

## **AUTOR**

**Nombre:** Oscar David Hernández Quiroz  
**Dirección:** Cra 1b1 58a2 07 Cali – Valle del Cauca  
**Correo electrónico:** ossdavid@hotmail.com  
**Celular:** +57 312 737 54 78  
**Profesión:** Ingeniero Civil  
**Nombre de Empresa:** AOL INGENIERIA CIVIL S.A.S.  
**Cargo:** Ingeniero Civil

## **Dedicatoria**

*A Dios y a la Virgen María, por las bendiciones recibidas que me permitieron cumplir cada sueño y meta propuesta.*

*A mis padres; Oscar y Yaqueline, y a mis hermanas; Ana Cristina y Laura Daniela, por sus valores, apoyo, motivación, amor y refugio.*

*A Daniela y mi hijo, por el amor y por ser ese faro que llegó a mi vida.*

*Gracias familia, no hubiera podido lograrlo sin ustedes.*

## **Agradecimientos**

*A la Pontificia Universidad Javeriana Cali, por permitirme formar parte de sus programas de pregrado y posgrado, por brindarme los valores y conocimientos que he adquirido a lo largo de estos años. También por permitirme realizar este trabajo de grado dentro de sus instalaciones. Estaré eternamente agradecido.*

*A mi director del trabajo de grado, Dr. Manuel Alejandro Rojas Manzano, por su invaluable dedicación, acompañamiento, paciencia, motivación, respeto y los conocimientos impartidos desde el pregrado hasta la culminación de este proyecto. Su apoyo fue fundamental a lo largo de todo el proceso.*

*A mi codirector del trabajo de grado, Dr. Iván Fernando Otálvaro Calle, por sus conocimientos, consejos y recomendaciones en el desarrollo de este proyecto.*

*Al ingeniero Diego Camilo Ángel Giraldo, por el conocimiento compartido, el tiempo dedicado, el acompañamiento y el apoyo durante el trabajo de grado.*

*Y en general, a cada una de las personas que participaron directa e indirectamente en este proyecto, sin sus aportes y carisma esta investigación no hubiera sido posible.*

## RESUMEN

Actualmente, el mundo enfrenta el desafío de crecimiento poblacional masivo, donde se ha alcanzado los 8.000 millones de personas a mediados de noviembre de 2022 y se tiene una proyección estimada de 9.700 millones de personas para el año 2050 (ONU, 2022), lo que conlleva a que los ciudadanos nos adaptemos a estas necesidades de alteraciones en la estructura de la población. Estas necesidades han llevado a una explotación acelerada e irreversible de los recursos naturales no renovables, por lo tanto, es fundamental establecer políticas, metodologías y tecnologías que permitan un consumo de recursos naturales y materias primas en un esquema económico circular. Este estudio diseña una guía para que se pueda elaborar un plan de gestión integral de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) producto de obras en la que su enfoque sea la de rehabilitación estructural

El desarrollo del trabajo constará de las siguientes fases, la primera; analizar la información que se tiene disponible donde abarca la investigación y análisis de informes, normativas y estudios previos con el fin de establecer una base sólida de conocimiento sobre las mejores prácticas que se pueden aplicar en la gestión de RCD en el proyecto, posterior a esto, la caracterización de los RCD generados en categorías específicas de acuerdo a la normativa legal colombiana establecida en la resolución No. 1257 de 2021 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021). Además, se considerarán los índices determinados por los indicadores de gestión y aprovechamiento.

Se tomó como estudio de caso la rehabilitación estructural del ala este del edificio administrativo de la Pontificia Universidad Javeriana sede Cali. La producción de estos residuos se estudió durante cuatro (4) meses aproximadamente, la cuál fue el tiempo que demoró las actividades de demolición en dicho proyecto. La mayor parte de la generación total de residuos fueron aprovechables, donde se realizó disposición final en sitios autorizados por la autoridad competente y una menor parte en un acopio dentro de las instalaciones de la Pontificia Universidad Javeriana sede Cali. Hubo también una pequeña fracción de residuos no aprovechables la cual se les hizo disposición final en sitios autorizados por la autoridad ambiental.

En este sentido, se buscó llevar a cabo observaciones de prácticas en obra con el fin de identificar áreas de mejora y proponer soluciones prácticas para un control efectivo de los RCD. La Guía para la Gestión Integral de RCD en este tipo de proyectos concluyó con un análisis económico donde se demuestra que con una gestión adecuada en la separación y clasificación de los residuos es beneficioso para el medio

ambiente y además se fomenta una economía circular para el proyecto. Se incluyó documentación que proporcionó el respaldo y la orientación en el seguimiento de las estrategias propuestas; con estos anexos se buscaba garantizar una gestión adecuada de los RCD, promoviendo su correcta generación, manipulación y aprovechamiento durante las etapas del proyecto.

## ABSTRACT

Currently, the world faces the challenge of massive population growth, where 8 billion people have been reached by mid-November 2022 and there is an estimated projection of 9.7 billion people by 2050 (UN, 2022), which leads citizens to adapt to these needs for changes in the population structure. These needs have led to an accelerated and irreversible exploitation of non-renewable natural resources, therefore, it is essential to establish policies, methodologies and technologies that allow the consumption of natural resources and raw materials in a circular economic scheme. This study designs a guide so that a comprehensive management plan for Construction and Demolition Waste (CDW) can be developed from works in which the focus is on structural rehabilitation. The development of the work will consist of the following phases, the first; Analyze the information available, which covers the research and analysis of reports, regulations and previous studies in order to establish a solid knowledge base on the best practices that can be applied in the management of CDW in the project, after this, the characterization of the CDW generated in specific categories according to the Colombian legal regulations established in resolution No. 1257 of 2021 (Ministry of Environment and Sustainable Development, 2021). In addition, the indices determined by the management and utilization indicators will be considered.

The structural rehabilitation of the east wing of the administrative building of the Pontificia Universidad Javeriana, Cali headquarters, was taken as a case study. The production of these wastes was studied for approximately four (4) months, which was the time that the demolition activities took in said project. Most of the total waste generation was recyclable, where final disposal was carried out in sites authorized by the competent authority and a smaller part in a storage facility within the facilities of the Pontificia Universidad Javeriana, Cali headquarters. There was also a small fraction of non-recyclable waste, which was disposed of at sites authorized by the environmental authority.

In this sense, observations of practices on site were sought to identify areas for improvement and propose practical solutions for effective control of CDW. The Guide for the Comprehensive Management of CDW in this type of project concludes with an economic analysis showing that proper management in the separation and classification of waste is beneficial for the environment and also promotes a circular economy for the project. Documentation was included that provided support and guidance in monitoring the proposed strategies; these annexes sought to ensure proper management of CDW, promoting its correct generation, handling and use during the project stages.



Pontificia Universidad  
**JAVERIANA**  
Cali

**GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) EN OBRAS DE  
REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL: ESTUDIO DE CASO**

**ING. OSCAR DAVID HERNÁNDEZ QUIROZ**

**PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL**

**DIRECTOR:**

**Dr. MANUEL ALEJANDRO ROJAS MANZANO**

**CO-DIRECTOR:**

**Dr. IVÁN FERNANDO OTÁLVARO CALLE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS**

**SANTIAGO DE CALI**

**2024**

# Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	15
1.1	Problema de investigación. ....	17
1.2	Pregunta de Investigación. ....	19
1.3	Justificación del trabajo de grado.....	19
1.4	Alcance. ....	21
1.5	Objetivos.....	22
1.5.1	Objetivo general. ....	22
1.5.2	Objetivos específicos. ....	22
1.5.3	Objetivos sostenibles. ....	22
1.6	Organización del documento escrito.....	23
2.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	24
2.1	Generación de RCD.....	24
2.1.1	Generación de RCD en Europa.....	24
2.1.2	Generación de RCD en Asia. ....	25
2.1.3	Generación de RCD en América.....	26
2.1.4	Generación de RCD en Santiago de Cali. ....	28
2.2	Normatividad Colombiana sobre RCD.....	30
2.3	Gestión de los RCD. ....	33
2.3.1	Indicadores de Generación de RCD. ....	36
2.3.2	Metodologías para la obtención de indicadores. ....	37
3.	METODOLOGÍA .....	41
3.1	Análisis técnico del proyecto.....	42
3.1.1	Presentación del estudio de caso. ....	42
3.1.2	Reforzamiento estructural del edificio. ....	44
3.1.3	Presupuesto y programación de obra. ....	47
3.1.4	Presupuesto inicial estimado para el aprovechamiento en obra.....	48
3.1.5	Proyección de la generación de RCD. ....	50
3.2	Recomendaciones iniciales para la gestión integral de RCD. ....	52
3.2.1	Logística interna.....	53
3.2.2	Separación en la fuente. ....	53
3.2.3	Aprovechamiento de RCD.....	55
3.2.3.1	Reutilización de RCD. ....	55



3.2.3.2	Reciclaje de RCD.....	55
3.2.4	Disposición final.....	56
3.2.5	Piloto de aprovechamiento.....	56
3.3	Índices de generación de RCD.....	57
3.3.1	Visitas al proyecto.....	57
3.3.2	Proceso de medición.....	58
3.3.3	Cálculo de las masas unitarias de los residuos en obra.....	61
3.3.4	Cantidades ejecutadas de obra.....	62
3.3.5	Indicadores de gestión.....	62
3.3.6	Indicadores de aprovechamiento.....	64
3.4	Plan de Gestión Integral de RCD.....	65
3.4.1	Etapas iniciales.....	65
3.4.2	Lecciones aprendidas.....	65
3.4.3	Estructuración de la guía para la gestión integral de los RCD.....	66
3.4.4	Documento Final.....	67
4.	RESULTADOS.....	68
4.1	Diagnóstico Inicial.....	68
4.1.1	Principales Actividades de Obra.....	68
4.1.2	Tipos de RCD Generados.....	69
4.1.3	Cantidades de RCD Proyectadas con Índices Iniciales.....	71
4.2	Índices de Generación.....	72
4.2.1	RCD Generado.....	73
4.2.2	Determinación de Masas Unitarias de los RCD.....	74
4.2.3	Cuantificación de RCD.....	76
4.2.4	Índices Gravimétricos.....	79
4.2.5	Índices Volumétricos.....	80
4.2.6	Indicador de Aprovechamiento.....	81
5.	Guía para la gestión integral del RCD.....	83
5.1	Introducción.....	83
5.2	Alcance.....	83
5.3	Datos del generador.....	84
5.4	Ubicación y descripción de la obra.....	84
5.5	Objetivo.....	85

5.6	Clasificación de los RCD. ....	85
5.7	Normatividad Colombiana.....	87
5.7.1	Prevenición y reducción de RCD. ....	88
5.7.2	Recolección y transporte de RCD.....	88
5.7.3	Almacenamiento de RCD. ....	88
5.7.4	Aprovechamiento de RCD.....	89
5.7.4.1	Reutilización de RCD. ....	89
5.7.4.2	Reciclaje de RCD.....	89
5.7.5	Disposición final de RCD. ....	89
5.8	Generadores de RCD. ....	90
5.8.1	Gran generador de RCD. ....	90
5.8.2	Obligaciones de Gran generador de RCD.....	90
5.8.3	Pequeño generador de RCD.....	90
5.8.4	Obligaciones de Pequeño generador de RCD. ....	91
5.9	Gestión de los RCD. ....	91
5.9.1	Descripción de las actividades de demolición selectiva. ....	92
5.9.2	Descripción de las actividades de almacenamiento temporal de RCD en obra. ....	92
5.10	Clasificación de los componentes de los Agregados Reciclados. ....	93
5.11	Gestión integral de RCD aplicado al proyecto. ....	93
5.11.1	Actores involucrados en la producción y administración de RCD. ....	94
5.11.2	Orientación a actores involucrados. ....	94
5.11.3	Separación obligatoria en el origen (SOO).....	95
5.12	Gestores de RCD. ....	97
5.13	Indicadores de seguimiento de gestión de RCD.....	97
5.13.1	Indicador de eficiencia. ....	98
5.13.2	Indicador de efectividad. ....	98
5.14	Visitas al proyecto ....	98
5.15	Alternativas para la implementación del Plan de Gestión de RCD.....	98
5.16	Análisis preliminar. ....	99
5.17	Señalización ....	100
5.18	Disposición de área de trabajo. ....	100
5.19	Actividades de demolición.....	100
5.19.1	Tipos de demoliciones ....	101

5.19.2	Acopio de material resultado de las demoliciones.....	103
5.20	Limpieza.....	103
5.21	Procesos de aprovechamiento .....	103
5.21.1	Gestión de residuos peligrosos.....	103
5.21.2	Autoridad y responsabilidades .....	104
6.	CONCLUSIONES.....	105
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	108
8.	ANEXOS.....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cantidad en peso (ton) de escombros generados con proyecciones al año 2016, (DAGMA, 2013;González, 2020). .....	29
Figura 2. Ciclo de vida de un edificio (Econova, 2022).....	34
Figura 3. Ciclo de aprovechamiento contemplando la economía circular de los residuos (PROCEMCO, 2024) .....	35
Figura 4. Diagrama general de la metodología.....	41
Figura 5. Ubicación específica del proyecto, edificio administrativo ala este (Google Earth Pro, 2024). ..	43
Figura 6. Vista de la fachada del edificio administrativo ala este de la Pontificia Universidad Javeriana sede Cali. ....	43
Figura 7. Planta primer piso del edificio administrativo ala este (Ortízcampo, 2022). ....	44
Figura 8. Planta cuarto piso del edificio administrativo ala este (Ortízcampo, 2022). ....	45
Figura 9. Mampostería doble en la fachada del edificio.....	46
Figura 10. Vista en planta de la zapata Z5 para encamisado (Solarte y CIA, 2014). ....	46
Figura 11. Apuntalamiento temporal con gatos y cerchas metálicas.....	47
Figura 12. Salario mínimo y Prestaciones sociales año 2023.....	49
Figura 13. Trituradora de mandíbula con zaranda referencia GX4. Fuente: mercadolibre.com.co .....	50
Figura 14. Sitio de acopio temporal. ....	54
Figura 15. Conducto de evacuación de residuos. ....	54
Figura 16. Ubicación, distribución del proceso constructivo y producción de RCD (Google Earth Pro, 2023; El Autor, 2023). ....	56
Figura 17. Bosquejo de la pila para el cálculo del volumen.....	60
Figura 18. Diferentes acopios temporales de residuos en la obra. ....	60
Figura 19. Proceso de medición con cuñete, agua y medidor portátil (El Autor, 2023).....	61
Figura 20. Balde lleno con residuos mezclados de la obra para ser pesados (El Autor, 2023).....	61
Figura 21. Residuos de concreto (Rc).....	70
Figura 22. Residuos de mampostería (Rb). ....	70
Figura 23. Residuos de excavación (Re). ....	71
Figura 24. Residuos mezclados (Rc+Rb).....	71
Figura 25. Composición porcentual de los RCD generados en la obra de acuerdo con el volumen de cada tipo de residuo. ....	77
Figura 26. Composición porcentual de los RCD generados en la obra de acuerdo con el peso de cada tipo de residuo. ....	78
Figura 27. Ubicación específica del proyecto - Edificio administrativo ala este. Fuente: Google Earth Pro .....	84
Figura 28. Jerarquía en la gestión integral de los RCD. Fuente: El Autor.....	88
Figura 29. Almacenamiento temporal en obra de RCD. ....	89
Figura 30. Prototipo de conducto de evacuación de residuos. Fuente: itm-construccion.com.....	96
Figura 31. Separación en la fuente - Áreas señalizadas con su debido tipo de clasificación de residuos. ...	96
Figura 32. Prototipo de separación de residuos en sitio temporal de RCD. Fuente: El Autor; M Alejandro Rojas M, 2023 .....	97
Figura 33. Demolición de losa de vía existente.....	101
Figura 34. Demolición de vía existente con minicargador adaptado con martillo demoledor. ....	102

Figura 35. Demolición de vía existente con compresor y martillo demoledor..... 102

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de la generación de RCD por actor. ....	29
Tabla 2. Producción de RCD ( $m^3/m^2$ ) en la demolición de obras de infraestructura civil excluyendo tierras. ....	36
Tabla 3. Presupuesto general de las actividades de desmonte y demolición. ....	48
Tabla 4. Presupuesto inicial estimado asociados al plan de gestión de RCD en la obra.....	49
Tabla 5. Proyección de la demolición en el proyecto en volumen ( $m^3$ ) y peso (ton). ....	51
Tabla 6. Proyección de la generación de RCD del proyecto en peso (t). ....	52
Tabla 7. Formato utilizado en la obra de rehabilitación del edificio administrativo ala este para llevar el control de los RCD generados (PUJ, 2017).....	58
Tabla 8. Cantidad contratada vs cantidad ejecutada.....	69
Tabla 9. Cantidades de RCD proyectadas con índices iniciales.....	72
Tabla 10. Indicadores gravimétricos por superficie $kg/m^2$ de la literatura.....	72
Tabla 11. Registro semanal de RCD generado. ....	73
Tabla 12. Resumen de la generación de los residuos según las visitas realizadas a la obra en masa unitaria.....	75
Tabla 13. Comparativo de los valores encontrados con otros autores de la literatura. ....	75
Tabla 14. Generación de los tipos de residuos en la etapa de demolición.....	76
Tabla 15. Peso total con respecto al volumen medido en obra. ....	78
Tabla 16. Cálculo de peso del RCD generado en la ventana de seguimiento.....	79
Tabla 17. Cálculo del índice gravimétrico por superficie. ....	79
Tabla 18. Comparativa de indicadores gravimétricos por superficie $kg/m^2$ .....	80
Tabla 19. Cálculo del índice volumétrico por superficie. ....	80
Tabla 20. Comparativa de indicadores volumétricos por superficie. ....	81
Tabla 21. Clasificación de los RCD (Resolución 0472 de 2017; El Autor, 2024).....	86
Tabla 22. Cumplimiento de meta por categorías. Fuente: Resolución No. 1257 de 2021 - MADS. ....	91
Tabla 23. Clasificación de residuos de construcción y demolición del agregado grueso en la Unión Europea. Fuente: UNE EN 933 11, 2010. ....	93

## 1. INTRODUCCIÓN

Según datos de la ONU (2022), la población mundial alcanzó los 8.000 millones de personas en noviembre de 2022, con una proyección estimada de 9.700 millones para el año 2050, este aumento plantea la necesidad de adaptarse a las alteraciones en la estructura de la población. Aunque el crecimiento urbano acelerado puede contribuir al crecimiento económico sostenible si se gestiona adecuadamente, también plantea desafíos como satisfacer las necesidades de vivienda, infraestructura y servicios básicos de una población en rápido aumento, por lo tanto, es fundamental encontrar un equilibrio entre el desarrollo económico y la sostenibilidad ambiental.

El crecimiento acelerado de la población y la expansión urbana han llevado a un aumento exponencial en la actividad de la construcción en las últimas décadas, tan solo en Colombia, el sector de la construcción creció un 23% entre el 2010 y 2020 (DANE, 2021). Si bien esta rapidez impulsa el desarrollo, también acarrea serios desafíos ambientales por la masiva generación de residuos de construcción y demolición (RCD).

Se estima que en Colombia se producen cerca de 22 millones t de RCD al año, en donde las principales ciudades que las producen son Bogotá (cerca de 12 millones t de RCD anuales), Medellín (860,000 t de RCD por año), Cali (1 millón t de RCD anualmente) y Cartagena (190.000 t de RCD por año) (Chica; Beltrán, 2019).

El déficit en la gestión de estos residuos ha provocado la proliferación de vertederos ilegales y escombreras no controladas, contaminando a su vez el suelo, el aire y las aguas superficiales, además de representar un desperdicio de valiosos recursos y materias primas.

Ante este panorama, resulta indispensable transitar hacia un modelo circular en la construcción, donde se minimice la generación de residuos, se maximice la reutilización y el reciclaje, y se utilicen materiales y procesos de construcción sostenibles, por lo tanto, es crucial promover la innovación tecnológica para el aprovechamiento de RCD, así como nuevos modelos de negocio y esquemas de responsabilidad extendida del productor. Ideas como el diseño de edificaciones modulares, flexibles y fáciles de desmontar al final de su vida útil también facilitarían la reutilización de sus componentes.

