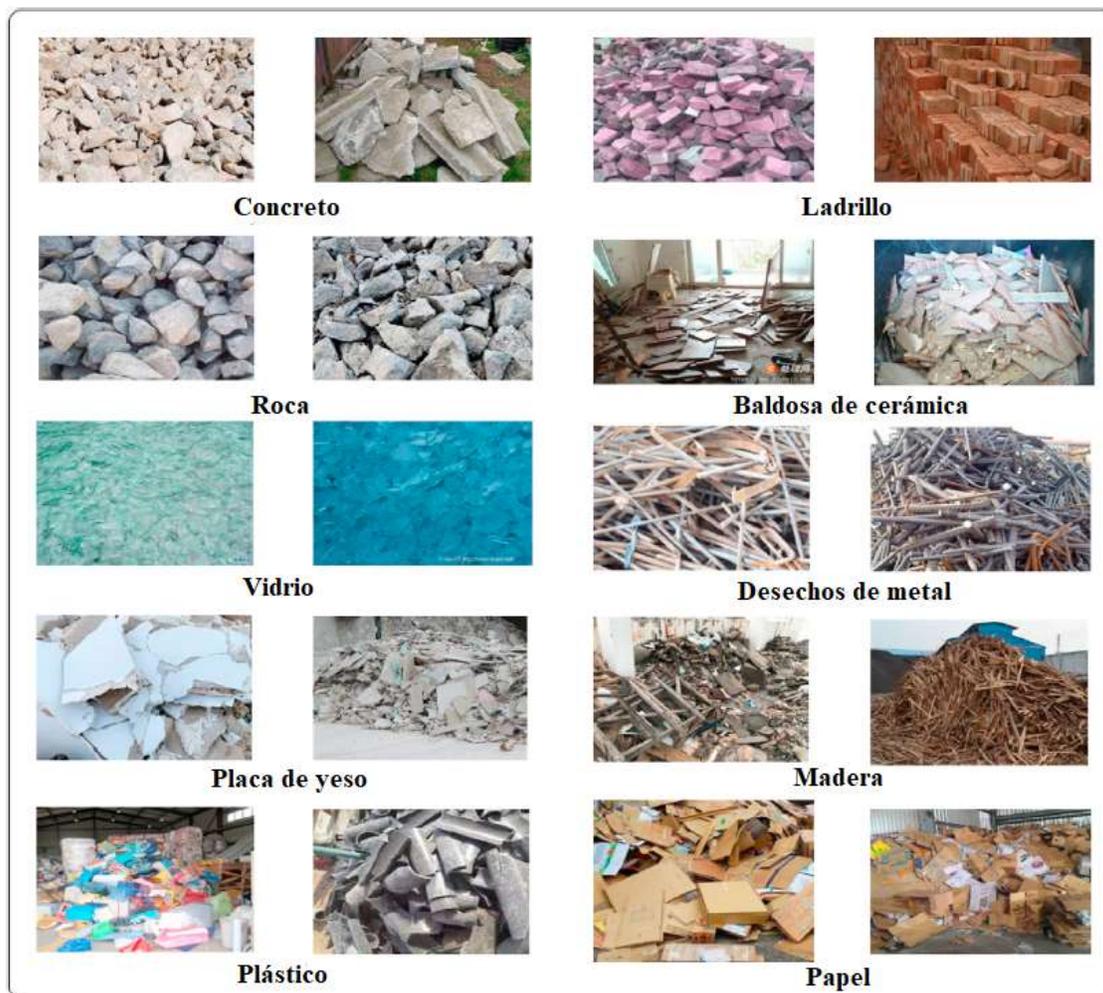
Figura 8*Ciclo de los RCD en Colombia*

Nota. Tomado y adaptado de (Colorado et al., 2022).

Como se puede observar en la Figura 8, las líneas sólidas son las fases o etapas implementadas con regularidad en Colombia, mientras que los conectores punteados señalan las etapas que no se realizan o se ejecutan incorrectamente en el ciclo de Gestión de los RCD, empezando por la separación en la fuente, la cual muchas veces no se tiene en cuenta poniendo en riesgo los residuos que son de carácter aprovechable al mezclarlos con residuos peligrosos o contaminantes; por otra parte, al tener un mal tratamiento y aprovechamiento, los RCD van directamente a los sitios de disposición final, generando problemas de tipo logístico y ambiental debido a los grandes volúmenes de residuos, afectando considerablemente la vida útil de los vertederos (Colorado et al., 2022).

8.1.1. Clasificación de los RCD

En el sector de la construcción se generan diferentes tipos de residuos, principalmente en actividades de demolición, y por lo general se separan de la siguiente manera como se muestra en la Figura 9

Figura 9*Principales tipos de RCD*

Nota. Tomado y adaptado de (Lin et al., 2022).

Los RCD se clasifican de acuerdo a su potencial de reutilización, teniendo en cuenta diversos criterios como la susceptibilidad de contaminación, radiación, corrosión, o si se necesita un tratamiento especial; se dividen en dos grupos principales como se muestra en la Tabla 4.

Algunos aspectos a destacar con respecto a la clasificación de residuos son las lutitas o rocas arcillosas que tienen un tamaño similar a los residuos pétreos que se dan en algunas zonas de la ciudad de Bogotá, las cuales tienen propiedades expansivas, es decir que son susceptibles a cambios volumétricos significativos en relación con la humedad, por lo tanto, no son aptas para ser utilizadas como soporte estructural, es decir como cimentaciones (SDA, 2015).

Tabla 4

Clasificación de los RCD en la ciudad de Bogotá

Categoría	Grupo	Clase	Componentes
RESIDUOS DE CARÁCTER APROVECHABLE	Residuos inertes mezclados	Residuos Pétreos	Provenientes de concreto, cerámicos, ladrillos, baldosín, fragmentos de roca, entre otros materiales inertes que no sobrepasen el tamiz #200 (0.3 mm)
	Residuos inertes con material fino	Residuos finos no expansivos	Arcillas, limos, y residuos inertes con baja plasticidad o con ausencia de la misma, de carácter expansivo que pasen por la malla #200 (0.3 mm)
		Residuos finos expansivos	Arcillas, limos, y residuos inertes con gran cantidad de finos y con alta plasticidad, de carácter expansivo que pasen por la malla #200 (0.3 mm)
	Residuos no inertes	Residuos no pétreos	Plástico, vidrios, cauchos, papel, cartón, PVC.
		Maderas	Todo tipo de madera que no será reutilizada en la obra.

Categoría	Grupo	Clase	Componentes
RESIDUOS DE CARÁCTER NO APROVECHABLE	Residuos metálicos	Residuos de tipo metálico	Tuberías y partes de acero, hierro, zinc, cobre, aluminio y estaño.
	Posconsumo	Residuos eléctricos y electrónicos	Cables, luminarias convencionales y fluorescentes que se desmonten en el área, lámparas, y partes eléctricas o electrónicas.
	Residuos orgánicos	Residuos de pendones	Residuos de tierra negra
		Residuos de cespedones	Residuos vegetales y diferentes especies bióticas.
	Residuos contaminantes	Residuos peligrosos	Todo tipo de elementos que tengan contacto con productos químicos, envases, emulsiones, alquitrán, disolventes orgánicos, pinturas, aceites, resinas, tejas de asbesto, plomo, cenizas, escorias, desechos explosivos, entre otros.
		Residuos especiales	Icopor, poliestireno, cartón, Drywall, lodos residuales de compuestos.
		Residuos contaminados	Materiales que hacen parte a los grupos anteriores pero que se encuentran contaminados con residuos peligrosos y especiales.
		Residuos ordinarios	Residuos de carácter ordinario

Nota. Tomado y adaptado de (SDA, 2015) y (VivimosVerde, 2021).

Una adecuada organización en las etapas del manejo de los RCD, es indispensable para obtener su máximo potencial de aprovechamiento; como se mostró anteriormente en la Tabla 4, los residuos se pueden separar selectivamente teniendo en cuenta diversas características que determinan su posibilidad de reutilización.

Comparando la clasificación de estos residuos en Bogotá con la de Brasil, el proceso se hace de una manera más simplificada, identificando igualmente RCD susceptibles de aprovechamiento y los que no se pueden reutilizar o requieren un tratamiento especial, dividiéndose en cuatro grupos principales (Ver Tabla 5) establecidos por el Consejo Nacional de Medio Ambiente (CONAMA), esto permite a los generadores realizar una mejor demolición selectiva ya que se puede identificar de una manera más rápida y eficaz los tipos de residuos correspondientes, lo que conlleva a un mejor aprovechamiento y tratamiento (Thives et al., 2022).

Tabla 5

Clasificación de los RCD en Brasil

Clase	Descripción	Ejemplos
A	Ladrillos, bloques, tejas, hormigón, mortero, componentes cerámicos	Ladrillos, bloques, tejas, hormigón, mortero, componentes cerámicos
B	Residuos reciclables para otros destinos	Plásticos, papel, cartón, metales, vidrio, madera, yeso
C	Residuos para los que existen tecnologías o aplicaciones económicamente viables que permitan su reciclaje/recuperación	Papel de lija para pintar, masilla, sacos de cemento, masilla de vidrio, espuma de poliestireno
D	Residuos peligrosos del proceso de construcción	Asbesto, pinturas, disolventes, aceites o contaminantes provenientes de demoliciones, renovaciones y reparaciones de clínicas hospitalarias

Nota. Tomado y adaptado de (Thives et al., 2022).

8.1.2. Almacenamiento

Ahora bien, es importante tener en cuenta el proceso de almacenamiento, ya que esto permite tener un control óptimo de la clasificación de residuos que se obtenga de una obra, y así asegurar que cada tipo de RCD cumpla con su ciclo de gestión correctamente; además ciertos residuos requieren de tratamientos especiales debido a su alta contaminación, así que independientemente de su posibilidad de aprovechamiento, cada residuo debe tener su respectivo almacenamiento y proceso como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Almacenamiento y proceso de los RCD en la ciudad de Bogotá

Categoría	Clase	Almacenamiento	Proceso
RESIDUOS DE CARÁCTER APROVECHABLE	Residuos Pétreos		
	Residuos no expansivos de grano fino	Deben almacenarse en lonas o cubrirlos en caso de que sean grandes cantidades.	Reutilización en la misma obra o van directamente a sitios de disposición final autorizados.
	Residuos expansivos de grano fino		
	Residuos de carácter no pétreo		Reciclaje
	Maderas	Contenedor con capacidad de 1 m ³ mínimo, y posibilidad de separación selectiva.	Aprovechamiento como materia prima de aglomerados, etc.
	Residuos de tipo metálico		Reciclaje

Categoría	Clase	Almacenamiento	Proceso
RESIDUOS DE CARÁCTER NO APROVECHABLE	Residuos eléctricos y electrónicos		Disposición especial en programas de consumo.
	Residuos de pendones	Se puede almacenar en lonas o contenedores de tipo plástico y/o metálico.	Reutilizables en la misma obra, o para recuperación de áreas verdes.
	Residuos de cespedones		
	Residuos peligrosos	En bolsas rojas sin anagrama con rótulo de residuo químico, o en cantidades grandes almacenarlo en contenedores teniendo en cuenta de las incompatibilidades químicas.	Van directamente a disposición final por medio de un gestor externo, con la respectiva licencia para residuos peligrosos.
	Residuos especiales	Se puede almacenar en lonas o contenedores de tipo plástico o metálico	Disposición final con el respectivo gestor de RCD, o se debe coordinar las entregas con la empresa de aseo responsable.
	Residuos contaminados	En bolsas rojas sin anagrama con rótulo de residuo químico, o en cantidades grandes almacenarlo en contenedores teniendo en cuenta de las incompatibilidades químicas.	Disposición final por medio de un gestor externo, con la respectiva licencia para residuos peligrosos.
Residuos de carácter ordinario	Tela, papel o plásticos sucios.	Disposición final con el respectivo gestor de RCD, o se debe coordinar las entregas con la empresa de aseo responsable.	

