

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD DEL USO DE MATERIALES OBTENIDOS A PARTIR
DEL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y
DEMOLICIÓN EN UNA CIUDAD COLOMBIANA**

Elaborado por:

Grupo 1

María Consuelo Nova Avendaño

Diego Fernando Murcia Cortés

Alejandro Rodríguez Jiménez

Grupo 3

Leonardo Tambo Landinez

Universidad EAN

Escuela de Formación en Investigación

Programa: Especialización en gerencia de proyectos

Seminario de Investigación de Postgrado

Bogotá

15/11/2024

Tabla de contenido

1. RESUMEN	9
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	10
3. OBJETIVOS	11
3.1. Objetivo general	11
3.2. Objetivos específicos	11
4. JUSTIFICACIÓN	12
5. MARCO TEÓRICO.....	13
5.1. Residuo de construcción y demolición (RCD)	13
5.2. Economía Circular	18
6. MARCO INSTITUCIONAL	22
6.1. Instituciones relacionadas	22
6.1.1. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.....	22
6.1.2. Secretaría Distrital de Ambiente (SDA).....	22
6.1.3. Secretaría Distrital de Hábitat.....	22
6.1.4. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.....	23
6.1.5. Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS).....	23
6.2. Normatividad aplicable	23
6.2.1. CONPES 3874 (2016)	23
6.2.2. Resolución 0472 de 2017	23
6.2.3. Normas Técnicas Colombianas (NTC):	24
6.3. Empresas Privadas y Cooperativas de Reciclaje	24
6.4. Actividades económicas relacionadas	24
6.4.1. CIU 3830: Recuperación de materiales.....	24
6.4.2. CIU 2395: Fabricación de artículos de hormigón, cemento y yeso.....	24

6.4.3.	CIU 4100: Construcción de edificios.....	25
7.	METODOLOGÍA.....	26
7.1.	Enfoque, alcance y diseño de la investigación.....	26
7.1.1.	Tipo de investigación.....	26
7.1.2.	Fuentes de información.....	26
7.1.3.	Definición de variables	27
7.1.4.	Población y muestra.....	30
7.2.	Métodos para recolección de información.....	30
7.2.	Técnicas de análisis de datos	31
7.3.1	Técnicas de análisis cuantitativo	31
7.3.2	Técnicas de análisis cualitativo	33
7.3.3	Resumen técnicas de análisis	34
8.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	35
8.1.	Panorama actual de aprovechamiento de RCD en Colombia.....	35
8.1.1.	Listado de plantas de valorización de residuos de construcción	36
8.2.	Identificación de aspectos técnicos y económicos.....	42
8.2.1.	Aspectos técnicos	42
8.2.2.	Aspectos económicos.....	50
8.3.	Estimación de generación de RCD por parte del sector edificador	54
8.3.1.	Descripción de los supuestos y parámetros de la estimación	54
8.3.2.	Resultados de la estimación – Residuos de demolición	63
8.3.3.	Resultados de la estimación – Residuos de construcción.....	67
8.4.	Estimación de la demanda de usos principales de RCD	71
8.4.1.	Bases y subbases granulares.....	72
8.4.2.	Prefabricados en concreto.....	90
9.	CONCLUSIONES	92

10.	LISTA DE REFERENCIAS	95
-----	----------------------------	----

INDICE TABLAS

Tabla 1	Clasificación de RCD según tipo de actividad	14
Tabla 2	Variables cuantitativas	27
Tabla 3	División RCD	28
Tabla 4	Técnicas de análisis	34
Tabla 5	Lista de plantas bogota. Fuente ambiente Bogota	37
Tabla 6	Dimensiones Trituradora de mandíbulas Fuente: matra	45
Tabla 7	Impacto en las propiedades físicas y mecánicas del concreto al usar agregados reciclados; Ulloa (Procemco).....	48
Tabla 8	Comparación precios agregados reciclados vs. Agregados naturales. Fuente propia.....	52
Tabla 9	Grupos de materiales para la estimación de cantidades generados de RCD.....	55
Tabla 10	Obras incluidas para la estimación de generación de residuos de demolición. Fuente: elaboración propia.....	56
Tabla 11	Supuesto de duración de la construcción de las obras. Fuente: elaboración propia	57
Tabla 12	Criterios para definir variable para estimar el área a demoler y definición de escenarios de estimación. Fuente: elaboración propia.....	58
Tabla 13	Regiones climáticas para obtención de. Fuente: Ratios Nacionales – Generación de residuos de construcción y demolición. (CGATE y CSCAE, 2020)	58
Tabla 14	Parametros climatológicos.....	59
Tabla 15	Variables de la base de datos para estimación de residuos de demolición. Fuente: elaboración propia.....	61
Tabla 16	Variables de la base de datos para estimación de residuos de construcción. Fuente: elaboración propia.....	62
Tabla 17	Variable utilizada para la estimación del área a demoler.....	63
Tabla 18	Resultados de la estimación de las áreas a demoler por año.....	64

Tabla 19 Resultados totales por volumen y peso de los residuos generados por demolición.....	65
Tabla 20 Resultados por área urbana/metropolitana de la estimación de residuos de la demolición. Escenario intermedio. Fuente: elaboración propia.....	66
Tabla 21 Resultados de la estimación de residuos de construcción.....	68
Tabla 22 Resultados de la estimación de residuos de construcción por área urbana/metropolitana	69
Tabla 23 Fuente: elaboración propia con base en IPOC	73
Tabla 24 Fuente: Generador de Precios. Espacios urbanos. Colombia.	73
Tabla 25 Tomado de Cobo (2017).....	75
Tabla 26 base de microdatos utilizada	75
Tabla 27 Distribución de los parámetros de retraso luego de la simulación. Fuente: elaboración propia	78
Tabla 28 Datos de metros cúbicos de material de rellenos, afirmados, subbases y bases granulares, desagregado Fuente: elaboración propia con datos IPOC	78
Tabla 29 Resultado estimación demanda anual de metros cúbicos de subbase granular. Fuente: elaboración propia.....	80
Tabla 30 Resultado estimación demanda anual de metros cúbicos de base granular. Fuente: elaboración propia.....	82
Tabla 31 Componentes de los agregados gruesos reciclados	86
Tabla 32 Componentes de los agregados reciclados AR.....	86
Tabla 33 cantidades proyectadas de material subbase a generar con las diferentes combinaciones	87
Tabla 34 cantidad de metros cúbicos de base generado a partir de las combinaciones.....	88
Tabla 35 Prefabricados	90

ÍNDICE GRAFICAS

Grafica 1 Clasificación de residuos en Bogotá.....	13
--	----

Grafica 2 Aprovechamiento de RCD.....	35
Grafica 3 Principales usos de los áridos reciclados en Colombia. Fuente Perea (`Procemco)	47
Grafica 4 Comparación agregados.....	53

ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Trituradora Fuente : https://www.yumpu.com/es/document/read/51712173/planta-chancadora-sobre-orugas-pdf	43
Ilustración 2 Especificaciones maquinaria, Fuente https://www.yumpu.com/es/document/read/51712173/planta-chancadora-sobre-orugas-pdf	44
Ilustración 3 Planta de cribado autónoma fuente: https://www.smicompact.com/wp-content/uploads/ES_SMI_Compact_Full_Line-2.pdf	44
Ilustración 4 Trituradora de mandíbulas fuente: https://www.matra.co.cr/content/wp-content/uploads/2016/11/mandibulas_serie_c.pdf	45
Ilustración 5 Colector de polvo ciclónico con motor fuente: https://www.donaldson.com/content/dam/donaldson/dust-fume-mist/literature/latin-america/equipment/dust-collectors/cyclone/fl18130-spc/Colectores-de-Polvo-Cyclone.pdf	46
Ilustración 6 Planta trituradora de piedra estacionaria fuente: https://aimixtrituradora.com/planta-trituradora-de-piedra/	46

1. RESUMEN

El proyecto aborda el uso de materiales provenientes del aprovechamiento de residuos de la construcción y demolición (en adelante RCD) en la construcción de edificaciones en Colombia. El principal objetivo consiste en establecer los principales factores y aspectos técnicos y económicos que influyen en que su utilización en el proceso productivo del sector edificador o sectores de la cadena productiva del mismo sea todavía baja. Se plantea posteriormente un análisis exploratorio de viabilidad de usos o aplicaciones en una ciudad intermedia o pequeña de Colombia.

Palabras clave: Residuos de construcción, Reciclaje de materiales, Desarrollo sostenible, Industria de la construcción, análisis de viabilidad.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El problema para abordar se origina en la falta de estrategias efectivas para el uso y valorización de los residuos de construcción y demolición (RCD). Esta situación ha generado un incremento significativo en la acumulación de desechos en los sitios de obra, evidenciado la ineficiencia en su gestión y la baja tasa de reciclaje. Si esta tendencia persiste, se anticipa que la contaminación ambiental aumentará, afectando la sostenibilidad del sector y contribuyendo a la degradación de los recursos naturales a largo plazo.

Para abordar esta problemática, es crucial implementar modelos de gestión que promuevan el aprovechamiento de los RCD en diversas aplicaciones dentro del sector de la construcción y en sectores relacionados. Este estudio descriptivo, que utilizará fuentes de información secundaria, buscará identificar los principales factores que han impedido la valorización de estos residuos, así como proponer soluciones viables que promuevan su integración efectiva en los procesos constructivos.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Analizar la viabilidad técnica y económica del uso de materiales obtenidos a partir del aprovechamiento, reciclaje y valorización de residuos de la construcción y demolición (RCD) en diferentes aplicaciones dentro del propio sector edificador u otros sectores relacionados.

3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar el panorama actual del aprovechamiento y valorización de residuos de construcción y demolición (RCD) en Colombia y una de sus ciudades principales o intermedias
- Identificar los principales factores que obstaculizan la utilización en un mayor porcentaje de materiales provenientes del aprovechamiento o valorización de RCD
- Analizar los aspectos técnicos y económicos de los principales usos de RCD con el fin de identificar los de mayor aplicabilidad.
- Estimar el tamaño del mercado para los principales usos o aplicaciones para una ciudad intermedia en Colombia.
- Estudiar la viabilidad técnica y económica de la aplicación de uno de los usos/materiales en un proyecto de la ciudad o la formulación de un proyecto de emprendimiento en este uso/material priorizado.

4. JUSTIFICACIÓN

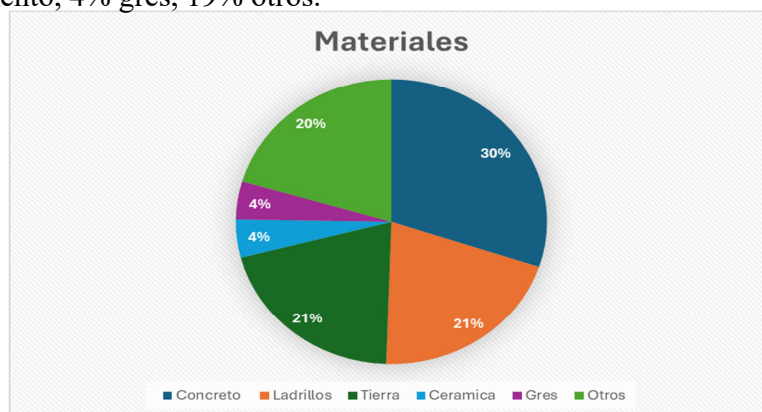
Este proyecto está enmarcado en la formación recibida y el enfoque de la universidad en el emprendimiento sostenible. Dentro de este marco identificamos en la industria de la construcción de edificaciones un ámbito de investigación y estudio con buenas perspectivas ya que la normatividad que empezó a fijar metas de porcentaje de aprovechamiento de residuos es reciente y por lo tanto el mercado está en crecimiento. Para la gerencia de proyectos, en particular, es importante este estudio exploratorio y descriptivo, ya que estos aspectos empiecen a hacer parte integral de la gestión de los costos y la calidad de los proyectos, y no se queden en componentes aislados en los proyectos, que se llevan a cabo sólo por cumplir una normatividad.

5. MARCO TEÓRICO

El presente estudio se basa en el análisis de la viabilidad técnica y económica del uso de materiales provenientes del aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD), bajo los principios de la economía circular y la sostenibilidad. La necesidad de optimizar el manejo de estos residuos se alinea con los desafíos ambientales y económicos que enfrenta el sector de la construcción en Colombia y a nivel mundial. A continuación, se presenta una fundamentación teórica que aborda los conceptos clave necesarios para comprender el contexto y la relevancia de esta investigación.

5.1. Residuo de construcción y demolición (RCD)

De acuerdo a Porras (2013), se encuentra que la composición general de los residuos de construcción y demolición en Bogotá se clasifican según el tipo de actividad donde se generan, por lo tanto, el concreto representa un 28%, 22% los ladrillos, 19% la tierra, 4% cerámica, 4% asbesto – cemento, 4% gres, 19% otros.



Grafica 1 Clasificación de residuos en Bogotá

Tabla 1 Clasificación de RCD según tipo de actividad

Actividad	Objeto	Componentes principales
Demolición	viviendas	Antiguas: Mampostería, ladrillos, madera, yeso, tejas
		Recientes: Ladrillo, Hormigón, Acero, Hierro, metales y plástico
	Otros Edificios	Industriales: hormigón, acero, ladrillo, mampostería, cables, papel y cartón
	Obras públicas	Servicios: hormigón, ladrillo, mampostería, hierro, madera, acero, hormigón Armado.
Construcción	Excavación	Tierra
	Edificación y Obras públicas	Hormigón, hierro, acero, ladrillos, bloques, tejas, materiales cerámicos, plásticos, materiales no férreos.
	Reparación y mantenimiento	Suelo, Roca Hormigón, productos bituminosos
	Reconstrucción y rehabilitación	Viviendas: Cal, yeso, madera, tejas, materiales cerámicos, pavimentos, ladrillos.

Fuente: Zamarreño, A. Memorias de “Residuos de construcción y demolición” Especialización en gestión de residuos y recuperación de suelos contaminados, Universidades de Castilla – La Mancha. (2014)

Los RCD son materiales de desecho producto del proceso de construcción, demolición/deconstrucción, modificaciones parciales y rehabilitaciones a estructuras físicas y obras civiles. Estos poseen una amplia variedad tanto en composición como en posibilidad de reutilización. Esto último se debe a que son recursos inertes que se adaptan a procesos de transformación como materia prima de agregados, concretos, prefabricados, entre otros. Además, dichos procesos se hacen principalmente para el desarrollo de insumos en proyectos de urbanismo (como adoquines, por ejemplo) y, de esta manera, se aporta al establecimiento y mantenimiento de una economía circular.

También es importante mencionar que los RCD se diferencian de los denominados Residuos Sólidos Urbanos -RSU- (es decir, los residuos domiciliarios y los comerciales). La principal diferencia que existe entre los RCD y los RSU parte de su origen y composición. Los RCD tienen una composición más homogénea con respecto a los RSU. Estos últimos, al ser residuos provenientes de las actividades humanas (residencial y comercial), cuentan con disposiciones más variadas y heterogéneas (Zhang, Zhang, & Chen, 2013).

La ausencia de gestión para el aprovechamiento y la incorrecta disposición final de los RCD provoca un deterioro ambiental en la ciudad, principalmente de salud, por contaminación del

aire, contaminación a nivel paisajístico y de espacio público, así como también afecta el hábitat de especies animales y vegetales que tienen presencia en los ecosistemas de la ciudad (Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C., 2020).

Por este motivo, las empresas del sector de la construcción deben asumir una posición de responsabilidad ambiental. Esta debe ser transversal a todas las actividades que busquen disminuir el deterioro ambiental, así como también debe pensarse en alternativas de aprovechamiento, entendiendo esto como el proceso por el cual se reincorporan los materiales de construcción convertidos en residuos al ciclo económico productivo de una manera eficiente (Gaitán, 2013).

Según la clasificación hecha por la Secretaría de Ambiente de Bogotá, los residuos generados en obra se organizan en dos categorías, aprovechables y no aprovechables, y ocho grupos desplegados de estas categorías. Los primeros, los aprovechables, se dividen en comunes inertes mezclados (pétreos), comunes inertes de material fino (finos no expansivos y finos expansivos), comunes no inertes (no pétreos), metálicos y orgánicos (pedones y cespedones). Los no aprovechables, que son los residuos contaminantes, se dividen en residuos peligrosos, residuos especiales y los residuos contaminados (Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, D.C., 2015).

- Categoría A. RCD Aprovechables.

Grupo I. Residuos Mezclados, de origen pétreo como, concreto, ladrillo, arenas, cerámicas y fragmentos de roca.

Grupo II. Residuos de material Fino.

- Residuo no expansivo como, limos y residuos inertes, poco plásticos.
- Residuo fino no expansivo, como lodos inertes con gran cantidad de finos altamente plásticos.

Grupo III. Otros Residuos.

- Residuos no pétreos, plástico, PVC, maderas, vidrios y cauchos.
- Residuos de carácter metálico como acero, hierro, cobre, aluminio.
- Residuos Orgánicos de pedones como residuos de tierra negra.
- Residuos de cespedones como residuos vegetales y otras especies bióticas.
- Categoría B. RCD No Aprovechables.

Grupo IV. Residuos peligrosos como residuos corrosivos, reactivos, radioactivos, desechos de productos químicos, emulsiones, pinturas, disolventes, resinas, aceites, asbesto, plomo, cenizas volantes.

Grupo V. Residuos especiales como poliestireno, cartón yeso.