Lombera (2010), plantea que el sector de la construcción influye en la actividad económica, el empleo y las tasas de crecimiento, la industria en mención involucra diversas fuentes de contaminación que afectan directamente aspectos ambientales relacionados con el ámbito económico y que provocan cambios en el

componente abiótico de los ecosistemas. La transición hacia la economía circular en la construcción no solo mitigará el impacto ambiental, sino que brindará importantes oportunidades económicas y sociales, pero se necesita la voluntad política, cooperación entre sectores y un enfoque holístico para impulsar soluciones integrales y sostenibles. El modelo de economía circular aprobado para Santiago de Cali mediante el Acuerdo 0574 de diciembre de 2023, propone la gestión y aprovechamiento articulado entre el sector público y privado mediante un parque ambiental y tecnológico.

En consecuencia, la mayoría de los países a nivel mundial están optando por establecer un sistema formal de gestión para combatir el vertimiento ilegal y organizado, que ocasiona la sedimentación de los ríos y el deterioro de áreas verdes, a medida que se agotan los espacios para vertederos y rellenos.

En Colombia, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), tiene la responsabilidad de abordar este objetivo, hoy en día se trabaja para alcanzar metas de acción ambiental que involucren al sector productivo, el desarrollo y la infraestructura. Entre las normativas implementadas por la MADS, se destaca la Resolución No. 0472 de 2017, donde establece requisitos y porcentajes mínimos de aprovechamiento de RCD para proyectos de construcción y demolición. Posteriormente, la Resolución No. 1257 de 2021 modificó y adicionó varios puntos. Uno de los cambios claves fue la metodología para el cálculo de la meta, antes se calculaba en función del peso de los materiales a utilizar en la obra, y hoy en día en con base al total del RCD generado. Otras medidas incorporadas son la obligatoriedad de los planes de gestión de residuos de construcción y demolición para los proyectos que lo requieran, así como los reportes y registros más rigurosos.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) ha designado sitios de acopio denominados sitios de disposición final de residuos de construcción y demolición (RCD), anteriormente conocidos como escombreras. Los RCD comprenden todos los restos sólidos generados después de realizar una obra en casa o de actividades de demolición, excavación, construcción y/o reparación de obras civiles (Secretaría Distrital de Ambiente Bogotá, 2021). Sin embargo, los lugares destinados para este fin son, en su mayoría, insuficientes para manejar el gran volumen de residuos producidos por la actividad constructiva. Esta falta de capacidad adecuada refleja un desafío significativo en la gestión ambiental y la planificación urbana, generando problemas adicionales como la contaminación del suelo, del agua y del aire, así como riesgos para la salud pública y el entorno natural. Por lo tanto, es esencial buscar soluciones más efectivas y sostenibles para manejar estos residuos, promoviendo la reutilización, el reciclaje y la implementación de prácticas de gestión de residuos más eficientes en el sector de la construcción.



Si bien este marco normativo representa un progreso, aún existen vacíos en fiscalización y control, se necesita una mayor articulación entre el sector público y privado para fortalecer las capacidades regionales de gestión de RCD. Incentivos económicos, mayor investigación y modelos de economía circular, complementarían las regulaciones actuales para avanzar hacia un manejo más sostenible.

Para identificar oportunidades de mejora en el manejo de los RCD, fue necesario llevar a cabo observaciones de prácticas en obra con el fin de identificar áreas de mejora y proponer soluciones prácticas para un control efectivo de los RCD, estas observaciones se enfocaron en las actividades de generación, separación, almacenamiento, transporte y disposición de los residuos, lo cual fue vital para el diseño del Plan de Gestión Integral que involucra cálculos, metodologías y recomendaciones para una gestión adecuada de los residuos generados en obra promoviendo su correcta generación, manipulación y reutilización durante todas las etapas del proyecto, y así lograr ser amigable con el medio ambiente y fomentar una economía circular en pro del proyecto.

### **1.1 Problema de investigación.**

El crecimiento acelerado de la población a nivel global ha generado una mayor demanda de infraestructura y vivienda, lo que ha llevado a un aumento significativo de la actividad de construcción en las últimas décadas.

La extracción de materiales como arena, grava y minerales impacta significativamente el suelo, provocando erosión y pérdida de hábitats naturales, además, la construcción contribuye a la contaminación del agua debido al escurrimiento de sedimentos y productos químicos utilizados en el proceso, afectando tanto los cuerpos de agua superficiales como subterráneos.

La emisión de gases de efecto invernadero (GEI) es otro impacto considerable, generado por el uso intensivo de maquinaria pesada y la producción de materiales como el cemento, cuyo proceso de fabricación es altamente energético y emite grandes cantidades de CO<sub>2</sub>. Estos impactos combinados deterioran la calidad del aire, incrementando la concentración de contaminantes y afectando la salud pública.

Si bien la construcción es indispensable para el desarrollo, esta actividad implica un alto consumo de recursos naturales no renovables y la generación de grandes cantidades de residuos sólidos, conocidos como Residuos de Construcción y Demolición (RCD).

Dentro de este contexto general de impactos ambientales, los RCD representan un problema central. La gestión ineficiente de estos residuos puede agravar la contaminación del suelo, del agua y del aire. A

menudo, los sitios destinados a la disposición de RCD son insuficientes, lo que lleva a una acumulación descontrolada que exacerba los problemas ambientales y de salud. Por lo tanto, es crucial implementar estrategias efectivas para la gestión de los RCD, enfocándose en su correcta generación, separación, almacenamiento, transporte, disposición y aprovechamiento, a fin de mitigar su impacto negativo y promover prácticas más sostenibles en el sector de la construcción. (RCD).

La gestión adecuada de los RCD es de vital importancia debido a los impactos negativos que pueden generar. Estos impactos incluyen la acumulación de residuos en los vertederos, la contaminación ambiental, el agotamiento de recursos naturales y la huella de carbono asociada a la producción de materiales de construcción, por lo tanto, el desarrollo de un plan de gestión eficiente no solo ayudará a reducir estos impactos, sino que también tendrá un impacto positivo en la sostenibilidad del proyecto.

Existe una preocupación global por promover un manejo sostenible de los RCD a través de estrategias como la reducción en la fuente, la reutilización y el reciclaje de materiales, sin embargo, se requiere mayor investigación para desarrollar enfoques y tecnologías innovadoras que permitan una gestión integral de los RCD. Diversos estudios señalan la necesidad de generar nuevo conocimiento sobre cómo minimizar y valorizar los residuos provenientes de obras de construcción y demolición, particularmente en proyectos de rehabilitación estructural ya que estos generan un volumen significativo de residuos de construcción y demolición, cuyas características y composición puede variar respecto a obras nuevas. Sin embargo, existe limitada investigación sobre la generación de RCD particularmente en proyectos de reforzamiento de estructuras de concreto, y esto provoca que la estimación de volúmenes, el diseño del sistema de manejo in-situ y la definición de alternativas de aprovechamiento y valorización se dificulte.

La rehabilitación estructural de la edificación en estudio representa un gran desafío debido a la generación de grandes cantidades de RCD. Se plantea la necesidad de desarrollar un plan de gestión que abarque todas las actividades relacionadas con los RCD, desde la labor del contratista hasta el transporte y almacenamiento temporal de estos residuos. Para ello, esta iniciativa se apoya en la normativa existente; la Resolución N° 1257 de 2021, que establecen pautas y regulaciones específicas para la gestión de RCD. Las estrategias integrales para la gestión de RCD constituyen un campo de estudio emergente y relevante tanto en el ámbito académico como profesional.

## **1.2 Pregunta de Investigación.**

Basándonos en lo expuesto anteriormente, y con el objetivo de cumplir con lo establecido en la Resolución No 1257 de 2021, el presente proyecto de grado pretende dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo se puede hacer una gestión integral de RCD en obras de rehabilitación estructural con el fin de minimizar los impactos ambientales y económicos relacionados con la generación de estos residuos?

## **1.3 Justificación del trabajo de grado.**

Debido a la gran magnitud a nivel mundial sobre la industria de la construcción, la cual abarca actividades de construcción, demolición o rehabilitación de estructuras residenciales y no residenciales, es importante contar con el conocimiento y tener una guía sobre los puntos clave para tener en cuenta al momento de ejecutar las actividades en obra. El propósito del presente documento es ofrecer ideas para el manejo de los RCD generados en obras específicamente de rehabilitación estructural, donde se pueda obtener conceptos claves para maximizar el aprovechamiento de los residuos o de lo contrario, el manejo que se debe tener en cuenta con los residuos no aprovechables.

Los RCD causan graves daños al medio ambiente, como la contaminación del suelo, vertimientos en cuerpos de agua y emisiones de gases de efecto invernadero, así como la acumulación inadecuada de estos residuos, ya que afecta negativamente la imagen urbana, la movilidad y la salud pública de los ciudadanos.

Este estudio se justifica por la necesidad de mitigar estos impactos ambientales y sociales mediante una gestión adecuada de los RCD. Implementar estrategias eficientes para manejar estos residuos no solo mejoraría la sostenibilidad ambiental, sino que también contribuiría a una mejor calidad de vida urbana, reduciendo riesgos para la salud pública y mejorando la estética y funcionalidad de los espacios urbanos. Este trabajo de grado busca responder a la necesidad urgente de proteger el medio ambiente y la sociedad frente a los efectos negativos de la mala gestión de los RCD.

La importancia de abordar eficazmente la gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) es esencial en proyectos de rehabilitación estructural, ya que se enfrentan a desafíos únicos en comparación con proyectos de construcción nueva. En primer lugar, en los proyectos de rehabilitación estructural los RCD suelen contener una variedad de materiales y componentes estructurales que pueden ser más difíciles de separar y reciclar en comparación con la construcción nueva. La presencia de materiales como concreto armado, acero, madera y otros elementos requiere un enfoque específico para su manejo

adecuado. La ejecución de proyectos de rehabilitación estructural en entornos urbanos densamente poblados puede generar desafíos logísticos y de espacio para la gestión de los RCD. La correcta disposición de estos residuos es crucial para minimizar el impacto ambiental y visual en la comunidad circundante.

Por otro lado, la normativa relacionada con la gestión de RCD en proyectos de rehabilitación estructural puede ser más estricta debido a la necesidad de proteger estructuras existentes, evitar la contaminación del entorno y garantizar la seguridad de los trabajadores y la población cercana. En este contexto, abordar eficazmente la gestión de RCD no solo es esencial para cumplir con las normativas y proteger el entorno, sino que también representa una oportunidad para promover prácticas sostenibles, reducir costos y maximizar el valor de los materiales recuperados.

En los proyectos de rehabilitación, los RCD pueden contener materiales que aún conservan valor y pueden ser reutilizados en la misma obra o en otros proyectos. Maximizar la recuperación y reciclaje de estos materiales contribuye a la sostenibilidad del proyecto y a la reducción de la demanda de recursos naturales. En este proyecto de rehabilitación estructural específicamente del edificio administrativo al este de la Pontificia Universidad Javeriana sede Cali, se aportó en la gestión de los residuos generados a lo largo de las actividades de demolición que tuvo la obra.

La gestión efectiva de los RCD no solo es una necesidad ambiental, sino también una oportunidad económica significativa. Al analizar detenidamente los RCD y explorar formas de reutilizar y reciclar sus tipos, se abre la puerta a la valorización de estos residuos, lo que no sólo evita costos de disposición final, sino que también puede generar ingresos adicionales. Esta estrategia además de beneficiar al medio ambiente al reducir la cantidad de residuos enviados a vertederos, también puede ser una fuente de ingresos valiosa para las empresas y organizaciones involucradas en la gestión de residuos de construcción.

Si se logra mejorar la gestión de RCD, no sólo se reducen los impactos negativos que traen al medio ambiente y a la economía, sino que también crea un marco para proyectos futuros donde puedan implementar este tipo de prácticas en obras relacionadas, ya que se podría aportar información valiosa sobre optimización de costos y recursos. Todo lo anterior se realizó con el fin de que sirva en un futuro, beneficiando en la industria de la construcción y al medio ambiente.

Actualmente existen vacíos de información en cuanto a la generación, composición y alternativas de manejo de RCD en proyectos de rehabilitación estructural. Este estudio de caso aportó datos específicos necesarios para diseñar sistemas de gestión adaptados a este contexto. Los resultados permitieron

formular recomendaciones aplicables para mejorar la gestión cotidiana de RCD en obras civiles, contribuyendo a la toma de decisiones y al cumplimiento normativo por parte de las empresas del sector.

#### **1.4 Alcance.**

La implementación de un sistema eficiente de gestión de RCD en el proyecto en mención, tiene un impacto significativo tanto en el ámbito ambiental como en el económico. Este estudio de caso único se centró en la gestión de los RCD generados durante la rehabilitación estructural de un edificio institucional de concreto reforzado y mampostería de bloque cerámica, específicamente el edificio administrativo ala este de la Pontificia Universidad Javeriana sede Cali.

La investigación se restringió al cumplimiento de las regulaciones establecidas en la Resolución 0472 de 2017 y la Resolución 1257 de 2021, además, el alcance se limitó a la gestión de los RCD desde su generación hasta su clasificación, aprovechamiento y disposición final, excluyendo los otros aspectos de la rehabilitación estructural como lo fue la instalación de la nueva mampostería, las divisiones de muros en los diferentes pisos y la obra blanca en general.

El estudio se enfocó en un período específico de tiempo, desde el inicio de la obra; que abarca las demoliciones de las fachadas en mampostería de bloque cerámica, muros interiores de concreto reforzado, vigas, columnas y zapatas a las que se le hará reforzamiento estructural, entre otros, hasta la finalización de la generación de estos residuos, donde se contempló un tiempo estimado de 4 meses.

Los datos obtenidos a partir de este estudio serán aplicables a proyectos similares, ofreciendo una base para desarrollar estrategias efectivas de gestión de RCD en contextos comparables. Esto incluye tanto las características de los residuos generados como las condiciones de ejecución de la obra. Así, se podrán replicar y adaptar las metodologías exitosas para mejorar la sostenibilidad y eficiencia en otros proyectos del mismo tipo, contribuyendo a un enfoque más uniforme y efectivo en la gestión de RCD en el sector de la construcción.

De esta forma se detallan los procesos principales de la gestión que serán abordados, desde la generación inicial hasta el destino final de los residuos, lo cual aclara los límites sobre lo que cubrió la investigación propuesta.

## **1.5 Objetivos.**

### **1.5.1 Objetivo general.**

Diseñar una guía para la elaboración del plan de gestión integral de residuos de construcción y demolición enfocada en obras de rehabilitación estructural.

### **1.5.2 Objetivos específicos.**

Para alcanzar el objetivo general se planteó el desarrollo de los siguientes objetivos específicos:

- Analizar la información técnica, presupuestal y el cronograma de ejecución del proyecto de rehabilitación estructural, con el propósito de ofrecer recomendaciones específicas para mejorar la gestión de los RCD en obra.
- Caracterizar la generación de los residuos de construcción y demolición durante la ejecución de la obra.
- Estructurar una guía para la gestión integral de RCD aplicando las lecciones aprendidas en el estudio de caso.

### **1.5.3 Objetivos sostenibles.**

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) a los que contribuirá con el desarrollo del proyecto, se mencionan a continuación:

- ✓ **Objetivo 8: *Trabajo decente y crecimiento económico*:** el desarrollo de un sistema eficiente de gestión de RCD puede generar empleo local en actividades como el reciclaje, la clasificación de materiales y la recuperación de los recursos, contribuye al crecimiento económico y al trabajo decente.
- ✓ **Objetivo 9: *Industria, innovación e infraestructura*:** al promover la implementación de infraestructuras más sostenibles en el sector de la construcción.
- ✓ **Objetivo 12: *Producción y consumo responsables*:** al fomentar la reducción, el reciclaje, y la reutilización en la construcción, el proyecto se alinea con el objetivo de promover patrones de producción y consumo más sostenibles.
- ✓ **Objetivo 13: *Acción por el clima*:** la gestión adecuada de los RCD puede ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mitigando así los impactos del cambio climático.
- ✓ **Objetivo 15: *Vida de ecosistemas terrestres*:** al promover la conservación de los recursos naturales y reducir la extracción de materiales primarios, el proyecto contribuye a proteger los ecosistemas terrestres y preservar la biodiversidad.

## **1.6 Organización del documento escrito.**

El presente documento está estructurado de la siguiente manera: en el capítulo 1 se aborda la introducción al trabajo de grado, donde se contextualiza la problemática de los residuos de construcción y demolición a nivel mundial y nacional, junto con las normativas vigentes. Se plantea la importancia de la gestión de estos residuos en el contexto de la rehabilitación estructural del edificio administrativo de la Pontificia Universidad Javeriana sede Cali, y se presentan los objetivos que se pretenden alcanzar con este estudio.

En el capítulo 2 se realiza una revisión bibliográfica sobre la generación de RCD a nivel global y se analizan las normativas colombianas pertinentes. Se profundiza en la gestión de los RCD, incluyendo la importancia de los indicadores de generación de RCD y las metodologías para su obtención. El capítulo 3 detalla la metodología de la investigación, incluyendo el análisis de la información, la caracterización de los RCD generados, la estructuración de la guía para la gestión integral de los RCD, el análisis técnico del proyecto, la proyección de la generación de RCD y las recomendaciones iniciales para la gestión integral de los mismos.

En el capítulo 4 se presentan los resultados obtenidos durante la implementación del Plan de Gestión Integral de Residuos de Construcción y Demolición, incluyendo la etapa inicial y las lecciones aprendidas. También se presenta la guía para elaborar un plan de gestión integral de los residuos de construcción y demolición enfocadas en obras de rehabilitación estructural.

Finalmente, en el capítulo 5 se discuten las implicaciones de los hallazgos y se ofrecen recomendaciones para futuras investigaciones en el campo de la gestión de RCD en proyectos de rehabilitación estructural.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

La estructuración de este capítulo abarcó la revisión de diferentes datos de RCD con base a las zonas continentales y local de la ciudad de Cali, donde se obtuvo información clave para tener una base sobre la generación de RCD y como ha sido el desarrollo sobre el manejo de estos para no afectar al medio ambiente. Se empieza examinando los avances en regulaciones y normativas pertinentes, donde se incluyen las regulaciones locales, nacionales e internacionales que afectan la gestión de RCD en obras de rehabilitación estructural, esto en efecto es para garantizar el cumplimiento de las obligaciones legales y la aplicación de las mejores prácticas existentes.

### **2.1 Generación de RCD.**

En el contexto de la gestión de RCD en proyectos de infraestructura, el estado del arte implica una revisión exhaustiva de la literatura y estudios previos que se centran en temas relacionados con la gestión de RCD en la construcción, con un énfasis especial; la de obras de rehabilitación estructural.

Las obras de rehabilitación y reforzamiento estructural de edificaciones implican mayores niveles de demolición selectiva y remociones parciales en comparación con construcciones nuevas, por lo tanto, tienden a generar mayores cantidades de RCD por metro cuadrado construido, con una proporción más alta de residuos de concreto, acero y mampostería (González, 2020).

#### **2.1.1 Generación de RCD en Europa.**

En Europa, la gestión sostenible de los RCD se enfoca en la reducción de residuos, la reutilización y el reciclaje de materiales de construcción. La Unión Europea (UE) genera más de 2.200 millones de toneladas de RCD al año, donde más del 27% son residuos cotidianos recogidos y tratados por los municipios, y que principalmente lo generan los hogares, es por eso por lo que la UE estableció directivas para regular la gestión de RCD en sus estados, fomentando políticas y regulaciones más estrictas para minimizar los impactos ambientales y promover la economía circular (Parlamento Europeo, 2023).

La primera aplicación importante de los RCD se registró sólo después de la segunda guerra mundial para la reconstrucción de las ciudades europeas con sus edificios completamente demolidos, los escombros y los residuos resultantes después de un proceso de trituración, se usaron como agregados destinados a satisfacer las demandas de la época (Wedler & Hummel, 1946). En la Unión Europea, se calcula que los proyectos de rehabilitación estructural de edificios generan alrededor de 85 millones de toneladas de RCD por año (Comisión Europea, 2020).



Según estimaciones de la Comisión Europea, los RCD representan entre el 25% y el 30% del total de residuos generados en la Unión Europea (Comisión Europea, 2018) en donde se generaron aproximadamente 359 millones de toneladas de RCD en los 28 países de Unión Europea (Eurostat, 2018). Los países que más RCD generan en términos absolutos son: Alemania [67 millones t], Francia [46 millones t], Reino Unido [45 millones t], Italia [40 millones t] y España [29 millones t] (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2018). En promedio cada ciudadano de la Unión Europea produce 683 kg de RCD por año (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2019), donde se estima que entre el 60% y el 75% de estos RCD proceden de la construcción de edificios y viviendas, entre el 25% y el 30% son obras de ingeniería civil como carreteras y puentes, y menos del 10% son de las demoliciones (Hiete M. et al., 2017)

En la actualidad la exigencia del desarrollo basado en la sostenibilidad y la preservación del medio ambiente a nivel mundial ha llevado a la comunidad global a realizar constantes investigaciones sobre nuevas técnicas sostenibles que permitan el desarrollo, con la mínima afectación de los recursos y la biodiversidad (González, 2020).