Nota. Tomado y adaptado de (VivimosVerde, 2021).

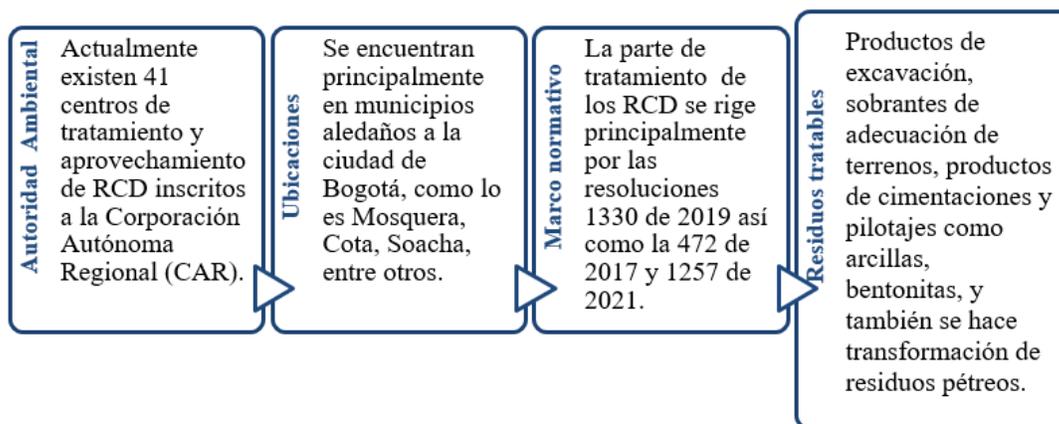
Para la ciudad de Bogotá, actualmente existen 3 puntos limpios inscritos a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) los cuales se encuentran en municipios aledaños a la ciudad, y se encargan de almacenar y clasificar productos de excavación y sobrantes de la adecuación de terrenos, productos de cimentaciones y pilotajes como arcillas, bentonitas, entre otros, y residuos pétreos.

8.1.3. Tratamiento y aprovechamiento de los RCD

El tratamiento de los escombros depende de las características fisicoquímicas que lo componen, por ejemplo, los residuos pétreos pueden pasar por un proceso de trituración o cribado con el propósito de ser reutilizados como agregado reciclado en las obras civiles. Los aspectos más significativos a tener en cuenta son las etapas antes del procesamiento de los RCD, como lo son la separación en la fuente, un correcto almacenamiento y transporte, de este modo se optimiza el ciclo de estos residuos (SDA, 2015).

Figura 10

Transformación de los RCD en Bogotá



Nota. Elaboración propia

Ahora bien, es indispensable conocer las alternativas que hay frente a la reutilización de los RCD, por lo que actualmente se plantean diferentes metodologías para cada tipo de residuo, teniendo en cuenta su capacidad individual de aprovechamiento en las obras civiles, tal y como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7

Alternativas de reutilización para los RCD en Bogotá

Tipo de Residuo	Alternativa
Concretos	“Masa para rellenos de construcción”
	“Reutilización como suelos en carreteras”
	“Reutilizable como grava suelta”
	“Producción de morteros y cemento”
	“Reutilización como material granular”
Cerámicos	“Reciclado como adoquines”
	“Reutilizable como fachadas”
	“Reciclable como acabados”
Asfaltos	“Masa para rellenos de construcción”
	“Reutilizable como asfalto nuevo”
Metales	“Reciclable para aleación”
	“Reutilizable en la aplicación de otros productos”
Maderas	“Reutilizable para casetones, vallados y linderos”
	“Reciclable como aglomerado y como tablero”
Vidrio	“Reciclable como vidrio nuevo”
Pétreos	“Reutilizable como agregado fino y grueso”

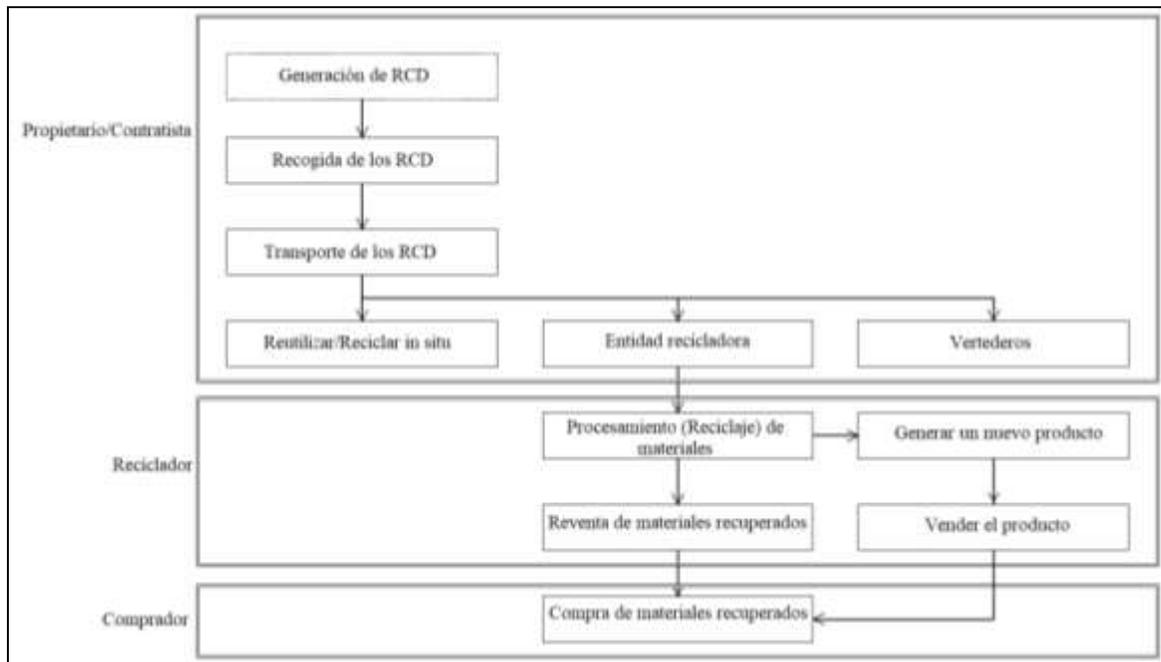
Plásticos	“Reciclable como plástico nuevo”
Residuos de excavación	“Reutilizable como relleno y en recuperación de taludes”
	“Reutilizable para estabilización de suelos”
Elementos arquitectónicos	“Reutilizables como nuevos productos”

Nota. Tomado y adaptado de (SDA, 2015).

En Estados Unidos también se han desarrollado diferentes estrategias en el manejo de los RCD, identificando un aspecto esencial y es la reventa y compra de los materiales reciclados [Ver Figura 11], dando una perspectiva a lo que es la articulación de los actores, donde se ven beneficiados tanto los centros de tratamiento y aprovechamiento como los compradores, y así se genera el suficiente esquema circular para que haya viabilidad en la gestión de los RCD, que es lo que hace falta en Bogotá, es decir no hay una simbiosis industrial donde se ven beneficiadas todas las partes implicadas y por lo tanto se pierde el flujo en el ciclo de gestión de estos residuos (Rosen et al., 2022).

Figura 11

Procesos de reciclaje y reventa de los RCD



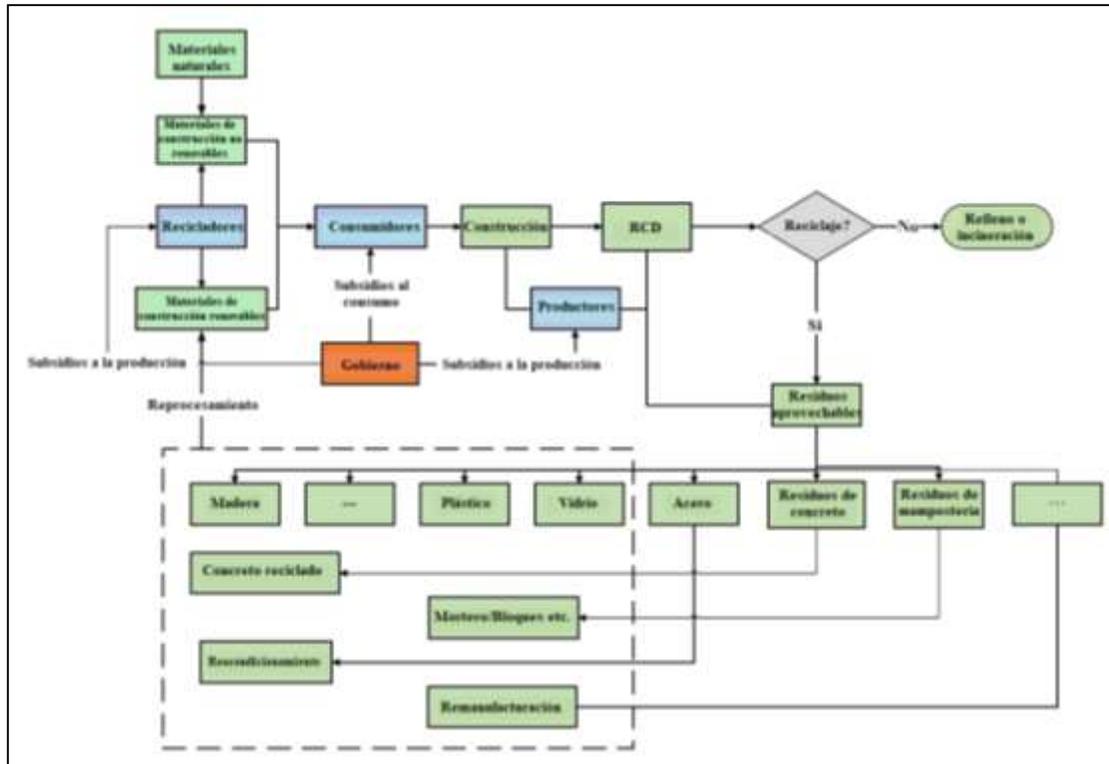
Nota. Tomado y adaptado de (Rosen et al., 2022).

Teniendo en cuenta los aspectos de transformación y aprovechamiento, en China se ha desarrollado un ciclo de gestión de los RCD que se compone de fases como producción, recuperación, procesamiento, fabricación, ventas y reproducción, donde las partes interesadas principales en el reciclaje de los RCD sería el departamento gubernamental, los recicladores, los productores y consumidores (Ver Figura 12); de esta manera se genera una serie de etapas relacionadas una con la otra, permitiendo optimizar la identificación de los residuos aprovechables y no aprovechables, dirigiéndolos a sus respectivos procesos de tratamiento o bien directa disposición final; en comparación con Bogotá, la intervención del gobierno es más notable en China, ya que se ven contemplados

subsidios dirigidos tanto a generadores como gestores, esto hace que sea viable generar y tratar RCD, haciendo efectiva la economía circular (Guo et al., 2022).

Figura 12

Ciclo de los RCD en China



Nota. Tomado y adaptado de (Guo et al., 2022).

8.1.4. Disposición final de los RCD

En Bogotá se encuentran diferentes sitios para la etapa final de los RCD que es la disposición final, los cuales están autorizados para recibir materiales como productos de excavación de obras civiles en general, productos de demoliciones que no contengan materiales como hierro, tubos, plásticos, entre otros. Cabe mencionar que en estos lugares

no se admiten ningún tipo de material con residuos orgánicos, basuras, llanas, materiales metálicos, lodos o residuos de procesos industriales.

Figura 13

Lugares de Disposición final autorizados según la autoridad ambiental

Sitios de disposición final de RCD autorizados en Bogotá		
CAR	ANLA	Secretaría Distrital de Ambiente
Por parte de la Corporación Autónoma Regional existen 9 sitios inscritos para la disposición final de RCD.	La Agencia Nacional De Licencias Ambientales también tiene aprobados sitios de disposición final de RCD, específicamente 4 lugares autorizados.	Esta entidad tiene 1 sitio de disposición final de RCD aprobado, que a su vez se encarga de procesos de tratamiento y aprovechamiento.