Grupo VI. Residuos contaminados con otros residuos.

- Residuos contaminados con residuos peligrosos que son materiales pertenecientes a algún grupo establecido y esté mezclado con algún tipo de residuo peligroso.
- No definida, que son residuos contaminados con otros residuos que hayan perdido las características propias para su aprovechamiento.

Grupo VII. Otros residuos. Son residuos que por requisitos técnicos no es permitida su reutilización.

Construcción y demolición en Bogotá

La responsabilidad de las alcaldías locales, que no cuentan con la reglamentación clara y mucho menos con gestiones que garanticen el cumplimiento de las normas vigentes, se ven obligadas en muchos casos a no ejercer sus funciones, debido a la poca preparación que tienen sobre estos temas; los datos mostrados por la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP), en Bogotá, se producen cerca de 12 millones de toneladas de escombros por año, de los cuales la UAESP solo se encarga de 333000 toneladas, el resto son utilizadas en operaciones ilegales. Según el informe presentado por la Personería delegada para el Hábitat y los Servicios Públicos, en Bogotá se producen 450 toneladas de residuos de construcción y escombros desechados en depósitos ilegales, el Distrito Capital, se está preparando para otorgar sanciones que den efectividad a las infracciones, de aquellas personas que gestionen adecuadamente estos residuos. (Gestión técnica para el manejo de residuos de construcción y demolición (RCD) en obra nueva German Gonzalo Sabogal Cely)

5.2. Economía Circular

La economía circular busca cerrar el ciclo de vida de los productos de construcción mediante su reutilización, reparación, renovación y reciclaje, evitando que los materiales acaben como residuos de los cuales no se pueda disponer. Esta teoría es fundamental para abordar la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), ya que plantea que los residuos pueden ser

reincorporados en el ciclo productivo en lugar de ser desechados (Acevedo-Agudelo & Figueroa-Álvarez, 2023).

La teoría de los ciclos cerrados sostiene que los materiales pueden ser reutilizados indefinidamente si se implementan procesos adecuados de separación y reciclaje. Mejía-de-Gutiérrez, Robayo-Salazar, y Valencia-Saavedra (2023) mencionan que se pueden desarrollar concretos híbridos y elementos constructivos mediante la activación alcalina de residuos de construcción y demolición (RCD), lo que permite re-incorporar estos residuos al ciclo de producción, alineándose con los principios de la economía circular.

La gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) bajo un enfoque de economía circular implica su separación, reciclaje y reutilización en nuevas aplicaciones, lo cual reduce la dependencia de recursos naturales vírgenes y disminuye la cantidad de residuos que llegan a los vertederos (Acevedo-Agudelo & Figueroa-Álvarez, 2023).

Modelos de Economía Circular

Modelo de las 3R (Reducir, Reutilizar y Reciclar): En el contexto de los residuos de construcción y demolición (RCD), este modelo de las 3R (Reducir, Reutilizar y Reciclar) promueve la reducción de residuos mediante la reutilización de materiales reciclados en nuevos proyectos de construcción. Mejía-de-Gutiérrez, Robayo-Salazar, y Valencia-Saavedra (2023) destacan la viabilidad de utilizar RCD en la producción de concretos y bloques que cumplen con las normas estructurales.

Modelo de pasaportes de materiales (Material Passports, MP): El uso de pasaportes de materiales permite un mejor seguimiento y reutilización de los materiales, proporcionando información sobre

su composición, lo cual facilita la planificación para su reciclaje y reutilización. Este enfoque es esencial para optimizar el ciclo de vida de los materiales en la construcción (Schützenhofer, Kovacic, Rechberger, & Mack, 2022).

Dentro de la economía circular, los modelos más comunes son los que implementan estrategias para cerrar ciclos productivos. McDonough y Braungart (2005) popularizaron el concepto "Cradle to Cradle" (de la cuna a la cuna), el cual propone que los materiales sean continuamente reutilizados en lugar de convertirse en desechos. Otros modelos incluyen la utilización de tecnologías limpias para maximizar la eficiencia en la producción, algo que en la Región Andina ha sido incipiente pero que está comenzando a tomar fuerza, según Llanos-Encalada, Correa-Vaca, y Calderón-Cisneros (2024).

En países como Colombia, las políticas para la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) están reguladas por normativas que buscan promover la sostenibilidad y la reutilización de materiales. Sin embargo, aún existen barreras significativas que dificultan la implementación efectiva de estos marcos legales, como la falta de infraestructura adecuada para la separación de residuos y la falta de conciencia por parte de los generadores de residuos (Acevedo-Agudelo & Figueroa-Álvarez, 2023).

Lineamientos internacionales

Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD): Los principios de gestión de residuos están estructurados en jerarquías que priorizan la prevención, reutilización y reciclaje de

materiales, minimizando la cantidad de residuos que llegan a los vertederos. Schützenhofer, Kovacic, Rechberger y Mack (2022) mencionan la importancia de seguir regulaciones como la Directiva Marco de Residuos de la Unión Europea (WFD), que establece directrices para la gestión sostenible de residuos en el sector de la construcción.

Directiva 2008/98/EC sobre residuos: Esta directiva establece la jerarquía de gestión de residuos y promueve la recuperación de materiales cuando sea ecológicamente viable y económicamente razonable (Schützenhofer, Kovacic, Rechberger, & Mack, 2022).

En Austria, por ejemplo, la implementación nacional de la Directiva Marco de Residuos se lleva a cabo a través de leyes de gestión de residuos, como el AWG2002, que regula la documentación de los residuos y los procedimientos de reciclaje (Schützenhofer, Kovacic, Rechberger, & Mack, 2022).

6. MARCO INSTITUCIONAL

6.1. Instituciones relacionadas

6.1.1. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Es la entidad encargada de formular, regular y coordinar la política ambiental en Colombia. Dentro de sus funciones está la gestión de residuos y la promoción de prácticas sostenibles, como la reutilización de materiales en la construcción. Además, fomenta la implementación de la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible.

6.1.2. Secretaría Distrital de Ambiente (SDA)

A nivel de Bogotá, la Secretaría Distrital de Ambiente es responsable de regular y vigilar el manejo de residuos de construcción y demolición (RCD), promoviendo su aprovechamiento. Trabaja en proyectos de economía circular y sostenibilidad que pueden apoyar la viabilidad del uso de materiales reciclados en la construcción.

6.1.3. Secretaría Distrital de Hábitat

Esta entidad se encarga de gestionar y ejecutar políticas relacionadas con el desarrollo urbano y la vivienda en Bogotá. También impulsa el uso de tecnologías y materiales sostenibles en el ámbito de la construcción y podría ser clave en la viabilidad del uso de RCD para proyectos urbanos.

6.1.4. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio

Regula y coordina las políticas de vivienda y desarrollo urbano. Dentro de sus competencias está el fomento de la construcción sostenible, incluyendo normativas que incentivan el uso de materiales reciclados y tecnologías innovadoras en edificaciones.

6.1.5. Consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS)

Es una organización que fomenta la adopción de prácticas sostenibles en el sector de la construcción. Promueve el uso de materiales de bajo impacto ambiental, como aquellos derivados del reciclaje de RCD, y ofrece certificaciones que impulsan la economía circular en el sector.

6.2. Normatividad aplicable

6.2.1. CONPES 3874 (2016)

Este documento establece una política nacional para la gestión de residuos sólidos en Colombia, promoviendo la economía circular como una estrategia para reducir el impacto ambiental (Mejía-de-Gutiérrez, Robayo-Salazar, & Valencia-Saavedra, 2023).

6.2.2. Resolución 0472 de 2017

Emitida por el Ministerio de Ambiente, establece el reglamento técnico para la gestión integral de los residuos generados en actividades de construcción y demolición (RCD), promoviendo su aprovechamiento y reducción.

Estas normativas regulan la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) en Colombia y establecen metas de aprovechamiento de hasta un 75 % en ciudades grandes para el año 2030. Estas metas están alineadas con los principios de economía circular al fomentar la reutilización y el reciclaje de los materiales de construcción (Mejía-de-Gutiérrez, Robayo-Salazar, & Valencia-Saavedra, 2023).

6.2.3. Normas Técnicas Colombianas (NTC):

Estas normas, emitidas por el ICONTEC, establecen criterios para la calidad y reutilización de materiales en el sector de la construcción.

6.3. Empresas Privadas y Cooperativas de Reciclaje

Existen diversas empresas y cooperativas en Bogotá que se dedican a la recolección y procesamiento de residuos de construcción y demolición, transformándolos en nuevos materiales para su reutilización en la industria.

6.4. Actividades económicas relacionadas

6.4.1. CIU 3830: Recuperación de materiales.

Esta clase incluye la recuperación de materiales reciclables a partir de escombros y residuos de la construcción, para su posterior procesamiento y reutilización.

6.4.2. CIU 2395: Fabricación de artículos de hormigón, cemento y yeso.

Aunque no directamente relacionado con la recuperación, esta clase podría aplicar si los materiales reciclados se utilizan para fabricar productos de construcción.

6.4.3. CIU 4100: Construcción de edificios.

Si el enfoque del análisis se dirige hacia la incorporación de esos materiales reciclados en proyectos de construcción

7. METODOLOGÍA

Este capítulo explica las principales características de la metodología escogida para el desarrollo del trabajo investigativo.

7.1. Enfoque, alcance y diseño de la investigación

El enfoque y alcance de la investigación está dado por las siguientes características:

7.1.1. Tipo de investigación

Mixta: involucrará el uso de información y datos tanto de tipo cualitativo como cuantitativos.

No experimental: no implica la manipulación de datos de variables recolectadas para probar o refutar hipótesis.

Transversal: Los datos de fuentes secundarias se recolectarán una única vez en el tiempo y no a lo largo de varios períodos.

Estudio descriptivo: se realizarán análisis descriptivos, basados en la información disponible con el fin de lograr los objetivos específicos de caracterización, identificación de factores y análisis de aspectos técnicos y económicos.

7.1.2. Fuentes de información

Involucrar fuentes secundarias de información, que incluyen boletines, informes, datos abiertos (microdatos anonimizados), resultados de encuestas, entre otros, provenientes de las diversas fuentes oficiales de información: DANE, gremios (Camacol, Procemco, etc), instituciones públicas involucradas, entre otros.

7.1.3. Definición de variables

El presente estudio se centrará en las variables principales relacionadas con la actividad de la construcción de edificaciones:

Variables cuantitativas: área construida, unidades de los materiales (metros cúbicos, toneladas, kilogramos, metros cuadrados, etc), ratios de generación de desechos (toneladas por metro cúbico, metros cúbicos por metro cuadrado).

Tabla 2 Variables cuantitativas

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimens.
Área construida	Parte edificada que corresponde a la suma de las superficies de los pisos. Excluye azoteas, áreas duras sin cubrir o techar, áreas de las instalaciones mecánicas y puntos fijos, así como el área de los estacionamientos ubicados en semisótanos, sótanos y en un piso como máximo ¹	Se tomarán datos del Censo de Edificaciones de la base de datos anonimizada, para realizar las estimaciones de generación de residuos a partir de la demolición de edificaciones existentes y la construcción de edificaciones nuevas en la(s) ciudad(es) escogidas para el estudio.	Metros cuadrados [m ²]
Ratios de generación de residuos de construcción y demolición	Relación entre el volumen (metros cúbicos) o el peso (toneladas o kilogramos de los residuos generados y el área construida de la edificación demolida o construida.	Se utilizarán los valores calculados para España, dado que no se conoce de su existencia para Colombia ²	[m ³ / m ²] [Ton / m ²] [Kg / m ²]
Estimación de material de RCD generado	Cantidad estimado de material de residuos de construcción y demolición generados expresado	Variable resultado de las estimaciones de acuerdo a las desagregaciones disponibles de materiales pétreos y no pétreos	[Ton] [m ³]

¹ Tomada de : <https://www.catastrobogota.gov.co/glosario-catastral/area-construida>

² **Ratios nacionales. Generación de Residuos de Construcción y Demolición.** Consejo General de la Arquitectura Técnica de España. Colegio Superior de los Colegios de Arquitectos de España. Descargado de <https://www.cscae.com/index.php/conoce-cscae/area-tecnica/seguimiento-de-normativas/reglamentos-regulaciones-y-otros/6306-guia-ratios-nacionales-generacion-de-residuos-de-construccion-y-demolicion>

	en volumen o peso, según conveniencia		
--	---------------------------------------	--	--

Variables cualitativas:

- **Residuos de Construcción y Demolición**

Estos se refieren a los residuos generados por la construcción, por la demolición de edificios y otras estructuras. Los RCD se dividen según su origen

Tabla 3 División RCD

Categoría	Tipos de material
1. Materiales de excavación	tierra, rocas, arena
2. residuos de construcción	arena, grava, metal
3. Residuos de demolición	ladrillos, bloques de hormigón, porcelana y yeso

- **Demolición**

Genera grandes volúmenes de residuos, especialmente escombros de concreto, ladrillos y otros materiales pétreos. La demolición selectiva es una técnica que permite separar materiales para su reciclaje, reduciendo la cantidad de residuos enviados a vertederos

- **Construcción**

La construcción, al igual que la demolición, produce grandes volúmenes de residuos. La gestión adecuada de estos residuos, mediante la separación en la fuente y la reutilización de materiales, puede contribuir al desarrollo sostenible. Los metales y maderas son materiales comúnmente reciclados en este proceso

- **Materiales de obra**

Los materiales usados en la construcción, como el concreto y el acero, generan residuos que pueden ser reciclados o reutilizados. Esto reduce la necesidad de extraer nuevos materiales y minimiza el impacto ambiental.

- **Costos directos**

La gestión de los RCD representa un costo importante para los proyectos de construcción. Implementar estrategias de reciclaje y reutilización puede reducir estos costos, además de mitigar el impacto ambiental

7.1.4. Población y muestra

Población objetivo: La población objeto de estudio son las obras de edificaciones iniciadas en la ciudad escogida que hayan sido registradas en el Censo de Edificaciones, y que hayan iniciado obra entre 2022 y 2024 (primer semestre).

Tamaño de la muestra: la cantidad de obras que inician en un trimestre para todos los 91 municipios en los que existe cobertura del Censo de Edificaciones oscila entre 5.000 y 6.000 unidades. Para una ciudad pequeña o intermedia, pueden ser entre 100 y 500 obras por trimestre. Para delimitar el tamaño de la muestra se puede poner un tamaño mínimo de la obra en metros cuadrados.

Tipo de muestreo: por conveniencia o censo, según disponibilidad de otros datos para el análisis.

7.2. Métodos para recolección de información

Para el objetivo específico de la estimación del tamaño del mercado para los principales usos o aplicaciones de RCD en una ciudad intermedia en Colombia, se utilizará la información secundaria, disponible en la página web del DANE, en donde se publican los microdatos anonimizados del Censo de Edificaciones con las variables principales asociadas. Estos microdatos, al tener la desagregación a nivel de cada obra de construcción de edificios, permite una estimación de los residuos generados por la demolición y construcción, haciendo uso de los Ratios nacionales utilizados en España, con las adecuaciones o suposiciones que se requieran.

7.2. Técnicas de análisis de datos

En este estudio se utilizará un enfoque mixto de investigación que involucra tanto el análisis cuantitativo como cualitativo de los datos recolectados. Las técnicas de análisis de datos variarán dependiendo de los instrumentos de recolección empleados y del tipo de información obtenida. Se combinarán técnicas estadísticas para el análisis de datos numéricos (cuantitativos) y técnicas de análisis de contenido para los datos no numéricos (cualitativos). Esta metodología mixta permitirá obtener una comprensión integral del fenómeno estudiado, en este caso, la viabilidad técnica y económica del uso de materiales provenientes del aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD).

7.3.1 Técnicas de análisis cuantitativo

El análisis cuantitativo se centrará en la evaluación numérica de los datos recolectados a través de fuentes secundarias, utilizando herramientas estadísticas para identificar tendencias, realizar comparaciones y generar proyecciones. Estas técnicas serán esenciales para evaluar aspectos técnicos y económicos como los costos, el volumen de residuos, y la demanda de materiales reciclados.

Instrumentos de recolección:

- **Fuentes secundarias:** datos del DANE, autoridades y gremios relacionados con el sector para poder estimar datos agregados sobre los volúmenes de residuos y su aprovechamiento.

Técnicas de análisis:

- **Estimaciones de cantidades a partir de ratios:** A partir de datos desagregados (microdatos anonimizados del Censo de Edificaciones) se realizarán estimaciones de agregados departamentales o por ciudad, de la producción de residuos usando ratios encontrados en la bibliografía investigada para el sector edificador de España (CGATE y CSCAE, 2020). Se estimará la demanda de productos elaborados a partir de RCD (rellenos, afirmados, subbases y bases granulares) a partir de microdatos procesados de obras civiles de la operación estadística del Indicador de Producción de Obras Civiles – IPOC y usando porcentajes (ratios) de mezcla de agregados reciclados encontrados en la bibliografía.
- **Generación de escenarios de estimaciones con distintos supuestos:** para la realización de las estimaciones se requieren hacer supuestos de ciertas variables no disponibles o con base en criterios de experto, usando distintos valores para las variables parámetro y obteniendo así varios resultados de escenarios, con el fin de obtener rangos para los valores a estimar.
- **Cálculos de porcentajes:** para identificar la proporción de residuos aprovechables frente al total de residuos generados.
- **Tablas de frecuencia** para categorizar los tipos de residuos más generados y reutilizados.