### **2.1.2 Generación de RCD en Asia.**

En el continente asiático, la gestión de RCD ha experimentado diversas tendencias y desafíos, ya que el crecimiento urbano acelerado en muchos países ha dado lugar a un aumento en la construcción y, por lo tanto, en la generación de RCD debido a proyectos de infraestructura y desarrollo inmobiliario a gran escala.

China actualmente produce la mayor cantidad de RCD en el mundo, el rápido crecimiento de la infraestructura por ser el centro financiero de muchas empresas ha contribuido a la producción de un gran volumen de residuos en el país (González, 2020). Se estima que China produce alrededor de 1.500 millones de toneladas de RCD cada año, lo que equivale a 2,6 veces los 569 millones de toneladas de EE. UU, sin embargo, las economías emergentes requieren mayor inversión en investigación y capacidad suficiente en materia de gestión de RCD (Oviedo & Vega, 2021).

India genera entre el 10% y 15% del total de RCD a nivel mundial, se estima entre 150 y 350 millones de toneladas generadas por año, a su vez, Delhi y Mumbai son de las ciudades con mayor generación en el mundo (Nagapan S, et al., 2020). En Malasia, según el departamento de Estadística, en el 2020 se generaron un total de 6,17 millones de toneladas de RCD, un aumento del 12% respecto al año 2019, se reportó que los RCD representaron entre el 13% y el 15% del total de residuos sólidos del país ese año (DOSM, 2021). A su vez, la tasa de reciclaje de RCD en Malasia se ha mantenido entre el 15% y el 20%. Los

principales materiales reciclados son el concreto, ladrillos, cerámicas y metales. El Instituto de la Construcción y el Ambiente de Malasia (CIDB) tiene la meta de aumentar esta tasa de reciclaje al 30% en los próximos años (Ahmad Bazral A.M. et al., 2021).

En Japón, las cifras oficiales que se conocen más recientes sobre la generación de RCD son de la Oficina de Reciclaje de Residuos de Construcción. Entre las fechas 1 de abril de 2020 y 31 de marzo de 2021; lo que se conoce como un año fiscal en ese país, se generaron 57,50 millones de toneladas de RCD a nivel nacional, lo que comparado con el mismo periodo anterior obtuvo una disminución de 4,4% (Japan Ministry of Environment, 2020). La disminución que se obtuvo en este periodo fiscal (1 abril 2020 al 31 marzo 2021) en parte se le atribuye a la desaceleración de proyectos de infraestructura por la pandemia COVID-19, sin embargo, la tasa de reciclaje de RCD en Japón es la más alta del mundo, y se ha mantenido así en los últimos 5 años, con un 95% (Lockrey, P.J. et al., 2021).

Japón debido a que se encuentra en el conocido “Anillo de Fuego” del Pacífico y Corea del sur que también se ubica en una zona de alta actividad sísmica, han enfrentado varios terremotos destructivos en las últimas décadas, con edificaciones más antiguas y avanzados programas de refuerzo sísmico, estos países tienen un alto componente de RCD de rehabilitación estructural (Hyun, S.Y., et al., 2009)

### **2.1.3 Generación de RCD en América.**

En Norteamérica, Canadá produce aproximadamente 9 millones t de RCD al año, y a pesar de que la generación de residuos es mucho más baja que en los EE. UU., la tasa de reciclaje es tan solo del 7%, dando lugar a que la mayoría del material termine en los vertederos (Statistics Canada, 2015). Sin embargo, para el año 2017, la tasa de reciclaje aumentó al 27% a nivel nacional, estimándose que los RCD representan entre el 18% y el 25% del total de residuos sólidos no peligrosos generados en el país (Statistics Canada, 2017).

Según la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), en el año 2018 se generaron aproximadamente 600 millones de toneladas de RCD en Estados Unidos, lo que va representando más de dos tercios del total de residuos no peligrosos. Las tasas de reciclaje y recuperación de RCD han aumentado, alcanzando un 69% en el año 2018, aunque sigue presentándose gran variedad entre los estados (EPA, 2018). Los RCD provenientes de construcciones residenciales representaron alrededor de 195 millones de toneladas, mientras que los RCD de las construcciones no residenciales sumaron 405 millones de toneladas aproximadamente (EPA, 2020). Un dato importante para recalcar es la generación

de RCD proveniente de actividades de remodelación y rehabilitación de edificaciones existentes, se calcula que se encuentra entre el 20% y el 30% de los RCD totales (EPA, 2018).

En Centroamérica es bastante limitada y desactualizada la información sobre la generación de RCD. En Costa Rica, se estima que se generan 1,5 millones de RCD por año, donde aproximadamente el 90% de estos residuos terminan dispuestos en vertederos o botaderos informales y solo un 10% se recicla o se reutiliza; principalmente el concreto y el acero (Jiménez, J.R., 2015).

La capital de Panamá; ciudad de Panamá, genera cerca de 2.000 toneladas diarias de RCD, se estima que el 80% de estos residuos no reciben ningún tipo de gestión adecuada y por ende existe un grave problema ya que toda la mayoría de estos residuos terminan en disposiciones ilegales como cauces y áreas verdes (Berridi, J., 2019).

México clasifica los RCD de forma similar a Brasil, pero además han establecido los límites para la reutilización anual en el reciclaje de cada una de las categorías. La producción de residuos de construcción y demolición en México es bastante baja en comparación con Brasil, aproximadamente 12 millones de toneladas anuales (González, 2020).

Por otro lado, en Brasil, la producción estimada de residuos de construcción y demolición para el año 2021 era de más de 70 millones de toneladas por año. Si bien el gobierno recientemente implementó nuevas leyes y legislaciones sobre el reciclaje de desechos, la tasa de recuperación es aún mínima (Cuzcano et al., 2021). Hoy por hoy, Brasil estaría generando alrededor de 100 y 120 millones de toneladas de RCD por año con tasas de reciclaje y reutilización muy bajas que varían entre el 10% y el 30% dependiendo de la región del país (Souza, U.E.L et al., 2022).

Según la Cámara Chilena de la Construcción (2022), Chile genera anualmente cerca de 4.5 millones de toneladas de RCD con una tasa de reciclaje o reutilización aproximada de 25% en el país. Santiago de Chile concentra casi el 70% de la generación total de RCD en Chile (Gutiérrez, C.E. et al., 2022).

Un factor que impulsó a los diferentes países a fomentar la reutilización de los RCD es la imposición de tarifas por la generación de estos residuos, debido a que solo cuando los generadores experimentan impactos financieros directos por la gestión de sus residuos, es cuando se ven motivados a considerar prácticas de reciclaje.

En Colombia, según el DANE (202) y la Universidad Industrial de Santander (2018), el sector de la construcción aporta 6,5% al PIB pero al mismo tiempo está consumiendo el 60% de los recursos naturales

no renovables de la tierra y 40% de la energía, esto genera que el 30% de las emisiones de CO<sub>2</sub> y 25% de residuos a nivel nacional. La generación de RCD alcanza un valor de 7,4 millones de toneladas en procesos de construcción, adicionalmente el sector construcción genera más de 22 millones de toneladas resultantes de procesos de demolición (MADS, 2019).

#### **2.1.4 Generación de RCD en Santiago de Cali.**

En Cali la situación de los RCD se refleja en escenarios críticos como la estación de transferencia en la Carrera 50; solo a este punto llegan diariamente alrededor de 500 m<sup>3</sup> de estos residuos. Otro problema son los 165 puntos de arrojado clandestino de escombros, que la unidad administrativa especial de servicios públicos municipales tiene mapeados en la ciudad (González, 2020), en los que se encuentran los botaderos a cielo abierto que se han ubicado en barrio como Aguablanca, Siloé, Terrón Colorado, Llano Verde y Potrero Grande (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2020).

El informe nacional de disposición final de residuos sólidos (2020), expresó que Cali produjo en ese año lo que equivale al 11,5% del total nacional. Estos residuos se generan principalmente en las comunas 1, 3, 10, 19 y 22, donde se concentran las obras de construcción y demolición más grandes y frecuentes. Los sitios autorizados para la disposición final de los RCD en Cali son las celdas transitorias de Pance y La Buitrera, donde se realiza un proceso de separación, clasificación, trituración y aprovechamiento de los materiales reciclables (CIEC, 2023).

Según el Plan de Desarrollo 2012-2016 de Santiago de Cali, para el 2016 ya se debía implementar una alternativa de aprovechamiento para los RCD (González, 2020); así mismo este informe estimaba una proyección de 500.246 ton en la generación para ese año, como se muestra en la Figura 1, sin embargo, en la actualidad según la Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, seccional Occidente, se calcula que en la ciudad y sus sectores adyacentes se generan más de 2.500 m<sup>3</sup> al día, es decir, casi un millón de toneladas de residuos de construcción y demolición por año (El País, 2018), el doble de lo que se proyectaba generar (González, 2020).

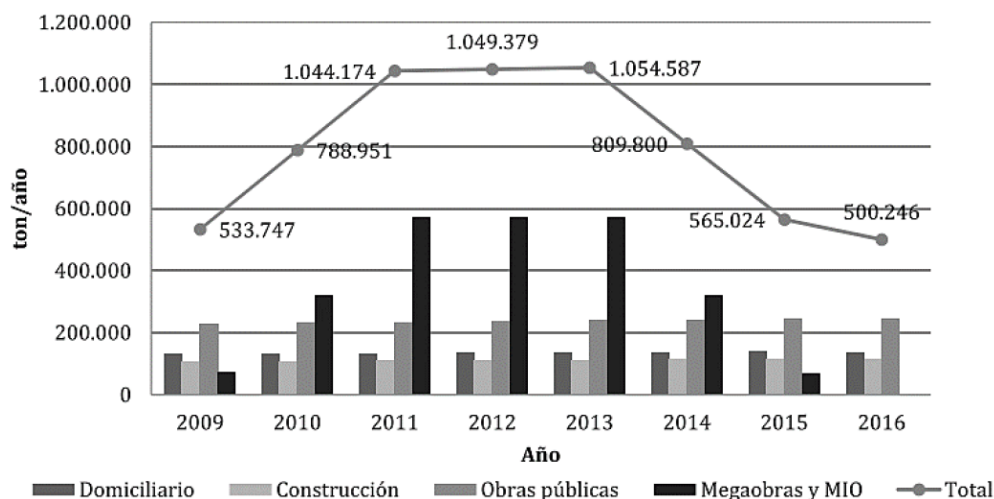


Figura 1. Cantidad en peso (ton) de escombros generados con proyecciones al año 2016, (DAGMA, 2013;González, 2020).

En esto, los mayores productores formales de RCD han sido las constructoras y las obras públicas, siendo el desarrollo de proyectos urbanísticos asociados a la generación de espacios para la ciudad una alta fuente de producción de residuos sólidos, algo que suele escapar de las planeaciones y las agendas públicas de las obras de la ciudad (CIEC, 2023). A su vez, es el sector informal quien, en muchos de los casos, actúa como uno de los actores que traslada los RCD a los lugares públicos legales e ilegales dispuestos para su instalación transitoria o final. Esta opción se vuelve atractiva por su bajo costo frente a los transportadores legales (Robayo et al, 2014).

Del volumen total de metros cúbicos diarios, se puede concluir que la generación formal de RCD en Cali es mucho mayor que la generación informal (Ver Tabla 1). Esto se debe a que las constructoras y obras públicas generan una gran cantidad de residuos, que son más difíciles de controlar y gestionar que los residuos generados por las construcciones y remodelaciones particulares (CIEC, 2023).

Tabla 1. Distribución de la generación de RCD por actor.

Fuente	Porcentaje	Volumen
Generadores formales	76,6%	1900 m <sup>3</sup> mínimo
Generadores informales	23,4%	580 m <sup>3</sup> mínimo

Fuente: ACODAL (2017); CIEC (2023).

La Administración Municipal de Santiago de Cali, en el año 2018, a través del Decreto 0771 de 2018, establece las normativas para supervisar la gestión integral de Residuos de Construcción y Demolición (RCD). Este decreto requiere que los grandes generadores de residuos, cuyas áreas construidas sean

iguales o superiores a 2.000 m<sup>2</sup>, aprovechen al menos el 5% en masa del total de los materiales utilizados en la obra.

## **2.2 Normatividad Colombiana sobre RCD.**

En Bogotá, se encuentra la Resolución 1115 de 2012 emitida por la Secretaría Distrital de Ambiente, establece los lineamientos técnicos-ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los RCD en el Distrito Capital. Esta normativa aplica a grandes generadores, poseedores, recolectores, transportadores, y quienes realicen tratamiento y/o aprovechamiento de RCD en Bogotá. Esta Resolución busca promover la gestión adecuada de estos residuos, fomentando la valorización y el consumo de árido reciclado en línea con el Plan de Desarrollo Económico y Social de Bogotá. Además, establece definiciones clave, obligaciones para entidades públicas y constructoras, registro de información, procedimientos, y medidas sancionatorias para garantizar el cumplimiento ambiental. La Resolución 932 de 2015 modifica y adiciona a la Resolución 1115 de 2012 sobre los procedimientos de registros, busca estandarizar los reportes entregados por los generadores para promover el cumplimiento ambiental y fomentar el aprovechamiento de los RCD en la capital colombiana.

En Colombia, la gestión de los Residuos de Construcción y Demolición está regida por una serie de normas y reglamentaciones a nivel nacional y local en las que se encuentra el Decreto 1077 de 2015 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio que reglamenta el manejo y disposición final de los RCD, incluyendo la obligación de los generadores de formular e implementar planes de gestión integral de residuos sólidos. Define los RCD como aquellos sólidos proveniente de las actividades de construcción, demolición, reparaciones o reformas de edificaciones o infraestructura, por lo cual determina que los generadores de RCD deben elaborar e implementar un Plan de Gestión Integral de Residuos de Sólidos (PGIRS) que incluya un programa para el manejo de los RCD, así como las obligaciones de los generadores de estos RCD, como la de realizar la separación en la fuente, garantizar su recolección, transporte y disposición final adecuada para promover su aprovechamiento y valorización. El Decreto 1077 de 2015, indica que los municipios y distritos deben regular la gestión de los RCD en su jurisdicción, estableciendo las disposiciones para su manejo, aprovechamiento, tratamiento y disposición final, donde se enfatiza que los RCD no aprovechables deben ser dispuestos adecuadamente en escombreras autorizadas o en las obras de construcción donde se generen, ya que al no cumplirse las medidas respectivas y establecidas sobre las disposiciones de RCD, se instaurarán sanciones y medidas preventivas aplicables (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio - Decreto 1077, 2015).

La Resolución 0472 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), regula la gestión integral de los residuos generados en actividades de construcción y demolición, tiene como objetivo establecer directrices para prevenir y reducir la generación de estos residuos, y les compete tanto a las personas naturales como a la jurídicas. Esta resolución exige que los generadores implementen medidas preventivas como la planificación adecuada de obras y la separación de residuos por tipo, asimismo, los grandes generadores de RCD deben elaborar y mantener actualizado un Plan de Manejo Ambiental de RCD (PMA-RCD), que incluya las metas de aprovechamiento.

La Resolución 1257 de 2021 expedida por el MADS, que modifica la Resolución 0472 de 2017, establece la reglamentación para la gestión integral de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en Colombia actualmente. Tiene por objeto regular la gestión integral de los RCD, desde su generación hasta su aprovechamiento, tratamiento y/o disposición final (MADS, 2021) a fin de prevenir y controlar la generación de residuos y promover su valorización, tanto para las personas naturales como la jurídicas que lo generen, gestionen o realicen actividades relacionadas con los RCD.

Esta Resolución (1257 de 2021) establecen algunas definiciones claves donde busca captar la atención del lector generador y promoviendo la gestión integral de estos RCD. Al igual que se había establecido en el Decreto 1077 de 2015, los generadores de RCD deben formular e implementar un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), separar los residuos en la fuente, facilitar su recolección, transporte, disposición y promover su aprovechamiento. Adopta dos nuevos términos como lo son: sitios de aprovechamiento y sitios de tratamiento; la autoridad competente aceptará los sitios de aprovechamiento y deberán contar con la calidad en la infraestructura y medidas de control ambiental correctas, mientras que los sitios de tratamiento serán las áreas donde se realicen actividades como trituración, clasificación, entre otros. Para poder realizar actividades de gestión de RCD, la Resolución 1257 de 2021 adopta otras disposiciones como el Registro Único de Gestores de RCD, donde se deberán inscribir las personas naturales o jurídicas para que puedan realizar dicha actividad (MADS, 2021)

Actualmente en Bogotá, el Decreto 507 de 2023 en la Alcaldía Mayor de Bogotá establece varios lineamientos para la gestión integral de los RCD en la ciudad, en los que se encuentra la expedición de constancias de gestión de RCD a los generadores, y que será producto del reporte de las transacciones entre gestores que participan en la gestión de los residuos. El citado Decreto creó la Mesa Distrital de Residuos de Construcción y Demolición como instancia encargada de implementar, hacer seguimiento y evaluación al plan de acción del modelo de gestión de RCD, así como fijar las estrategias técnicas y jurídicas para su manejo en el Distrito Capital. Esta mesa llevará un control a la implementación del modelo de

gestión e implementará los indicadores de eficiencia, eficacia y efectividad para tal fin. Para la implementación de las líneas programáticas, la Mesa Distrital de RCD revisará y ajustará cada dos años, de ser necesario, el Plan de Acción corto, mediano y largo plazo (Secretaría Jurídica Distrital, 2023).

Algunos lineamientos clave que incluye el Decreto 507 de 2023 es el reporte mensual de los RCD gestionados, la implementación de medidas en el área de HSEQ, la implementación de mecanismos para controlar la métrica de los RCD generados en Bogotá que se gestionan fuera de la ciudad, la focalización de acciones de seguimiento y control sobre los pequeños generadores de RCD incluidos aquellos en las obras y el uso de herramientas digitales para fortalecer el control sobre los agentes de la cadena de gestión de los RCD (Secretaría Jurídica Distrital, 2023).

La reglamentación que adoptó el Decreto 507 de 2023 en vista de la Resolución 1257 de 2021, sería los porcentajes sobre el aprovechamiento de RCD generado en obra, presentándose los porcentajes para cada año desde enero de 2023; iniciando con el 25% de aprovechamiento y terminando en el año 2030 con el 75%.

Al ya venir avanzando en la incorporación de los RCD en el peso del total de material utilizado en la obra, se crea una meta adicional de circularidad bajo el mismo Decreto, contemplado en el capítulo 7 (Alineamientos para la incorporación de prácticas circulares en la construcción) se especifica que para edificaciones públicas o privadas de uso residencial o comercial, se debe de incorporar un 5% en peso de materiales de construcción provenientes de la valorización de RCD pétreos con respecto al peso total de los materiales de construcción usados en la obra, aumentando un punto porcentual (1%) al año hasta alcanzar a una inclusión del 20%. Para las obras de infraestructura vial, la incorporación iniciará en un 20% en peso de materiales de construcción provenientes de la valorización de RCD pétreos con respecto al peso total de los materiales de construcción usados en la obra, aumentando un punto porcentual (1%) al año hasta alcanzar a una inclusión del 35%. La incorporación del 5% para edificaciones y del 20% para infraestructura vial se empezó a cumplir a partir de la entrada en vigor del Decreto 507 de 2023 es decir, el 31 de octubre del 2023.

Para Medellín se ejercía mediante la Resolución 541 de 1994 y el Decreto 1609 de 2013 que regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos de construcción, demolición, capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación. La resolución establece plazos para la disposición final de los materiales, la recuperación del espacio público utilizado y sanciones por infracciones a las normas ambientales.



El Decreto 0771 de 2018 de Cali, establece un marco regulatorio para la gestión integral de RCD en la ciudad, con el objetivo de que los generadores y gestores de RCD cumplan con las normativas ambientales, promoviendo prácticas sostenibles en la construcción. Entre las obligaciones impuestas a los generadores de RCD se destaca la necesidad de inscribirse ante la Secretaría de Desarrollo Territorial y Participación Ciudadana. Se establecen metas de aprovechamiento comenzando con un 2% del peso total de materiales utilizados en la obra durante el primer año y aumentando progresivamente hasta alcanzar un 10% en años posteriores. Con respecto a su modificación; el Decreto 507 de 2023, los reportes sobre el manejo de estos residuos ya no serán presentados trimestrales sino mensuales, además, enfatiza la importancia sobre la implementación de medidas de seguridad y salud en el trabajo.