Nota. Elaboración propia

8.1.5. Aspectos normativos frente al manejo de los RCD

Para un manejo más adecuado de los RCD, se desarrollaron diferentes parámetros en la normativa que involucra la ciudad de Bogotá, por ejemplo en la resolución 1257 de 2021, se menciona una parte de reducción y prevención de los RCD, en donde se deben tener en cuenta aspectos como una buena planeación en la obra, identificando de manera exacta la cantidad de materiales de construcción requeridos, esto con el fin de evitar

desperdicios; por otra parte una buena separación en la fuente, junto con un almacenamiento óptimo de los materiales, y un control de la escorrentía superficial y manejo de las aguas lluvias en la obra; son aspectos que al aplicarlos tienen un impacto positivo en el manejo de los residuos.

Por otra parte, dentro de las obligaciones de los generadores de RCD establecidas en la resolución 1257 de 2021, deben cumplirse unas metas de aprovechamiento de acuerdo a la categoría del municipio, en este caso Bogotá al ser una población con más de 500000 habitantes se considera de categoría especial, y por lo tanto deben obtenerse los siguientes porcentajes de aprovechamiento de acuerdo al peso total de los materiales de construcción de la obra civil.

Tabla 8

Metas de aprovechamiento para las obras civiles en Bogotá

Categoría especial	Cumplimiento de la meta
25%	Primero de enero de 2023
50%	Primero de enero de 2026
75%	Primero de enero de 2030

Nota. Tomado y adaptado de (MinAmbiente, 2021).

Cabe mencionar que los porcentajes mostrados anteriormente aplican para los grandes generadores de RCD, y no se tienen en cuenta productos de excavación y sobrantes de adecuación de terrenos dentro del peso total de los materiales de construcción de la obra. En el caso de no tener la infraestructura necesaria para la medición del peso, debe utilizarse

las densidades de la Norma Sismo Resistente (NSR – 10) Título B, para determinar lo que es la equivalencia entre el peso y el volumen del material.

Tabla 9

Densidades de los materiales de uso más frecuente en la construcción

Material	Densidad (kg/m ³)	Material	Densidad (kg/m ³)
Acero	7 800	Mortero de inyección para mampostería	2 250
Agua		Mortero de pega para mampostería	2 100
Dulce	1 000	Piedra	
Marina	1 030	Caliza, mármol, cuarzo	2 700
Aluminio	2 700	Basalto, granito, gneis	2 850
Areña		Arenisca	2 200
Limpia y seca	1 440	Pizarra	2 600
Seca de río	1 700	Ptomo	11 400
Baldosa cerámica	2 400	Productos bituminosos	
Bronce	8 850	Asfalto y alquitrán	1 300
Cal		Gasolina	700
Hidratada suelta	500	Grafito	2 160
Hidratada compacta	730	Parafina	900
Carbón, apilado	800	Petróleo	850
Carbón vegetal	200	Relleño de ceniza	920
Cemento pórtland, a granel	1 440	Tableros de madera aglutinada	750
Cobre	9 000	Terracota	
Concreto simple	2 300	Poros saturados	1 950
Concreto reforzado	2 400	Poros no saturados	1 150
Corcho, comprimido	250	Tierra	
Estaño	7 360	Arcilla húmeda	1 750
Grava seca	1 660	Arcilla seca	1 100
Hielo	920	Arcilla y grava seca	1 600
Hierro		Arena y grava húmeda	1 900
Fundido	7 200	Arena y grava seca apisonada	1 750
Forjado	7 700	Arena y grava seca suelta	1 600
Latón	8 430	Limo húmedo consolidado	1 550
Madera laminada	600	Limo húmedo suelto	1 250
Madera seca	450-750	Vidrio	2 600
Mampostería de concreto	2 150	Yeso en tableros para muros	800
Mampostería de ladrillo macizo	1 850	Yeso suelto	1 150
Mampostería de piedra	2 200	Zinc en láminas enrolladas	7 200

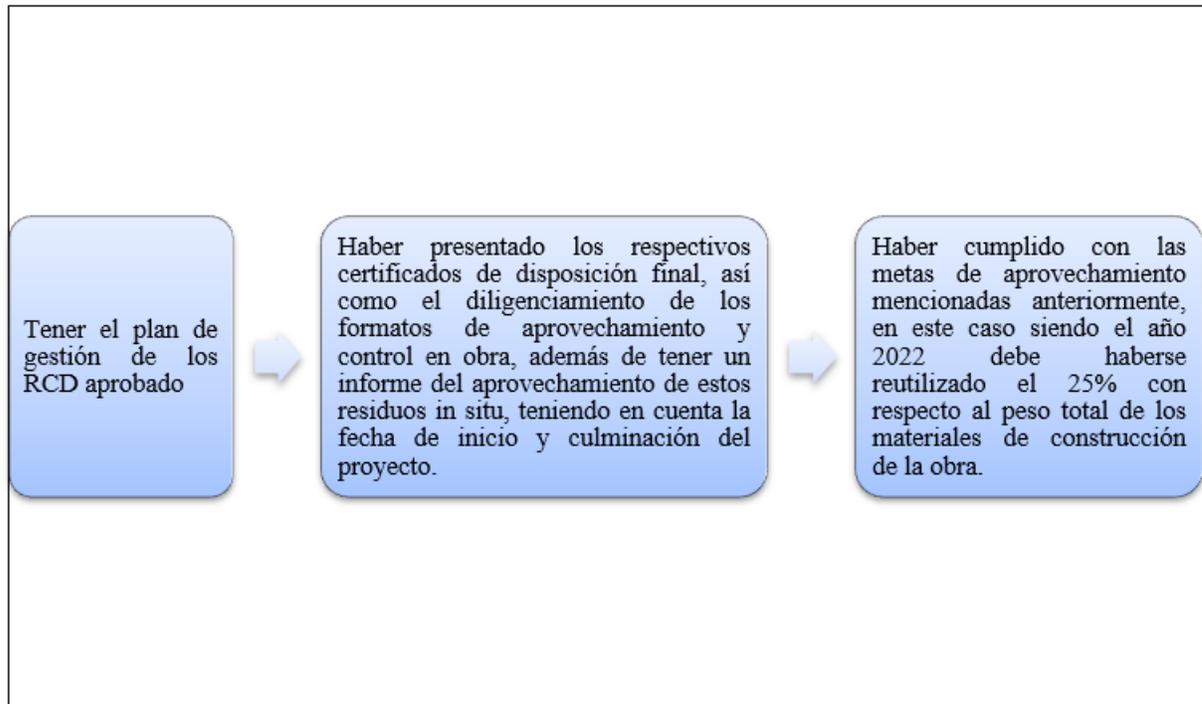
Nota. Tomado de: NSR -10, Título B, Tabla B.3.2-1

Otro aspecto a tener en cuenta es la apertura y cierre del PIN, cuyos lineamientos están contemplados en la resolución 1115 de 2012 y es indispensable para garantizar el cumplimiento de las actividades relacionadas al manejo de los RCD en obra como el volumen de residuos aprovechables y no aprovechables, tener la certeza de los lugares autorizados para aprovechamiento y disposición final, entre otros; y al tener unos requerimientos para hacer efectivo el cierre del PIN (Ver Figura 14), las obras civiles se

ven obligadas a mantener un control o manejo adecuado de estos residuos garantizando un flujo ordenado en el ciclo de gestión.

Figura 14

Lineamientos para el cierre del PIN



Nota. Elaboración propia

Dentro de los demás decretos y resoluciones que implican el manejo de los RCD, se pueden encontrar lineamientos para los diferentes participantes en el ciclo de gestión, como lo son los generadores y gestores y principalmente, teniendo en cuenta factores como la separación, almacenamiento, transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final; y dentro de estos factores se encuentran parámetros que permiten la organización de los mismos, como efectuar diversos reportes mensuales dirigidos a la autoridad ambiental correspondiente, presentar el Plan de Gestión de RCD para su aprobación antes del inicio

de las actividades en la obra, obtener permisos exigidos por la normatividad específica para los residuos peligrosos, entre otros aspectos.

9. RCD como agregado reciclado aplicado al concreto

Dentro de la aplicación estructural que pueden tener los RCD, es indispensable evaluar las principales propiedades de los agregados reciclados, ya que son los que tienen una de las influencias más significativas en el comportamiento físico y mecánico de las obras civiles, y de esta manera comprender las diferentes limitantes que poseen y la manera más óptima de mejorarlos para que tengan el mayor potencial de reutilización posible en las construcciones.

9.1.1. Granulometría

Un estudio en Brasil tomó dos muestras de agregado fino, una proveniente de materiales naturales, y otra de RCD suministrada por una empresa de reciclaje de residuos de concreto, esto con el fin de evaluar el comportamiento del mortero, utilizando una relación cemento/agregado fino/agua de (1:3:0.72), teniendo en cuenta los límites de la distribución granulométrica del agregado fino (Kruger et al., 2021).

Tabla 10*Distribución granulométrica agregado fino (Límites)*

Tamiz NTC 32 (ASTM E 11)	Porcentaje que pasa
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 μm	25 a 60
300 μm	10 a 30
150 μm	2 a 10

Nota. Tomado y adaptado de: NTC 174

Es importante mencionar que para este estudio los límites están establecidos en la norma NBR 7211 de Brasil, la cual es equivalente a la ASTM C 33, o a la NTC 174 en Colombia, las cuales hablan de las especificaciones de los agregados en el concreto.

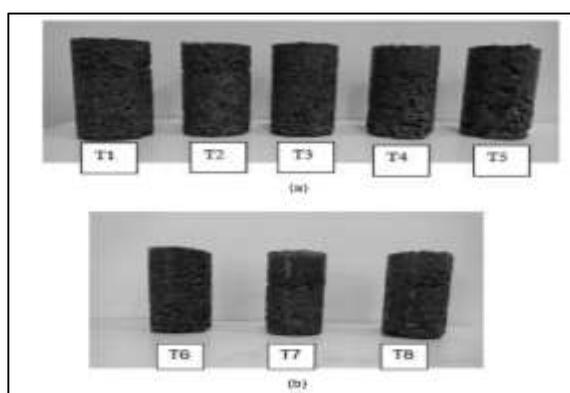
Se tomaron 3 muestras de agregado convencional y 3 de agregado reciclado, utilizando tamaños de partícula más pequeños para la muestra 1 en ambos tipos de agregado, y tamaños más grandes para las muestras 2 y 3, encontrando que la distribución granulométrica influye considerablemente en las propiedades del mortero en estado fresco y endurecido; por ejemplo en la absorción, la muestra 1 con agregado reciclado obtuvo el triple en comparación a la muestra 1 de agregado convencional, esto debido a su alta porosidad, ya que demanda una mayor cantidad de agua, esto trae afectaciones en la trabajabilidad y la cohesión, y por ende hace más susceptible el mortero al agrietamiento, y genera pérdida de la resistencia a compresión. Por otra parte, las muestras 2 y 3 de agregado reciclado también obtuvieron absorciones el triple de altas a las muestras 2 y 3 del agregado convencional, sin embargo al tener un mayor tamaño en las partículas del

agregado fino, presentó una porosidad relativamente similar a los morteros convencionales, por lo tanto se obtiene una mayor densidad, y una resistencia a compresión similar a las muestras 2 y 3 elaboradas con agregado convencional; por estos motivos es indispensable tener en cuenta la distribución granulométrica del agregado no solo para su aplicación en el mortero sino en el concreto (Kruger et al., 2021).

En otra investigación realizada en Brasil para evaluar las características del concreto permeable, se tomaron muestras de agregado grueso convencional, y agregado reciclado clasificado como mixto ya que contiene menos del 90% en masa de fragmentos y rocas a base de cemento Portland, presentando resultados similares en la absorción, relación de vacíos y ligeras variaciones en la densidad; se evaluaron 8 muestras nombradas con la letra T [Ver Figura 15], siendo las primeras 5 con agregado convencional y las 6, 7 y 8 con RCD (Cominato et al., 2022).