Descripción: El análisis descriptivo permitirá entender la distribución de los residuos generados y reciclados en los departamentos, proporcionando una visión general del comportamiento de estos materiales en los mercados regionales. Por ejemplo, se espera determinar qué proporción de los

RCD generados corresponde a materiales aprovechables, como el concreto, el ladrillo, y qué proporción corresponde a materiales no aprovechables.

7.3.2 Técnicas de análisis cualitativo

El análisis cualitativo, por otro lado, se centrará en la interpretación y comprensión de los aspectos no numéricos de la investigación. Este tipo de análisis será particularmente útil para evaluar las percepciones y actitudes de los actores involucrados en la gestión de RCD, así como para identificar las barreras y oportunidades que influyen en la adopción de materiales reciclados en el sector de la construcción.

Instrumentos de recolección:

- **Fuentes secundarias:** Estudios, análisis, noticias, memorias de eventos y foros, vídeos publicados, por parte de los gremios y entidades relacionadas con la actividad.

Técnicas de análisis:

- **Análisis temático** para agrupar los temas recurrentes que surjan de las respuestas de los entrevistados, tales como las barreras económicas, técnicas o culturales que limitan el uso de RCD.

Descripción: El análisis del discurso permitirá descubrir cómo los distintos actores del sector perciben el uso de RCD, qué factores influyen en su toma de decisiones y qué barreras enfrentan para implementar prácticas de reciclaje. Además, este análisis aportará una comprensión profunda sobre las oportunidades de mejora en la gestión de residuos en los proyectos de construcción.

Teoría fundamentada

La teoría fundamentada será utilizada para generar una estructura conceptual que permita explicar las dinámicas observadas en torno al aprovechamiento de RCD. Esta técnica consiste en desarrollar una teoría basada en los datos recolectados durante el proceso de investigación, en lugar de partir de una teoría preconcebida.

7.3.3 Resumen técnicas de análisis

Tabla 4 Técnicas de análisis

Instrumento	Técnica de análisis	Descripción
Encuestas cuantitativas	Estadística descriptiva	Resumir el comportamiento general del mercado de reciclaje y las tasas de RCD reciclados.
Datos secundarios	Estimaciones	Realizar estimaciones sobre la viabilidad económica del uso de RCD en distintos proyectos.
Entrevistas a expertos	Análisis del discurso	Identificar temas recurrentes sobre las barreras y oportunidades del reciclaje de materiales en la construcción.

7.3.4 Descripción de los supuestos y parámetros de la estimación

El DANE viene produciendo las estadísticas del sector edificador desde el año 1997, mediante la operación estadística Censo de Edificaciones - CEED cuyo objetivo general es *Determinar el estado de la actividad edificadora para cada trimestre, mediante la indagación del área total construida, el destino y el avance del proceso constructivo, con el fin de establecer su composición, evolución y producción, en los municipios que comprenden las áreas urbanas/metropolitanas de cobertura geográfica.*³ A través de esta operación estadística, mediante una operación de recolección de datos en campo, con barrido censal manzana a manzana, en las 23 áreas urbanas o metropolitanas de influencia que conforman la cobertura geográfica, el DANE registra el inicio de actividades de obra (excavación y cimentación) en los predios en donde van a ser construidas las edificaciones de proyectos tanto residenciales como no residenciales y mixtos.

Tipos de obra y supuestos para la estimación

Tipos de obra: obras iniciadas de destinos residenciales y no residenciales entre el primer trimestre de 2022 y el segundo trimestre de 2024. Se utilizaron obras tanto de proyectos (varias torres, divisiones, interiores, etc) como edificaciones individuales, de todos los tamaños. Para la estimación de residuos de demolición solamente se usaron las obras correspondientes a edificaciones nuevas, no se usaron obras de ampliación de edificaciones existentes. Para la estimación de residuos de construcción se utilizaron tanto obras nuevas como de ampliación.

Tipo de materiales de residuo a estimar: de acuerdo a la información disponible de los ratios y a los principales usos identificados se realizó la estimación para los siguientes materiales:

Tabla 9 Grupos de materiales para la estimación de cantidades generados de RCD.

Grupo de material	Subgrupo de material
Mezclados	RCD mezclados
Pétreo	Arena, grava y otros áridos
	Cerámicos
No pétreo	Hormigón
	Todos

³ Tomado de Metodología General Censo de Edificaciones - CEED. Consultado en <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/censo-de-edificaciones>

Residuos de demolición: se generan todos antes del inicio de las obras que ya se registran como iniciadas en el CEED. Por lo anterior, para la estimación, se supone que todos los residuos son generados en el año de inicio de la obra. Con respecto a la existencia o no de demolición se supone que para proyectos muy grandes la construcción generalmente se da en lotes de desarrollo, es decir, con muy pocas o ninguna edificación existente. Por el contrario, los proyectos de edificaciones pequeñas y medianas, generalmente se dan en lotes ya construidos de barrios consolidados y con edificaciones antiguas que se venden para ser demolidas por los constructores. En términos de las variables disponibles, las obras que se consideraron que sí generan residuos de demolición son las siguientes:

Tabla 10 Obras incluidas para la estimación de generación de residuos de demolición. Fuente: elaboración propia

Obra nueva/ ampliación	Tipología de proyecto	Tamaño	Área lote
Sólo obras de edificaciones nuevas	Edificios aislados	<10.000 m ²	Lote <2.000m ²
	Edificios en 2 o más torres	<5.000 m ²	Lote <2.000m ²

Residuos de construcción: se generan durante el proceso constructivo, mientras la obra esté activa. Se hacen los siguientes supuestos sobre la duración de las obras, según su tamaño en metros cuadrados:

Tabla 11 Supuesto de duración de la construcción de las obras. Fuente: elaboración propia

Área total a construir	Duración supuesta
≤ 1.000	1 año
1.001 - 5.000	2 años
5.000 - 20.000	3 años
> 20.000	4 años

Supuestos sobre las estructuras existentes a demoler

Para poder estimar los residuos generados, dada la metodología de ratios que se va a usar, se requiere primero estimar el área de la edificación existente que requiere ser demolida para construir la edificación nueva. Como el Censo de Edificaciones no registra información sobre la estructura previa existente, es necesario hacer uso de las variables disponibles y los supuestos ya mencionados para poder realizar la estimación. Para la estimación del área a demoler, se utilizan las variables de área del lote y área total a construir, registradas en el CEED.

Sin embargo, se plantea un control sobre la confiabilidad del dato del área del lote (ya que no es la variable principal, objetivo de esta operación estadística, es esperable que haya una proporción de datos no tan confiables) haciendo uso de una variable instrumental, que es muy importante en el proceso de diseño y licenciamiento de las obras de edificaciones: el índice de construcción.⁴

⁴ “Índice de construcción. Es el número máximo de veces que la superficie de un terreno puede convertirse por definición normativa en área construida y, se expresa por el cociente que resulta de dividir el área permitida de construcción por el área total de un predio”. Artículo 1. Decreto 1788/2004 *Por el cual se reglamentan parcialmente las disposiciones referentes a la participación en plusvalía de que trata la Ley 388 de 1997.*

Tabla 12 Criterios para definir variable para estimar el área a demoler y definición de escenarios de estimación. Fuente: elaboración propia.

Criterio para la estimación por área del lote	Límite inferior IC: 1,5 Límite superior IC: 6		
Variable para estimación	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Usando el área del lote Área demolición igual a	1,25 * Área lote	1,00 * Área lote	0,75 * Área lote
Usando el área construida Área demolición igual a	Área construida / 4	Área construida / 5	Área construida / 6

Equivalencia de ratios de generación España vs Colombia

El documento de *Ratios Nacionales – Generación de residuos de construcción y demolición*. (CGATE y CSCAE, 2020), plantea una división de las regiones climáticas de España, para la diferenciación de los ratios de generación de residuos. Las regiones plantea y sus características climáticas son las siguientes:

Tabla 13 Regiones climáticas para obtención de. Fuente: *Ratios Nacionales – Generación de residuos de construcción y demolición*. (CGATE y CSCAE, 2020)

Región	Precipitaciones anuales	Temperatura media	Otra información
Mediterránea litoral	300mm - 800 mm	ND	Inviernos suaves, veranos no demasiado calurosos. Amplitud térmica baja
Semiárida	< 300 mm	> 17 °C	ND
Oceánica	> 1.000 mm	10 °C	Veranos frescos e inviernos suaves. Amplitud térmica baja

Región	Precipitaciones anuales	Temperatura media	Otra información
Continental norte	400mm - 700 mm	Veranos 22 °C Inviernos -3 °C - 6 °C	Veranos frescos y cortos Inviernos largos. Amplitud térmica alta (max 16 °C)
Continental Sur	ND. Se asume similar a Continental Norte	ND. Se asume similar a Continental Norte	Veranos calurosos o muy calurosos. Inviernos fríos o moderados. Amplitud térmica alta

Por lo anterior, es necesario plantear una equivalencia entre las regiones planteadas en este documento y las áreas urbanas y metropolitanas en las que recolecta la información el CEED. Para ello se investigaron los parámetros climatológicos de las ciudades, con el fin de poder hallar una región similar en España.

Tabla 14 Parámetros climatológicos

CIUDAD	Precipitación anual (mm)	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Promedio (°C)	Amplitud térmica (TMax-TMin)	Similar	Criterio similaridad
VALLEDUPAR	970	23	36	28,4	13	Continental sur	Temperatura - amplitud térmica
MONTERIA	1.262	22	34	27,8	12	Continental sur	Temperatura - amplitud térmica
SANTA MARTA	500	22	34	27,3	12	Continental sur	Temperatura - amplitud térmica
COROZAL	1.100	21	35	27,1	14	Continental sur	Temperatura - amplitud térmica
CARTAGENA	1.000	24	33	27,0	9	Continental sur	Temperatura
NEIVA	1.346	22	35	27,0	13	Continental sur	Temperatura

CIUDAD	Precipitación anual (mm)	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Promedio (°C)	Amplitud térmica (TMax-TMin)	Similar	Criterio similitud
SOLEDAD	822	23	32	26,9	9	Continental sur	Temperatura
YOPAL	2.270	21	35	26,9	14	Oceánica	Precipitaciones
FLORENCIA	3.700	21	33	26,1	12	Oceánica	Precipitaciones
CÚCUTA	878	21	33	25,5	12	Continental sur	Temperatura - amplitud térmica
VILLAVICENCIO	4.383	20	32	25,5	12	Oceánica	Precipitaciones
CALI	1.483	19	31	23,9	12	Continental sur	Temperatura - amplitud térmica
PALMIRA	894	18	31	23,5	13	Continental sur	Temperatura - amplitud térmica
IBAGUE	1.691	19	30	23,2	11	Continental sur	Temperatura - amplitud térmica
BUCARAMANGA	1.303	18	28	22,6	10	Continental sur	Temperatura - amplitud térmica
ARMENIA	2.163	16	26	21,8	10	Continental sur	Temperatura - amplitud térmica
MEDELLIN	1.685	17	28	21,5	11	Continental sur	Temperatura - amplitud térmica
PEREIRA	2.301	16	27	21,2	11	Continental sur	Temperatura - amplitud térmica
POPAYAN	2.121	12	25	18,7	13	Continental norte	Temperatura - amplitud térmica
DUITAMA	881	5	21	13,7	16	Continental norte	Temperatura - amplitud térmica
BOGOTÁ	800	8	20	13,1	12	Continental norte	Temperatura - amplitud térmica
TUNJA	645	8	25	12,9	17	Continental norte	Temperatura - amplitud térmica
PASTO	796	9	17	12,8	8	Continental norte	Temperatura

Características de la base de microdatos utilizada

En resumen, las variables utilizadas para la estimación de las cantidades de material de RCD generados por la demolición del sector edificador son las siguientes:

Tabla 15 Variables de la base de datos para estimación de residuos de demolición. Fuente: elaboración propia

Nombre Variable	Descripción
NOM_AU_AM	Nombre área urbana/metropolitana
ID_PROY	Identificador único de la obra
AÑO_PROYECTO	Año de inicio de construcción del proyecto
AREA_PROYECTO	Área total a construir del proyecto. Sólo espacios cubiertos
AREA_LOTE	Área del lote del proyecto
INDICE CONSTRUCCION	Relación entre el AREA PROYECTO y el AREA_LOTE
VARIABLE_ESTIMACION	Indica si se estimó a partir de AREA PROYECTO o el AREA_LOTE
AREA_DEMOLER_1	Área demolida escenario 1
AREA_DEMOLER_2	Área demolida escenario 2
AREA_DEMOLER_3	Área demolida escenario 3
REGION_ESPAÑA	Región equivalente para uso de ratios
Ratios de generación según tipo de material y región equivalente	5 variables para peso y 5 para volumen
Volumen estimado de generación según tipo de material	Variable resultado en m3
Peso estimado de generación según tipo de material	Variable resultado en Ton

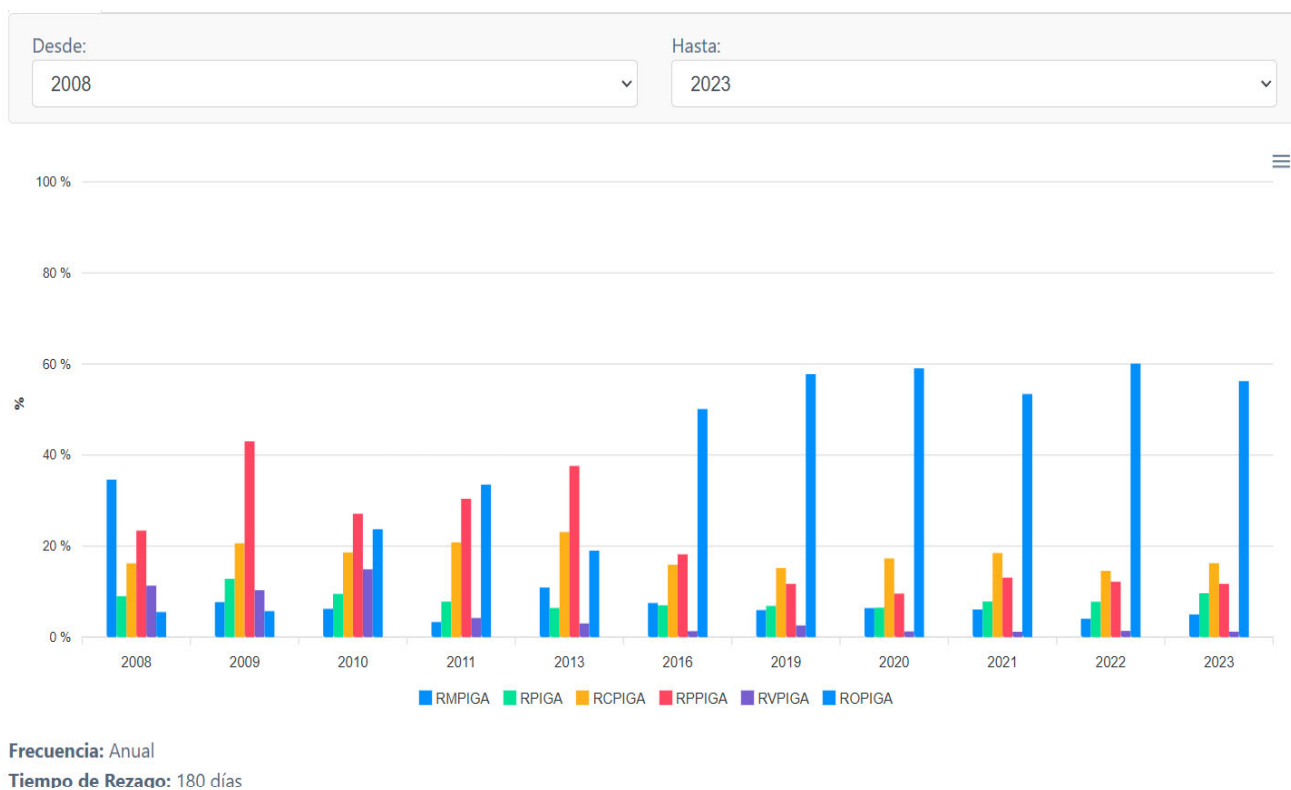
En resumen, las variables utilizadas para la estimación de las cantidades de material de RCD generados por la construcción del sector edificador son las siguientes:

Tabla 16 Variables de la base de datos para estimación de residuos de construcción. Fuente: elaboración propia

Nombre Variable	Descripción
NOM_AU_AM	Nombre área urbana/metropolitana
ID_PROY	Identificador único de la obra
AÑO_PROYECTO	Año de inicio de construcción del proyecto
AREA_PROYECTO	Área total a construir del proyecto. Sólo espacios cubiertos
AREA_LOTE	Área del lote del proyecto
REGION_ESPAÑA	Región equivalente para uso de ratios
DURACION	Indica si se estimó a partir de AREA PROYECTO o el AREA_LOTE
AREA_AÑO_N	Área a construir en el año N de la obra, según distribución homogénea
Ratios de generación según tipo de material y región equivalente	5 para peso y 5 para volumen
AREA_DEMOLER_3	Área demolida escenario 3
REGION_ESPAÑA	Región equivalente para uso de ratios
Volumen estimado de generación según tipo de material	Variable resultado en m3
Peso estimado de generación según tipo de material	Variable resultado en Ton

8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1. Panorama actual de aprovechamiento de RCD en Colombia



Grafica 2 Aprovechamiento de RCD

Crecimiento en el Aprovechamiento:

- La gráfica muestra un incremento variable en el aprovechamiento de RCD en algunos periodos, lo que puede indicar esfuerzos progresivos para mejorar las tasas de reciclaje y reutilización de estos materiales.
- Observa cómo los valores de cada indicador cambian anualmente. Algunos periodos, como 2009 y 2013, muestran picos, que podrían deberse a cambios regulatorios, nuevos

proyectos de infraestructura o estrategias de gestión implementadas por las autoridades locales.