También, el Manual de Construcción Sostenible aprobado por el Concejo de la ciudad de Cali mediante el Acuerdo 0574 de diciembre de 2023 y desarrollado en colaboración con la Pontificia Universidad Javeriana de Cali, establece varias estrategias para promover la construcción sostenible en la ciudad. Contiene 120 criterios de sostenibilidad que los proyectos de construcción deben cumplir para obtener el “Sello Cali Construye Sostenible”, donde el objetivo es incentivar prácticas que reduzcan el impacto ambiental de las edificaciones y promuevan un desarrollo urbano más responsable. Los proyectos que obtienen este sello pueden acceder a diversos incentivos como beneficios tributarios (descuentos en impuestos prediales y delineación urbana), incentivos urbanísticos (mayores niveles de edificabilidad), incentivos administrativos (reducción de costos y tiempos en trámites) y educativos (descuentos en actividades formativas lideradas por la administración distrital).

### **2.3 Gestión de los RCD.**

La cantidad de RCD está en constante aumento, lo que representa un desafío cada vez mayor para las autoridades gubernamentales, dadas las complejidades ambientales y técnicas asociadas. Por esta razón, se están explorando soluciones para abordar este problema, como la promoción de la reutilización de dichos materiales. Es importante tener en cuenta que este enfoque no solo busca generar beneficios ambientales, sino también cumplir con los estándares técnicos requeridos en el sector de la construcción.

En la Figura 2 se observa el ciclo de vida de las edificaciones, donde antes de la extracción de la materia prima se tiene una planificación y programación desde el diseño y/o la ingeniería, en ella se incluyen las autoridades, los inversionistas, los desarrolladores, arquitectos e ingenieros. La construcción abarca a los contratistas, proveedores de materiales y equipos, la logística y los operadores de la gestión de los residuos y ya en la última fase lo que es la demolición, entra el operador de la gestión de los residuos generados. Se busca que la gestión de los residuos de construcción y demolición acompañe el proceso

desde el diseño, pues es ahí donde se toman decisiones sobre las metodologías constructivas iniciales y los materiales que se emplearán durante la obra, por eso es clave tener una gestión desde el momento cero donde se planificar y prever o minimizar la generación de residuos.

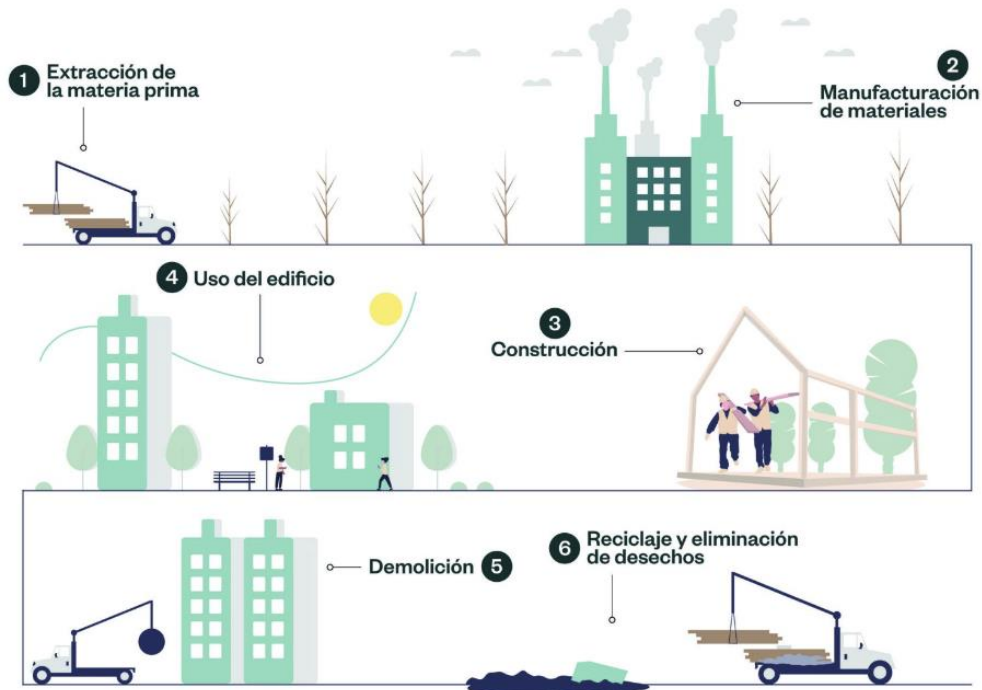


Figura 2. Ciclo de vida de un edificio (Econova, 2022).

Para evaluar y monitorear eficazmente la gestión de RCD, es crucial contar con indicadores claros y precisos que permitan medir la cantidad y el tipo de residuos generados a lo largo de todo el ciclo de vida de las edificaciones. Estos indicadores, conocidos como Indicadores de Generación de RCD, ofrecen una herramienta fundamental para entender la eficiencia de los procesos constructivos y la efectividad de las estrategias de manejo de residuos implementadas, ya que al proporcionar datos cuantitativos sobre la producción y gestión de los residuos en cada etapa del proyecto, los indicadores permiten identificar las áreas de mejora y permiten tomar decisiones informadas para optimizar la planificación y minimizar el impacto ambiental con la generación de RCD.

Un paso fundamental hacia una gestión efectiva de los RCD implica la precisa evaluación de su generación real. La cantidad y las características de estos residuos están intrínsecamente ligadas a las particularidades de cada proyecto, abarcando desde el área de construcción hasta los materiales empleados, el método de construcción, la mano de obra calificada, entre otros factores relevantes.

Examinar la generación de residuos en la construcción resulta esencial cuando se busca emplearlos como sustitutos parciales o totales de la materia prima en la producción de componentes para la construcción. La alta tasa de desperdicio durante el proceso constructivo constituye la principal fuente de estos desechos, si bien no todos los materiales desperdiciados se convierten en pérdidas reales, ya que algunos son reutilizados en el mismo lugar de trabajo. Una tasa de pérdida promedio proporciona una estimación precisa de la cantidad de materiales de construcción que se desechan (González, 2020).

En términos más generales y abarcando todo lo que sería el ciclo de aprovechamiento para cualquier intervención de obra civil, se tiene en cuenta una economía circular en donde se empieza con un diseño debido a la necesidad que se va presentando en el crecimiento de las ciudades, seguido a esto la construcción de lo que se realizó en el anterior paso, ya sea de edificaciones donde vivirán las personas o las vías por donde se desplazarán de un lugar a otro. Posterior a la construcción tendremos lo que se conoce como el uso, pero aquí saldrá un problema ya que por la cantidad de personas se ve la necesidad de aumentar carriles en las vías o de construir más altos los edificios y es ahí donde tendremos que aplicar lo que se le llama demolición selectiva según el plan de ordenamiento.

La intención que se trae luego de la demolición selectiva es que haya una separación de residuos en la fuente para su posterior almacenamiento y recolección. Los residuos generados serán transportados en la medida de lo posible a sitios de aprovechamiento que donde se ha mencionado, serán los sitios donde se les dará de una nuevo una vida útil a los materiales o se valorizarán para luego dar por terminada la fase en la disposición final, que es donde se espera que la cantidad de residuos que lleguen aquí sean mínimo. Un resumen de lo anteriormente dicho se puede contemplar en la Figura 3:



Figura 3. Ciclo de aprovechamiento contemplando la economía circular de los residuos (PROCEMCO, 2024)

### 2.3.1 Indicadores de Generación de RCD.

Para Armijos (2018), los indicadores de generación de residuos son expresiones cuantitativas que reflejan el comportamiento, evolución y desempeño del RCD; las cuales pueden ser empleados como un nivel de referencia sobre la cantidad de residuos generada en función de las actividades de obra ejecutadas, permitiendo identificar una desviación o comportamiento anómalo durante la ejecución de un proceso o producto y brindan una herramienta versátil para plantear acciones correctivas y toma de decisiones en la gestión del proyecto.

EL Gobierno Vasco utiliza indicadores vinculados a la generación de RCD, los cuales se categorizan según el tipo de intervención que se esté realizando. Estas categorías son las siguientes: para obras nuevas se estima una generación de 120kg/m<sup>2</sup>, para rehabilitaciones que es la que más nos interesa tener en cuenta el dato para este trabajo, se prevén 338,7 kg/m<sup>2</sup>, y para demoliciones parciales y totales que son 903 kg/m<sup>2</sup> y 1.129 kg/m<sup>2</sup> respectivamente (Agencia de Obras Públicas, Municipio de Andalucía, 2015).

Para realizar una proximidad en la producción unitaria de residuos de volumen a peso, es recomendable utilizar densidades en función del tipo de residuos que oscila entre 0,5 y 2,0 t/m<sup>3</sup> (Agencia de Obras Públicas, Municipio de Andalucía, 2015). Estos indicadores pueden generar incertidumbre ya que no se sabe a profundidad cuales fueron los factores que influyeron para dar estos resultados, ofrecen una visión más general de los RCD según el tipo de proyecto y pueda que no reflejen la situación real en el contexto colombiano.

La estimación de la cantidad de RCD proveniente de actividades de demolición, generalmente se realiza considerando el volumen ocupado por los residuos en función del área construida, tal como se ilustra en la Tabla 2.

*Tabla 2. Producción de RCD (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) en la demolición de obras de infraestructura civil excluyendo tierras.*

<b>Naturaleza del RCD</b>	<b>Indicador (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)</b>
<b>No Pétreo</b>	0,004
<b>Pétreo</b>	1,555
<b>Total</b>	1,559

Fuente: Agencia de Obras Públicas, Municipio de Andalucía, 2015

En los materiales de naturaleza No Pétreo están incluidos los residuos de madera, vidrio, material aislante, plásticos, metales, papel, cartón y derivados del yeso. Los materiales Pétreos incluyen a áridos, hormigones, cerámicos y materiales asfálticos (Agencia de Obras Públicas, Municipio de Andalucía, 2015).

### **2.3.2 Metodologías para la obtención de indicadores.**

A continuación, con base al análisis de la literatura estudiada se puede observar diferentes metodologías que se han aplicado para el cálculo de los indicadores de generación de RCD.

- **Método Yost-Halstead.**

Es una metodología propuesta en 1996 para estimar la generación de RCD en obras específicas. Fue desarrollado por Paul A. Yost y John L. Halstead en su investigación.

EL método utiliza índices de generación de RCD previamente determinados para diferentes tipos de obras (residenciales, comerciales, industriales, etc) que se expresan en volumen (pies o yardas cúbicos) de RCD por área construida. Permite estimar la generación en la etapa de planificación y diseño a partir de los planos y las áreas proyectadas considerando cuatro categorías: Madera, concreto, ladrillos o bloques, y otros, proporcionando índices promedio para cada categoría según las experiencias previas, aunque siempre ajustándola al proyecto específico. Al final, la generación total estimada se calculará sumando los volúmenes por categoría de residuo (Yost-Halstead, 1996).

Esta metodología fue una de las primeras sistemáticas propuestas para cuantificar RCD desde la fase de diseño de proyectos de construcción en Estados Unidos. Fue pionera y ampliamente utilizada, aunque presentaba limitaciones al emplear datos genéricos.

- **Método Bossink.**

Propuesta en 1996 por el investigador Holandés Bart A. G. Bossink para estimar la generación de RCD en obras nuevas. La metodología se basa en el concepto de “índices de desperdicio” y definiéndoles valores para los diferentes materiales de construcción utilizados como envases, tejas, bloques, ladrillos cerámicos, agregados, residuos de pilotes, hormigones, morteros y otros. Estos índices representan el porcentaje típico de cada material que se convierte en residuo durante los procesos constructivos, y se obtienen a partir de datos empíricos recopilados en proyectos reales.

Para lograr estimar la generación de RCD, se calculan las cantidades de materiales requeridos según las especificaciones de diseño, estas cantidades se multiplican por los respectivos índices de desperdicio para obtener el volumen o peso de los residuos generados. El método contempla factores de corrección según tipos y tamaños de proyectos constructivos, permitiendo realizar estimaciones tanto en etapa de diseño como durante la construcción.

- **Método Franklin.**

Es un informe publicado por Franklin Associates en el año 1998, que contribuye significativamente al campo de la gestión de residuos de construcción y demolición, proporcionando datos y análisis que han sido fundamentales para comprender y abordar los desafíos asociados con este tipo de residuos en los Estados Unidos. Este estudio se basa en datos recopilados de proyectos de construcción y demolición en todo el país, abordando diversos aspectos relacionados con los RCD, incluyendo la composición de los residuos, los volúmenes generados, los métodos de gestión y disposición final, y los impactos ambientales asociados. Utilizando técnicas de muestreo y análisis estadístico, el documento ofrece estimaciones detalladas sobre la cantidad y tipo de materiales presentes en los RCD, así como tendencias y patrones de generación a nivel nacional. El documento sirve como referencia importante para el desarrollo de políticas y estrategias de gestión de residuos en los Estados Unidos y otros países que enfrentan desafíos similares en relación con los RCD.

- **Método Stock.**

En el artículo escrito por Müller en el año 2005, aborda la dinámica del método Stock para prever flujos de materiales, centrándose en un estudio de caso relacionado con la vivienda en los Países Bajos. Müller examina cómo el método Stock puede ser aplicado para comprender y pronosticar los flujos de materiales asociados con la construcción y demolición de viviendas en los Países Bajos. Se centra en el análisis de la acumulación gradual de materiales de construcción a lo largo del tiempo en el entorno construido, así como en la proyección de futuros flujos de materiales basados en datos históricos y tendencias de construcción (Müller, 2005).

El método proporciona una estimación precisa de los RCD, sin embargo, su base radica en indicadores específicos. El modelo calcula la cantidad total de residuos generados para varios escenarios, teniendo en cuenta el flujo de materiales utilizados, destacando que no es un método infalible para determinar con precisión la cantidad de residuos generados (Armijos, 2018; Ghosh, Haldar, Chatterjee, & Ghosh, 2016; Llatas & Fuertes, 2017).

- **Departamento de Medio Ambiente de Hong Kong.**

En el año 2000, el Departamento de Medio Ambiente de Hong Kong desarrolló modelos de estimación de RCD utilizando datos reales recopilados en sitios monitoreados. Estos modelos distinguieron la generación de cada tipo de residuo con la etapa de construcción del proyecto, permitiendo definir factores de generación estándar según uso del edificio (residencial, comercial, entre otros).

- **Método Kofoworola & Gheewala.**

Kofoworola & Gheewala en el año 2008, llevaron a cabo una cuantificación de RCD mediante muestreo directo en proyectos de construcción tailandeses. Este estudio estableció una relación entre la generación de estos residuos y las áreas construidas, así como los costos de las obras. Como resultado, obtuvieron índices de generación expresados en  $\text{m}^3/\text{m}^2$  y toneladas/millón de bahts (unidad monetaria tailandesa, donde 1 baht equivale aproximadamente a 0,03 dólares estadounidenses). Los resultados se obtienen al asumir la generación de  $21,38 \text{ kg}/\text{m}^2$  para edificaciones residenciales, y  $18,99 \text{ kg}/\text{m}^2$  para edificaciones no residenciales (Armijos, 2018).

- **Método Banco Interamericano de Desarrollo.**

En el año 2015, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) estableció estándares para la clasificación de componentes de RCD, proponiendo protocolos sistemáticos para la división y muestreo de residuos sólidos, seguidos de una clasificación basada en el cálculo de indicadores de generación, composición y densidad de RCD.

- **Método Teórico Pormenorizado.**

El estudio realizado por Bernardo, Gomes, & de Brito, en el año 2016, se enfoca en la generación de residuos de demolición para el desarrollo de un modelo de gestión de cadena regional. La investigación probablemente ofrece un análisis detallado de las actividades de demolición y su relación con la generación de RCD, los que puede proporcionar una base sólida para la planificación y gestión eficaz de los residuos en el sector de la construcción.

Los indicadores de generación de RCD se derivan de una relación lógica entre diferentes variables, por ejemplo, la cantidad de residuos generados en volumen por  $\text{m}^3$  y el área de la edificación demolida en  $\text{m}^2$ , u otra relación sería que la densidad estuviese en  $\text{m}^3$  y el área construida en  $\text{m}^2$ . Estas relaciones se establecen empíricamente en función de las actividades realizadas en proyectos de construcción y la cantidad de RCD generados (Armijos, 2018; Bernardo, M., Gomes, M. C., & de Brito, J., 2016).

- **Método Agencia Ambiental Europea.**

La Agencia Ambiental Europea en el año 2020, centró sus esfuerzos en recopilar datos reportados oficialmente por los países miembros de la Unión Europea. A partir de estos datos, se calcularon indicadores de generación per cápita y composición promedio regional. Posteriormente, se propuso una metodología estandarizada con el fin de facilitar la comparación entre las naciones de la UE en cuanto a la generación y composición de residuos de construcción y demolición.

- **Método Katsioloudis *et al.*, 2021.**

En la metodología desarrollada en el año 2021 por Katsioloudis, Katsioloudi, & Kavouras, se empleó un modelo de regresión para estimar tasas de generación de RCD según los tipos de obras. Además, se propuso una metodología para estimar la composición de RCD en el sitio de trabajo. La recopilación de datos sobre la generación de residuos de construcción y demolición se llevó a cabo a través de encuestas dirigidas a empresas constructoras y contratistas.



### 3. METODOLOGÍA

Este capítulo describe la metodología empleada para la rehabilitación estructural del ala este del edificio administrativo de la Pontificia Universidad Javeriana sede Cali, enfocada en la gestión integral de RCD. Se detallan los procedimientos para la identificación, clasificación y manejo de los RCD, así como las estrategias para optimizar recursos y minimizar el impacto ambiental. Se abordan aspectos clave como la logística interna, las mediciones en el sitio y los métodos de análisis para asegurar la representatividad de las muestras, esta metodología aplicada permitió no solo alcanzar los objetivos del proyecto, sino también establecer prácticas sostenibles que pueden ser replicadas en futuros proyectos.

La metodología para el trabajo presentado se realizó en 16 semanas donde se abarcaron actividades para alcanzar los diferentes objetivos específicos y a su vez el objetivo general tal como se muestra la Figura 4.

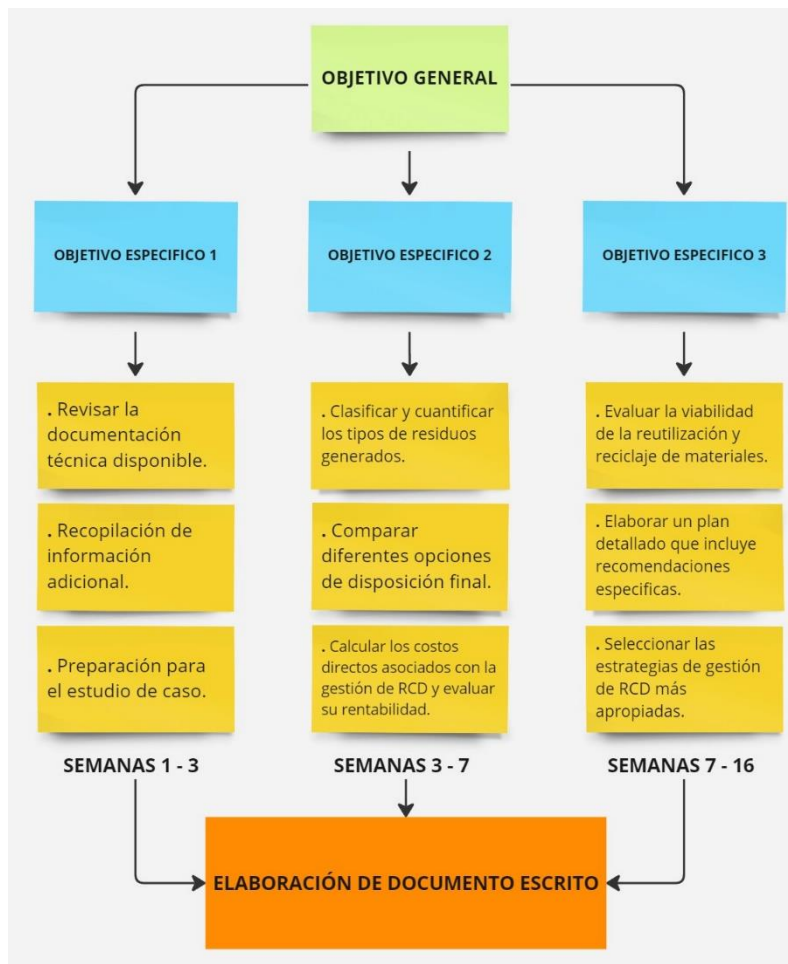


Figura 4. Diagrama general de la metodología.