Figura 15

Muestras de concreto permeable



Nota. Tomado de (Cominato et al., 2022).

Luego de realizar pruebas a compresión, se demostró que el concreto permeable alcanza una mejor resistencia utilizando agregado reciclado con tamaños mayores a 6.30

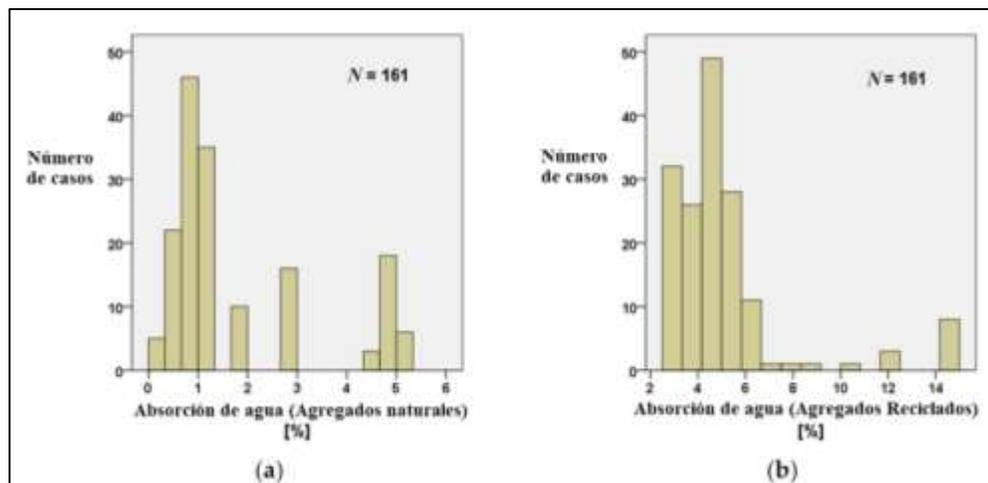
mm, esto debido a su textura rugosa y forma cúbica, lo que ayuda en la adherencia con la pasta de concreto, sin embargo el aumento de la porosidad implica una disminución en la densidad y por consecuencia una menor resistencia a flexión; y por la parte de la permeabilidad todas las muestras superaron los 0.001m/s lo cual está dentro del rango estipulado del American Concrete Institute (ACI) 522 R (Cominato et al., 2022).

9.1.2. Densidad y absorción

Dentro de los estudios realizados se destaca uno en Italia, en el cual se recopilan los diferentes resultados de absorción de los agregados reciclados y naturales en el concreto, en 161 especímenes evaluados, identificando una notable diferencia entre ambos tipos (Piccinali et al., 2022).

Figura 16

Absorción de agua en los agregados reciclados y naturales



Nota. Tomado y adaptado de (Piccinali et al., 2022).

Observando la Figura 16, se puede notar el incremento de la absorción en los agregados reciclados, y como se mencionó anteriormente esto afecta considerablemente la

trabajabilidad del concreto, además de factores como la relación agua/cemento, la resistencia a compresión y la durabilidad; haciendo énfasis en los valores mínimos, promedio y máximo la absorción tendría los siguientes rangos.

Tabla 11

Valores de absorción promedio, mínimo y máximo

	Absorción agregado natural [%]	Absorción agregado reciclado [%]
Valor promedio	1.71	5.13
Mínimo	0.05	2.70
Máximo	5.20	14.70

Nota. Tomado y adaptado de (Piccinali et al., 2022).

La diferencia entre los valores es clara como se observa en la Tabla 11, sin embargo, con el fin de buscar soluciones frente al aumento de la absorción de los agregados reciclados, se ha identificado que, al someter el material a un mayor proceso de trituración, puede mejorar la calidad del agregado ya que esto reduce la cantidad de mortero adherido, y así mismo disminuyendo la absorción de agua (Piccinali et al., 2022).

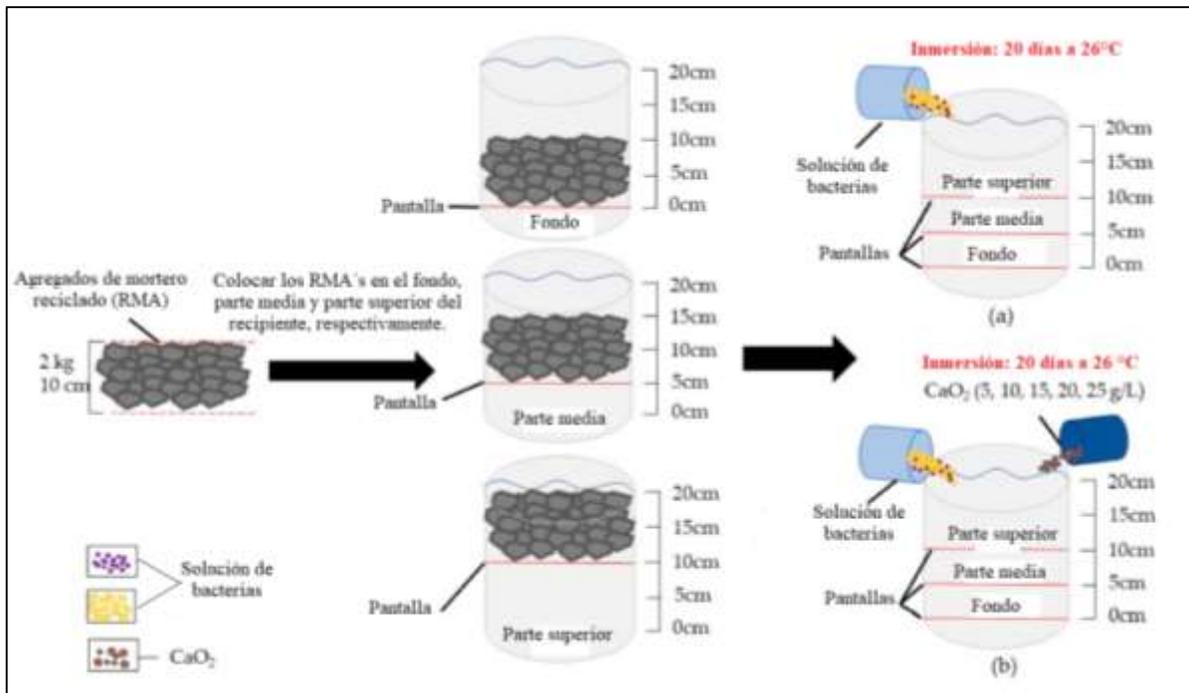
Otra investigación llevada a cabo en Corea del Sur, muestra que ya se han desarrollado requerimientos para las propiedades mecánicas de agregados reciclados para el concreto, específicamente por el Ministerio del Suelo, Infraestructura y Transporte (MOLIT), identificando que para el agregado reciclado grueso, aplicado al concreto magro o ligero, la absorción no debe superar el 7%, mientras que aplicado al concreto normal, no debe sobrepasar el 3%, y con el agregado fino igualmente permite valores similares (menor o igual al 4%). Además se menciona que los centros de tratamiento y aprovechamiento de

RCD los cuales pueden producir agregados reciclados de buena calidad están incrementando, esto permite incorporar más la reutilización de los RCD a la construcción de obras civiles, teniendo en cuenta diversos factores, como la utilización para sustituto parcial a los agregados naturales, el agregado grueso reciclado, se recomienda ser remplazado en un 60%, mientras que el agregado fino reciclado debe remplazarse en un 30%, y si es agregado mixto reciclado igualmente un 30% es lo recomendable, sobre el volumen total de agregado a utilizar (Kim, 2021).

Por otra parte, en China, se han realizado estudios para evaluar la densidad aparente de los agregados reciclados, siendo esta la que permite mirar el volumen del agregado para una mezcla de concreto, así como la calidad del mismo, por lo tanto, es una de las propiedades más evaluadas en los agregados. Bien se sabe que por las irregularidades del agregado reciclado su densidad es más baja en comparación con el agregado natural, sin embargo, en este estudio, se realizó un método de biodeposición, añadiendo peróxido de calcio (CaO_2), a los agregados reciclados con el fin de mejorar su calidad; el agregado se coloca en diferentes posiciones de un recipiente de vidrio (Fondo, parte media, parte superior), que contiene una solución de bacterias [Ver Figura 17], luego se añaden diferentes concentraciones de CaO_2 , hasta los 25g/L, posteriormente se evalúa el comportamiento de la densidad aparente con respecto a cada concentración (Zhu et al., 2019).

Figura 17

Tratamiento de los RMA por el método de biodeposición

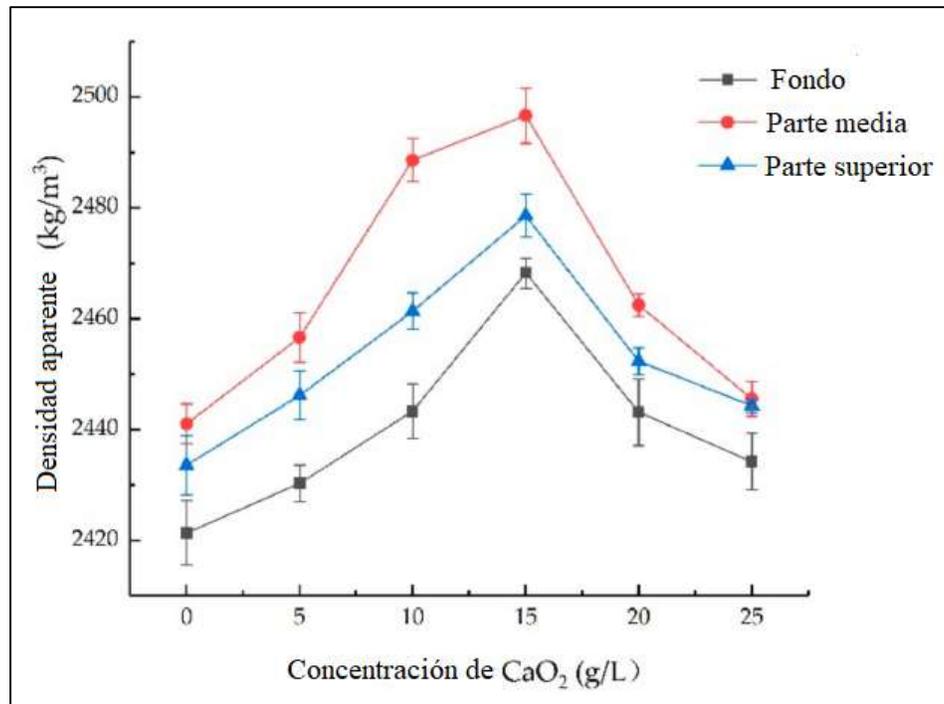


Nota. Tomado y adaptado de (Zhu et al., 2019).

Teniendo en cuenta el procedimiento mostrado anteriormente la densidad aparente de los RMA tuvieron cambios significativos mediante las concentraciones de CaO_2 , aumentando hasta los 15 g/L, llegando a una densidad cerca de los 2500 kg/m³ [Ver Figura 18], si se utilizan concentraciones más altas la densidad vuelve a decaer; por lo tanto este tratamiento tiene un impacto positivo en los agregados reciclados mejorando su calidad y no solo con la densidad aparente sino también en la absorción logrando reducirla considerablemente a la misma concentración (Zhu et al., 2019).

Figura 18

Comportamiento de la densidad aparente bajo el método de biodeposición



Nota. Tomado y adaptado de (Zhu et al., 2019).