Comparación entre Indicadores:

- Los indicadores presentados (RMPIGA, RPIGA, RCPIGA, RPPIGA, entre otros) tienen diferentes desempeños. Por ejemplo, RMPIGA parece destacar con mayores valores a lo largo del tiempo en comparación con otros indicadores.

Contexto de Crecimiento:

- Es importante considerar el contexto histórico y las políticas públicas adoptadas en esos años. La gestión de residuos en Bogotá ha estado influenciada por normas que buscan disminuir el impacto ambiental de los RCD mediante el fomento del reciclaje y la disposición adecuada.

<https://oab.ambientebogota.gov.co/porcentaje-de-generacion-de-residuos-aprovechables-por-tipo-de-material-en-el-sector-publico-distrital/>

8.1.1. Listado de plantas de valorización de residuos de construcción

De acuerdo con las regulaciones en Bogotá, existen varias instalaciones dedicadas a la valorización de Residuos de Construcción y Demolición (RCD). Estas plantas se encargan de procesar, reciclar y reutilizar materiales provenientes de actividades constructivas, contribuyendo a la economía circular y a la reducción de residuos en la ciudad, a continuación se listan estas plantas.

Tabla 5 Lista de plantas bogota. Fuente ambiente Bogota

SITIOS DE DISPOSICIÓN FINAL APROBADOS POR LA SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE				
N o .	NOMBRE	LOCALIDAD	RADICADO DE APROBACIÓN	Tipo de material autorizado para disponer en el sitio
1	PMRRA Central de Mezclas S.A.	Bogotá Ciudad Bolívar	Radicado SDA: 2017EE111539	En los predios del Registro Minero de Cantera No. 056 de Central de Mezclas S.A. no se desarrollan actividades de extracción, beneficio y transformación de materiales de construcción, no obstante, se ejecutaron actividades de disposición de Residuos de Construcción y Demolición (RCD), dando cumplimiento al Artículo 2 de la Resolución 4626 del 3 de junio de 2010.
N o .	NOMBRE	LOCALIDAD	ENTIDAD QUE AUTORIZA	MATERIALES A DISPONER
1	LAS MANAS -Maquinas Amarillas -	Bogotá Ciudad Bolívar	ANLA	Disposición final de RCD, escombros, excavación, y materiales estériles
2	SAN ANTONIO Ingeomineria Outsourcing	Bogotá Ciudad Bolívar	ANLA	Disposición final de RCD, escombros, excavación, y materiales estériles
3	CEMEX - LA FISCALA	Bogotá Usme	ANLA	Disposición final de RCD, escombros, excavación, y materiales estériles
4	CEMEX - TUNJUELO	Bogotá Ciudad Bolívar	ANLA	Disposición final de RCD, escombros, excavación, y materiales estériles
N o .	NOMBRE	LOCALIDAD	RADICADO DE APROBACIÓN	MATERIALES AUTORIZADOS
1	MAQUINAS AMARILLAS S.A.S.	Temporalmente suspendido.	RADICADO SDA: 2019EE100840	Aprovechamiento y Tratamiento de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD). - Sin operación

2	AMCON COLOMBIA S.A.S.	Bogotá y otros	Informe Técnico 789 de 2020 Rad. 2020IE81051 Radicado SDA 2020EE84482	Tratamiento y aprovechamiento de residuos de origen pétreo (concreto, arcilla, asfalto, piedra, sobrante de mortero), de manera in situ, para transformarlos en (concreto, mortero, relleno, drenante, bases /sub – bases).
3	Ecoplanet Soluciones AR S.A.S.	Bogotá Engativá	RADICADO SDA No. 2019EE301364 - 2020IE46738	Acopio y transformación de Drywall.
4	GRANULADOS RECICLADOS DE COLOMBIA - GRECO S.A.S.	Bogotá y otros	RADICADO SDA No. 2020IE223591	Residuos de construcción y demolición pétreos, arenas, gravas, gravillas, rocas de excavación, mampostería estructural, no estructural, cerámicas, sobrantes de mezclas de cementos, concretos y mezclas asfálticas
5	Cemex Colombia S.A.	Bogotá Ciudad Bolívar	Informe Técnico 0649 de 2023 Rad. SDA 2023IE31895	RCD de origen pétreo proveniente de demolición de estructuras verticales o elementos viales como concreto, mortero, unidades de albañilería de concreto, agregados no tratados, áridos tratados con cementantes hidráulicos, unidades de albañilería de arcilla, ladrillos, tejas y asfalto.
6	Recolectora El Triunfo S.A.S.	Bogotá	Informe Técnico 03038 de 2023 Rad. SDA 2023IE130001	Acopio y transformación de Drywall.
7	RECUPERACIÓN AMBIENTAL S.A.S.	Bogotá Bosa	Informe Técnico 04264 de 2024 Rad. SDA 2024IE184933	Acopio y transformación de plástico y PVC

RECUPERADORES ESPECÍFICOS APROBADOS POR LA SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE
Solo pueden almacenar, acopiar y clasificar el material autorizado, pero no podrán realizar la transformación de los mismos.

Nº	NOMBRE	LOCALIZACIÓN	RADICADO DE APROBACIÓN	MATERIALES AUTORIZADOS
1	RECOLECTORA EL TRIUNFO S.A.S.	Carrera 68 C No. 74 B- 43	RADICADO SDA - 2018ER50154 - 2018EE78872 y proceso 5017986	La empresa Recolectora El Triunfo S.A.S. realiza dentro de sus actividades la recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: Papel- Cartón, Plástico, madera, Metales, Otros como PVC- Drywall- Cable eléctrico.
2	CHATARRERÍA AMBIENTAL FM S.A.S.	Calle 79 No. 69B-35	RADICADO SDA: 2018EE266302-	La empresa Chatarrería Ambiental FM S.A.S., dentro de sus actividades económicas realiza recolección, transporte almacenamiento y comercialización de residuos aprovechables dentro de los que se puede mencionar: Chatarra y otros metales, aluminio, Cartón, PVC, Madera, Drywall.

3	METALES & VARILLAS A.M S.A.S.	Calle 78 No. 69k - 62	Informe Técnico No. 03021 Radicado: 2024IE128962	La empresa Metales y varillas realiza dentro de sus actividades realiza recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: Papel- Cartón, Plástico, madera, Metales, Otros como Drywall-Icopor
4	RECICLAJES MARTHA S.A.S.	Carrera 69 K No. 73 A 87	RADICADO SDA 2019EE56883	Aprobado como Recuperador Especifico de RCD aprovechables: Papel , cartón, plástico, madera y otros (drywall - icopor)
5	RECUPERADORA AMBIENTAL LAS VEGAS	Carrera 69Q No. 78 - 80	Radicación: 2019EE82550	Aprobado como Recuperador Especifico de RCD: Papel- Cartón, Plástico, PVC, Drywall , icopor, Madera y Metales (acero, hierro, cobre, aluminio, zinc, estaño).
6	EXIRECICLABLES MC S.A.S.	Calle 79 No. 68 G - 67	Informe Técnico No. 01282 del 16 de agosto de 2019, del 16 agosto de 2019 mediante Rad. 2019IE187492 COE: 2019EE192359	Tipo de material autorizado para disponer: papel- cartón, plástico, PVC, drywall, poliestireno expandido (icopor), madera, vidrio y metales (acero, hierro, cobre, aluminio, zinc, estaño).
7	SOLUCIONES AMBIENTALES A&J S.A.S	Calle 74 Bis Sur No. 87C - 27	Informe Técnico No. 01797, 28 de octubre del 2019 con Rad. 2019IE253080 Radicado de notificación: 2019EE276297	Recolección, almacenamiento y comercialización de Residuos aprovechables como lo son: papel cartón, plástico, madera, vidrio y metales (acero, hierro, cobre, aluminio, zinc, estaño)
8	Papeles el Norte S.A.S.	Carrera 51 No. 128 - 35	Informe Técnico No. 6280 SDA No. 2023IE260843	Recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: Papel- Cartón, Plástico, Madera, Metales, Otros como Drywall
9	Ecoplanet Soluciones AR SAS	Calle 63C No. 113 - 24	Informe Técnico de Aprobación 2020EI47033 Proceso 4691953	Recolección, acopio de materiales aprovechables Madera, plástico, metálicos y otros: icopor y drywall.
10	BIORECICLAJE CASALLAS S.A.S.	Calle 77 No. 69 K 51	Informe Técnico de Aprobación: No. 00953. Radicado informe: 2020IE104666	Se permite la recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como: Papel, Cartón, Plástico, Madera, Metales, Otros como PVC, Drywall- Icopor
11	ECO Environment de Colombia S.A.S.	Av. carrera 72 No. 39C 09 sur	Informe Técnico: SDA No.2020IE56195 COE: 2020EE56234	Recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: papel, cartón, plástico, vidrio, madera, metales.
12	C&L SOLUCIONES EMPRESARIALES S.A.S.	Calle 12 A No 83 09	Informe Técnico No. 00841 SDA No.2020IE85600 Rad de aprobación: 2020EE87632	Recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: Papel- Cartón, Plástico, madera, Metales, Otros como PVC- Drywall

1 3	GESTIONES AMBIENTALES CASTAÑEDA S.A.S.	Carrera 69P No. 73 - 46	Rad. de aprobación: 2020EE240766 Informe técnico: No. 01682 (2020IE211001)	Material autorizado para recepcionar: papel, plástico, PVC, chatarra y drywall.
1 4	Chatarrería Ambiental La Esmeralda	Carrera 72 A No. 70 - 55 (Bogotá)	Informe Técnico No. 02696 - 2019IE301932 Rad de aprobación: 2019EE303076	Recolección, acopio y comercialización de los residuos de metales (acero, hierro, cobre, aluminio, zinc, estaño) potencialmente aprovechables
1 5	Soluciones Ambientales REMET	calle 11 No. 88D - 96	Informe Técnico No. 04593 Radicado SDA No. 2024IE203014	Recolección, acopio y comercialización de los residuos aprovechables como lo son: plástico – icopor, madera, metales, papel, cartón, drywall y PVC.
1 6	GLOBO METAL F.M S.A.S	Av. calle 24 No. 122 - 45	Informe de aprobación: 2021IE120141 Rad. de Aprobación: 2021EE135851	Tipo de residuos autorizados a recepcionar: Papel, Cartón, Plástico, PVC, Drywall, icopor, Madera y Metales (acero, hierro, cobre, aluminio, zinc, estaño)
1 7	CAR Ingeniería S.A.S.	Av. Carrera 114 No. 72G – 14	Proceso Informe Técnico SDA No. 5154940 Radicado SDA: 2021IE153611	Papel- Cartón, Plástico, Madera, Metales, otros como drywall e icopor (poliestireno expandido)
1 8	Depósito San Vicente 1 S.A.S	Carrera 69K No. 74B - 99	Informe Técnico No. 03591 Radicado SDA No. 2021IE198062	Recolección, acopio temporal y comercialización de residuos aprovechables como: Papel, cartón, plástico, PVC, Drywall, icopor (poliestireno expandido), madera y metales (acero, hierro, cobre, aluminio, zinc, estaño).
1 9	GREEN WORLD J.E. SAS	Carrera 18C No. 58A – 17 sur	Informe Técnico No. 06001 Radicado SDA No. 2023IE247042	Recolección, acopio temporal y comercialización de residuos aprovechables como lo son: madera, plásticos, metales, cartón, papel, PVC y drywall
2 0	Cooperativa de Trabajo Asociado Ecoambiental El Porvenir	Carrera 24 No. 1F - 27	Informe Técnico No. 07588 Radicado SDA No. 2022IE314416	Recolección, acopio temporal y comercialización de residuos aprovechables como lo son: Papel, Cartón, Plástico, PVC, Drywall, Madera y Metales (acero, hierro, cobre, aluminio, zinc, estaño).
2 1	Reciclajes LyV S.A.S	Carrera 116A No. 63B – 37	Informe Técnico No. 04931 Radicado SDA No. 2023IE208516	Recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: madera, plásticos, metales, cartón, papel, vidrio, PVC y drywall.
			Informe Técnico No. 07632	Recolección, acopio temporal y comercialización de residuos aprovechables como lo son: Papel, Cartón, Plástico, PVC, Icopor,

2 2	ASOCIACION NACIONAL DE RECUPERADORES AMBIENTALES - ASONDRA -	Diagonal 16A No. 100 - 27	Radicado SDA 2022IE316407	Madera, Vidrio, Drywall y Metales (acero, hierro, cobre, aluminio, zinc, estaño).
2 3	Reciclaje Nuevo Horizonte Bogotá S.A.S.	Suspendido a partir del 1 de julio de 2024 Carrera 87B No 86 - 04	Informe Técnico No. 06424 Radicado SDA 2022IE278376	Recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: Papel- Cartón, Plástico, Madera, Metales, otros como vidrio, superboard, drywall e icopor.
2 4	Reciclajes Majito S.A.S.	Calle 78A No. 69 - 25	Informe Técnico No. 04863 Radicado SDA 2024IE212850	Recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: madera, plástico, metal, papel- cartón, drywall, vidrio, PVC, PET e icopor.
2 5	Recuperadora Ambiental CBC S.A.S.	Transversal 88A No. 83A - 20	Informe Técnico No. 04668 Radicado SDA No. 2023IE199155	Recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: Papel, Cartón, Plástico, PVC, Drywall, vidrio, icopor (poliestireno expandido), Madera y Metales (acero, hierro, cobre, aluminio, zinc, estaño).
2 6	Chatarrería mi Tolima S A	Av. calle 80 No. 69P - 20	Informe Técnico No. 07114 Radicado SDA No.2023IE284399	Recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: madera, plástico, metal, papel, cartón, chatarra, PVC, icopor y drywall, provenientes de proyectos constructivos.
2 7	Ovidio García Marín	Carrera 13 Bis No. 50B - 24 Sur	Informe Técnico No. 00381 Radicado SDA No.2024IE10964	Recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: Papel, Cartón, Plástico, Madera y Metales (acero, hierro, cobre, aluminio, zinc, estaño)
2 8	Recolectora Ambiental BM S.A.S.	Carrera 69K No. 79 - 02	Informe Técnico No. 00604 Radicado SDA No. 2024IE17196	Recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: Madera, plásticos, metales, cartón, papel, vidrio, icopor, PVC y drywall
2 9	ECO Reciclaje LHJ S.A.S.	Calle 68 No. 70 - 22	Informe Técnico No. 02976 Radicado SDA No. 2024IE128055	Recolección, acopio y comercialización de residuos aprovechables como lo son: plástico - icopor, madera, metales, papel, cartón, drywall, vidrio, PVC y acrílico
3 0	EKO Reciclaje la Nueva Era S.A.S.	Carrera 70 No. 67 B - 27	Informe Técnico No. 02583 Radicado SDA No.2024IE110843	Recolección, acopio temporal y comercialización de residuos aprovechables como lo son: madera, plásticos, metales, cobre, cartón, papel, vidrio, PVC y drywall.

3 1	Soluciones Ambientales S&M S.A.S	Calle 74 Bis sur No. 87C – 27	Informe Técnico No. 03927 Radicado SDA No. 2024IE167721	Recolección, acopio temporal y comercialización de residuos aprovechables como lo son madera, plásticos, metales, cartón, papel, icopor, superboard, vidrio, PVC y drywall.
3 2	Recicladora Ambiental El Desafío S.A.S	Carrera 93 No. 127 B – 26	Informe Técnico No. 03928 Radicado SDA No. 2024IE167728	Recolección, acopio temporal y comercialización de residuos aprovechables como lo son madera, plásticos, metales, cartón, papel, icopor, vidrio, PVC y drywall.
3 3	RECICLAMAS GESTORES AMBIENTALES S.A.S.	Transversal 124 No. 17 F – 88	Informe Técnico No. 03929 Radicado SDA No. 2024IE168045	Recolección, acopio temporal y comercialización de residuos aprovechables como lo son madera, plásticos, metales, cartón, papel, vidrio, Acrílico y drywall.
3 4	RECUPERACIÓN AMBIENTAL S.A.S.	Carrera 81 No. 58L - 22 sur calle 59 sur No. 80 J 46 calle 59 sur No. 80 J – 40	Informe Técnico No. 04263 Radicado SDA No. 2024IE184909	Recolección, acopio temporal y comercialización de residuos aprovechables como lo son plástico – icopor, madera, metales, papel, cartón, drywall, vidrio y PVC

8.2. Identificación de aspectos técnicos y económicos

En este numeral se comentará lo investigado sobre los principales aspectos técnicos y económicos que influyen en un menor uso de los materiales reciclados en la construcción.