### **3.1 Análisis técnico del proyecto.**

El análisis técnico del proyecto se desarrolló a través de una serie de fases que permiten comprender a fondo las características y desafíos del proyecto en estudio, se comenzó con la presentación del estudio de caso donde se establecieron los antecedentes, objetivos y alcance del proyecto. Posteriormente, se realizó una descripción detallada del proyecto de rehabilitación estructural, incluyendo las especificaciones técnicas, las condiciones iniciales de la estructura y los objetivos de la intervención. El análisis incluyó también la evaluación de las metodologías de construcción empleadas, el cronograma de ejecución y los recursos necesarios para llevar a cabo la obra.

El análisis de información se comprendió de varias etapas:

- ✓ Primero, se realiza la revisión de la documentación técnica que se tiene disponible, se incluye la investigación y análisis de informes, normativas y estudios previos pertinentes, con el objetivo de establecer una base sólida de conocimiento sobre las mejores prácticas y experiencias previas en la gestión de RCD de proyectos similares.
- ✓ Segundo, la recopilación de información inicial, donde se reunirá los datos específicos sobre el proyecto, incluyendo detalles sobre el alcance de la obra, los materiales y herramientas a utilizar, los procesos de demolición y la generación de los RCD. También se recopilará información relacionada con el presupuesto y cronograma de ejecución de la obra
- ✓ Tercero, la preparación del estudio de caso, donde se pretende identificar posibles mejoras, la elaboración de recomendaciones y el análisis de aspectos como la separación de residuos, el transporte, el aprovechamiento de materiales y la disposición final. El estudio de caso permitirá que las prácticas sobre la gestión de RCD sean correctas en el contexto real.

#### **3.1.1 Presentación del estudio de caso.**

La intervención se llevó a cabo en uno de los edificios ubicados dentro del campus de la Universidad Javeriana Sede Cali, situada al sur de la ciudad. Este edificio en particular se conoce como "Administrativo" y presenta una configuración arquitectónica peculiar; consiste en un punto fijo central que divide el edificio en dos alas: el ala Oeste y el ala Este. Cabe destacar que el ala Oeste ya ha sido sometida a un proceso de rehabilitación estructural, por lo tanto, la zona que se intervendrá corresponde exclusivamente al ala Este como se observa en la Figura 5 y Figura 6.

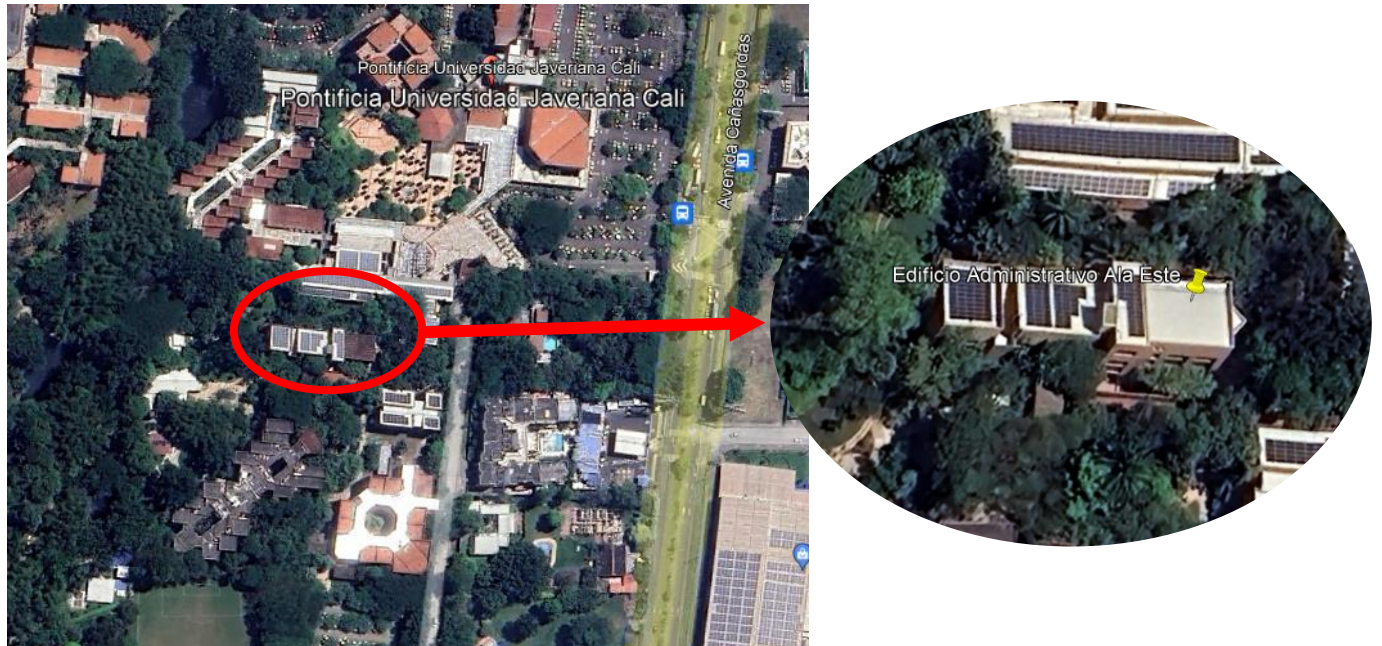


Figura 5. Ubicación específica del proyecto, edificio administrativo ala este (Google Earth Pro, 2024).



Figura 6. Vista de la fachada del edificio administrativo ala este de la Pontificia Universidad Javeriana sede Cali.

La Figura 7 muestra el plano en planta del primer piso de la edificación de estudio la cual consta de oficinas para los directivos de promoción, mercadeo y comunicaciones, así como los cubículos para el personal de apoyo en las diferentes áreas (Las medidas están dadas en m).

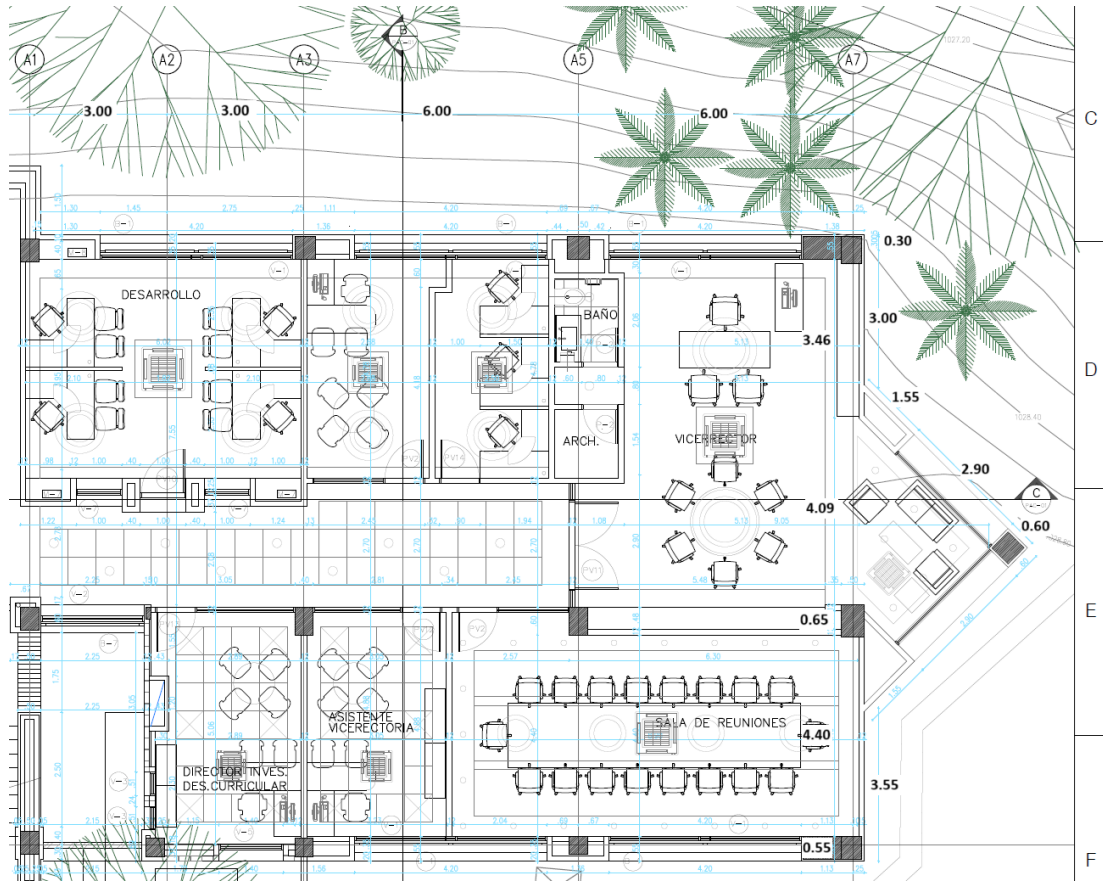


Figura 7. Planta primer piso del edificio administrativo ala este (Ortizcampo, 2022).

### 3.1.2 Reforzamiento estructural del edificio.

El proyecto consiste en el reforzamiento estructural del ala este del Edificio Administrativo, el cual cuenta con 1.780m<sup>2</sup> construidos repartidos en 3 pisos principales y 5 pisos en el punto fijo. Se realizó el reforzamiento de zapatas de la edificación, también el reforzamiento mediante encamisado en algunas de las columnas existentes e instalación de riostras metálicas en fachadas este y sur. Adicionalmente se realizó la remodelación de los elementos no estructurales de fachada o perimetrales, construyendo muros en mampostería reforzada y ventanas en aluminio y vidrio de seguridad. Las actividades que generaron la mayor cantidad de RCD fueron las demoliciones de muros de fachadas que algunos casos fueron triples y por lo general eran dobles, la demolición de muro interiores, demolición de vigas aéreas, entre otros, las cuales generaron en su mayor parte residuos de mampostería y concreto. Por último, se realizó la remodelación de la cubierta, cambiando la teja en asbesto cemento y barro por teja tipo monorroof de metecno la cual es apta para paneles solares, en la Figura 8 muestra el plano de la cubierta con la ubicación y pendiente de la misma (Las medidas están dadas en m).

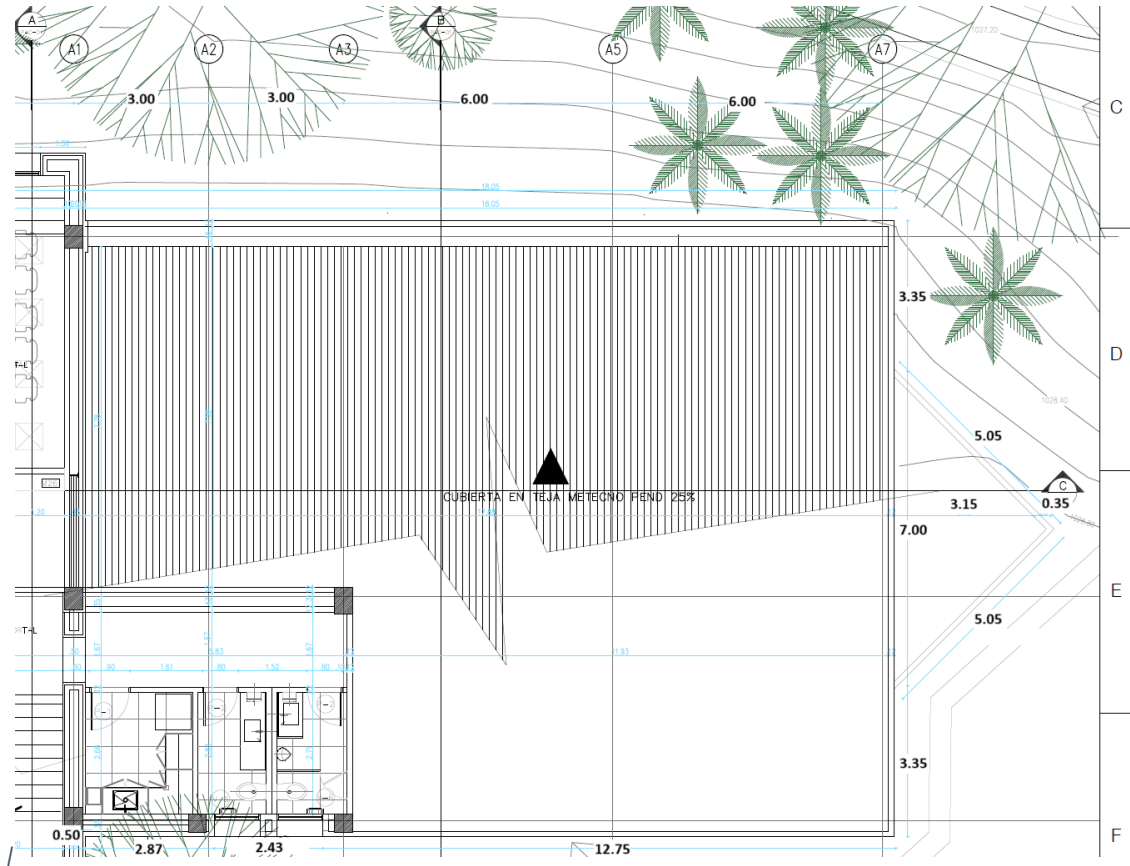


Figura 8. Planta cuarto piso del edificio administrativo ala este (Ortizcampo, 2022).

El proyecto constituye la remodelación de la fachada en mampostería y del reforzamiento de ciertas áreas del sistema aporticado del edificio. La tipología de los muros que se demolieron eran la mayoría dobles y hasta triples, como se muestra en la Figura 9, este proceso tuvo como consecuencia la disminución de las cargas sobre la estructura existente. Sin embargo, la necesidad de remover partes de la estructura original, como los muros de mampostería, resultó en la producción de grandes volúmenes de RCD, convirtiéndose en la mayor fuente de residuos en el proyecto.



Figura 9. Mampostería doble en la fachada del edificio.

La Figura 10 muestra un ejemplo del detalle estructural presentado por el ingeniero calculista para el reforzamiento de las zapatas (Las medidas están dadas en cm).

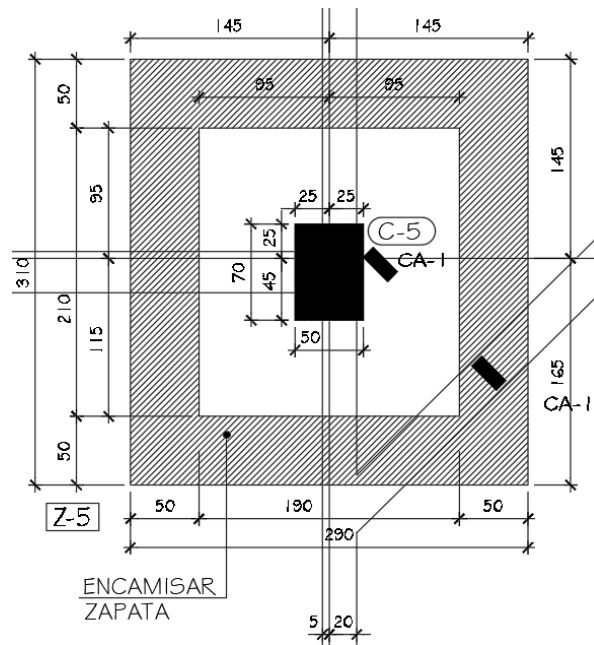


Figura 10. Vista en planta de la zapata Z5 para encamisado (Solarte y CIA, 2014).

Para el reforzamiento de estas zapatas y columnas hubo la necesidad de implementar apuntalamiento temporal, la cual fueron con gatos y cerchas metálicas para garantizar la estabilidad de la estructura durante los trabajos. En la Figura 11 se observa lo anteriormente mencionado.



*Figura 11. Apuntalamiento temporal con gatos y cerchas metálicas.*

Las principales actividades que generaron RCD en el proyecto fueron el desmonte de la cubierta en teja de barro y asbesto cemento, las cuales no fueron aprovechables. Los RCD aprovechables y que salieron en su mayoría en concreto (producto de la demolición del contrapiso, vigas aéreas, losa aligerada y del recubrimiento de las columnas existentes) y cerámicos (producto de la demolición de la mampostería de la fachada y muros internos de la edificación) se destinaron en su mayoría a sitios de disposición final autorizado por la autoridad ambiental competente.

### **3.1.3 Presupuesto y programación de obra.**

En el proceso de elaboración del presupuesto, se incluyó el costo de todos los materiales que se iban a utilizar junto con las herramientas y equipos necesarios, así como la mano de obra para la ejecución de cada actividad, en la Tabla 3 se evidencia el valor de la inversión contratados por actividad.

Tabla 3. Presupuesto general de las actividades de desmonte y demolición.

<b>Descripción</b>	<b>Precio</b>
Desmontes de cubiertas	\$ 72.357.675
Demoliciones de contrapisos	\$ 9.692.976
Demolición de mampostería	\$ 244.704.073
Demolición de vigas aéreas	\$ 7.385.637
Demolición de losa aligerada	\$ 4.638.085
Apuntalamiento de columnas	\$ 39.085.662
Demolición de recubrimiento de columnas	\$ 7.694.342
<b>Total costo directo</b>	<b>\$ 385.558.450</b>

La programación abordó un cronograma de ejecución de obra que constó de 6 meses de trabajo efectivo considerando la secuencia de actividades y los tiempos estimados para cada una. Hubo discusiones internas constantes por parte del contratista donde se evaluaban, monitoreaban y controlaban el presupuesto y la programación durante la ejecución de la obra para gestionar cualquier desviación o cambio.

#### **3.1.4 Presupuesto inicial estimado para el aprovechamiento en obra.**

Para el correcto funcionamiento de las actividades propuestas a lo largo del documento, es necesario invertir en recursos para que funcione a cabalidad la implementación de la gestión de los RCD, para ello en la Tabla 4 se detalla cada ítem con su respectivo valor monetario.

Cabe resaltar que, para estimar la jornada laboral de la mano de obra se tomó los valores del Decreto No. 2613 de 2022 del Gobierno Nacional en conjunto con el Ministerio del Trabajo que establece el salario mínimo mensual de un trabajador en el año 2023. Atendiendo la disposición contemplada en el decreto anteriormente mencionado, y teniendo en cuenta las prestaciones sociales a cargo del empleador, el salario mínimo tiene un valor de \$1.944.046 aproximadamente, en la Figura 12 se discriminan sus valores.



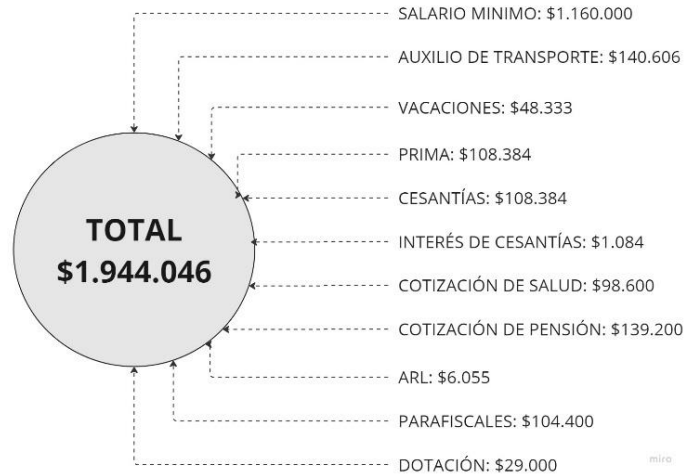


Figura 12. Salario mínimo y Prestaciones sociales año 2023.

Tabla 4. Presupuesto inicial estimado asociados al plan de gestión de RCD en la obra.