Ahora bien, en otra investigación realizada en China, se crearon agregados reciclados a partir de procesos de limpieza y cribado de especímenes triturados de concreto sometidos a un curado de 120 días, por lo que se tomaron 3 muestras, una del agregado natural convencional (NA), otra de los agregados reciclados creados posteriores al proceso de trituración de los especímenes (RCA 1), y finalmente una muestra de agregado reciclado creado a partir de los primeros agregados reciclados (RCA 2); de esta manera se realizaron especímenes de concreto con las muestras mencionadas con un proceso de mezclado por vibración que permite mejorar la calidad del mismo a largo plazo (Yang et al., 2022).

Tabla 12

Densidad aparente del agregado grueso en (kg/m³)

NA	RCA 1	RCA 2
2739.81	2566.51	2428.80

Nota. Elaboración propia, datos tomados de (Yang et al., 2022).

Observado los datos de la Tabla 12, igualmente se puede ver una disminución notoria en la densidad aparente de los agregados reciclados con respecto al agregado natural, al igual que su absorción incremento considerablemente, sin embargo, al someter las mezclas al proceso de mezclado por vibrado para la elaboración de los especímenes, todos alcanzaron los 40 MPa en la resistencia a compresión, teniendo en cuenta que son mezclas con el 100% de sustitución de agregados naturales por reciclados, por lo que es evidente que el proceso de mezclado es eficiente al momento de mejorar la calidad del concreto, ya que permite envolver de una mejor manera el agregado con el mortero, brindando una mayor adherencia y por lo tanto un mejor rendimiento (Yang et al., 2022).

9.1.3 Desgaste

Teniendo en cuenta que el agregado grueso es el que tiene mayor influencia en el comportamiento del concreto, se han desarrollado estudios con el fin de evaluar la resistencia al desgaste o a la abrasión del agregado reciclado utilizando diferentes porcentajes de remplazo con respecto al agregado natural; para este estudio realizado en India, se tomaron 6 muestras donde la primera (M1) es netamente con agregado natural, la segunda (M2) tiene el 50% de agregado reciclado (RCA) con tamaños de 10 a 20 mm, la tercera (M3) muestra tiene el 100% de agregado reciclado con los mismos tamaños que en

la segunda muestra, y la cuarta muestra (M4) tiene igualmente el 100% de RCA pero con tamaños de 4.75 a 20 mm; las muestras (M5 y M6) se elaboraron con relaciones agua/cemento más altas igualmente con porcentajes de remplazo de agregado natural (NA) por reciclado (Kumar, 2019).

Tabla 13

Resistencia al desgaste

Pérdida de abrasión	Mezclas de concreto					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Pérdida de masa %	0.179		0.213	0.22	0.204	0.24

Nota. Tomado y adaptado de (Kumar, 2019).

Como se puede observar en los datos mostrados anteriormente, la abrasión se interpreta como un porcentaje de la pérdida de masa, y entre menor pérdida exista, mayor resistencia al desgaste tiene el agregado, por lo que evidentemente la primera muestra (M1), la cual solo tiene agregado natural (NA), es la que más resistencia a la abrasión tiene, es decir, que en promedio el desgaste de las muestras con RCA fue un 20% mayor que la de agregado natural, sin embargo, cabe destacar que todas las muestras son totalmente aptas para ser utilizadas en pavimentos destinados al tráfico de neumáticos de acuerdo a las directrices de la normativa de la India (Indian Standards) donde se menciona que no se debe superar el 0.24% de pérdida de masa (Kumar, 2019).

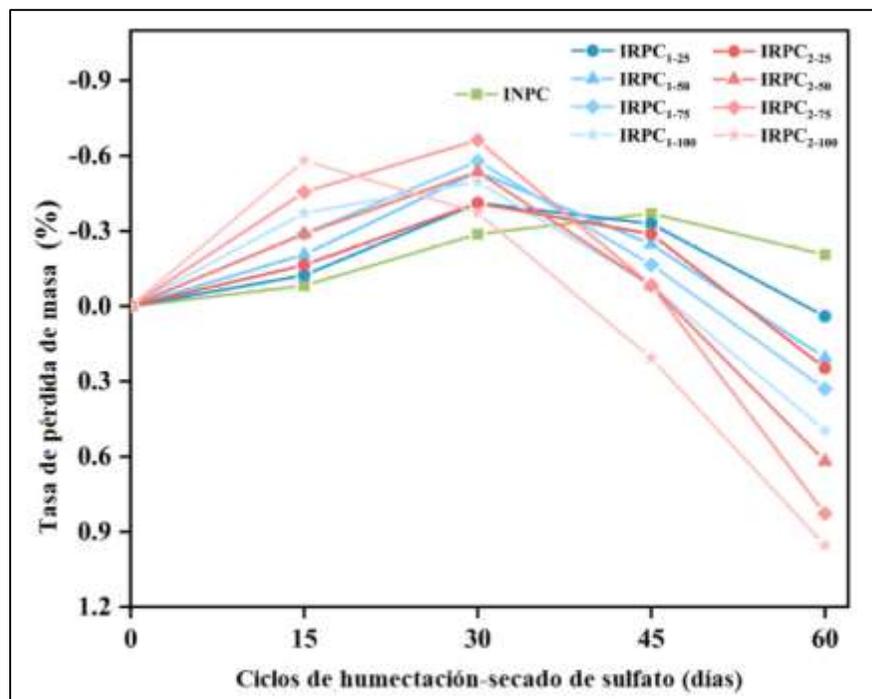
En otro estudio realizado en China, se tomaron diferentes muestras de agregado reciclado para la elaboración de especímenes de concreto permeable innovador (IRCP), el cual pretende mejorar el concreto permeable tradicional y superar las limitantes como la

baja resistencia y poca durabilidad, esto es posible mediante una interconexión de los poros de arriba abajo, mejorando no solo sus propiedades mecánicas como la resistencia a la abrasión sino la resistencia a las heladas (M. Hua et al., 2021).

Se tomaron 9 muestras, una para elaborar concreto permeable innovador con agregado natural (INCP), las siguientes 4 muestras se realizaron con agregado reciclado tamizado y triturado en laboratorio, con porcentajes de remplazo del 25, 50, 75 y 100% respectivamente (IRCP 1), y las últimas 4 muestras se elaboraron con agregado reciclado de baja calidad con los mismos porcentajes de remplazo (IRCP 2); estas muestras pasaron por unos ciclos de humectación y secado de sulfato, de 0, 30 y 60 días (M. Hua et al., 2021).

Figura 19

Pérdida de masa de acuerdo a los ciclos de humectación-secado de sulfato



Nota. Tomado y adaptado de (M. Hua et al., 2021).

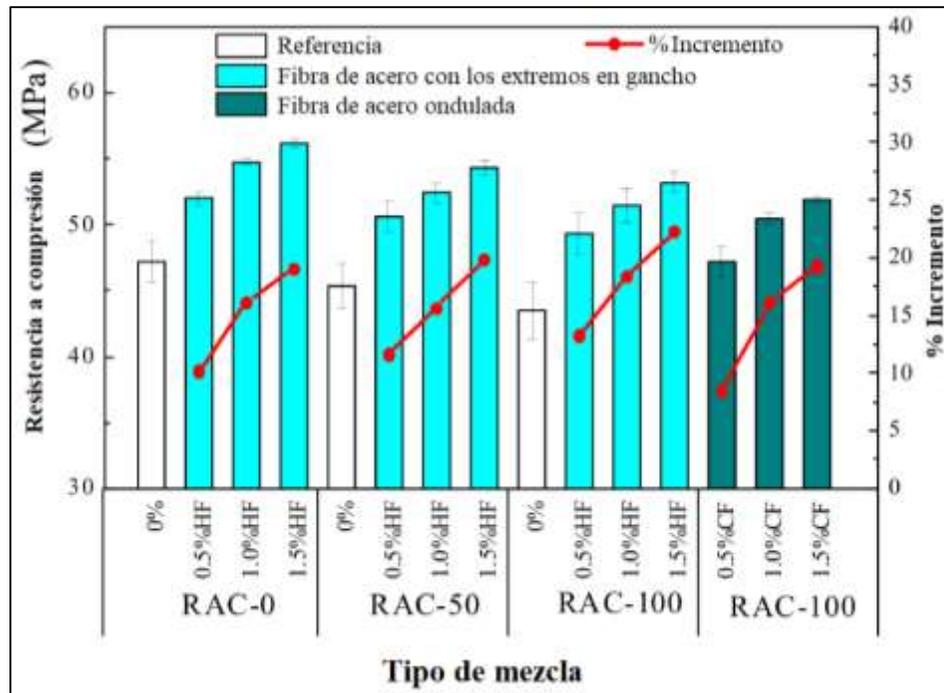
Teniendo en cuenta la Figura 19, se puede observar que la pérdida de masa se ve influenciada principalmente por los porcentajes de remplazo de agregado reciclado en los especímenes de concreto, además a medida que trascurren los ciclos de humectación-secado de sulfato hay mayor pérdida de masa, por lo que sería posible utilizar una tasa de remplazo de hasta un 50% aproximadamente sin afectar el desgaste alcanzando características muy similares a la muestra con agregado natural (INCP), sin embargo, si el agregado reciclado presenta una muy buena calidad, es decir, con un porcentaje de mortero adherido menor al 25%, este porcentaje de remplazo puede llegar al 100% sin generar afectaciones significativas, ampliando considerablemente la aplicación del concreto permeable innovador en las construcciones (M. Hua et al., 2021).

9.1.4. Resistencia a la compresión

Como bien se ha venido mencionando las características o la calidad en general de los agregados reciclados influye considerablemente en las propiedades tanto del concreto en estado fresco como endurecido, sin embargo, ya se han experimentado con diversas alternativas para mejorar esos aspectos, por ejemplo, en un estudio en China, se evaluó el comportamiento de la resistencia a compresión del concreto con agregado reciclado (RAC) combinándolo con fibras de acero; se utilizaron dos tipos, onduladas (CF) y con extremos en forma de gancho (HF), identificando cual es la que más le favorece al concreto (Kong et al., 2022).

Figura 20

Resistencia a compresión con la implementación de RAC y fibras de acero



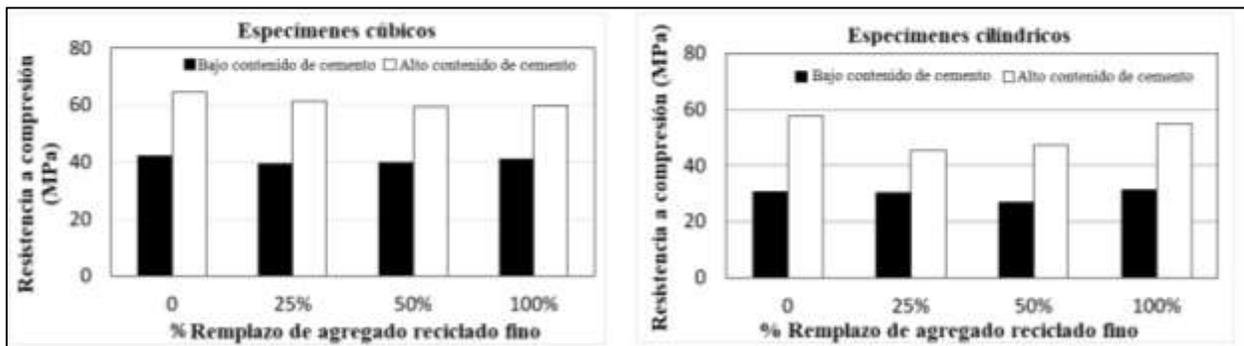
Nota. Tomado y adaptado de (Kong et al., 2022).

Se utilizaron diferentes porcentajes de remplazo de agregado reciclado (0,50,100%), y también diferentes contenidos de fibra de acero (0,5,1,0,1,5%), y como se puede observar en la Figura 20, la resistencia más alta fue al utilizar fibra de acero al 1,5% y con agregado natural, lo cual era el resultado esperado, sin embargo con remplazos del 50 y 100% y contenido de 1,5% de fibra de acero con extremos en gancho (HF), se obtuvieron resistencias muy similares aproximadas a los 55 MPa; igualmente con las fibras onduladas (CF), se consiguieron resultados satisfactorios pero cabe destacar que la fibra con extremos en gancho tiene un mejor aporte a la resistencia (Kong et al., 2022).