8.2.1. Aspectos técnicos

Los equipos utilizados para el reciclaje de residuos de construcción son necesarios para transformar materiales que, de uno u otro modo, terminarían siendo desechados en vertederos, este tipo de recursos son valiosos los cuales se pueden reutilizar en nuevos proyectos, de acuerdo con esto se mencionan los siguientes equipos:

- **Planta trituradora sobre orugas**

También conocida como máquina trituradora sobre oruga y trituradora de piedra caterpillar. Es un dispositivo de trituración altamente eficiente y es autónomo. En cualquier terreno, la trituradora puede alcanzar cualquier posición en el sitio de trabajo. Además, tiene las ventajas de alto rendimiento, alta confiabilidad y hermosa apariencia, de acuerdo con los requerimientos específicos del trabajo a desarrollar se pueden diseñar esta clase de equipos por ejemplo a continuación veremos varias dimensiones de acuerdo a la capacidad.

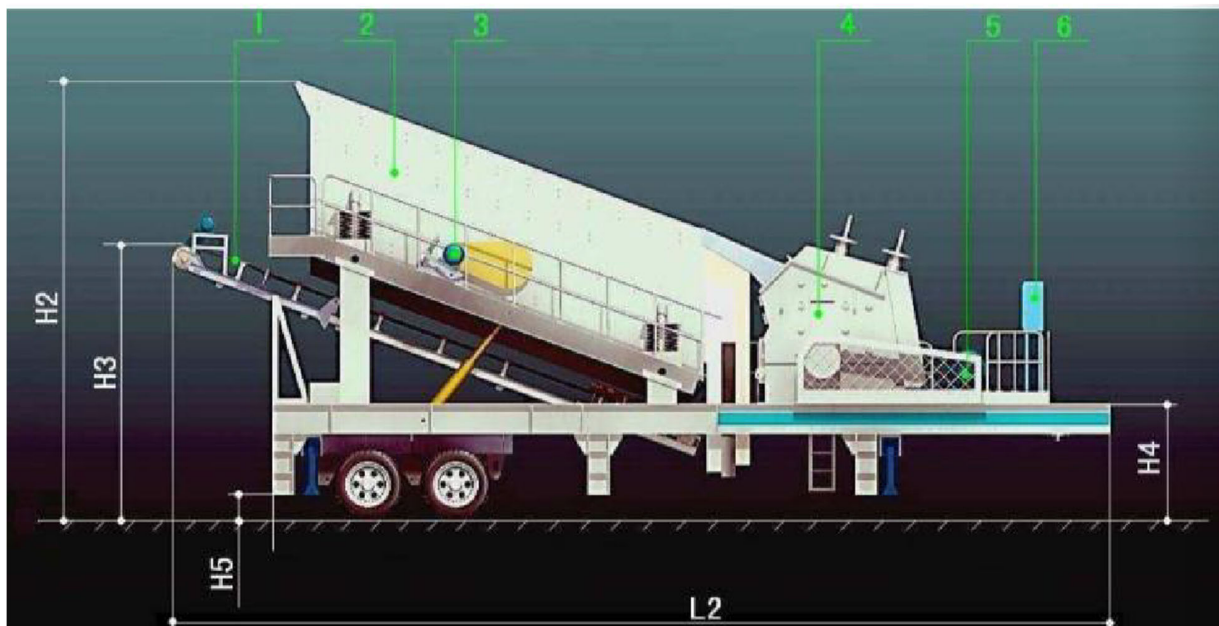


Ilustración 1 Trituradora Fuente : <https://www.yumpu.com/es/document/read/51712173/planta-chancadora-sobre-orugas-pdf>

Especificación y modelo de la unidad principal:

Parámetro	Longitud L1	Anchura B1	Altura H1	Altura Max H2	Anchura Max B2	Altura de la cinta transporte H3	Rueda	Peso (t)
Y3S1548F1010	12500mm	2500mm	4000mm	6000mm	2800mm	4000mm	Doble rueda de cada lado	42
Y3S1848F1210	12500mm	2800mm	4500mm	6500mm	3000mm	4000mm	Doble rueda de cada lado	46
Y3S1860F1214	13500mm	2800mm	4500mm	6500mm	3000mm	4200mm	Triple rueda de cada lado	51
Y3S2160F1315	14000mm	3000mm	4800mm	6500mm	3200mm	4200mm	Triple rueda de cada lado	57
Y3S1848F1210Z	18000mm	2800mm	4500mm	6700mm	3000mm	4000mm	Cuarto rueda de cada lado	55
Y Y3S1860F1214Z	18000mm	3000mm	4500mm	6700mm	3000mm	4200mm	Paratactic quarter- axle	61

Ilustración 2 Especificaciones maquinaria, Fuente <https://www.yumpu.com/es/document/read/51712173/planta-chancadora-sobre-orugas-pdf>

- **Planta de cribado autónoma**

El material filtrado se puede separar exactamente donde se necesita en el sitio. Se puede eliminar la contaminación de gran tamaño y tamaño insuficiente para crear productos acabados utilizables a partir de residuos. Puede ser alimentado por una excavadora o directamente desde un transportador triturador para una planta de cribado de 90 TS estas serían las características:

DIMENSIONES

	Operando	Viajar
• Longitud:	18'-4" (5.58m)	14'-1" (4.29m)
• Anchura:	10'-10" (3.31m)	6'-2" (1.88m)
• Altura:	7'-2" (2.19m)	7'-10" (2.39m)
• Peso:	6,292 libras (2,854kg)	6,292 libras (2,854kg)



Ilustración 3 Planta de cribado autónoma fuente: https://www.smcompact.com/wp-content/uploads/ES_SMI_Compact_Full_Line-2.pdf

- **Planta trituradora de piedra estacionaria**

Las maquinarias de planta trituradora de piedra dependen del tamaño de alimentación de la piedra, el tamaño del producto deseado y el tamaño de la trituradora utilizada. Las siguientes son las máquinas generalmente requeridas.

- Trituradora de mandíbulas, trituradora de impacto, trituradora de cono, alimentador
- vibratorio y pantalla vibrante

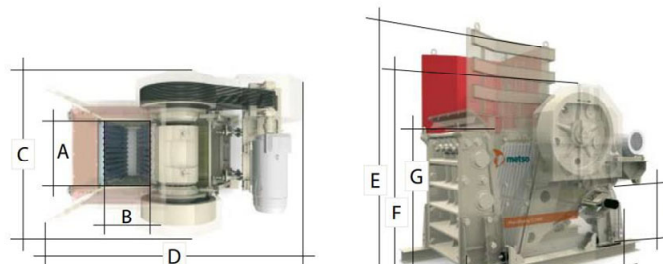


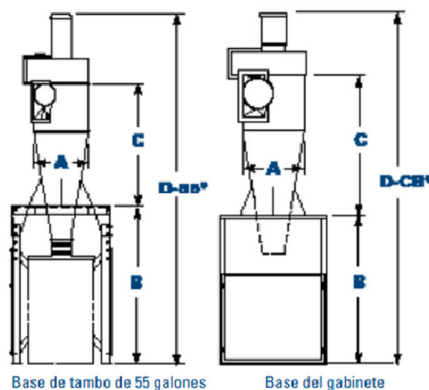
Ilustración 4 Trituradora de mandíbulas fuente: [https://www.matra.co.cr/content/wp-content/uploads/2016/11/mandibulas serie c.pdf](https://www.matra.co.cr/content/wp-content/uploads/2016/11/mandibulas_serie_c.pdf)

Tabla 6 Dimensiones Trituradora de mandíbulas Fuente: matra

		Dimensiones y pesos											
		C80	C100	C96	C106	C116	C3054	C110	C125	C140	C145	C160	C200
A	mm	800	1000	930	1060	1150	1380	1100	1250	1400	1400	1600	2000
B	mm	510	760	580	700	800	760	850	950	1070	1100	1200	1500
C	mm	1526	2420	1755	2030	2400	2640	2385	2800	3010	3110	3700	4040
D	mm	2577	3670	2880	3320	3600	3540	3770	4100	4400	4600	5900	6700
E	mm	1990	2890	1610	2075	2675	2470	2890	3440	3950	4100	4580	4950
F	mm	1750	2490	1460	2005	2730	2470	2750	2980	3140	3410	3750	4465
G	mm	1200	1700	755	1135	1790	1080	1940	2100	2260	2430	2650	2800
H	mm	2100	2965	2500	2630	2885	2950	2820	3470	3755	3855	4280	4870
I	mm	625	775	465	700	1255	690	580	980	1050	1050	1300	1400
Peso de la trituradora básica	kg	7 670	20 060	9 759	14 350	18 600	25 900	25 800	37 970	47 120	54 540	71 330	121 510
Peso de la trituradora en operación	kg	9 520	23 300	11 870	17 050	21 500	30 300	29 500	43 910	54 010	63 190	83 300	137 160

- Colector de polvo ciclónico con motor

DIMENSIONES Y ESPECIFICACIONES



Modelo	Dimensiones									
	A		B		C		D-55*		D-CB*	
	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm
12	12	304.8	55	1397.0	32	812.8	100	2540.0	78	1981.2
16	16	406.4	55	1397.0	36	914.4	108	2743.2	86	2184.4
20-3	20	508.0	55	1397.0	48	1219.2	121	3073.4	114	2895.6
20-5	20	508.0	55	1397.0	48	1219.2	123	3124.2	116	2946.4
24	24	609.6	67	1701.8	55	1397.0	145	3683.0	126	3200.4
30-10	30	762.0	67	1701.8	72	1828.8	162	4114.8	154	3911.6
30-15	30	762.0	67	1701.8	72	1828.8	162	4114.8	154	3911.6
36-20	36	914.4	67	1701.8	85	2159.0	183	4648.2	—	—
36-25	36	914.4	67	1701.8	85	2159.0	186	4724.4	—	—
36-30	36	914.4	67	1701.8	85	2159.0	186	4724.4	—	—
44-40	44	1117.6	—	—	104	2641.6	—	—	—	—
44-50	44	1117.6	—	—	104	2641.6	—	—	—	—

Ilustración 5 Colector de polvo ciclónico con motor fuente: <https://www.donaldson.com/content/dam/donaldson/dust-fume-mist/literature/latin-america/equipment/dust-collectors/cyclone/f118130-spc/Colectores-de-Polvo-Cyclone.pdf>

- Mandíbulas de repuesto, plantillas, accesorios y otras herramientas



Ilustración 6 Planta trituradora de piedra estacionaria fuente: <https://aimixtrituradora.com/planta-trituradora-de-piedra/>

Usos limitados dentro del sector construcción

De acuerdo con lo investigado, el uso de materiales provenientes del aprovechamiento de RCD en Colombia, todavía es muy limitado. Según Perea (2024) las principales aplicaciones de los materiales áridos reciclados son los siguientes:



Grafica 3 Principales usos de los áridos reciclados en Colombia. Fuente Perea (Procemco)

Dentro del mismo ciclo de cuatro conferencias sobre agregados reciclados, de la Cámara Colombiana del Cemento y el Concreto - Procemco, se detallan dos usos principales de materiales obtenidos a partir de aprovechamiento de RCD: bases y subbases granulares para pavimentos y prefabricados de concreto. Ulloa (2024) brinda un contexto sobre los antecedentes en la investigación de aplicaciones de los agregados reciclados y llega a la descripción de su experiencia de trabajo con el Instituto de Desarrollo Urbano IDU, acentuando que luego de una investigación

realizada en la Universidad Javeriana de Bogotá con más de 3.000 ensayos de laboratorio, de los cuales 1174 fueron específicamente dirigidos a agregados reciclados, lograron la actualización de las Especificaciones Técnicas Generales IDU-ET-2011 a su versión 2018. También menciona la expedición de la Norma Técnica *NTC 6422-2021 Ensayo de clasificación de los componentes de los agregados gruesos reciclados* y la realización de otros ensayos que actualmente permite lograr que los productores puedan entregar una ficha técnica de especificaciones con unas propiedades físicas, químicas y mecánicas mínimas.

En el tercer capítulo del ciclo de conferencias mencionado, Ulloa (2024) detalla los cambios en las propiedades físicas y mecánicas del concreto, tanto en su estado fresco, como ya endurecido.

Tabla 7 Impacto en las propiedades físicas y mecánicas del concreto al usar agregados reciclados; Ulloa (Procemco).

Estado	Propiedad	HAR vs. HAN	Factores influyentes
Fresco	Trabajabilidad	↓ 5-20%	Absorción, forma, textura superficial, proceso de fabricación
	Contenido de aire	↑ hasta 7%	Porosidad
Endurecido	Densidad	↓ 4-15%	Porcentaje de sustitución
	Resistencia a Compresión	↓ 5-20% (40%)	Cantidad de agua total Calidad del árido, relación a/c
	Resistencia a Tracción	↓ 5-10% (30%)	Resistencia del H. origen, mortero adherido, relación a/c
	Módulo de Elasticidad	↓ 15-30% (3-80%)	L.A., relación a/c, porcentaje de sustitución

En estado fresco se reduce la trabajabilidad entre el 5% y el 20% y aumenta el contenido de aire hasta en un 7%. En estado endurecido las propiedades de densidad, resistencia a la compresión y

a la tracción y el módulo de elasticidad se ven todas reducidas, debido a la cantidad total de agua, la relación agua-cemento y la calidad del árido. Allí se identifica el porcentaje de sustitución, es decir, la proporción de áridos reciclados frente al total de áridos, como uno de los principales factores que influyen en la disminución de estas propiedades mecánicas del concreto endurecido. Para el uso en concreto estructural, Ulloa (2024) menciona que las reglamentaciones internacionales, han limitado este porcentaje de sustitución alrededor del 30%.

Por otra parte, Rosero (2019) realiza una exploración de las empresas que para ese año ofertaban productos con agregados reciclados y comenta que *“Según la descripción de los productos que actualmente ofrecen los proveedores (GRECO, CICLOMAT y RECICLADOS INDUSTRIALES), se puede establecer que la industria está incursionando en la producción de agregados gruesos reciclados, para su implementación en el uso de concretos no estructurales elaborados a base de residuos de concreto puro y mixto. No obstante, dichos proveedores carecen de especificaciones técnicas para la elaboración de concretos de uso estructural y no estructural reciclados, más allá de las especificaciones dadas por la norma NTC 174.”*

De acuerdo a lo comentado en párrafos anteriores se puede resumir que los usos limitados de uno de los principales materiales que provienen del aprovechamiento de RCD: los agregados reciclados, es uno de los aspectos que limita un uso más extendido. Estas limitaciones se derivan de la pérdida de desempeño en cuanto a sus propiedades físicas y mecánicas, frente a una comparación con agregados de origen natural.

8.2.2. Aspectos económicos

Costos de procesamiento: Uno de los principales obstáculos es el costo asociado a la clasificación y procesamiento de los RCD, lo que puede resultar más costoso que adquirir agregados naturales. Este factor desincentiva a las empresas constructoras, especialmente en áreas donde los costos de disposición de escombros en vertederos no son altos, pese a esto es necesario indicar que a partir del uso de RCD marcan ahorros potenciales en la disposición en vertederos y al reutilizar materiales en nuevas obras. El uso de agregados reciclados en proyectos viales, por ejemplo, disminuye la demanda de materiales vírgenes, lo que puede ser rentable a largo plazo.

Disponibilidad de minas y canteras

Colombia cuenta con una importante reserva de materiales de construcción distribuidos en minas y canteras en varias regiones. Según datos de la Agencia Nacional de Minería (ANM) y la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), estos recursos están estratégicamente localizados para satisfacer las necesidades del sector de la construcción y contribuir al desarrollo de infraestructura.

Principales Zonas de Explotación: Se evidencia una concentración significativa de explotaciones en los departamentos de:

- Cundinamarca: Proveedor clave para Bogotá y municipios cercanos, dada su alta demanda de materiales de construcción.
- Boyacá: Región con recursos variados en minerales, donde se extraen gravas y otros materiales para construcción.
- Valle del Cauca: Enfocado en abastecer a Cali y otras ciudades del suroccidente.

- Antioquia: Importante proveedor de agregados para la zona de Medellín y el noroccidente del país.

La alta disponibilidad de minas y canteras en estas zonas permite la producción continua de agregados como gravas, arena y piedra triturada, esenciales para la infraestructura y la construcción de viviendas.

Precios de Gravas por m³ (Producción Tradicional)

La UPME regula y publica precios de referencia para los minerales no metálicos, incluyendo las gravas. Estos precios sirven para el cálculo de las regalías y ayudan a establecer una base en el mercado. Según la Resolución 130 de 2022 de la UPME, los precios base para la anualidad 2022-2023 para gravas tradicionales pueden variar, dependiendo de la región y los costos asociados a la extracción y transporte.

Precios de Agregados Reciclados: Los agregados reciclados provienen de plantas que procesan residuos de construcción y demolición (RCD). Empresas como Reciclados Industriales ofrecen estos materiales y se especializan en productos reciclados, incluyendo gravas y subbases granulares.

Tabla 8 Comparación precios agregados reciclados vs. Agregados naturales. Fuente propia

Material	Precio agregado reciclado	Precio agregado natural
Subbase granular	\$79.854,12	\$90.000-\$100.000
Base granular	\$85.000-95.000	ND
Arena	\$70.000-80.000	\$28.491,04
Grava	\$75.000-85.000	\$26.786,90

Subbase Granular:

- El precio del agregado reciclado es de aproximadamente 79,854 COP/m³, mientras que el agregado natural tiene un precio que varía entre 90,000 y 100,000 COP/m³.
- Análisis: Los agregados reciclados ofrecen una opción más económica, con una diferencia de hasta 20,000 COP/m³ en comparación con el límite superior del rango para los agregados naturales. Esto muestra que la subbase granular reciclada es una opción competitiva en términos de costos.