Descripción	Unidad	Cantidad	Vr. Unitario	Vr. Total
Campamento	Global	1	650.000	650.000
Acometida energía	Unidad	2	664.433	1.328.866
Gastos energía	Mes	3	265.420	796.260
Sanitario portátil	Mes	3	285.450	856.350
Cubierta	m <sup>2</sup>	60	33.190	1.991.400
Estructura metálica	m <sup>2</sup>	60	13.768	826.080
Reflector solar industrial	Unidad	3	459.900	1.379.700
Estación temporal	Global	1	800.000	800.000
Estación definitiva	Unidad	7	65.000	455.000
Bolsas x10	Unidad	150	3.000	450.000
Costal	Unidad	200	3.500	700.000
Cuñetes plásticos	Unidad	36	11.000	396.000
Cerramiento provisional	ML	120	20.000	2.400.000
Trituradora	Unidad	1	17.500.000	17.500.000
Zaranda manual 44x68 cm.	Unidad	3	45.000	135.000
Ensayos de Laboratorio	Mes	4	500.000	2.000.000
Oficial de obra	Mes	1,5	2.284.046	3.426.069
Ayudantes x2	Mes	1,5	3.888.092	5.832.138
Transporte interno	Mes	1,5	400.000	600.000
Arrendamiento zona de parqueaderos	Mes	1,5	4.924.557	7.386.835
			<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>	<b>49.909.698</b>

Este presupuesto inicial contempla la compra de una trituradora de mandíbula con capacidad de producción de 7 toneladas por hora a medida de 3/4" o menos, para todo el proceso de aprovechamiento de los RCD, donde el precio ronda alrededor de \$17.500.000 (mercadolibre, 2023).

La trituradora que se muestra en la Figura 13 tiene un rendimiento según especificaciones de la empresa de 7 toneladas por hora, es decir que, por un día con jornada laboral de 9 horas, se tiene que el rendimiento de la máquina es de 63 toneladas por día, suficiente rendimiento, aunque no se ejecutará al 100% de su capacidad diaria.



Figura 13. Trituradora de mandíbula con zaranda referencia GX4. Fuente: mercadolibre.com.co

### 3.1.5 Proyección de la generación de RCD.

Con las cantidades de obra, se realizó el cálculo de la generación proyectada de RCD, se espera los volúmenes y pesos respectivos en la Tabla 5 para cada RCD total del proyecto, se toma en cuenta el peso unitario aparente de cada residuo y la densidad del material para una correcta proyección. Para el cálculo de los pesos de cada material, se tomó como referencia diferentes valores estudiados y concluidos de algunos trabajos de grado donde implementaron el plan de gestión y los ensayos adecuados para cada RCD, estas propiedades físicas fueron tomadas de resultados de los diferentes trabajos de grado como el de Armijos (2018), Marín (2019) y González (2020). Los valores definidos fueron analizados y enfocados al proyecto de grado, utilizando valores promediados entre los resultados de los materiales con similares o iguales características.

El retiro de los RCDs no se contempló como actividad por aparte a los presentados en la adjudicación (Ver Tabla 5) ya que dentro de los análisis unitarios del contratista se incluía esta actividad.

Tabla 5. Proyección de la demolición en el proyecto en volumen (m<sup>3</sup>) y peso (ton).

Descripción	Unidad	Cantidad	Volumen de material compacto (m <sup>3</sup> )	Peso unitario aparente de residuos (Kg/L)	Densidad del material (Kg/L)	Peso de los residuos (t)	Volumen de los residuos (m <sup>3</sup> )
Desmante de cubierta en teja de barro	m <sup>2</sup>	235,0		1,26	1,80	4,23	3,36
Desmante de cubierta en asbesto cemento	m <sup>2</sup>	235,0		1,65	2,50	5,88	3,56
Demolición contrapiso en concreto	m <sup>2</sup>	60,0	3,00	1,52	2,30	6,90	4,55
Demolición de mampostería de fachada	m <sup>2</sup>	1.000,0	300,00	0,83	1,70	510,00	616,69
Demolición muro triple en mampostería de fachada	m <sup>3</sup>	70,0	70,00	0,83	1,70	119,00	143,89
Demolición de vigas aéreas en concreto	ml	36,0	4,86	1,52	2,30	11,18	7,37
Demolición de losa aligerada en concreto e=0.45m	m <sup>2</sup>	17,0	7,65	1,52	2,30	17,60	11,59
Demolición del recubrimiento de columnas de concreto	m <sup>2</sup>	110,0	4,40	1,52	2,30	10,12	6,67
excavación manual	m <sup>3</sup>	96,0	96,00	0,83	1,33	127,68	154,39
relleno compacto con roca muerta	m <sup>3</sup>	57,2	57,20	0,83	1,40	80,08	96,83
Demolición de mampostería	m <sup>2</sup>	494,0	74,11	0,83	1,70	125,98	152,33
<b>TOTAL</b>						<b>1.018,65</b>	<b>1.201,23</b>

La obra contaba con un área inferior a los 2.000 m<sup>2</sup>, lo que, conforme a la normativa vigente colombiana exime de la obligación de presentar el PMA de RCD. Por esta razón, se hizo la estimación para poder facilitar la gestión integral de los RCD.

La Tabla 6 muestra la proyección total de la generación de RCD en el proyecto, se toma como base la tabla 4 del Anexo I. *Formato único para la formulación e implementación del programa de manejo ambiental de RCD* de la Resolución 1257 de 2021 donde por tipo de RCD los clasifica en susceptibles y no susceptibles de aprovechamiento. Se considera que de estos componentes se recupere los residuos susceptibles de aprovechamiento.

Tabla 6. Proyección de la generación de RCD del proyecto en peso (t).

<b>4. PROYECCIÓN DE RCD A GENERAR</b>		
<b>TIPO DE RCD</b>	<b>Toneladas (t)</b>	<b>Volumen de RCD (m<sup>3</sup>)</b>
<b>1. Residuos de construcción y demolición - RCD susceptibles de aprovechamiento:</b>		
1.1 Productos de excavación y sobrantes de la adecuación del terreno: coberturas vegetales, tierras, limos y materiales pétreos productos de la excavación, entre otros.	131,91	157,75
1.2 Productos de cimentaciones y pilotajes: arcillas, bentonitas y demás.	-	-
1.3 pétreos: hormigón. Arenas, gravas, gravillas, cantos, pétreos asfálticos, trozos de ladrillos y bloques, cerámicas, sobrantes de mezcla de cementos y concretos hidráulicos, entre otros.	880,86	1.039,92
1.4 No pétreos: vidrios, metales como acero, hierro, cobre, aluminio, con o sin recubrimiento de zinc o estaño, plásticos tales como PVC, polietileno, policarbonato, acrílico, espumas de poliestireno y de poliuretano, gomas y cauchos, madera y compuestos de madera, cartón-yeso (drywall), entre otros.	-	-
<b>2. Residuos de construcción y demolición - RCD no susceptibles de aprovechamiento:</b>		<b>0</b>
2.1 Los contaminados con residuos peligrosos.	5,88	3,56
2.2 Los que por su estado no pueden ser aprovechados.	-	-
2.3 Los que tengan características de peligrosidad, estos se registrarán por la normatividad ambiental establecida para su gestión.	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>1.018,65</b>	<b>1.201,23</b>

El volumen proyectado de RCD es considerablemente alto, lo que indica que el proyecto implica una cantidad significativa de demolición dentro del proceso de rehabilitación estructural. Por lo tanto, es esencial implementar medidas eficientes para minimizar el impacto ambiental, como la separación en la fuente, la disposición adecuada de los residuos y otras estrategias sostenibles que contribuyan a la viabilidad ambiental del proyecto.

### **3.2 Recomendaciones iniciales para la gestión integral de RCD.**

Según Resolución No. 0472 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, los agregados se deben clasificar en dos grandes grupos. Además, es importante destacar que desde antes del inicio de la

obra hubo un acompañamiento donde fueron realizadas diferentes recomendaciones para optimizar la gestión de los RCD.

### **3.2.1 Logística interna.**

Desde el inicio del proyecto de rehabilitación estructural, se establecieron una serie de recomendaciones clave para el manejo eficiente de los RCD, estas incluyeron la creación de sitio de acopio temporal dentro de la obra, donde los RCD podrían ser almacenados de manera organizada antes de su disposición final.

Se designaron sitios específicos de acopio en la zona contigua al edificio “Educon” de la PUJ Cali para la clasificación de los residuos aprovecharles.

Para facilitar el transporte seguro y eficiente de los residuos desde los puntos de generación hasta los sitios de acopio, se recomendó la instalación de toboganes metálicos fijados a la estructura del edificio con anclajes metálicos de igual forma, y se utilizaron recipientes adecuados para la separación en la fuente, permitiendo una clasificación efectiva de los residuos peligrosos y no peligrosos.

El uso de equipos especializados para la demolición, como minicargadores y otros equipos manuales, fue recomendado para optimizar el proceso de desmantelamiento y reducir el tiempo y esfuerzo necesarios para la manipulación de los RCD. Estas medidas junto con la capacitación continua del personal en las mejores prácticas para la gestión de residuos y la implementación de protocolos de seguridad aseguraron una logística interna eficaz que minimizó el impacto ambiental y mejoró la eficiencia operativa del proyecto.

### **3.2.2 Separación en la fuente.**

Para lograr una separación efectiva de los residuos en la fuente, es fundamental empezar por la identificación y etiquetado claro de los recipientes destinados a cada tipo de residuo. Esto implica utilizar etiquetas visibles y comprensibles para todos los trabajadores, asegurando que cada recipiente sea utilizado de manera correcta y evitando la mezcla de materiales que puedan dificultar su reciclaje o disposición final adecuada, como se muestra en la Figura 14, estos puntos deben ubicarse en lo posible cerca de las áreas de trabajo para minimizar la distancia que los trabajadores deben recorrer con los residuos, lo cual no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también reduce el riesgo de accidentes y facilita el manejo adecuado de los materiales.



*Figura 14. Sitio de acopio temporal.*

Es esencial que todos los trabajadores comprendan la importancia de la separación en la fuente y los métodos adecuados para llevarla a cabo. Para ello, se deben realizar sesiones de capacitación periódicas y proporcionar materiales educativos que refuercen las mejores prácticas de separación, garantizando así un alto nivel de cumplimiento y eficiencia.

El uso de toboganes para el transporte de residuos desde las áreas de trabajo hasta los puntos de acopio temporal es una medida práctica que ayuda a manejar los RCD de manera segura y eficiente. Estos toboganes (Ver Figura 15) deben estar bien mantenidos y ser utilizados correctamente para evitar la dispersión de residuos y asegurar el manejo seguro de los materiales, especialmente en sitios de construcción en altura. Las recomendaciones para cumplir con el objetivo de instalar estos toboganes fueron en función de los diferentes tipos de RCD que se generaron.



*Figura 15. Conducto de evacuación de residuos.*

Para asegurar que la separación en la fuente se estuviera realizando correctamente, es importante implementar un sistema de supervisión y monitoreo constante. Se debe designar personal responsable de vigilar las prácticas de separación y proporcionar retroalimentación inmediata a los trabajadores, corrigiendo cualquier desviación y promoviendo la mejora continua en la gestión de residuos.

Finalmente, mantener un registro detallado de los residuos separados en la fuente es fundamental para evaluar y mejorar las prácticas de gestión de RCD. Utilizar formatos y registros estandarizados permitirá documentar la cantidad y tipo de residuos generados, facilitando el seguimiento y la implementación de medidas correctivas cuando sea necesario. Esta documentación también sirvió para el cumplimiento de las normativas y proporcionar datos valiosos para futuros proyectos.

### **3.2.3 Aprovechamiento de RCD.**

Este proceso comprende la reutilización o el reciclaje de los RCD, con el fin de realizar su reincorporación al ciclo económico. A continuación, se describen los procesos:

#### **3.2.3.1 Reutilización de RCD.**

Consiste en aprovechar nuevamente los RCD recuperados sin necesidad de realizar modificaciones o transformaciones en ellos, lo que permite prolongar su utilidad y evitar la generación de nuevos residuos. Las recomendaciones iniciales de reutilización que se hicieron en función de los tipos de RCD fueron, por ejemplo, el material producto de las excavaciones que se pueden reutilizar para rellenos ya sea dentro de la institución o por fuera de ella y así ver la posibilidad de generar ingresos extras, mejoramiento del suelo y construcción de adoquines necesarios para los senderos de la institución.

#### **3.2.3.2 Reciclaje de RCD.**

Se centra en la transformación activa de los RCD, donde se someten a procesos y tratamientos que los convierten en materias primas o insumos específicos, listos para ser utilizados en la producción de nuevos materiales de construcción. Este proceso implica darles una nueva vida y funcionalidad, reduciendo así la necesidad de extraer recursos naturales y promoviendo la economía circular en el sector de la construcción, como por ejemplo el material pétreo productos de la demolición de las columnas, que se puede aprovechar para rellenos en excavaciones, bases y subbases en pavimentos, o incluso triturarse para producir nuevos concretos reciclados. Con esto se reduce el impacto ambiental y ofrece soluciones económicas y sostenibles para diversas aplicaciones en infraestructura.

### 3.2.4 Disposición final.

Se opta por los sitios específicos autorizados para la disposición final de los RCD, donde se eviten al máximo los impactos al medio ambiente, donde se encontraban los más cercanos en los municipios de Puerto Tejada, Villa Rica y Candelaria. Se localizaron prioritariamente en áreas cuyo paisaje se encuentre degradado como minas y canteras abandonadas, entre otros.

### 3.2.5 Piloto de aprovechamiento.

La propuesta de un piloto para el aprovechamiento de materiales reciclados productos de la demolición surge como una respuesta estratégica a la necesidad de optimizar los recursos y reducir el impacto ambiental asociado con la disposición de los residuos. Este piloto tiene como objetivo demostrar la viabilidad y eficacia de un proceso que no solo minimiza el volumen de residuos destinados a vertederos, sino que también genera materiales reciclado útiles para nuevas aplicaciones en construcción. Implementar un piloto permite ajustar y perfeccionar el proceso en una escala controlada antes de una posible expansión a una operación a gran escala.

Pensando en los requerimientos del área de producción y la distribución del proceso productivo se define un área de 520 m<sup>2</sup> donde se realizó el ingreso de material de 6m de ancho; lo cual es una distancia prudente para la entrada de los vehículos de carga, una zona de clasificación según la normativa de 112 m<sup>2</sup>, una zona de procesamiento donde operará la maquinaria de 50 m<sup>2</sup>, una zona destinada para los RCD aprovechables de 105 m<sup>2</sup> y por último un lugar para el almacenamiento de los residuos peligrosos que constará de 10 m<sup>2</sup>. Lo anterior se puede ver expresado en la Figura 16.



Figura 16. Ubicación, distribución del proceso constructivo y producción de RCD (Google Earth Pro, 2023; El Autor, 2023).



### **3.3 Índices de generación de RCD.**

La efectiva gestión de un proyecto de construcción requiere de un seguimiento detallado y preciso sobre la cuantificación de la generación de RCD, a continuación, se muestran diversos aspectos claves que abarcan desde las visitas al proyecto en estudio hasta los procesos específicos que se llevarán a cabo para la medición de los residuos generados. Se examinaron las cantidades ejecutadas en la obra, entre otros temas relevantes que permitió una comprensión completa y sistemática de la gestión de los RCD en el proyecto.

#### **3.3.1 Visitas al proyecto.**

El desarrollo del trabajo de grado se llevó a cabo mediante una serie de visitas periódicas que jugaron un papel crucial en la gestión y seguimiento del proyecto de rehabilitación estructural del edificio administrativo ala este de la Pontificia Universidad Javeriana sede Cali.

Se efectuó una visita inicial en compañía de los profesionales de la Oficina de Recursos Físicos de la Universidad, con el objetivo de inspeccionar detalladamente el alcance del proyecto. Esta visita permitió obtener una visión general de las condiciones del lugar y establecer los lineamientos iniciales para la ejecución de la obra.

Posteriormente, se llevó a cabo una segunda visita en la que participaron el contratista seleccionado para la ejecución de la obra, la interventoría, la ingeniería de la Universidad y la representación del personal de seguridad y administrativo de la institución. En este encuentro se discutieron aspectos técnicos, logísticos y administrativos, así como se aclararon dudas y se establecieron acuerdos para garantizar el adecuado desarrollo del proyecto.

A medida que iba avanzando la ejecución de la obra, se realizaron visitas periódicas al lugar, las cuales se llevaban a cabo entre 1 y 2 veces por semana, completando 13 visitas en total. Estas se comenzaron desde que inició las actividades de demolición y generación de RCD, y se extendieron hasta la culminación de dichas labores. Durante estas visitas se monitoreó el progreso de la obra, se verificó el cumplimiento de los plazos establecidos, se realizaron inspecciones de los residuos generados, y se tomaron medidas correctivas en caso de ser necesario.

Las visitas al proyecto fueron muy importantes ya que desempeñaron un papel fundamental en el seguimiento y control del proceso inicial de la rehabilitación estructural, permitiendo una gestión eficiente y una comunicación fluida entre todas las partes involucradas. Durante una de las visitas, además, se

aprovechó para socializar la propuesta inicial de gestión integral de RCD, enriqueciendo aún más el intercambio de ideas y fortaleciendo la colaboración entre los diferentes actores del proyecto.

En paralelo se recibió y analizó la información de generación del contratista por medio del registro del número de viajes de la actividad de retiro de residuos. Este registro detallado permitió corroborar las cantidades de residuos transportados y verificar las medidas de separación y manejo implementadas en el sitio de construcción.

### 3.3.2 Proceso de medición.

El proceso de medición de los RCD durante la ejecución del proyecto de rehabilitación estructural del edificio administrativo ala este de la Universidad Javeriana sede Cali se llevó a cabo de manera rigurosa y detallada. Para registrar con precisión la cantidad y características de los RCD generados, se implementó un sistema de registro basado en un formato proporcionado por la Pontificia Universidad Javeriana sede Cali perteneciente al trabajo de grado de Armijos (2018) como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Formato utilizado en la obra de rehabilitación del edificio administrativo ala este para llevar el control de los RCD generados (PUJ, 2017).

Subcategoría	H (m)	B (m)	L (m)	b (m)	l (m)	Ab (m <sup>2</sup> )	Ac (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )
Rb								
Rc								
Re								
Ru + Rc								
Otros								

A continuación, se describe las subcategorías mencionadas en la anterior tabla:

- . Rc : Concreto, productos de concreto, morteros y bloques de concreto.
- . Re : Agregados productos de excavaciones.
- . Rb : Ladrillos de cerámica, tejas, fachaletas, cerámicos, otros productos de construcción que no flotan.

Este sistema de registro permitió una gestión eficiente y transparente de los residuos generados durante la ejecución de la obra, facilitando la trazabilidad y el control de los mismo desde su origen hasta su disposición final, además, proporcionó datos precisos que fueron fundamentales para evaluar el cumplimiento de los requerimientos ambientales y establecer estrategias de mejora en la gestión de los RCD de la obra.

Para la caracterización de los RCD generados, se deberá identificar y separar los residuos en categorías específicas de acuerdo con la normativa legal colombiana. Al terminar la separación, se iniciará la cuantificación de cada tipo de residuo generado, ya que esa información es esencial para comprender qué tipo de residuos son los que más prevalecen.

Para el cálculo del volumen de los residuos generados, se llevó a cabo una serie de mediciones en obra en la que con base a las dimensiones tomadas y la fórmula se llegaba a su valor.

$$V = \frac{1}{3}H(A_B + A_C + \sqrt{A_B * A_C})$$

Donde:

V: volumen de la pila en m<sup>3</sup>.

H: altura de la pila en la parte media.

A<sub>B</sub>: área de la base de la pila.

$$A_B = B * L$$

A<sub>C</sub>: área de la corona de la pila.

$$A_C = b * l$$

Siendo:

B: ancho promedio de la base de la pila.

L: largo promedio de la base de la pila.

b: ancho promedio de la corona de la pila.

l: largo promedio de la corona de la pila.

En la Figura 17 se muestra un esquema donde se relaciona las variables anteriormente mencionadas para su respectiva medición.

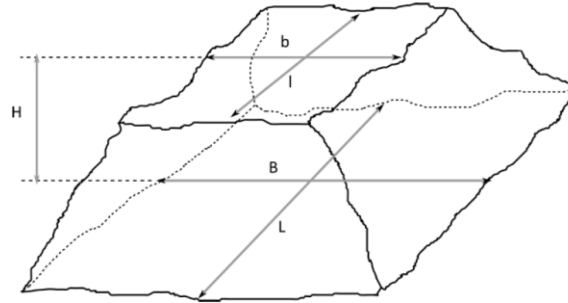


Figura 17. Bosquejo de la pila para el cálculo del volumen.

A continuación, en la Figura 18 se muestra algunos sitios de acopio temporal de los residuos generados en obra a los cuales se les realizó los cálculos de los volúmenes.



a) Residuos de concreto ( $R_C$ ).



b) Residuos mezclados ( $R_C + R_B$ ).



c) Residuos de excavación ( $R_e$ ).



d) Residuos de mampostería ( $R_B$ ).

Figura 18. Diferentes acopios temporales de residuos en la obra.