Otras investigaciones en los Emiratos Árabes, han demostrado la influencia del agregado fino en la resistencia a compresión del concreto, por lo que en este estudio se tomaron diferentes porcentajes de remplazo de agregado reciclado fino (0, 25, 50, 100%) proveniente de un tratamiento exigente de trituración e hidratación, identificando el comportamiento del concreto endurecido en especímenes cúbicos y cilíndricos (Tabsh & Alhoubi, 2022).

Figura 21

Resistencia a compresión con la implementación de agregado reciclado fino



Nota. Tomado y adaptado de (Tabsh & Alhoubi, 2022).

Como se puede observar en la Figura 21, la resistencia a compresión se ve considerablemente influenciada por el contenido de cemento, superando e igualando tanto en los especímenes cúbicos como cilíndricos los 30 MPa; también la resistencia se ve afectada según el porcentaje de remplazo de agregado reciclado fino, sin embargo con los especímenes cúbicos se obtienen resultados muy similares y satisfactorios considerando que las mezclas fueron diseñadas para una resistencia de 30 MPa con bajo contenido de cemento, y 55 MPa con alto contenido del mismo, lo que permite ampliar la aplicación de los agregados reciclados finos en la elaboración del concreto (Tabsh & Alhoubi, 2022).

9.1.5. Resistencia a la flexión

El comportamiento a flexión del concreto también se ha evaluado mediante diferentes estudios implementando agregados reciclados finos y gruesos, por ejemplo, en este estudio realizado en India, se tomaron muestras de agregado reciclado grueso proveniente de residuos de una demolición, y para el agregado fino se tomó polvo de piedra, específicamente de granito triturado que puede ser sustituto de la arena natural de río (Das et al., 2022).

Tabla 14

Resistencia a flexión del concreto con agregado reciclado

No	Tipo de mezcla	Resistencia a flexión (MPa)
1	NA	4.5
2	RA 25%	3.52
3	RA 50%	3.32
4	RA 75%	2.58
5	RA 100%	2.89

Nota. Tomado y adaptado de (Das et al., 2022).

Teniendo en cuenta los datos mostrados anteriormente, se puede evidenciar que a medida que se aumenta el porcentaje de sustitución de agregado natural por reciclado, la resistencia a flexión disminuye, y lo mismo ocurre para la resistencia a compresión; sin embargo, con el 25% de remplazo es el más cercano con respecto a la mezcla con agregado natural, por lo que tanto el agregado grueso reciclado como el polvo de piedra para agregado fino cumplen con las características mínimas para que esta alternativa de

reutilización sea viable en la aplicación del concreto, teniendo en cuenta que no se utilizan ningún tipo de aditivos o fibras (Das et al., 2022).

Otro estudio realizado en Argelia, utilizo un método para mejorar la calidad del concreto por medio de humo de sílice y con la implementación de aditivos como superplastificantes, evaluando las propiedades mecánicas como la resistencia a flexión; se tomaron 8 muestras con distintas especificaciones para analizar todas las alternativas posibles, así como el comportamiento de cada una (Kessal et al., 2022).

Tabla 15

Descripción de las proporciones de cada mezcla

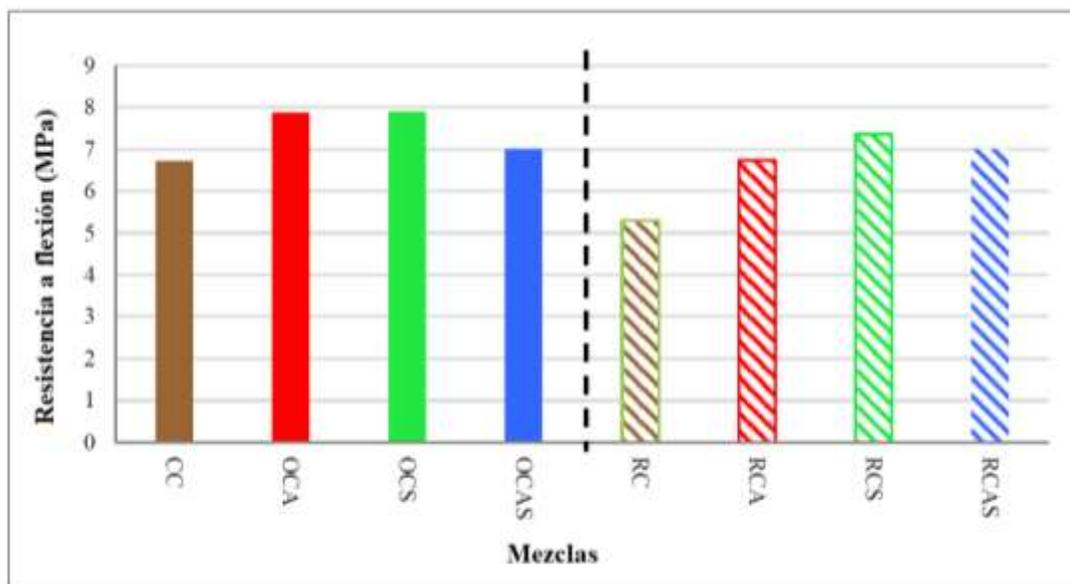
Tipo de mezcla	Descripción
CC	Concreto de control o referencia, sin aditivos ni humo de sílice ni agregado reciclado.
OCA	Concreto tradicional con 1.5% de superplastificante.
OCF	Concreto tradicional con el 5% de humo de sílice.
OCAF	Concreto tradicional con el 5% de humo de sílice y 1.5% de superplastificante.
RC	Concreto con agregado reciclado.
RCA	Concreto con agregado reciclado y 1.5% de aditivo.
FCR	Concreto con agregado reciclado y 5% de humo de sílice.
RCAF	Concreto con agregado reciclado, 1.5% de aditivo y 5% de humo de sílice.

Nota. Elaboración propia, datos tomados de (Kessal et al., 2022)

De acuerdo a las diferentes modificaciones de las mezclas se evaluó el comportamiento a flexión a una edad de 28 días, identificando una notable mejora al añadir el superplastificante y el humo de sílice [Ver Figura 22], este incremento se puede interpretar por la disminución en la porosidad y reducción del agua al incorporar aditivos, evidentemente las muestras con agregado natural tienen una calidad superior, sin embargo con el agregado reciclado el concreto tiene un buen desempeño mecánico y una durabilidad óptima lo que permite su aplicación en las construcciones (Kessal et al., 2022).

Figura 22

Resistencia a flexión del concreto incorporando aditivo y humo de sílice



Nota. Tomado y adaptado de (Kessal et al., 2022).

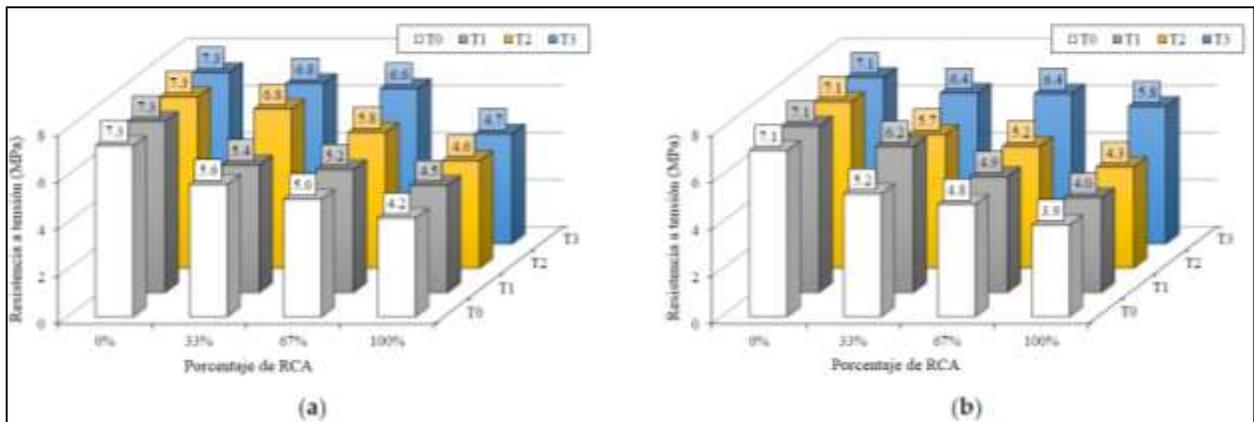
9.1.6. Resistencia a tensión o tracción

Uno de los factores principales que inciden en la calidad del concreto es el estado en el que se encuentre el agregado, por tal motivo se han desarrollado diversos tratamientos

para mejorar el agregado reciclado, por ejemplo, en un estudio llevado a cabo en Arabia Saudita, se hicieron 3 tipos de tratamiento, el primero (T1) consiste en sumergir el agregado reciclado en una solución de lechada de cemento con humo de sílice a diferentes concentraciones, esto con el fin de disminuir la porosidad que genera el mortero adherido; en el segundo tratamiento (T2), se lleva a cabo el mismo proceso de inmersión pero en una solución de silicato de sodio para lograr aumentar la dureza superficial del agregado reciclado, y el tercero (T3) consiste en la eliminación del mortero adherido en el agregado reciclado por medio de la máquina de los Ángeles para la abrasión (Alqarni et al., 2022).

Figura 23

Resistencia a tensión del concreto con RCA tratado



Nota. Tomado y adaptado de (Alqarni et al., 2022).

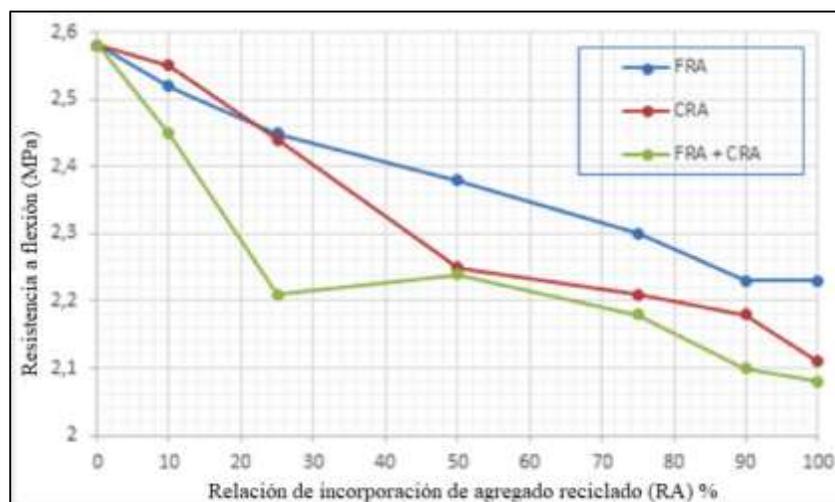
Como se puede identificar en la Figura 23, la gráfica (a), muestra la resistencia a tensión del concreto con los tratamientos al agregado mencionados anteriormente, teniendo en cuenta que su tamaño es de 10 mm, teniendo un mejor comportamiento las muestras con el tercer tratamiento (T3), ya que el mortero adherido al agregado reciclado es una de las principales razones del aumento de la porosidad, disminución de densidad y así mismo

reducción de la resistencia del concreto, por lo tanto la eliminación con la máquina de los Ángeles es una opción viable para el tratamiento de los agregados reciclados (RCA). Por otra parte, la gráfica (b) muestra los mismos resultados, pero con un agregado de 20 mm, mostrando igualmente que el proceso por abrasión para tratar el RCA es el más óptimo frente a la resistencia a tensión y también compresión y flexión (Alqarni et al., 2022).