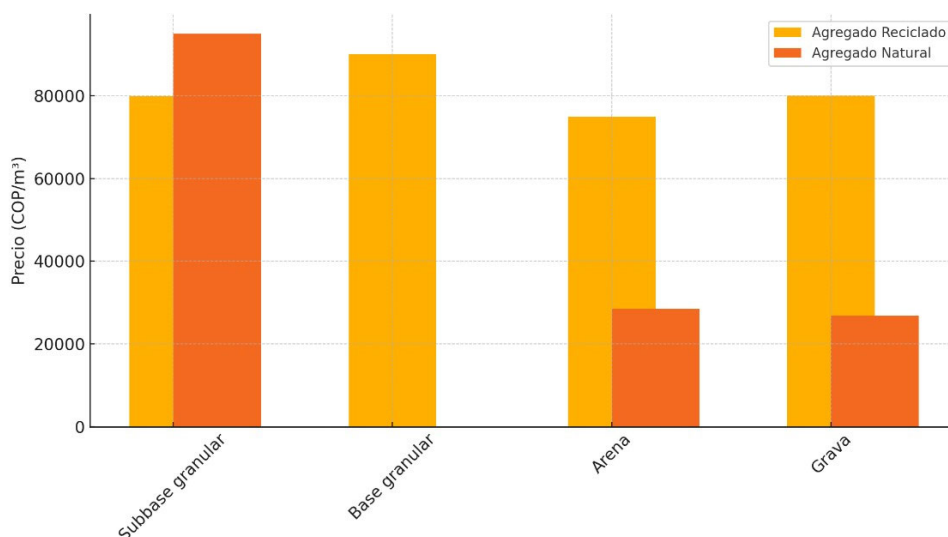
Arena:

- El precio de la arena reciclada se estima entre 70,000 y 80,000 COP/m³, mientras que la arena natural tiene un precio mucho menor, de 28,491 COP/m³.
- Análisis: En este caso, la arena natural es significativamente más económica que la arena reciclada. Esta diferencia considerable puede hacer que la arena natural sea preferida en

proyectos donde el costo es un factor prioritario. La utilización de arena reciclada podría estar justificada en proyectos que buscan maximizar la sostenibilidad o en donde la disponibilidad de arena natural es limitada.

Grava:

- La grava reciclada tiene un precio que varía entre 75,000 y 85,000 COP/m³, mientras que la grava natural tiene un precio de 26,786.90 COP/m³.
- Análisis: Similar al caso de la arena, la grava natural es considerablemente más económica que la reciclada, lo que puede hacerla una opción preferida para proyectos con restricciones de presupuesto.



Grafica 4 Comparación agregados

La gráfica evidencia que los agregados reciclados pueden ser competitivos en algunos materiales, como la subbase granular, donde ofrecen un ahorro frente a los agregados naturales. Sin embargo, en otros materiales, como la arena y la grava, los agregados naturales tienen precios significativamente menores, lo que puede hacerlos más atractivos económicamente. Esta comparación resalta la necesidad de evaluar tanto el costo como los beneficios ambientales de los materiales reciclados para tomar decisiones informadas en proyectos de construcción.

Incentivos fiscales y sostenibilidad: Algunas empresas en Colombia han comenzado a aprovechar los incentivos fiscales y el marco regulatorio para implementar prácticas más sostenibles, lo que también les permite diferenciarse en el mercado por su compromiso con el medio ambiente

8.3. Estimación de generación de RCD por parte del sector edificador

En este numeral se describe el proceso, los resultados y el análisis de los resultados, de la estimación de los residuos generados tanto en la demolición, como en la etapa de construcción debido a la actividad del sector edificador

8.3.1 Resultados de la estimación – Residuos de demolición

La estimación de los residuos por demolición implica un cálculo intermedio (el del área a demoler) que implica una serie de supuestos basados en criterios técnicos, que no cuentan con una información estadística de respaldo. El primer resultado relevante consiste en detallar cómo se repartió la estimación del área a demoler, sea por área de lote o por área total a construir:

Tabla 17 Variable utilizada para la estimación del área a demoler.

Variable estimación	Cantidad obras	% obras
Área lote	12.487	44,2%
Área construida	15.786	55,8%
Total	28.273	100,0%

Un segundo resultado, es el de la propia estimación del área que se requiere demoler, el cuál está determinado por el índice de ocupación que se suponga tenía el lote cuando estaba la edificación anterior, el cuál varía entre 1,25 en el escenario 1, hasta 0,75 en el escenario 3. En el caso de la estimación por área construida, se supone que el área de la edificación oscila entre una cuarta parte del área nueva a construir en el escenario 1 y una sexta parte en el escenario 3. Como es de esperarse, de acuerdo a este planteamiento de los escenarios, el escenario va dar estimaciones más grandes que el escenario 3, ya que supone la existencia de edificaciones anteriores de mayor área construida. El escenario dos se sitúa en el medio de los dos escenarios y por lo tanto, se espera que los resultados estén en ese orden.

A continuación, se muestran los resultados para el total de las obras del CEED utilizadas según su año de inicio, de la estimación de estas las áreas a demoler:

Tabla 18 Resultados de la estimación de las áreas a demoler por año

Año	Área a demoler estimada (m2)		
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
2022	1.983.101	1.586.480	1.239.336
2023	2.275.823	1.820.658	1.419.048
2024	773.837	619.070	478.957

Como es evidente en la tabla, el año 2024 es mucho menor ya que solo se contaba con la información de un semestre, por lo cual no es comparable con los resultados de 2022 y 2023. Se observa que los resultados de 2023 están entre un 14,5% y un 14,8% por encima de los de 2022.

Comparando los resultados de esta área demolida con el área construida iniciada, registrada por el DANE en el cuarto trimestre de 2023 ⁵ (19.545.437 m2 para 2022 y 19.181.244 m2 para 2023) la relación entre el área demolida y la que inició construcción estaría en el orden de entre 6,3% y 10,1% para el 2022 y el 7,4% y el 11,9% para el 2023.

Un tercer resultado, implica ya seleccionar uno de los años para la estimación de los residuos de demolición. Con los resultados de 2023, se realizó la estimación por cada una de las áreas

⁵ Consultado en <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/censo-de-edificaciones/ceed-historicos>

urbanas/metropolitanas y para los tipos de materiales mencionados anteriormente. Los resultados totales por volumen y por peso, para los tres escenarios fueron los siguientes:

Tabla 19 Resultados totales por volumen y peso de los residuos generados por demolición

Material	Volumen (m3)			Peso (ton)		
	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
No pétreos	422.166	337.733	263.163	371.332	297.065	231.526
Hormigón	230.129	184.103	143.517	282.474	225.979	176.150
Cerámicos	1.167.238	933.790	727.796	1.275.643	1.020.515	795.401
RCD mezclados	97.948	78.358	61.086	100.328	80.263	62.568
Arenas gravas	107.003	85.602	66.737	128.576	102.861	80.192

Como se puede leer en la tabla los residuos de tipo cerámicos (Ladrillos, azulejos y otros cerámicos) son los que más participan tanto en volumen (57,7%) como en peso (59,1%). Le siguen los residuos no pétreos (madera, metales, bituminosos, plástico, vidrios, etc) y el hormigón que participa el 11,4% en volumen y el 13,1% en peso.

Un cuarto resultado que sirve mejor a los propósitos específicos de este trabajo, es la estimación desagregada a nivel territorial, en este caso, para las áreas urbanas y metropolitanas de cobertura del CEED. A continuación, se muestran los resultados para el escenario 2, que es el intermedio:

Tabla 20 Resultados por área urbana/metropolitana de la estimación de residuos de la demolición. Escenario intermedio. Fuente: elaboración propia.

Área urbana/ metropolitana	No pétreos Volumen (m3)	Hormigón Volumen (m3)	Cerámicos Volumen (m3)	RCD mezclados Volumen (m3)	Arenas gravas Volumen (m3)
Armenia AU	2.311	1.531	6.889	645	0
Barranquilla AM	14.484	9.593	43.170	4.044	0
Bogotá	62.892	33.440	180.391	14.726	38.042
Bucaramanga AM	12.802	8.479	38.155	3.574	0
Cali AU	29.316	19.417	87.377	8.186	0
Cartagena AU	7.164	4.745	21.351	2.000	0
Cúcuta AM	9.341	6.187	27.842	2.608	0
Cundinamarca	35.220	18.727	101.022	8.247	21.304
Florencia AU	7.855	946	11.926	264	0
Ibagué AU	3.078	2.039	9.175	860	0
Manizales AU	6.722	3.574	19.280	1.574	4.066
Medellín y Oriente Antioqueño AM	45.590	30.196	135.882	12.730	0
Montería AU	7.503	4.970	22.364	2.095	0
Neiva AU	7.820	5.179	23.306	2.183	0
Pasto AU	8.682	4.616	24.901	2.033	5.251
Pereira AM	5.815	3.851	17.330	1.624	0
Popayán AU	7.595	4.038	21.784	1.778	4.594
Santa Marta AU	4.294	2.844	12.798	1.199	0
Sincelejo AU	3.952	2.618	11.780	1.104	0

Área urbana/ metropolitana	No pétreos Volumen (m3)	Hormigón Volumen (m3)	Cerámicos Volumen (m3)	RCD mezclados Volumen (m3)	Arenas gravas Volumen (m3)
Tunja AU	20.409	10.852	58.540	4.779	12.345
Valledupar AU	3.800	2.517	11.327	1.061	0
Villavicencio AU	19.073	2.297	28.956	641	0
Yopal AU	12.016	1.447	18.242	404	0
Total general	337.733	184.103	933.790	78.358	85.602

Como era previsible, las ciudades de mayor actividad en la construcción de edificaciones son las mayores generadoras de RCD:

Bogotá participa con el 18,2% y el 18,8% en cerámicos y hormigón,

Medellín y Oriente AM con el 16,4% y el 16,2%

Cundinamarca con el 10,2% y el 10,5%, respectivamente.

8.3.2 Resultados de la estimación – Residuos de construcción

En el caso de la estimación de los residuos de construcción no se plantearon escenarios diferentes ni aproximaciones por distintas variables. Los resultados totales para los tipos de materiales y la cobertura geográfica del CEED se muestra a continuación:

Tabla 21 Resultados de la estimación de residuos de construcción.

Material	Volumen (m3)	Peso (ton)
No pétreos	507.148	465.909
Hormigón	259.887	403.908
Cerámicos	1.022.504	1.397.933
RCD mezclados	124.327	185.599
Arenas gravas	113.487	178.327

Comparando los resultados con la estimación de los residuos por demolición del escenario 2, se sitúan por encima: No pétreos y RCD mezclados en más del 50%, hormigón alrededor del 40% y cerámicos un 11%. Era esperable también, que la actividad de la demolición fuera más intensiva (con relación a la unidad de referencia de área construida) en la generación de residuos que la de la construcción, ya que, en la construcción la generación se deriva principalmente de los desperdicios de material (por corte, lotes defectuosos, errores humanos, entre otros) en cambio en la demolición, casi todo el material se convierte en residuo, por la naturaleza de la actividad.

A continuación, se muestran los resultados por área urbana/metropolitana de la estimación de generación de residuos por construcción del sector edificador:

Tabla 22 Resultados de la estimación de residuos de construcción por área urbana/metropolitana

Área urbana/ metropolitana	No pétreos Volumen (m3)	Hormigón Volumen (m3)	Cerámicos Volumen (m3)	RCD mezclados Volumen (m3)	Arenas gravas Volumen (m3)
Armenia AU	5.546	2.157	11.709	1.849	1.232
Barranquilla AM	31.322	12.181	66.125	10.441	6.960
Bogotá	124.923	81.981	261.558	23.423	31.231
Bucaramanga AM	15.756	6.127	33.262	5.252	3.501
Cali AU	40.308	15.675	85.095	13.436	8.957
Cartagena AU	14.672	5.706	30.974	4.891	3.260
Cúcuta AM	7.083	2.754	14.952	2.361	1.574
Cundinamarca	80.480	52.815	168.506	15.090	20.120
Florencia AU	4.656	1.187	3.104	274	91
Ibagué AU	10.541	4.099	22.253	3.514	2.342
Manizales AU	10.164	6.670	21.281	1.906	2.541
Medellín y Oriente Antioqueño AM	70.518	27.424	148.872	23.506	15.671
Montería AU	3.414	1.328	7.207	1.138	759
Neiva AU	6.103	2.373	12.884	2.034	1.356
Pasto AU	7.274	4.773	15.229	1.364	1.818
Pereira AM	9.279	3.609	19.589	3.093	2.062
Popayán AU	9.165	6.014	19.188	1.718	2.291
Santa Marta AU	6.344	2.467	13.392	2.115	1.410
Sincelejo AU	1.985	772	4.190	662	441

Área urbana/ metropolitana	No pétreos Volumen (m3)	Hormigón Volumen (m3)	Cerámicos Volumen (m3)	RCD mezclados Volumen (m3)	Arenas gravas Volumen (m3)
Tunja AU	17.568	11.529	36.784	3.294	4.392
Valledupar AU	4.374	1.701	9.234	1.458	972
Villavicencio AU	18.156	4.628	12.104	1.068	356
Yopal AU	7.517	1.916	5.011	442	147
Total general	507.148	259.887	1.022.504	124.327	113.487

De igual manera, las ciudades de mayor actividad en la construcción de edificaciones son las mayores generadoras de RCD: Bogotá participa con el 25,6% y el 31,5% en cerámicos y hormigón, Cundinamarca con el 16,5% y el 20,3%, y Medellín y Oriente AM con el 14,6% y el 10,6%, respectivamente. Aquí se pueden resaltar dos diferencias frente a los resultados de la estimación de residuos de demolición: Bogotá incrementa su participación y Cundinamarca desplaza del segundo lugar a Medellín. Lo primero se puede explicar por el aumento en la escala de los proyectos que se está dando en los últimos años en la ciudad de Bogotá y lo segundo por un el incremento de actividad constructiva de Cundinamarca entre 2022 y 2023. Según el Censo de Edificaciones en sus resultados del IV trimestre de 2023, el área iniciada en Cundinamarca cerraba el año con un incremento de 4,1%, mientras que en Medellín la reducción fue de 11,9%.

Comparación estimaciones vs reporte de cifras en Bogotá

Una validación de la estimación se podría hacer directamente contra los datos reportados por la Secretaría de Ambiente en su Observatorio ambiental. Según esta entidad, en 2023 se dispusieron en sitios adecuados 11.504.152 m³ de RCD ⁶ . Igualmente, la entidad reportó para 2023, que se aprovecharon 3.912.491 m³ de RCD ⁷ . Sumando lo reportado en las tablas anteriores, para Bogotá se estimó un total de 852.607 m³ de residuos generados por la demolición y construcción del sector edificador, en 2023. La explicación de la abismal diferencia puede venir de diferentes frentes: 1) La estimación del presente trabajo sólo corresponde al sector edificador, faltando las obras civiles y las actividades especializadas de la construcción (remodelaciones, instalaciones de redes, acabados, etc); 2) Los datos publicados por la Secretaría de Ambiente corresponden a lo reportado por los generadores vía aplicativo web, lo que puede tener un sesgo importante, ya que los vigilados tenderán a declarar a la autoridad que cumplen con la normatividad. 3) Las verificaciones en sitio son esporádicas y no afirman en la página donde están los datos, que lleven a ajustes o correcciones en los mismos.

8.4. Estimación de la demanda de usos principales de RCD

En este numeral se muestra la estimación de dos de los usos principales investigados. Como se identificó previamente

⁶ <https://oab.ambientebogota.gov.co/numero-de-escombros-o-residuos-de-construccion-y-demolicion-controlados-dispuestos-adecuadamente/#info>

⁷ <https://oab.ambientebogota.gov.co/residuos-de-construccion-y-demolicion-aprovechados-en-el-distrito-capital/>

8.4.1. Bases y subbases granulares

Descripción de los supuestos y parámetros de la estimación

El DANE viene produciendo desde el 2021 el Indicador de Producción de Obras Civiles, cuyo objetivo general es “determinar la evolución trimestral de la producción de obras civiles, a través del comportamiento del avance en la obra, reportado en los contratos de obra a nivel nacional”⁸. A través de esta operación estadística los contratistas de obra seleccionados en la muestra de proyectos de obra civil, reportan las cantidades y los avances trimestrales a nivel de actividad constructiva.

Tipos de obra y actividades

Para efectuar esta estimación de las cantidades en metros cúbicos, de estas actividades, se solicitó al DANE el procesamiento de la base de microdatos de proyectos de las tipologías de obras de vías urbanas, vías interurbanas y caminos vecinales. Se tomaron los datos de obras adjudicadas o iniciadas, cuyo capítulo de afirmados, subbases y bases granulares estuviera iniciado o sin iniciar. A continuación, se muestra la ponderación del costo directo de las actividades dentro del costo directo total de la obra:

⁸ Tomado de Metodología General Indicador De Producción De Obras Civiles -IPOC. Consultado en <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion/indicador-de-produccion-de-obras-civiles- ipoc>

Tabla 23 Fuente: elaboración propia con base en IPOC

OBRA	ACTIVIDAD	PONDERACION
CAMINOS VECINALES	Afirmado	10
	Base granular	7,7
	Subbase granular	8,8
VÍAS INTERURBANAS	Afirmado	5,44
	Base granular	7
	Subbase granular	7
VÍAS URBANAS	Afirmado	7,22
	Base granular	4,9
	Rellenos	8,9
	Subbase granular	4,4

Imputación de datos de cantidades no reportadas por los contratistas

Para realizar la imputación de los datos de cantidades de material no reportada se utilizó el presupuesto para la actividad, estimado como la multiplicación del presupuesto total de la obra y el ponderador de la actividad. Los precios fueron consultados en una página web que genera precios para presupuestos de obra y se obtuvieron los siguientes:

Tabla 24 Fuente: Generador de Precios. Espacios urbanos. Colombia.