### 3.3.3 Cálculo de las masas unitarias de los residuos en obra.

La determinación de las masas unitarias de los residuos es fundamental para una adecuada gestión y planificación en la obra, ya que permite estimar el volumen total de residuos generados y optimizar los procesos de manejo, transporte y disposición. Para el cálculo de las masas unitarias de los residuos se utilizó un recipiente en pasta vacío. Posteriormente, se registraron los valores proporcionados por el medidor portátil en diferentes etapas del proyecto y con distintos tipos de residuos generados. En la Figura 19 se observa la metodología anteriormente descrita.



Figura 19. Proceso de medición con cuñete, agua y medidor portátil (El Autor, 2023).

Una vez determinado el volumen del balde, se procedió a medir los residuos de concreto, mampostería, excavación y residuos mezclados siguiendo el mismo procedimiento utilizado para el agua. Tras llenar el balde con los residuos, se registraron los valores del medidor portátil, como se observa en la Figura 20.



Figura 20. Balde lleno con residuos mezclados de la obra para ser pesados (El Autor, 2023).

Para la caracterización se tendrá en cuenta los índices, las cuales serán de acuerdo con los indicadores de gestión y aprovechamiento.

En una segunda etapa se lleva a cabo la evaluación de diferentes opciones de disposición final de los RCD, donde se analizará diferentes métodos que incluyen el reciclaje, la reutilización y la valorización de estos materiales, considerando aspectos ambientales y económicos para determinar cuál es la opción más adecuada.

#### **3.3.4 Cantidades ejecutadas de obra.**

El seguimiento preciso de las cantidades ejecutadas en la obra fue fundamental para evaluar el progreso del proyecto, gestionar los recursos de manera eficiente y garantizar la calidad y el cumplimiento de los objetivos establecidos. En el contexto del proyecto de rehabilitación estructural del edificio administrativo ala este de la Pontificia Universidad Javeriana sede Cali, realizar un análisis detallado de las cantidades ejecutadas fue crucial para tener una visión completa del avance de la obra y tomar decisiones con respecto a la información que se tenía.

Durante la ejecución del proyecto de rehabilitación estructural, se llevó a cabo actividades que implicaron la realización de mediciones precisas para determinar las cantidades ejecutadas, estas actividades abarcaron tanto trabajos de demolición como de construcción, y se realizaron mediciones periódicas para registrar el progreso de cada una de ellas, recordando que se basaron en la información suministrada de acuerdo con las demoliciones.

#### **3.3.5 Indicadores de gestión.**

Esta investigación ha empleado relaciones empíricas para establecer indicadores, los cuales surgieron del análisis de datos recolectados en la obra, durante el proceso de muestreo de los residuos, se seleccionaron datos relevantes relacionados con el volumen de residuos de RCD y el área ejecutada.

La metodología de cálculo de estos indicadores se basa en variables independiente, como las actividades realizadas en unidades de superficie, masa y volumen (expresadas en  $m^2$ , kg o toneladas y  $m^3$  respectivamente), y variables dependientes como el volumen de residuos generados (Armijos, 2018). Estos indicadores proporcionan una representación numérica de la generación de RCD en la etapa de demolición del proyecto.

Se identificaron los siguientes indicadores para este estudio:

- Indicador de generación volumétrica por superficie.

- Indicador de generación gravimétrica por superficie.

Estos indicadores nos ofrecen una visión más detallada de la relación entre el área demolida y la cantidad de residuos generados, permitiendo una mejor comprensión y gestión de los residuos en los proyectos de rehabilitación estructural.

#### **3.3.5.1 Indicador de generación volumétrico por superficie.**

El indicador de generación gravimétrico por superficie implica las variables analizadas y medibles en obra, como el volumen en unidades de  $m^3$  y área en unidades de superficie  $m^2$ , representando así este indicador en  $m^3/m^2$  (Armijos, 2018).

$$IGR^V = \frac{VRCD_i}{A_i}$$

Donde:

$IGR^V$ : Indicador de generación volumétrico por superficie ( $m^3/m^2$ ).

$VRCD_i$ : Volumen del RCD generado, en la ventana de seguimiento.

$A_i$ : Área construida en la ventana de seguimiento

#### **3.3.5.2 Indicador de generación gravimétrico por superficie.**

El indicador de generación gravimétrico por superficie es muy poco usual en el sitio de la obra, puesto que su literatura se expresa en  $kg/m^2$  así que las unidades volumétricas deben ser transformado a unidades de masa (Armijos, 2018).

$$IGR^W = \frac{WRCD_i}{A_i}$$

Donde:

$IGR^W$ : Indicador de generación gravimétrico por superficie ( $kg/m^2$ ).

$WRCD_i$ : Peso del RCD generado, en la ventana de seguimiento.

El propósito principal de utilizaros estos indicadores es generar una medida cuantitativa que permita proyectar los resultados relativos a la producción total de RCD, considerando tanto el área como la masa construida.

Estos indicadores al adaptarse específicamente a cada proyecto ofrecen una representación precisa de la realidad de la metodología constructiva empleada, como este caso que es el sistema industrializado. La Pontificia Universidad Javeriana sede Cali llevó a cabo un proyecto piloto para estimar este tipo de indicadores, y esta investigación respalda dicho proyecto validando la información gracias a las mediciones realizadas durante el muestreo.

### **3.3.6 Indicadores de aprovechamiento.**

Los indicadores de aprovechamiento en los RCD son utilizados para evaluar la eficiencia en la gestión y tratamiento de estos residuos. Algunos indicadores comunes incluyen la tasa de reciclaje, que mide el porcentaje de materiales recuperados de los RCD que se reciclan en comparación con el total generado, reflejando la capacidad de recuperación de recursos del proceso de gestión de residuos. Por otro lado, la tasa de reutilización indica el porcentaje de materiales recuperados de los RCD que reutilizan directamente sin necesidad de procesamiento adicional, como la reutilización de ladrillos o madera.

La normativa actual vigente establece que el porcentaje mínimo de aprovechamiento de los RCD debe calcularse con base en el total de residuos generados en la obra, de acuerdo con la Resolución 1257 de 2021, se requiere que, a partir del 1 de enero de 2023, los proyectos de construcción en municipios de categoría especial como Bogotá, Medellín y Cali alcancen un mínimo del 25% de aprovechamiento en peso del total de RCD generados.

Para cumplir con este requisito, se implementaron medidas específicas para maximizar la reutilización y el reciclaje de los RCD. Esto incluyó la separación en la fuente de los materiales aprovechables y la utilización de sitios de acopio temporal. El monitoreo constante y el registro detallados de los RCD generados y aprovechados permitieron asegurar que se cumpliera con el porcentaje mínimo establecidos por la normativa, aunque no fuera de total obligatoriedad.

La eficiencia de separación en origen evalúa qué tan bien se separan los diferentes tipos de materiales en el lugar donde generan los RCD, lo que puede mejorar la recuperación de materiales valiosos. Estos indicadores son útiles para evaluar el desempeño de los sistemas de gestión de RCD y para identificar áreas de mejora en términos de eficiencia y sostenibilidad. La fórmula para este indicador es la relación entre el peso de los RCD aprovechados entre el peso de los RCD generados, así:

$$\text{Indicador de Aprovechamiento} = \frac{WRCD_{\text{aprovechados}}}{WRCD_{\text{generados}}}$$



Los criterios de aprovechamiento establecidos por la Resolución 0472 de 2017 y el Decreto 0771 de 2018 se basan en dos variables principales, pero en este estudio solo se calculó con base a la masa de residuos reciclados. Estos indicadores derivados de la investigación representan una herramienta versátil tanto para las empresas de construcción como para las entidades de supervisión, ya que les facilita el cumplimiento efectivo de estas regulaciones.

Para la determinación de estos indicadores se tuvo en cuenta el área intervenida en las demoliciones, el volumen de los residuos generados para aprovechamiento y su respectiva masa, los cuales fueron trasladados a un sitio de disposición final dentro del campus Universitario.

### **3.4 Plan de Gestión Integral de RCD.**

#### **3.4.1 Etapa inicial.**

En la primera fase, se recopiló toda la información inicial relacionada con el proyecto como planos, especificaciones técnicas y cronograma de ejecución de obra. Esta información sirvió de base para comprender en profundidad la naturaleza del proyecto y anticipar los posibles generadores de residuos.

Posteriormente, se siguió con la caracterización de los RCD que se generaron durante las actividades constructivas y de demolición, este análisis implicó identificar los materiales involucrados, estimar sus cantidades y comprender sus características físicas y químicas.

Dentro de esta guía se contempló acciones como la identificación de actividades y procesos constructivos que generan los residuos, así como la estimación preliminar de los tipos y cantidades de residuos a generar en cada fase del proyecto. Se define los lineamientos para la segregación y clasificación de los residuos dentro de la obra, con el objetivo de facilitar su posterior tratamiento y disposición final de manera eficiente y sostenible.

Otro aspecto crucial en esta etapa inicial es la definición de la logística y los equipos necesarios para el transporte de los residuos, garantizando su manejo seguro y eficiente desde su generación hasta su destino final. En conjunto, estas acciones sientan las bases para una gestión integral de los RCD efectiva y responsable, contribuyendo así a minimizar el impacto ambiental y promover la sostenibilidad en el sector de la construcción y demolición de obras de rehabilitación estructural u otras obras civiles afines.

#### **3.4.2 Lecciones aprendidas.**

Aunque al inicio del proyecto se elaboró un documento con recomendaciones para la gestión de RCD, durante la ejecución de la rehabilitación surgieron nuevas acciones, estrategias, equipos y mejoras. Estos

desarrollos y ajustes se basaron en la experiencia adquirida y en la evaluación continua de las medidas implementadas.

Se destacó la importancia de definir la logística y los equipos necesarios para el transporte de los residuos, asegurando un manejo seguro y eficiente desde su generación hasta su disposición final. La eficacia de las estrategias de separación y clasificación de los RCD resultó crucial, así como la identificación de oportunidades de mejora en la gestión de residuos.

Durante el proceso, se evaluó la efectividad de las medidas ambientales y económicas para el aprovechamiento de los residuos, contribuyendo a la sostenibilidad en el sector de la construcción. Se hizo especial énfasis en la viabilidad y eficiencia de las acciones tomadas, con el objetivo de ajustar y perfeccionar futuros planes de gestión de estos residuos en obras similares.

Las lecciones aprendidas también incluyeron la importancia de la concientización y capacitación de todas las partes involucradas sobre los beneficios ambientales y económicos de una gestión adecuada de los RCD, así como la necesidad de una planificación adecuada y una comunicación efectiva para lograr una correcta minimización, separación en la fuente, aprovechamiento y disposición final de los residuos. Se realizó una evaluación constante de las acciones y se identificaron oportunidades de mejora, realizando ajustes en las estrategias cuando fue necesario.

La versión final de la Guía integra todas estas lecciones aprendidas y ajustes realizados durante la rehabilitación, promoviendo prácticas responsables, sostenibles y eficientes en la gestión de residuos de construcción y demolición. Esto contribuye a generar un impacto positivo en el entorno, la comunidad y la sostenibilidad a largo plazo.

### **3.4.3 Estructuración de la guía para la gestión integral de los RCD.**

La estructuración de la guía inicia con la evaluación de la gestión de los materiales generados durante el proceso de demolición en el edificio. Esto implica identificar tanto los materiales que pueden ser reutilizados como aquellos que son aptos para el reciclaje eficiente. Continuando con el proceso, la segunda etapa constará de seleccionar las estrategias de gestión de RCD más apropiadas, considerando factores como la disponibilidad de los recursos, costos y beneficios a largo plazo en términos de sostenibilidad y reducción del impacto ambiental. Finalmente, se elaborará un plan de gestión integral detallado que incluirá estrategias para la separación de materiales en la obra, la gestión del transporte de los RCD, la identificación de puntos de reciclaje y reutilización, y la implementación de prácticas sostenibles.

#### **3.4.4 Documento Final.**

El diseño y la ejecución de la Guía se llevaron a cabo siguiendo los siguientes pasos:

- Se realizó una revisión exhaustiva de la información recopilada durante la investigación, incluyendo la caracterización de los RCD generados, lecciones aprendidas, normativas pertinentes y las mejores prácticas en gestión de residuos.
- Con base en la información analizada, se estructuró la Guía para la gestión integral de los RCD en proyectos de rehabilitación estructural. Se definieron los pasos, procedimientos y recomendaciones para una gestión eficiente y sostenible de los residuos.
- Se incorporaron recomendaciones iniciales derivadas de la investigación y las lecciones aprendidas, con el objetivo de guiar a los profesionales y equipos involucrados en proyectos de rehabilitación estructural en la correcta gestión de los RCD.
- La guía fue revisada y validada por expertos en gestión de residuos para asegurar su coherencia, relevancia y aplicabilidad en el campo.
- Una vez finalizada y validada la Guía, se incluyó como un Anexo del Trabajo de Grado para que pueda ser consultada y utilizada como herramienta práctica por otros profesionales e investigadores en el ámbito de la gestión de RCD.

La Guía diseñada y ejecutada en este estudio proporciona un marco de referencia y orientación para la gestión integral de los residuos de construcción y demolición en proyectos de rehabilitación estructural, aportando en el área de la sostenibilidad, eficiencia y buenas prácticas sobre el manejo de los RCD.

## **4. RESULTADOS**

En este capítulo se presentan los hallazgos obtenidos a lo largo del desarrollo del proyecto de rehabilitación estructural del ala este del edificio administrativo de la Pontificia Universidad Javeriana sede Cali. Los resultados se centran en la evaluación detallada de los índices de generación de RCD, destacando tanto las cantidades totales generadas entregadas por el constructor como las diferentes categorías de residuos identificadas. Este análisis proporciona una base sólida para el desarrollo de estrategias de gestión integral de RCD, fomentando prácticas sostenibles y eficaces en el sector de la construcción.

### **4.1 Diagnóstico Inicial.**

Se presenta un análisis detallado de los RCD generados durante el proyecto de rehabilitación estructural. Se identifican las principales actividades de obra responsables de la generación de estos residuos, se clasifican los tipos de RCD producidos, se comparan las cantidades proyectadas con los índices iniciales y se muestran fotos representativas de cada tipo de residuos.

Una vez finalizado el proceso de demolición y el de registrar el volumen de los elementos mayores y menores, se obtuvieron diferencias tanto positivas como negativas en las distintas áreas y elementos de la estructura.

#### **4.1.1 Principales Actividades de Obra.**

Se identificaron las principales actividades de obra que generaron la mayor cantidad de RCD, estas actividades incluyeron la demolición de estructuras existentes como columnas y vigas aéreas, la remoción de muros de mampostería, la sustitución de tejas asbesto-cemento y la excavación en las zonas de zapatas de la estructura. En la Tabla 8 se detallan las características de las actividades, diferenciando entre mayores y menores según corresponda, junto con el comparativo de los valores presupuestados versus los finalmente ejecutados.

Tabla 8. Cantidad contratada vs cantidad ejecutada.

Descripción	Unidad	Cantidad Contratada	Cantidad Ejecutada	Espesor (m)	Volumen ejecutado (m <sup>3</sup> )	% Diferencia
Demolición contrapiso en concreto.	m <sup>2</sup>	40	48,48	0,05	2,42	21,20%
Demolición de mampostería de fachada.	m <sup>2</sup>	1.200	820,55	0,30	246,17	-31,62%
Excavación.	m <sup>3</sup>	96	96	-	96	0,00%
Demolición de vigas aéreas en concreto.	m <sup>2</sup>	9,5	10,8	0,30	3,24	-12,08%
Demolición de losa aligerada en concreto.	m <sup>2</sup>	65	37,79	0,45	17,01	-41,86%
Demolición del recubrimiento de columnas de concreto.	m <sup>2</sup>	110	87,73	0,04	3,51	-20,25%
Demolición de piso en tableta de escalera.	m <sup>2</sup>	29,6	80,37	0,02	1,61	171,52%
Demolición de muro doble en mampostería antepecho escalera.	m <sup>2</sup>	89,87	127,26	0,30	38,18	41,60%
Demolición del recubrimiento de pedestales.	m <sup>2</sup>	25	19,16	0,04	0,77	-23,36%
Demolición de mampostería.	m <sup>2</sup>	569	482,05	0,15	72,31	-15,28%

#### 4.1.2 Tipos de RCD Generados.

A lo largo del proyecto se generaron diversos tipos de RCD, los cuales se clasificaron según la normativa vigente y el formato piloto suministrado por la Universidad Javeriana sede Cali, las cuales en su mayoría fueron:

. Residuos de Concreto (Rc): Fueron los residuos provenientes de la demolición de elementos estructurales como vigas, columnas y cimientos de concreto. A continuación, la Figura 21 muestra un acopio temporal dentro del edificio con este tipo de residuos.



*Figura 21. Residuos de concreto (Rc).*

. Residuos de Mampostería (Rb): Se generaron al retirar algunos muros interiores, muros de la fachada y algunas partes del antepecho existente en la edificación. La Figura 22 muestra el sitio de acopio temporal fuera del edificio donde se observa este tipo de residuos.



*Figura 22. Residuos de mampostería (Rb).*

. Residuos Producto de la Excavación (Re): Fueron productos de la remoción del material del subsuelo durante las actividades de excavación para el reforzamiento de las cimentaciones. A continuación, la Figura 23 muestra un acopio temporal dentro del edificio con este tipo de residuos.



Figura 23. Residuos de excavación (Re).

. Residuos Mezclados (Rc + Rb): Estos fueron los residuos más generados, resultado de la combinación de concreto y mampostería, típicamente producidos al demoler áreas que contenían ambos materiales en la misma operación. En algunas ocasiones, también se mezclaban durante su acopio temporal dentro de la edificación, como se observa en la Figura 24.



Figura 24. Residuos mezclados (Rc+Rb).

#### **4.1.3 Cantidades de RCD Proyectadas con Índices Iniciales.**

Teniendo en cuenta las toneladas proyectadas de cada material junto con su respectivo volumen y área, se obtienen los índices gravimétricos y volumétricos iniciales que se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Cantidades de RCD proyectadas con índices iniciales.

Tipo de Residuo	Peso del RCD (t)	Volumen de RCD (m <sup>3</sup> )	Área total (m <sup>2</sup> )	IGR <sup>w</sup> (kg/m <sup>2</sup> )	IGR <sup>v</sup> (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
Residuos de concreto (Rc)	-	-	-	-	-
Residuos de mampostería (Rb)	-	-	-	-	-
Residuos de excavación (Re)	127,68	154,39	1.780,06	71,73	0,09
Residuos mezclados (Rc + Rb)	805,01	946,45	1.780,06	452,24	0,53
<b>Total [Re+(Rc+Rb)]</b>	<b>932,69</b>	<b>1.100,84</b>	<b>1.780,06</b>	<b>523,97</b>	<b>0,62</b>

El valor total del IGR<sup>w</sup> proyectado de este estudio antes de la ejecución, es muy cercano al promedio de los índices encontrados a la literatura con respecto a obras de rehabilitación estructural como se observa en la Tabla 10, en la cual el promedio es de 535,35 kg/m<sup>2</sup>.

Tabla 10. Indicadores gravimétricos por superficie kg/m<sup>2</sup> de la literatura.

Tipo de indicador	UE <sup>a</sup>	España <sup>b</sup>	Vasco <sup>c</sup>	China <sup>d</sup>	Brasil <sup>e</sup>	USA <sup>f</sup>
Construcción	330	120	84	41	97	21
Demolición Total	840	1,129	1,130	1,360	-	21
Demolición Parcial	-	903	-	-	-	-
Rehabilitación	459	339	903	-	-	440

Fuente: Mália, De Brito, Pinheiro, & Bravo (2013)<sup>a</sup>; Llatas, (2011); Llatas & Fuertes, (2017); Morán del Pozo, Juan Valdés, Aguado, Guerra, & Medina, (2011)<sup>b</sup>, Ihobe (n.d.)<sup>c</sup> Wu et al., (2016)<sup>d</sup>; (Paz & Lafayette, 2016)<sup>e</sup> y Cochran, Townsend, Reinhart, & Heck, (2007)<sup>f</sup>, Armijos(2018).

## 4.2 Índices de Generación.

Para abordar los índices de generación de RCD, se realizaron mediciones periódicas y precisas de los residuos en cada etapa del proyecto, utilizando herramientas como baldes medidores y un medidor de peso portátil para obtener datos gravimétricos y volumétricos, además, se integraron los datos proporcionados por el constructor para complementar el análisis. Estos datos fueron comparados con indicadores de generación establecidos en normativas y estudios previos, permitiendo una evaluación detallada de la cantidad y tipos de RCD producidos.