Otras investigaciones se han desarrollado con el fin de evaluar la resistencia a tensión, por ejemplo en un estudio realizado en España, se tomaron muestras de agregado reciclado fino (FRA) y grueso (CRA) provenientes de una planta de reciclaje ya tratados, con procesos de trituración, eliminación de impurezas, tamizados y moliendas, con el fin de identificar su comportamiento mecánico en la aplicación de pavimentos de concreto, probando con diferentes porcentajes de remplazo para obtener la mejor alternativa (Contreras Llanes et al., 2022).

Figura 24

Resistencia a tensión VS la relación de incorporación de RA



Nota. Tomado y adaptado de (Contreras Llanes et al., 2022).

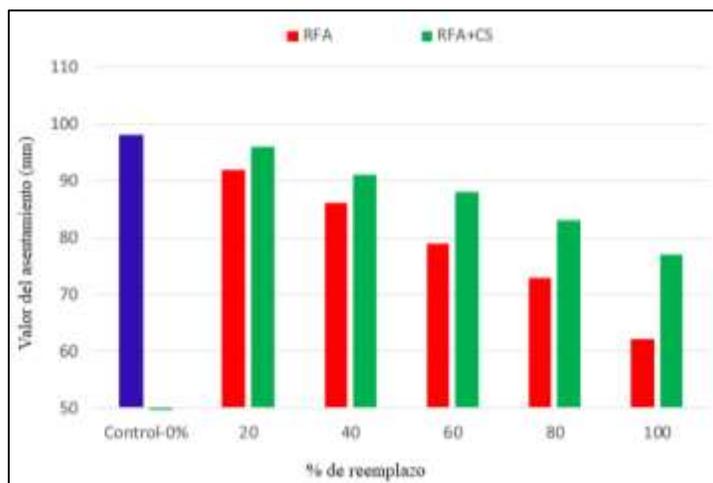
Evidentemente, observando la Figura 24, a medida que se incorpora mayor porcentaje de agregado reciclado (RA), la resistencia disminuye, sin embargo es importante destacar que en este estudio el diseño fue para la elaboración de adoquines de concreto, por lo que la mezcla que tiene agregado reciclado fino (FRA) al 50% y las que contienen 25 y 50% de agregado grueso reciclado respectivamente, cumplen con las especificaciones mecánicas para la elaboración de ellos, de acuerdo a la norma UNE-EN 1338 (Contreras Llanes et al., 2022).

9.1.7. Asentamiento (SLUMP)

En un estudio realizado en la India se ha evaluado la trabajabilidad por medio de la prueba del slump, identificando que factores se ven afectados positiva o negativamente implementando agregado reciclado fino (RFA), y escoria de cobre (CS) como alternativa para mejorar las mezclas de concreto (Kumar Vaishnav & Kumar Trivedi, 2022).

Figura 25

Asentamiento del concreto con agregado reciclado fino y escoria de cobre



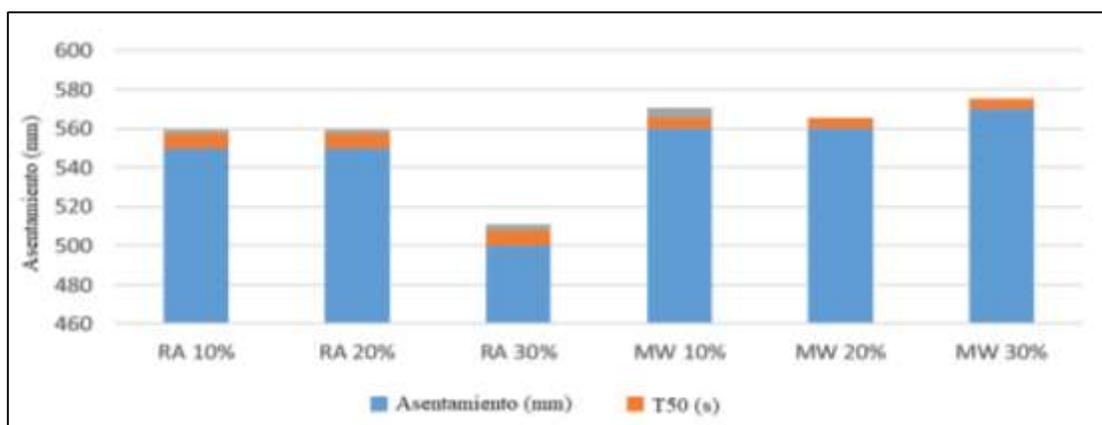
Nota. Tomado y adaptado de (Kumar Vaishnav & Kumar Trivedi, 2022).

Como bien se ha mencionado anteriormente, el contenido de mortero adherido al agregado reciclado hace que tenga una demanda considerablemente mayor por el aumento de la porosidad, por lo que esto trae problemas a la trabajabilidad del concreto, sin embargo, observado la Figura 25, al incorporar la escoria de cobre (CS) con el agregado reciclado fino (RFA) se obtiene un asentamiento similar a la mezcla con agregado natural, especialmente con el 20% de remplazo, sin embargo cabe mencionar que en este caso no es viable implementar el agregado reciclado a menos que se utilicen mejoras como aditivos plastificantes o en este caso la escoria de cobre (Kumar Vaishnav & Kumar Trivedi, 2022).

En otra investigación realizada en Nigeria, ha evaluado el asentamiento del concreto elaborado con agregado reciclado proveniente de residuos de mármol y concreto demolido, haciendo tanto la prueba del slump como la de T_{50} , que consiste en determinar el tiempo en el que la mezcla tarda en tomar un diámetro de 50 cm luego de retirar el cono de Abrams, y de esta manera analizar la trabajabilidad del concreto (Ofuyatan et al., 2022).

Figura 26

Asentamiento y prueba T_{50} con algunos porcentajes de agregado reciclado



Nota. Tomado y adaptado de (Ofuyatan et al., 2022).

Igualmente, como en el estudio anterior, se puede observar en la Figura 26 una reducción de la altura de asentamiento a medida que se incorpora el agregado reciclado, sin embargo con el agregado reciclado de mármol se obtienen resultados similares en las 3 muestras evaluadas, por lo que este tipo de residuos es una alternativa viable para su aplicación como agregado en el concreto; por otra parte, con la prueba T50, el tiempo obtenido para las muestras con RA fue de 7.40 a 8 segundos, mientras que con el agregado de mármol (MW), fue de 5.35 a 5.60 segundos, lo cual implica una mejora en la trabajabilidad del concreto debido a que este tipo de residuo tiene menor absorción que el RA, lo que implica también una menor demanda de agua (Ofuyatan et al., 2022).

10. Conclusiones

Se mostró el desarrollo del manejo de los RCD en la ciudad de Bogotá D.C., presentando los procesos que se llevan a cabo actualmente en cada etapa desde su generación hasta la determinación de su potencial de reutilización o hasta el final de su vida útil, identificando falencias desde el inicio del ciclo de gestión, ya que no se hace una adecuada separación en la fuente, esto conlleva a una mala recolección y posteriormente un mal tratamiento y aprovechamiento, o en numerosas ocasiones los RCD generados van directamente a su disposición final sin identificar su potencial aprovechable; y aunque existan varias plantas de reciclaje para la ciudad, los procesos entre los generadores y receptores no están interconectados por lo que no hay un flujo adecuado en la economía circular.

Además, haciendo una observación a la normativa existente, indican los diferentes aspectos que se deben tener en cuenta para la gestión de los RCD, pero hacen falta políticas o incentivos como apoyos por parte del gobierno, impuestos ambientales o generación de multas para el manejo indebido de estos residuos, y así lograr una mejor organización de los actores que involucran el ciclo de los RCD.

Aparte del manejo deficiente de estos residuos, tampoco existen guías o normativas técnicas que indiquen los requerimientos estructurales que pueden tener los RCD, ya que esa falta de conocimiento y estudio, produce menores posibilidades de reutilización que pueden tener estos residuos, y así mismo una menor implementación en la construcción de obras civiles.

Se identificaron los tipos de RCD, desde los más generados como los de tipo pétreo, hasta los que requieren un cuidado más específico como los de tipo peligroso, y sus metodologías de reutilización teniendo en cuenta la clasificación existente que determina su capacidad de reutilización; de acuerdo a las investigaciones estos residuos pueden tener diversas aplicaciones en el campo de la ingeniería civil, bien sea en la elaboración de morteros, concreto, adoquines, materiales granulares, entre otros; sin embargo su uso sigue siendo muy limitado en la ciudad de Bogotá, esto por la incertidumbre o falta de información que hay sobre su comportamiento estructural y el poco control y seguimiento que hay por parte de entidades responsables como las autoridades ambientales y la normativa existente, lo que da paso a un mal manejo y aprovechamiento de estos residuos.

Se investigaron las diversas alternativas que se han desarrollado para el manejo de los RCD en países como China, España, Estados Unidos, entre otros; mostrando la metodología que llevan a cabo para los procesos de clasificación, almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento y disposición final, junto con los métodos que se implementan en la ciudad de Bogotá, identificando notables diferencias en el ciclo de gestión como el desarrollo de la economía circular, por medio de políticas y estrategias de organización que permiten un mejor manejo de los RCD en comparación a la capital colombiana.

Se evaluó el potencial de reutilización que tienen los RCD estructuralmente, específicamente como agregado reciclado para su aplicación en el concreto, identificando que necesitan un mayor tratamiento y control que con los materiales de proveniencia natural, sin embargo, con los estudios mostrados a lo largo del documento se demuestra que

si son viables en el ámbito estructural teniendo en cuenta los procedimientos que pueden tener para optimizar sus propiedades físicas y mecánicas, bien sea tratamientos de limpieza, cribado, trituración, y para las mezclas de concreto aditivos, fibras, escorias, entre otros; los cuales permiten ampliar su aplicación en un panorama general.

Los RCD son viables tanto ambiental como estructuralmente en la ciudad de Bogotá, mientras haya una mayor articulación de los actores involucrados, un flujo óptimo de la economía circular, la normativa pertinente que permita tener un control y seguimiento total del ciclo de gestión de estos residuos, y un mayor estudio de las posibilidades de reutilización en el ámbito estructural; de esta manera se lograría promover el desarrollo de las construcciones sostenibles trayendo grandes beneficios en los sectores implicados.

11. Recomendaciones

Fomentar la investigación de los RCD, con el fin de ampliar la información existente y de esta manera ampliar el alcance de su aplicación no solo para la ciudad de Bogotá sino para el país de Colombia en general.

Realizar investigaciones con mayor profundidad sobre la gestión de los RCD, permitiendo evaluar aún más las distintas posibilidades de mejorar el manejo de estos residuos en todos los aspectos.

Promover la costumbre del reciclaje no solo en sector de la construcción sino en todos los sectores, ya que por medio del trabajo colectivo se logran los cambios realmente significativos, para traer beneficios en todos los ámbitos posibles.