Datos	Precio (COP)
Grava 20/30 mm	85.336,53

Grava de cantera de piedra caliza, Ø40/70 mm	124.159,63
Grava de cantera de piedra granítica, Ø40/70 mm	141.134,71
Zahorra natural caliza	79.854,12
Zahorra natural granítica	87.147,00
Zahorra artificial caliza	80.976,09
Zahorra artificial granítica	83.781,05
Parámetros utilizados	Precio (COP)
Zahorra + grava	83.419
Cantera	132.647
Ponderado (56% Cantera; 44% arrastre)	105.079

El porcentaje de datos de cantidad imputados fue del 21,94%, de un total de 1.153 registros que conforman la base de microdatos utilizada

Parámetro de retraso de las obras (simulación)

Se consideró para la estimación también la variable de retraso que sabemos que suele suceder en las obras civiles. Para considerar este parámetro se tomó un estudio (Cobo, 2017) que calculó la distribución de los proyectos según su grado de retraso, de la siguiente manera:

Tabla 25 Tomado de Cobo (2017)

Retraso	Descripción	No. Proyectos	Frecuencia
ALTO	Desviación en tiempo mayor a 80%	62	10,1%
BAJO	Desviación en tiempo entre 30% y 80%	426	69,4%
MEDIO	Desviación en tiempo menor a 30%	126	20,5%

Este parámetro de retraso se tomó para la simulación de una asignación aleatoria del nivel de retraso para los proyectos.

Características de la base de microdatos utilizada

En resumen, las variables utilizadas para la estimación de las cantidades de material de rellenos, afirmados, subbases y bases granulares, son las siguientes:

Tabla 26 base de microdatos utilizada

Nombre Variable	Descripción	Valores
DEPARTAMENTO N	Departamentos en los que se ubica la obra	N<=4
PDEP N	Participación de los Departamentos en el valor de la obra	0 - 100
CODIGO OBRA PROYECTO	Identificador único de la obra	
FECHA_INICIO_OBRA	Fecha programada de inicio de la obra	Años 2012 - 2024
FECHA_FIN_OBRA	Fecha programada de finalización de la obra	
AÑO INICIO	Año programado de inicio de la obra	

Nombre Variable	Descripción	Valores
AÑO FIN	Año programado de finalización de la obra	
DURACION PROGRAMADA	Diferencia entre el año de fin y el año de inicio	Obras de menos de 1 año, se redondean a 1 año
RETRASO	Variable simulada del retraso de la obra, con base en parámetros de Cobo (2017)	ALTO: 10,1% MEDIO: 20,5% BAJO: 69,4%
DURACION SIMULADA	Variable simulada de la duración de la obra	
OBRA	Tipo de obra analizada	Camino vecinal Vía Urbana Vía Interurbana
ACTIVIDAD	Según descrito en tabla anterior	Afirmado Base granular Subbase granular Rellenos
PONDERACION	Peso en costo directo de la actividad sobre el valor presupuestado de la obra. Parámetro suministrado por el IPOC	Según tabla XX
TOTAL_EJECUTAR	Cantidad a ejecutar de la actividad	
VALOR PRESUPUESTO SUBOBRA CORRIENTES	Valor total presupuestado de la obra	
PRESUPUESTO ACTIVIDAD ESTIMADO	Valor total presupuestado de la obra multiplicado por el ponderador de la actividad	
PRECIO PROMEDIO	Precio del material	
CANTIDAD ESTIMADA	Variable a imputar cuando no se tiene la de TOTAL_EJECUTAR	Presupuesto estimado de la actividad dividido por el precio

Nombre Variable	Descripción	Valores
CANTIDAD UTILIZAR	Variable resultado. Cantidad estimada o reportada del material de la actividad, para toda la obra	TOTAL EJECUTAR si está disponible. si no CANTIDAD ESTIMADA
CANTIDAD ANUALIZADA	Cantidad a utilizar en la obra dividida por la duración simulada.	CANTIDAD UTILIZAR dividido por DURACION ESTIMADA
CANT_ANUAL DPTO1	Cantidad distribuida a Depto 1 con base en su participación	CANTIDAD ANUALIZADA multiplicada por PDEP 1
CANT_ANUAL DPTO2	Cantidad distribuida a Depto 2 con base en su participación	CANTIDAD ANUALIZADA multiplicada por PDEP 2
CANT_ANUAL DPTO3	Cantidad distribuida a Depto 3 con base en su participación	CANTIDAD ANUALIZADA multiplicada por PDEP 3
CANT_ANUAL DPTO4	Cantidad distribuida a Depto 4 con base en su participación	CANTIDAD ANUALIZADA multiplicada por PDEP 4
CANT_ANUAL DPTO5	Cantidad distribuida a Depto 5 con base en su participación	CANTIDAD ANUALIZADA multiplicada por PDEP 5

Resultados de la estimación

Se realizaron un total de 32 simulaciones de los retrasos de las obras con base en los parámetros mencionados (Cobo, 2017), con el fin de poder obtener una estimación más ajustada a la realidad de la duración de las obras, y por lo tanto involucrar ese aspecto en la anualización de las cantidades totales de material registrado en base de datos o imputado a partir del precio.

En cuanto al parámetro de distribución de los retrasos, luego de las 32 simulaciones, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 27 Distribución de los parámetros de retraso luego de la simulación. Fuente: elaboración propia

	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar
ALTO	7,9%	13,1%	10,3%	1,2%
BAJO	56,7%	73,9%	68,5%	3,1%
MEDIO	16,5%	33,0%	21,2%	3,0%

Comparados con los valores base de los parámetros, las diferencias están por debajo del 1%, por lo cual es bueno, dado el bajo número de simulaciones. Es de esperarse que con mayor número de simulaciones, los valores deberían converger aún más.

Finalmente, la estimación del total de metros cúbicos de material de rellenos, afirmados, subbases y bases granulares, desagregado por departamento fue el siguiente:

Tabla 28 Datos de metros cúbicos de material de rellenos, afirmados, subbases y bases granulares, desagregado Fuente: elaboración propia con datos IPOC

Departamento	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar
AMAZONAS	25.312	44.021	39.230	5.834
ANTIOQUIA	659.606	855.603	784.204	49.779
ARAUCA	61.271	89.144	78.719	8.242
ATLÁNTICO	120.971	145.967	132.231	6.666
BOGOTÁ, D.C.	401.498	573.254	513.568	47.934
BOLÍVAR	268.607	345.757	316.593	18.066
BOYACÁ	402.694	579.466	531.557	49.246
CALDAS	59.311	76.894	71.040	4.090

Departamento	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar
CAQUETÁ	49.183	80.266	72.798	9.151
CASANARE	273.303	337.503	309.913	18.811
CAUCA	282.537	424.603	392.510	42.633
CESAR	429.093	642.316	578.438	65.568
CHOCÓ	21.237	28.496	25.970	2.391
CÓRDOBA	477.020	686.333	625.985	62.067
CUNDINAMARCA	187.951	268.618	241.877	22.156
GUAVIARE	19.140	33.287	31.771	3.689
HUILA	365.263	553.668	496.309	60.488
LA GUAJIRA	165.709	212.704	189.697	13.979
MAGDALENA	129.584	171.672	155.308	11.492
META	351.137	466.683	427.783	24.551
NARIÑO	66.405	83.221	76.921	3.916
NORTE DE SANTANDER	229.433	281.417	256.951	15.309
PUTUMAYO	239.672	397.216	352.917	53.630
QUINDIO	37.302	55.511	50.660	5.517
RISARALDA	27.823	41.229	37.399	3.527
SANTANDER	301.889	423.912	389.309	38.072
SUCRE	188.153	262.411	239.429	18.539
TOLIMA	149.236	231.921	205.772	25.299
VALLE DEL CAUCA	161.987	216.127	197.007	14.737

Departamento	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar
VAUPÉS	2.093	3.640	3.514	408
VICHADA	28.015	48.721	44.053	8.408
TOTAL NACIONAL	7.596.180	8.190.430	7.869.432	166.003

En cuanto al orden de magnitud de la estimación, parece bastante razonable si se le compara con el último dato reportado en los volúmenes de explotación de minerales para materiales de construcción por parte de la UPME, para los años de entre 2020 y 2022. En cuanto a gravas reportó entre 20,10 y 22,86 millones de metros cúbicos al año, y en cuanto a recebo reportó entre 6,7 y 8,1 millones de metros cúbicos⁹. Lo anterior, teniendo en cuenta que sólo se tuvieron en cuenta las tipologías de obra mencionadas y que no se está considerando la demanda del sector edificador.

Estimación de subbase granular

Para las subbases granulares se obtuvieron los siguientes resultados de la estimación:

Tabla 29 Resultado estimación demanda anual de metros cúbicos de subbase granular. Fuente: elaboración propia

Departamento	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar
AMAZONAS	10.082	15.338	14.141	1.707
ANTIOQUIA	256.852	328.880	301.978	16.383

⁹ Volúmenes de explotación de minerales asociados a pagos de regalías – materiales de construcción. Consultado en <https://www1.upme.gov.co/simco/Cifras-Sectoriales/Paginas/materialesdeconstruccion.aspx>

Departamento	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar
ARAUCA	28.827	37.767	34.125	2.736
ATLÁNTICO	46.090	56.087	51.742	2.536
BOGOTÁ, D.C.	78.473	110.915	101.125	8.504
BOLÍVAR	95.216	118.357	107.351	6.075
BOYACÁ	114.282	148.860	137.807	9.899
CALDAS	32.941	43.953	39.887	2.857
CAQUETÁ	12.702	18.111	16.583	1.805
CASANARE	88.866	111.639	103.381	5.470
CAUCA	89.513	124.879	113.921	10.665
CESAR	159.244	251.406	231.870	26.013
CHOCÓ	6.552	10.183	9.072	1.072
CÓRDOBA	172.874	249.610	228.453	23.043
CUNDINAMARCA	71.598	93.147	86.031	5.693
GUAVIARE	14.194	19.130	17.896	2.172
HUILA	160.564	238.526	213.479	27.870
LA GUAJIRA	77.053	95.823	87.772	5.519
MAGDALENA	58.867	73.932	67.992	3.936
META	125.869	152.546	142.216	7.979
NARIÑO	22.868	29.865	26.766	2.160
NORTE DE SANTANDER	75.876	99.947	91.555	6.170

Departamento	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar
PUTUMAYO	111.912	194.629	173.474	29.261
QUINDIO	13.713	20.605	18.714	1.908
RISARALDA	14.430	20.487	18.797	1.614
SANTANDER	112.083	174.053	162.056	16.958
SUCRE	68.946	94.712	85.100	7.665
TOLIMA	49.863	77.685	69.743	9.569
VALLE DEL CAUCA	45.053	60.557	55.099	3.901
VAUPÉS	950	1.651	1.470	266
VICHADA	0	0	0	0
TOTAL NACIONAL	2.692.857	2.934.765	2.809.598	71.637

Estimación de base granular

Para las bases granulares se obtuvieron los siguientes resultados de la estimación:

Tabla 30 Resultado estimación demanda anual de metros cúbicos de base granular. Fuente: elaboración propia

Departamento	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar
AMAZONAS	644	1.119	1.023	148
ANTIOQUIA	246.450	311.465	284.298	16.035
ARAUCA	18.580	24.539	22.122	1.881
ATLÁNTICO	17.568	23.707	21.696	1.514

Departamento	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar
BOGOTÁ, D.C.	78.506	114.216	103.837	9.385
BOLÍVAR	91.201	119.420	107.156	6.432
BOYACÁ	155.316	226.518	211.022	19.985
CALDAS	17.668	23.209	20.997	1.565
CAQUETÁ	15.424	21.351	19.492	1.848
CASANARE	99.558	133.245	120.795	10.165
CAUCA	53.145	83.536	77.390	8.887
CESAR	104.874	168.554	154.337	16.969
CHOCÓ	3.506	5.858	5.266	863
CÓRDOBA	129.459	199.270	181.143	22.841
CUNDINAMARCA	69.345	90.309	83.539	5.467
GUAVIARE	6.600	8.896	8.322	1.010
HUILA	150.932	229.744	205.451	28.057
LA GUAJIRA	33.535	45.903	42.480	3.412
MAGDALENA	29.504	42.284	37.273	4.165
META	167.497	206.801	187.359	11.111
NARIÑO	20.297	26.944	24.348	1.688
NORTE DE SANTANDER	57.286	76.111	70.083	4.701
PUTUMAYO	111.529	192.786	171.816	29.142
QUINDIO	9.085	14.226	12.928	1.392

Departamento	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Estándar
RISARALDA	4.906	7.427	6.580	703
SANTANDER	111.640	174.223	162.244	16.948
SUCRE	30.338	45.409	40.769	4.523
TOLIMA	50.416	78.718	70.718	9.720
VALLE DEL CAUCA	39.402	55.692	50.687	4.277
VAUPÉS	977	1.699	1.513	274
VICHADA	23.748	41.301	37.775	6.448
TOTAL NACIONAL	2.417.376	2.686.709	2.544.459	69.642

Comparación con la generación de residuos (oferta estimada)

Dado que la normativa colombiana a nivel nacional aún no cuenta con una regulación específica para el uso de los RCD en la construcción, se toma como referencia las **especificaciones técnicas del IDU (Instituto de Desarrollo Urbano) de 2011**, la cual establece los requisitos técnicos para el uso de **agregados reciclados** provenientes de **Residuos de Construcción y Demolición (RCD)** en la construcción de **bases y subbases para vías vehiculares**. El objetivo de esta normativa es promover la reutilización de materiales reciclados, reduciendo el impacto ambiental y optimizando el uso de los recursos en la infraestructura vial, esta normativa permite el uso de RCD como componente de los agregados, siempre que cumpla con ciertos requisitos técnicos tales como:

Calidad: Los agregados reciclados deben cumplir con características específicas, como la resistencia y durabilidad adecuadas para soportar las cargas vehiculares y las condiciones ambientales. Por lo tanto, estos materiales deben ser sometidos a pruebas de granulometría, resistencia a la compresión, durabilidad y contenido de materiales orgánicos.

Proceso de Selección y Preparación de los Agregados: Los RCD deben ser clasificados, seleccionados, triturados y procesados adecuadamente para garantizar que el material reciclado sea homogéneo, libre de contaminantes y adecuado para su uso en obras.

Proporciones y Mezcla: La especificación establece las proporciones mínimas y máximas de agregados reciclados permitidos en la mezcla de base o subbase. Estas proporciones dependen del tipo de RCD utilizado y de los resultados de las pruebas de calidad.

Control de Calidad: Se requiere un control de calidad continuo durante la fabricación y colocación de los materiales reciclados, con pruebas de laboratorio periódicas para asegurar que el material cumpla con las normas de resistencia y estabilidad necesarias.

De acuerdo a las normas IDU 2011 se debe realizar una evaluación de la composición del material reciclado grueso, basada en el ensayo de composición UNE-EN 933-11, y la absorción según la NTC 176 y NTC 237 (INV E 223-13 e INV E 222-13) para el agregado grueso y fino, ya que éstos valores son considerados como un indicio de calidad del material reciclado, por lo que deben ser reportados en su ficha técnica. IDU- 511-18

Los agregados reciclados utilizados en esta Especificación son de carácter mixto, es decir corresponden a una mezcla de materiales como concreto, mortero, cerámicos, materiales

asfálticos, y en menor cantidad vidrio, material flotante y otros. Tabla 511.1, se describen los componentes de los agregados gruesos y se presenta su nomenclatura (UNE-EN 933-11). IDU-511-18

Tabla 31 Componentes de los agregados gruesos reciclados

Tabla 511.1

Componentes de los agregados gruesos reciclados	
COMPONENTE	DESCRIPCION
Rc	Concreto, productos de concreto, mortero y unidades de mampostería de concreto
Ru	Agregados no tratados, roca natural (1), áridos tratados con cementantes hidráulicos
Rb	Unidades de mampostería de arcilla (ladrillos, tejas, materiales cerámicos), unidades de mampostería silicato cálcico
Ra	Material bituminoso
Rg	Vidrio

Tabla 32 Componentes de los agregados reciclados AR

Tabla 511.2

Contenidos de los componentes de los agregados reciclados AR (fracción gruesa) para Base y Subbase Granular		
Componente	Contenido (% en masa)	
	AR_BG	AR_SBG
Rc+ Ru	> 65	> 50
Rb	< 35	< 50
Ra (Nota 1)	< 5	< 5
Rg	< 1	< 1
X (Nota 2)	< 1	< 1

FL (Nota 2)	1cm ³ /kg	2cm ³ /kg
-------------	----------------------	----------------------

- (1) El objetivo es que el agregado proveniente de pavimento asfáltico reciclado se utilice en mezclas de RAP.
- (2) Cuando estos límites son superados, se considera que el material está contaminado.

De acuerdo con los contenidos de las mezclas, a continuación, se calcula la cantidad de metros cúbicos de subbase a generarse, considerando cada una de las combinaciones posibles de acuerdo a los porcentajes de material reciclado a utilizar.

SUBBASE

Tabla 33 cantidades proyectadas de material subbase a generar con las diferentes combinaciones

100%	51%	49%	4%	1%	1%
Departamento	Rc+ Ru	Rb	Ra (Nota 1)	Rg	X (Nota 2)
AMAZONAS	3347,468057	3484,09941	42680,2177	170720,8709	170720,8709
ANTIOQUIA	32123,50983	33434,6735	409574,75	1638299,001	1638299,001
ARAUCA	5364,305947	5583,25721	68394,9008	273579,6033	273579,6033
ATLÁNTICO	4973,038189	5176,01934	63406,2369	253624,9477	253624,9477
BOGOTÁ, D.C.	16673,69596	17354,255	212589,624	850358,4941	850358,4941
BOLÍVAR	11911,79151	12397,9871	151875,342	607501,3668	607501,3668
BOYACÁ	19410,42024	20202,6823	247482,858	989931,4321	989931,4321
CALDAS	5601,705893	5830,34695	71421,7501	285687,0006	285687,0006
CAQUETÁ	3538,852703	3683,29567	45120,372	180481,4878	180481,4878
CASANARE	10725,05107	11162,8083	136744,401	546977,6046	546977,6046
CAUCA	20912,1837	21765,7422	266630,342	1066521,369	1066521,369
CESAR	51006,43112	53088,3263	650331,997	2601327,987	2601327,987
CHOCÓ	2102,298059	2188,10614	26804,3003	107217,201	107217,201
CÓRDOBA	45182,60876	47026,7969	576078,262	2304313,047	2304313,047
CUNDINAMARCA	11162,63082	11618,2484	142323,543	569294,1716	569294,1716
GUAVIARE	4258,706748	4432,53151	54298,511	217194,0441	217194,0441

100%	51%	49%	4%	1%	1%
Departamento	Rc+ Ru	Rb	Ra (Nota 1)	Rg	X (Nota 2)
HUILA	54646,56917	56877,0414	696743,757	2786975,028	2786975,028
LA GUAJIRA	10821,99382	11263,7078	137980,421	551921,6846	551921,6846
MAGDALENA	7716,988264	8031,96738	98391,6004	393566,4015	393566,4015
META	15645,02296	16283,5953	199474,043	797896,1709	797896,1709
NARIÑO	4234,967862	4407,82369	53995,8402	215983,361	215983,361
NORTE DE SANTANDER	12098,40002	12592,2123	154254,6	617018,4012	617018,4012
PUTUMAYO	57374,09284	59715,8925	731519,684	2926078,735	2926078,735
QUINDIO	3741,691136	3894,41322	47706,562	190826,2479	190826,2479
RISARALDA	3164,738945	3293,91196	40350,4215	161401,6862	161401,6862
SANTANDER	33250,76189	34607,9358	423947,214	1695788,856	1695788,856
SUCRE	15030,37174	15643,8563	191637,24	766548,9587	766548,9587
TOLIMA	18763,09378	19528,9343	239229,446	956917,7827	956917,7827
VALLE DEL CAUCA	7648,228354	7960,40094	97514,9115	390059,6461	390059,6461
VAUPÉS	521,5875794	542,876868	6650,24164	26600,96655	26600,96655
VICHADA	0	0	0	0	0
TOTAL NACIONAL	492953,2069	513073,746	6285153,39	25140613,55	25140613,55

BASE

Tabla 34 cantidad de metros cúbicos de base generado a partir de las combinaciones

100%	66%	33%	4%	1%	1%
	Rc+ Ru	Rb	Ra (Nota 1)	Rg	X (Nota 2)
AMAZONAS					
ANTIOQUIA	24295,2821	48590,5642	400872,155	1603488,619	1603488,619
ARAUCA	2849,537513	5699,07503	47017,369	188069,4759	188069,4759
ATLÁNTICO	2293,738974	4587,47795	37846,6931	151386,7723	151386,7723
BOGOTÁ, D.C.	14219,77799	28439,556	234626,337	938505,3476	938505,3476
BOLÍVAR	9745,145001	19490,29	160794,893	643179,57	643179,57

	100%	66%	33%	4%	1%	1%
	Rc+ Ru	Rb	Ra (Nota 1)	Rg	X (Nota 2)	
BOYACÁ	30280,60207	60561,2041	499629,934		1998519,737	1998519,737
CALDAS	2371,379333	4742,75867	39127,759		156511,0359	156511,0359
CAQUETÁ	2799,96658	5599,93316	46199,4486		184797,7943	184797,7943
CASANARE	15402,26061	30804,5212	254137,3		1016549,201	1016549,201
CAUCA	13465,20743	26930,4149	222175,923		888703,6906	888703,6906
CESAR	25710,70679	51421,4136	424226,662		1696906,648	1696906,648
CHOCÓ	1307,069076	2614,13815	21566,6398		86266,55903	86266,55903
CÓRDOBA	34607,53165	69215,0633	571024,272		2284097,089	2284097,089
CUNDINAMARCA	8284,050569	16568,1011	136686,834		546747,3375	546747,3375
GUAVIARE	1530,230765	3060,46153	25248,8076		100995,2305	100995,2305
HUILA	42511,26791	85022,5358	701435,92		2805743,682	2805743,682
LA GUAJIRA	5170,287786	10340,5756	85309,7485		341238,9939	341238,9939
MAGDALENA	6311,145671	12622,2913	104133,904		416535,6143	416535,6143
META	16834,91583	33669,8317	277776,111		1111104,445	1111104,445
NARIÑO	2557,166875	5114,33375	42193,2534		168773,0137	168773,0137
NORTE DE SANTANDER	7123,436139	14246,8723	117536,696		470146,7852	470146,7852
PUTUMAYO	44154,62175	88309,2435	728551,259		2914205,036	2914205,036
QUINDIO	2108,911285	4217,82257	34797,0362		139188,1448	139188,1448
RISARALDA	1065,678583	2131,35717	17583,6966		70334,78645	70334,78645
SANTANDER	25679,35921	51358,7184	423709,427		1694837,708	1694837,708
SUCRE	6853,093642	13706,1873	113076,045		452304,1804	452304,1804
TOLIMA	14727,10538	29454,2108	242997,239		971988,9549	971988,9549
VALLE DEL CAUCA	6479,668352	12959,3367	106914,528		427658,1112	427658,1112
VAUPÉS	414,7181821	829,436364	6842,85		27371,40002	27371,40002
VICHADA	9769,776471	19539,5529	161201,312		644805,2471	644805,2471
TOTAL NACIONAL M3	513073,746	513073,746	6285153,39		25140613,55	25140613,55

Acorde a lo anterior y dados los cálculos realizados se evidencia que para cada departamento se establece una demanda máxima de material teniendo en cuenta las combinaciones de material, las cuales pueden ser utilizados en obras de vías urbanas, interurbanas, espacio público y ciclorrutas, de acuerdo a las necesidades de las obras a ejecutar.

8.4.2. Prefabricados en concreto

Prefabricados: estimación de potenciales cantidades de producción de bloques no estructurales y bordillos (porcentajes de AR en mezcla entre el 50% y el 80%). Para este cálculo se utilizó un 65%.

Tabla 35 Prefabricados

	65%	65%
Departamento	cantidad de material m3 SUBBASE	cantidad de material m3 BASE
AMAZONAS	2626,474937	228,0978251
ANTIOQUIA	25204,60002	24669,05567
ARAUCA	4208,916974	2893,376552
ATLÁNTICO	3901,922272	2329,027266
BOGOTÁ, D.C.	13082,43837	14438,54381
BOLÍVAR	9346,174874	9895,070308
BOYACÁ	15229,71434	30746,45749
CALDAS	4395,184624	2407,862091
CAQUETÁ	2776,638275	2843,042989
CASANARE	8415,040071	15639,21847
CAUCA	16408,02106	13672,36447
CESAR	40020,43057	26106,25613
CHOCÓ	1649,4954	1327,177831
CÓRDOBA	35450,96995	35139,95522
CUNDINAMARCA	8758,371871	8411,497501
GUAVIARE	3341,446833	1553,772777
HUILA	42876,53889	43165,28742
LA GUAJIRA	8491,10284	5249,830675
MAGDALENA	6054,867715	6408,24022
META	12275,32571	17093,91453
NARIÑO	3322,820938	2596,507903

	65%	65%
Departamento	cantidad de material m3 SUBBASE	cantidad de material m3 BASE
NORTE DE SANTANDER	9492,590788	7233,027464
PUTUMAYO	45016,59592	44833,92363
QUINDIO	2935,78843	2141,356074
RISARALDA	2483,102865	1082,073638
SANTANDER	26089,05933	26074,42627
SUCRE	11793,0609	6958,525852
TOLIMA	14721,81204	14953,67623
VALLE DEL CAUCA	6000,917632	6579,355558
VAUPÉS	409,2456392	421,0984618
TOTAL, GENERADO m3	386778,6701	377092,0203

Por lo tanto, de acuerdo a las cantidades generadas por cada una de las ciudades se proyecta una producción de 763870,69 m³ a nivel nacional para la producción de elementos prefabricados, ya sean New jersey, bordillos u otros elementos.

9. CONCLUSIONES

- Como se detalló en las fuentes de información consultadas, el panorama del aprovechamiento de los RCD en Colombia es todavía incipiente. Sin embargo, existen aspectos técnicos y económicos que impiden una mayor disposición a su uso por parte de los constructores.
- Entre los aspectos técnicos que se documentaron a lo largo de este trabajo de investigación están las limitaciones por el menor desempeño mecánico de los materiales provenientes de RCD y la escasa investigación aplicada y de campo. De igual manera, la regulación técnica para la determinación de las especificaciones del uso y aplicación de estos materiales es más bien escasa y de reciente aplicación, además que se limita a unos cuantos usos.
- Con respecto a los aspectos económicos se observó que la diferencia en precios de las bases y subbases granulares todavía no es significativa, como para que influya de manera determinante en la decisión de compra por parte de los contratistas de obra. De igual manera la alta disponibilidad de explotaciones de agregados frente al número de plantas de aprovechamiento de residuos, en los que se produzcan agregados reciclados
- Se logró hacer una estimación, a nivel de áreas urbanas y metropolitanas que cubre el Censo de Edificaciones – CEED del DANE, de los residuos generados en los grupos de materiales no pétreos, hormigón, cerámicos, RCD mezclados y arenas y gravas, por separado de las fases de demolición y construcción para el sector edificador. Se logró identificar que se genera

anualmente un volumen considerable de residuos cerámicos y hormigón, que son los que mayor proporción pueden tener en la mezcla para subbases y bases granulares según la reglamentación (*Especificación IDU 511-18 base y subbase granular para vías vehiculares con agregados reciclados obtenidos de residuos de construcción y demolición RCD*)

- Con el desarrollo del trabajo se lograron identificar los usos más frecuentes y que mejor reglamentados se encuentran para uno de los insumos que se pueden producir a partir de materiales provenientes del aprovechamiento de RCD: el uso de agregados reciclados en las subbases y bases granulares que conforman las capas del pavimento en las obras de vías urbanas, interurbanas y caminos vecinales
- La estimación de residuos se comparó con la demanda estimada a partir de las obras civiles registradas en el Indicador de Producción de Obras Civiles – IPOC del DANE para los materiales de subbases y bases granulares y prefabricados bordillos.
- A partir del análisis de los datos y del grado de detalle de la información disponible, se observa que, si bien las ciudades intermedias en Colombia tienen un gran potencial para la valorización de los RCD, existen limitaciones relacionadas con la falta de infraestructura y el desconocimiento sobre el potencial de estos materiales. Sin embargo, con el impulso de políticas públicas y una mayor conciencia, se pueden lograr avances significativos en la gestión de residuos y la promoción de la economía circular.
- A partir de los datos calculados se evidencia que cada una de las combinaciones realizadas permiten el aprovechamiento del RCD de acuerdo a las necesidades de cada estructura, por lo cual en cada una de las ciudades se puede establecer la demanda de la cantidad de material a

producir, cumpliendo con las especificaciones técnicas del IDU, se podría extrapolar para utilizar en la construcción de la infraestructura vial en cada una de las ciudades.

- Después de evidenciar que la cantidad de material producido representa unos volúmenes considerables para el aprovechamiento y conservación de los recursos naturales, es necesario que se implementen nuevas normativas a nivel nacional donde se realicen combinaciones como las establecidas en las normas IDU para garantizar la eficiencia y la economía circular de los materiales de construcción.

10. LISTA DE REFERENCIAS

- Acevedo-Agudelo, H., & Figueroa-Álvarez, J. (2023). Prácticas de circularidad en la gestión de los Residuos de Construcción y Demolición en el sector de la construcción: Una revisión bibliográfica de las estrategias y los elementos clave en su implementación. *Informes de la Construcción*, 75(569), e485. <https://doi.org/10.3989/ic.92607>
- Andabaka, A. (2024). Circular construction principles: From theoretical perspective to practical application in public procurement. En L. Bragança, M. Cvetkovska, R. Askar, & V. Ungureanu (Eds.), *Creating a roadmap towards circularity in the built environment* (pp. 3-12). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-45980-1_1
- Bermúdez Medina, D., Castañeda Irreño, J. L., & Cardenas Niño, J. J. (2024). Gestión integral de residuos sólidos y economía circular en Bogotá, para la industria de construcción. *Ingeniería de Sistemas - Virtual*.
- Jalaei, F., & Jrade, A. (2014). Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings. *Sustainable Cities and Society*, 14, 188-200. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.08.005>
- Llanos-Encalada, M., Correa-Vaca, A. M., & Calderón-Cisneros, J. (2024). Economía circular y sus prácticas en la región andina. *Revista Venezolana de Gerencia*, 29(107), 1072-1092. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.29.107.5>

- Mejía-de-Gutiérrez, R., Robayo-Salazar, R., & Valencia-Saavedra, W. (2023). Residuos de construcción y demolición como materia prima de concretos y elementos de construcción obtenidos mediante activación alcalina. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 47(184), 505-519. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1892>
- Schützenhofer, S., Kovacic, I., Rechberger, H., & Mack, S. (2022). Improvement of environmental sustainability and circular economy through construction waste management for material reuse. *Sustainability*, 14(17), 11087. <https://doi.org/10.3390/su141711087>
- Cámara de Comercio de Bogotá. (2024.). Descripción actividades económicas (Código CIIU). Cámara de Comercio de Bogotá. <https://linea.ccb.org.co/descripcionciiu/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). Resolución 0472 de 2017. <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/resolucion-0472-de-2017/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2024). Inicio. <https://www.minambiente.gov.co/>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2024). La entidad. <https://www.ambientebogota.gov.co/la-entidad>
- Secretaría de Hábitat. (2024) Quiénes somos. <https://www.habitatbogota.gov.co/secretaria/quienes-somos>

- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. 2024 Misión y visión .
<https://minvivienda.gov.co/node/497>
- Comisión de Regulación de Comunicaciones. (2024). ¿Quiénes somos?
<https://www.ccs.org.co/wp/quienes-somos/>
- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research*. SAGE Publications.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: A methods sourcebook*. SAGE Publications.
- Acevedo-Agudelo, H., & Figueroa-Álvarez, J. (2023). *Prácticas de circularidad en la gestión de los Residuos de Construcción y Demolición en el sector de la construcción*
- Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, CGATE. Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España, CSCAE (2020). *Ratios Nacionales – Generación de residuos de construcción y demolición*.
- Sotecma. La planta trituradora de agregados y la recuperación de materiales de la construcción Recuperado en <https://sotecma.es/planta-trituradora-agregados-recuperacion-materiales-contruccion/>
- Amix Group. *¿Qué Equipos se Pueden Utilizar para Reciclaje de Residuos de Construcción?* Recuperado en <https://aimixtrituradora.com/equipos-para-reciclaje-de-residuos-de-construccion/>

- *Juan Perea. [Procemco] (22 de febrero de 2024). Ciclo virtual AGREGADOS RECICLADOS, Verdades y mitos: 1. Aprovechamiento de residuos de construcción [Video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=mz-qgyniV4k&t=929s>*
- *Vivian Ulloa. [Procemco] (27 de febrero de 2024). Ciclo virtual AGREGADOS RECICLADOS, Verdades y mitos: 2. Uso en bases y subbases para pavimentos. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=TwPxJKez5WE&t=3507s>*
- *Vivian Ulloa. [Procemco] (28 de febrero de 2024). Ciclo virtual AGREGADOS RECICLADOS, Verdades y mitos: .Usos en concreto qué es permitido y qué no. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=BxZkW5abCng&t=4539s>*
- Rosero, David, (2019). *Propuesta de guía de uso de los agregados reciclados en Colombia provenientes de RCD, basado en normativa internacional y en el desarrollo de investigaciones de universidades colombianas.*
- Cobo Pérez, Bertha Sofia. *Análisis de las desviaciones de tiempo y costo en proyectos de infraestructura vial en Colombia. Proyecto de Grado Máster en Ingeniería Civil. Universidad de los Andes. 2017.*
- *Generador de Precios. Espacios urbanos. Colombia. Consultado en https://colombia.generadordeprecios.info/espacios_urbanos/Firmes_y_pisos_urbanos/Bases_y_su_bbases/Granulares/Base_granular.html*

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).
Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos. Consultado en

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>