Referencias Bibliográficas

- Alqarni, A. S., Abbas, H., Al- shwikh, K. M., & Al- salloum, Y. A. (2022). Influence of Treatment Methods of Recycled Concrete Aggregate on Behavior of High Strength Concrete. *Buildings* 2022, Vol. 12, Page 494, 12(4), 494. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS12040494>
- Asamblea Departamental de Antioquia. (2016). *ORDENANZA No 10 DE 22 DE ABRIL DE 2016 “POR MEDIO DE LA CUAL SE INSTITUCIONALIZA EL PROGRAMA ‘BASURA CERO’ EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA”* - Asamblea departamental de Antioquia. <https://www.asambleadeantioquia.gov.co/ordenanza-no-10-de-22-de-abril-de-2016-por-medio-de-la-cual-se-institucionaliza-el-programa-basura-cero-en-el-departamento-de-antioquia/>
- Botía Díaz, W. A. (2015). *Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo*. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/6239>
- Carvajal, J., & Carmona, C. (2016). *Gestión integral de residuos de construcción y demolición en Colombia: una aproximación basada en la metodología del marco lógico*. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552016000100012
- Chan Yam, J. L., Carcaño, R., & Moreno, E. I. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. *Ingeniería Revista Académica de La Facultad de Ingeniería - Universidad Autónoma de Yucatán*, 39–46. <https://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen7/influencia.pdf>
- Colorado, H. A., Muñoz, A., & Monteiro, S. N. (2022). Circular Economy of Construction and Demolition Waste: A Case Study of Colombia. *Sustainability* 2022, Vol. 14, Page 7225, 14(12), 7225. <https://doi.org/10.3390/SU14127225>
- Cominato, V., Benavente Canteras, F., Andréia Gachet, L., & Cristina Cecche Lintz, R. (2022). The effect of granulometry of natural and recycled coarse aggregate on permeable concrete properties. *Materials Today: Proceedings*, 65, 1711–1718. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.717>
- Contreras Llanes, M., Romero Pérez, M., Gázquez González, M. J., & Bolívar Raya, J. P. (2022). Construction and demolition waste as recycled aggregate for environmentally friendly concrete paving. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(7), 9826–9840. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15849-4>

- Contreras, M., Romero, M., Gázquez, M., & Bolívar, J. (2021). Construction and demolition waste as recycled aggregate for environmentally friendly concrete paving. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(7), 9826–9840. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-15849-4>
- Das, K. M., Sundar, N., Harishankar, S., Kumar, A. R., Kannan, S. P. M., & Ramesh, K. (2022). An experimental study on strength characteristics of replacement of fine aggregate with stone dust and coarse aggregate with demolished concrete waste. *Ymer*, 21(2), 683–700. <https://doi.org/10.37896/YMER21.02/64>
- Guo, F., Wang, J., & Song, Y. (2022). How to promote sustainable development of construction and demolition waste recycling systems: Production subsidies or consumption subsidies? *Sustainable Production and Consumption*, 32, 407–423. <https://doi.org/10.1016/J.SPC.2022.05.002>
- Haider, H., Almarshod, S. Y., Alsaleem, S. S., Ali, A. A. M. M., Alinizzi, M., Alresheedi, M. T., & Shafiquzzaman, M. (2022). Life Cycle Assessment of Construction and Demolition Waste Management in Riyadh, Saudi Arabia. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2022, Vol. 19, Page 7382, 19(12), 7382. <https://doi.org/10.3390/IJERPH19127382>
- Hua, C., Liu, C., Chen, J., Yang, C., & Chen, L. (2022). Promoting construction and demolition waste recycling by using incentive policies in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 1–16. <https://doi.org/10.1007/S11356-022-19536-W/TABLES/7>
- Hua, M., Chen, B., Liu, Y., Liu, H., Zhu, P., Chen, C., & Wang, X. (2021). Durability and Abrasion Resistance of Innovative Recycled Pervious Concrete with Recycled Coarse Aggregate of Different Quality under Sulfate Attack. *Applied Sciences* 2021, Vol. 11, Page 9647, 11(20), 9647. <https://doi.org/10.3390/APP11209647>
- Jahan I, Zhang G, Bhuiyan M, Navaratnam S, Shi L. Experts' Perceptions of the Management and Minimisation of Waste in the Australian Construction Industry. *Sustainability*. 2022; 14(18):11319. <https://doi.org/10.3390/su141811319>
- Kalinowska-Wichrowska, K., & Suescum-Morales, D. (2020). The Experimental Study of the Utilization of Recycling Aggregate from the Demolition of Elements of a Reinforced Concrete Hall. *Sustainability (Switzerland)*, 12(12), 5182. <https://doi.org/10.3390/SU12125182>
- Kessal, O., Belgraa, L., Djebri, N., Salah, S., & Allal, Z. (2022). Improvement of the Mechanical Behavior of an Environmental Concrete Based on Demolished Concrete

- Waste and Silica Fume. *Civil Engineering Journal (Iran)*, 8(2), 238–250.
<https://doi.org/10.28991/CEJ-2022-08-02-04>
- Kim, J. (2021). Construction and demolition waste management in Korea: recycled aggregate and its application. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(8), 2223–2234. <https://doi.org/10.1007/S10098-021-02177-X/TABLES/8>
- Kong, X., Yao, Y., Wu, B., Zhang, W., He, W., & Fu, Y. (2022). The Impact Resistance and Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete with Hooked-End and Crimped Steel Fiber. *Materials 2022, Vol. 15, Page 7029, 15(19)*, 7029.
<https://doi.org/10.3390/MA15197029>
- Kruger, P., Serbai, P., Chinelatto, A. S. A., & Pereira, E. (2021). Influence of particle size distribution of conventional fine aggregate and construction demolition waste aggregate in Portland cement mortar. *Cerâmica*, 67(383), 269–276.
<https://doi.org/10.1590/0366-69132021673833035>
- Kumar, R. (2019). Mechanical properties, shrinkage, abrasion resistance and carbonation of concrete containing recycled coarse aggregate of different size range. *Sustainable Construction Materials and Technologies*, 1, 97–107.
<https://doi.org/10.18552/2019/IDSCMT5014>
- Kumar Vaishnav, S., & Kumar Trivedi, M. (2022). Performance enhancement of the recycled aggregate concrete properties using blended sand. *Materials Today: Proceedings*, 62(P12), 6648–6653. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.651>
- Lamond, J., & Peilert, J. (2006). *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials*. ZLibrary. <https://b-ok.lat/book/947384/e59a28>
- Lin, K., Zhou, T., Gao, X., Li, Z., Duan, H., Wu, H., Lu, G., & Zhao, Y. (2022). Deep convolutional neural networks for construction and demolition waste classification: VGGNet structures, cyclical learning rate, and knowledge transfer. *Journal of Environmental Management*, 318, 115501.
<https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2022.115501>
- Lynch, N. (2022). Unbuilding the city: Deconstruction and the circular economy in Vancouver. *Environment and Planning A*, 54(8), 1586–1603.
<https://doi.org/10.1177/0308518X221116891>
- Martinez-Arguelles, G., Coll, M. D., Pumarejo, L. G. F., Cotte, E. H. S., Rondon, H., Pacheco, C. A., Martinez, J. Y., & Espinoza, R. G. L. (2019). Characterization of Recycled Concrete Aggregate as Potential Replacement of Natural Aggregate in

Asphalt Pavement. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 471(10), 102045. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/10/102045>

MinAmbiente. (2012). *Resolución 1115 de 2012*.

MinAmbiente. (2017). *Resolución 472 de 2017*.

<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=68359>

MinAmbiente. (2021). *Resolución 1257 de 2021*.

<https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-1257-de-2021/>

Observatorio de Residuos Sólidos / Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos - UAESP-. (2022). <https://www.uaesp.gov.co/content/observatorio-residuos-solidos>

Observatorio Internacional de Ciudadanía y Medio Ambiente Sostenible (CIMAS). (n.d.).

Tierras y escombros. Retrieved March 26, 2022, from

<https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/tierras-y-escombros/Cual-es-ciclo-gestion-como-pueden-tratarse.aspx>

Ofuyatan, O. M., Omole, D., Enoch, K.-T., & Ogundeji, O. (2022). Marble waste and recycled concrete aggregates in self compacting concrete (SSC): an evaluation of fresh and hardened properties. *Australian Journal of Civil Engineering*, 20(1), 67–79. <https://doi.org/10.1080/14488353.2021.1921342>

Pacheco, C. A., Fuentes, L. G., Sánchez, E. H., & Rondón Hugo Alexander. (2017).

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

<https://www.redalyc.org/journal/852/85252030015/html/>

P.E., L. S. L. Ph. D., & P.E., H. E. Ph. D. (2020). Materials for Civil Engineering: Properties and Applications in Infrastructure. In *Materials for Civil Engineering: Properties and Applications in Infrastructure*. McGraw-Hill Education.

<https://ezproxy.uan.edu.co:2107/content/book/9781259862618>

Piccinali, A., Diotti, A., Plizzari, G., & Sorlini, S. (2022). Impact of Recycled Aggregate on the Mechanical and Environmental Properties of Concrete: A Review. *Materials* 2022, Vol. 15, Page 1818, 15(5), 1818. <https://doi.org/10.3390/MA15051818>

Przemieniecki, S. W., Katzer, J., Kosewska, A., Kosewska, O., Sowiński, P., Żeliszewska, P., & Kalisz, B. (2022). Concept of Sustainable Demolition Process for Brickwork Buildings with Expanded Polystyrene Foam Insulation Using Mealworms of *Tenebrio molitor*. *Materials*, 15(21), 7516. <https://doi.org/10.3390/MA15217516/S1>

- Rosen, M. A., Mauro, G. M., Vieira, C. S., Cho, N., Asmar, M. el, & Aldaaja, M. (2022). An Analysis of the Impact of the Circular Economy Application on Construction and Demolition Waste in the United States of America. *Sustainability 2022, Vol. 14, Page 10034, 14(16)*, 10034. <https://doi.org/10.3390/SU141610034>
- Scopus. (2022). <https://ezproxy.uan.edu.co:2063/results/results.uri?sort=plf-f&src=s&st1=Construction+and+Demolition+Waste&nlo=&nlr=&nls=&sid=ee5f2bfa084167480837360f35af93b9&sot=b&sdt=cl&cluster=scofreetoread%2c%22all%22%2ct&sl=48&s=TITLE-ABS-KEY%28Construction+and+Demolition+Waste%29&origin=resultslist&zone=leftSideBar&editSaveSearch=&txGid=e5c69c837029b36b489a77c844861aff>
- SDA. (2015). *Guía para la elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición - RCD en obra*. <https://www.ambientebogota.gov.co/es/web/sda/guia-para-la-elaboracion-del-plan-de-gestion-de-residuos-de-construccion-y-demolicion-rcd-en-obra>
- Tabsh, S. W., & Alhoubi, Y. (2022). Experimental Investigation of Recycled Fine Aggregate from Demolition Waste in Concrete. *Sustainability 2022, Vol. 14, Page 10787, 14(17)*, 10787. <https://doi.org/10.3390/SU141710787>
- Thives, L. P., Ghisi, E., & Thives Júnior, J. J. (2022). An outlook on the management of construction and demolition waste in Brazil. *Cleaner Materials, 6*, 100153. <https://doi.org/10.1016/J.CLEMA.2022.100153>
- Thomas Budde Christensen, Mathilde Rosenberg Johansen, Martin Visby Buchard, Cecilie Nadine Glarborg, Closing the material loops for construction and demolition waste: The circular economy on the island Bornholm, Denmark, *Resources, Conservation & Recycling Advances, Volume 15, 2022, 200104, ISSN 2667-3789*, <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200104>.
- Trujillo, K., & Quintero, A. (2021). Análisis del manejo de Residuos de Construcción y Demolición RCD y sostenibilidad en la construcción en Bogotá D.C. *Ingeniería Civil*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/912
- Ulloa-Mayorga, V. A., Uribe-Garcés, M. A., Paz-Gómez, D. P., Alvarado, Y. A., Torres, B., & Gasch, I. (2018). Performance of pervious concrete containing combined recycled aggregates. *Ingeniería e Investigación, 38(2)*, 34–41. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v38n2.67491>
- VivimosVerde. (2021). *¿Cómo manejar los residuos de construcción y demolición? 3 acciones para responder requisitos legales*. <https://vivimosverde.com/residuos-de-construccion-y-demolicion/>

Yang, F., Yao, Y., Wang, X., Wei, J., & Feng, Z. (2022). Preparation of Recycled and Multi-Recycled Coarse Aggregates Concrete with the Vibration Mixing Process. *Buildings* 2022, Vol. 12, Page 1369, 12(9), 1369.
<https://doi.org/10.3390/BUILDINGS12091369>

Zhu, Y., Li, Q., Xu, P., Wang, X., & Kou, S. (2019). Properties of Concrete Prepared with Recycled Aggregates Treated by Bio-Deposition Adding Oxygen Release Compound. *Materials* 2019, Vol. 12, Page 2147, 12(13), 2147.
<https://doi.org/10.3390/MA12132147>