Se realizaron observaciones en sitio para identificar áreas de mejora y optimizar las prácticas de gestión de residuos. Esta aproximación permitió obtener una visión clara y cuantificable de los índices de generación de RCD, fundamental para el desarrollo de estrategias de gestión más eficientes y sostenibles.



#### 4.2.1 RCD Generado.

En total, según el constructor se generaron 496 m<sup>3</sup> de RCD, de los cuales 472 m<sup>3</sup> fueron clasificados como residuos susceptibles de aprovechamiento dispuestos en sitios autorizados por la autoridad ambiental, 16 m<sup>3</sup> fueron RCD clasificados como residuos susceptibles de aprovechamiento y que fueron almacenados en la zona de acopio de la Universidad, y 8 m<sup>3</sup> fueron catalogados como residuos no susceptibles de aprovechamiento contaminados con residuos peligrosos dispuestos en sitios autorizados. Estos datos proporcionados y clasificados por el constructor, presenta una base sólida para analizar los índices de generación y formular estrategias de gestión adecuadas para minimizar el impacto ambiental de los RCD. En la Tabla 11 se observa la generación de los residuos a lo largo de las semanas en las que se realizaron actividades de demolición

Tabla 11. Registro semanal de RCD generado.

No. Semana	FECHA		VOLÚMEN RCD GENERADO (m3)		
	Desde	Hasta	Aprovechable Sitio Autorizado	Universidad	No Aprovechable Sitio Autorizado
Semana 1	19-jul-23	23-jul-23	72		
Semana 2	24-jul-23	30-jul-23	48		8
Semana 3	31-jul-23	6-ago-23	128		
Semana 4	7-ago-23	13-ago-23	88		
Semana 5	14-ago-23	20-ago-23	8		
Semana 6	21-ago-23	27-ago-23	32	8	
Semana 7	28-ago-23	3-sep-23	32		
Semana 8	4-sep-23	10-sep-23	16		
Semana 9	11-sep-23	17-sep-23	48	8	
<b>TOTAL</b>			<b>472</b>	<b>16</b>	<b>8</b>

En la tabla anterior se observa que en las primeras semanas se realizó la disposición final de los RCD No Aprovechables, los cuales representaron el 1,61% de los residuos totales generados. Estos provienen principalmente del desmonte de tejas de asbesto-cemento, un material ampliamente utilizado en la construcción en décadas pasadas y que presenta graves riesgos para la salud y el medio ambiente, además, se incluyeron materiales contaminado con estos residuos que no pudieron ser separados y catalogados como aprovechables. En el manejo de estos residuos, se implementaron protocolos de seguridad estrictos conforme a la normativa vigente en Colombia; por ejemplo, las tejas fueron cuidadosamente desmontadas y transportadas a sitios de disposición final autorizados, siguiendo las medidas de seguridad para minimizar el riesgo de exposición.

Un 3,22% de los residuos fueron RCD aprovechables y dispuestos en un sitio de acopio en la Universidad para estudios posteriores y el restante; es decir 95,17%, fueron residuos aprovechables que fueron transportados a sitios de disposición final autorizados. Los datos basados para el análisis fueron entregados por el constructor.

#### **4.2.2 Determinación de Masas Unitarias de los RCD.**

Es fundamental determinar las masas unitarias de los RCD para transformar los valores de volumen a masa, ya que permite cuantificar con precisión la cantidad de residuos generados, por lo tanto, como se mencionó anteriormente en el documento, se utilizó un cuñete donde su volumen dio 18.5 litros.

Durante el desarrollo del proyecto, se realizaron un total de nueve visitas a la obra. Las mediciones se llevaron a cabo según las pilas de acopio presentes el día de la visita. Por ejemplo, el 21-jul-23, durante el recorrido por la obra, se identificaron dos pilas de acopio: una de residuos de excavación y otra de residuos de mampostería. Posteriormente, se procedió a realizar las mediciones correspondientes.

En cada una de estas visitas, se llevaron a cabo mediciones de peso de muestras representativas de los diferentes residuos generados. El resumen de estas mediciones en obra permitió obtener datos precisos sobre la cantidad y características de los pesos por tipo de RCD totales producidos durante el día de visita, los cuales fueron fundamentales para el análisis y la formulación de estrategias de gestión. Las visitas incluyeron la observación directa de las prácticas en el sitio y la recolección de datos que respaldan los hallazgos y conclusiones presentados en este capítulo.

Las visitas incluyeron la observación directa de las prácticas en el sitio y la recolección de datos que respaldan los hallazgos y conclusiones presentados en este capítulo. En la Tabla 12 se observa los datos medidos en cada visita de los diferentes tipos de RCD en masa unitaria, con su respectivo porcentaje de medición diaria con respecto al total medido para observar la variabilidad a lo largo de las visitas realizadas.

Tabla 12. Resumen de la generación de los residuos según las visitas realizadas a la obra en masa unitaria.

Fecha	Rc (kg/m <sup>3</sup> )	Re (kg/m <sup>3</sup> )	Rb (kg/m <sup>3</sup> )	Rc+Rb (kg/m <sup>3</sup> )
14-jul-23	-	-	708,1	1.124,3
21-jul-23	-	821,6	691,9	-
29-jul-23	-	805,4	697,3	-
4-ago-23	1.551,4	-	675,7	1.167,6
9-ago-23	-	837,8	-	1.189,2
12-ago-23	1.589,2	-	718,9	1.183,8
16-ago-23	1.627,0	827,0	702,7	1.232,4
19-ago-23	-	816,2	686,5	-
24-ago-23	1.659,5	-	-	1.221,6
<b>Promedio</b>	<b>1.606,8</b>	<b>821,6</b>	<b>697,3</b>	<b>1.186,5</b>
<b>Desviación Estándar</b>	<b>46,8</b>	<b>12,1</b>	<b>14,3</b>	<b>38,9</b>

Los datos de Rc y Rc+Rb son los que presentan una mayor desviación estándar, es decir, están más dispersos con respecto a la media, sin embargo, el análisis sigue siendo útil para tomar el promedio de cada uno de los residuos como referencia para realizar los demás análisis.

A continuación, en la Tabla 13 se presentan los distintos valores de la literatura correspondientes a proyectos de construcción ejecutados en Colombia. Se comparan estos datos con los tipos de RCD encontrados en la obra objeto de esta investigación.

Tabla 13. Comparativo de los valores encontrados con otros autores de la literatura.

Tipo de indicador	Marin <sup>a</sup>	Armijos <sup>b</sup>	González <sup>c</sup>	Esta investigación
Residuos de concreto (Rc)	1.386	2.300	-	1.606,8
Residuos de excavación (Re)	-	-	1.000	821,6
Residuos de mampostería (Rb)	642	-	-	697,3
Residuos mezclados (Rc + Rb)	811	-	-	1.186,5

Fuente: Marin, (2019)<sup>a</sup>; Armijos, (2018)<sup>b</sup>; González, (2020)<sup>c</sup>.

Se observa que esta investigación tuvo un valor de masa unitaria de los residuos de concreto promedio entre los encontrados por Marin (2019) y Armijos (2018). Con respecto a los residuos de excavación, esta investigación obtuvo un valor de MU menor a la encontrada por González (2020). Por otro lado, los valores de MU de los residuos de mampostería obtenidos en esta investigación fue 7,8% mayor a la obtenida por Marin (2019) y con respecto a los residuos mezclados presentó una variación de 31,6% superior.

Los fragmentos más grandes y menos compactos de cada residuo pueden generar que haya habido variaciones en el resultado de las masas unitarias, también que haya algunos proyectos en donde el material de mampostería haya sido de mayor o menor densidad. Otro factor que pudo haber afectado en los resultados, es la de las condiciones de trabajo como la humedad, el tiempo de exposición al aire o la forma en que se almacenan los residuos ya que esto puede influir en el peso, puesto que la absorción de agua en los residuos puede aumentar su masa.

#### 4.2.3 Cuantificación de RCD.

Los datos fueron registrados en el formato piloto proporcionado por la Universidad Javeriana sede Cali a medida que se realizaban las visitas permitiendo cuantificar parcialmente los RCD generados. Puesto que no se logró medir todo el volumen generado en la obra, estas mediciones sirvieron para sacar una muestra representativa y conociendo las cantidades de obra poder realizar una proyección de generación, también para realizar un estudio sobre la composición de esa muestra representativa de RCD en el proyecto. A continuación, en la Tabla 14 se muestra el resumen de los datos obtenidos.

Tabla 14. Generación de los tipos de residuos en la etapa de demolición.

Fecha	Rc (m <sup>3</sup> )	Re (m <sup>3</sup> )	Rb (m <sup>3</sup> )	Rc+Rb (m <sup>3</sup> )	TOTAL	
					m <sup>3</sup>	%
14-jul-23	-	-	0,87	11,96	<b>12,83</b>	<b>11,7</b>
21-jul-23	-	7,25	16,67	-	<b>23,92</b>	<b>21,8</b>
29-jul-23	-	4,04	6,57	-	<b>10,62</b>	<b>9,7</b>
4-ago-23	0,53	-	2,39	7,01	<b>9,93</b>	<b>9,1</b>
9-ago-23	-	3,06	-	18,14	<b>21,20</b>	<b>19,3</b>
12-ago-23	1,44	-	10,86	1,10	<b>13,40</b>	<b>12,2</b>
16-ago-23	1,85	2,47	0,67	10,38	<b>15,37</b>	<b>14,0</b>
19-ago-23	-	0,84	0,20	-	<b>1,03</b>	<b>0,9</b>
24-ago-23	0,44	-	-	0,99	<b>1,42</b>	<b>1,3</b>
<b>TOTAL</b>	<b>4,27</b>	<b>17,66</b>	<b>38,22</b>	<b>49,57</b>	<b>109,72</b>	<b>100,0</b>

El mayor volumen medido se obtuvo en el tipo de residuos mezclados en la semana 5 de demoliciones, la cual comprende la fecha del 4 de agosto de 2023, con un valor de 18,14m<sup>3</sup>, sin embargo, el día que más se realizó un cubicaje de los tipos de residuos totales en la obra fue el 21/07/2023 donde se obtuvo un 21,8% de volumen medido respecto al total. Por otro lado, los residuos que más generaron con respecto a las mediciones realizadas en las visitas a la obra fueron los mezclados, con un total de 49,57 m<sup>3</sup>.

Al comparar los 109,72 m<sup>3</sup> medidos con la generación total de 416 m<sup>3</sup> proporcionada por el contratista y con respecto a los RCD susceptible de aprovechamiento, se observa que la muestra final corresponde al 26.38% del total de residuos generados en la obra. Esta proporción es significativa y representativa para dar una visión acercada de la generación total de residuos en el proyecto.

Con una muestra que cubre más de una cuarta parte del total de residuos, se puede inferir con mayor precisión la distribución y composición de los diferentes tipos de RCD generados durante la ejecución de la obra, además, contar con una muestra representativa da un plus para desarrollar y evaluar las estrategias de aprovechamiento y manejo de los RCD. La Figura 25 muestra la composición general de los RCD que se generaron en la obra con respecto a las mediciones realizadas.

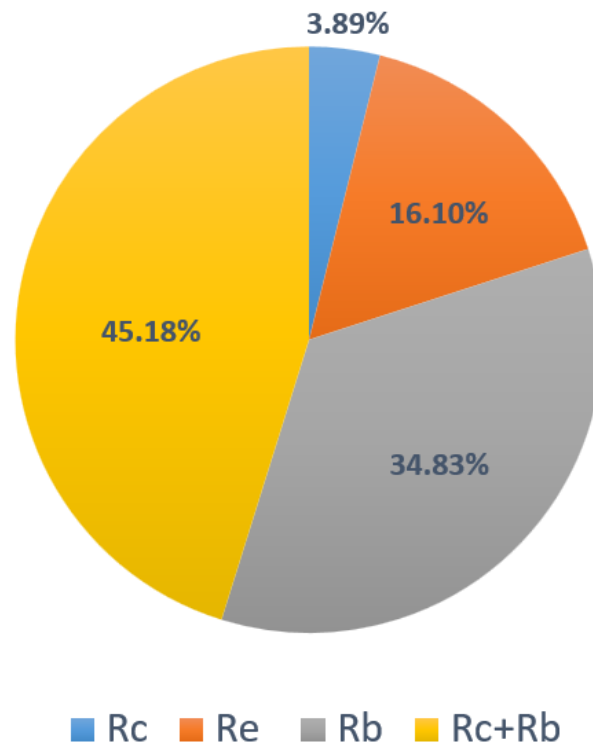


Figura 25. Composición porcentual de los RCD generados en la obra de acuerdo con el volumen de cada tipo de residuo.

Posteriormente, con los datos hallados en puntos anteriores como lo son las masas unitarias aparentes por tipo de residuos estudiados de la obra y los volúmenes totales, se obtiene el peso total de cada residuo con respecto a la fecha de realizada la medición, dando un total de 100,90 t. (Ver Tabla 15).

Tabla 15. Peso total con respecto al volumen medido en obra.

Fecha	Rc (t)	Re (t)	Rb (t)	Rc+Rb (t)	TOTAL (t)
14-jul-23	-	-	0,71	12,19	<b>12,90</b>
21-jul-23	-	4,05	11,83	-	<b>15,88</b>
29-jul-23	-	2,82	5,37	-	<b>8,19</b>
4-ago-23	0,86	-	0,44	8,22	<b>9,52</b>
9-ago-23	-	2,13	-	20,12	<b>22,25</b>
12-ago-23	2,32	-	7,88	1,30	<b>11,50</b>
16-ago-23	2,78	1,72	0,55	12,11	<b>17,16</b>
19-ago-23	-	0,58	0,16	-	<b>0,74</b>
24-ago-23	1,59	-	-	1,17	<b>2,76</b>
<b>TOTAL</b>	<b>7,75</b>	<b>12,30</b>	<b>29,74</b>	<b>58,81</b>	<b>100,90</b>

Luego de la cuantificación por peso según el tipo de RCD, se observa que las 5 semanas en donde se cuantificó y se generó más residuos, corresponden a las semanas en donde se realizaron las actividades más representativas y con mayor carga de trabajo, es decir, donde se realizaron las demoliciones de los muros tanto internos como de la fachada, las vigas aéreas, las columnas y zapatas de la edificación.

La Figura 26 muestra la composición de los diferentes RCD que se generaron en la obra, donde se observa que el residuo de mampostería presenta más de la mitad del peso total de los RCD medidos, esto se debe a que se produjo un volumen significativo de este tipo de residuos y además su masa unitaria es alta también.

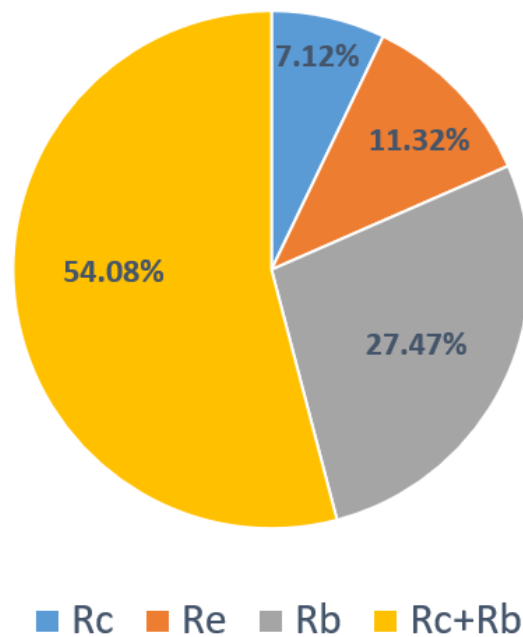


Figura 26. Composición porcentual de los RCD generados en la obra de acuerdo con el peso de cada tipo de residuo.

#### 4.2.4 Índices Gravimétricos.

Según la ecuación para calcular el índice gravimétrico por superficie presentada en el ítem 3.3.5.2. y las cantidades finales ejecutadas en la obra mostradas en la Tabla 8, las cuales fueron reportadas por el contratista, se tiene los valores consignados en la Tabla 16:

Tabla 16. Cálculo de peso del RCD generado en la ventana de seguimiento.

Tipo de Residuo	WRCD <sub>i</sub> (kg)	WRCD <sub>i</sub> (ton)
Residuos de concreto (Rc)	43.295,4	43,3
Residuos de mampostería (Rb)	294.344,7	294,3
Residuos de excavación (Re)	66.940,8	66,9
<b>TOTAL</b>	<b>404.580,9</b>	<b>404,5</b>

Con respecto a los datos obtenidos del contratista, se tiene un área real construida de 202,66 m<sup>2</sup> de acuerdo con las actividades donde se generaron los residuos de concreto y 1.510,23 m<sup>2</sup> en las zonas donde se generaron los residuos de mampostería. Para el cálculo del área intervenida en las excavaciones, se realizaron mediciones en obra de cada zapata para determinar el área de cada una y así obtener el total de 67,17 m<sup>2</sup>. En la Tabla 17 se observa los valores calculados para superficie medida.

Tabla 17. Cálculo del índice gravimétrico por superficie.

Tipo de Residuo	Area (m <sup>2</sup> )	WRCD <sub>i</sub> (kg)	IGR <sup>w</sup> (kg/m <sup>2</sup> )
Residuos de concreto (Rc)	1.780,06	43.295,4	24,32
Residuos de mampostería (Rb)	1.780,06	294.344,7	165,36
Residuos de excavación (Re)	1.780,06	66.940,8	37,61

De la tabla anterior se observa que el indicador gravimétrico en la ventana de seguimiento con respecto a los residuos de mampostería es la mayor, presentando un índice de 165,36 kg/m<sup>2</sup>, esto corresponde a que fueron los residuos que más se generaron en la obra debido al sistema constructivo de la edificación.

Contemplando el área total real ejecutada de 1.780,06 m<sup>2</sup> y los residuos totales ejecutados a lo largo de la obra igual a WRD<sub>total</sub> = 404.580,9 kg, se obtiene un índice global de la obra igual a:

$$IGR^w = \frac{404.580,9 \text{ kg}}{1.780,06 \text{ m}^2} = 227,28 \text{ kg/m}^2$$

En la Tabla 18 se observa la comparativa que se obtuvo con respecto a las diferentes literaturas encontradas.

Tabla 18. Comparativa de indicadores gravimétricos por superficie kg/m<sup>2</sup>

Tipo de indicador	UE <sup>a</sup>	España <sup>b</sup>	Vasco <sup>c</sup>	China <sup>d</sup>	Brasil <sup>e</sup>	USA <sup>f</sup>	Esta investigación
Construcción	330	120	84	41	97	21	-
Demolición Total	840	1.129	1.130	1.360	-	21	-
Demolición Parcial	-	903	-	-	-	-	-
Rehabilitación	459	339	903	-	-	440	227,28

Fuente: Mália, De Brito, Pinheiro, & Bravo (2013)<sup>a</sup>; Llatas, (2011); Llatas & Fuertes, (2017); Morán del Pozo, Juan Valdés, Aguado, Guerra, & Medina, (2011)<sup>b</sup>; Ihobe (n.d.)<sup>c</sup> Wu et al., (2016)<sup>d</sup>; (Paz & Lafayette, 2016)<sup>e</sup> y Cochran, Townsend, Reinhart, & Heck, (2007)<sup>f</sup>, Armijos(2018).

Esta investigación obtuvo indicadores bajos con respecto a la metodología empleada por países que abarca el estudio de UE, así como países como España, Vasco y USA teniendo en cuenta su tipo, es decir el de rehabilitación estructural. Estos países han optimizado sus procesos en la generación de RCD gracias a su metodología constructiva y al estricto cumplimiento de sus normativas, puesto que los porcentajes obtenidos en sus proyectos son mayores, lo cual es probablemente atribuible a que, en este caso la obra no implicó una demolición total, sino parcial.

#### 4.2.5 Índices Volumétricos.

A continuación, la Tabla 19 muestra el cálculo de los índices volumétricos por superficie:

Tabla 19. Cálculo del índice volumétrico por superficie.

Tipo de Residuo	VRCD <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	IGR <sup>v</sup> (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )
Residuos de concreto (Rc)	26,95	1.780,06	0,015
Residuos de mampostería (Rb)	358,26	1.780,06	0,201
Residuos de excavación (Re)	96,00	1.780,06	0,054

Contemplando el área total real ejecutada de 1.780,06 m<sup>2</sup> y los residuos totales igual a VRD<sub>total</sub>= 481,20 m<sup>3</sup> que se muestra en la Tabla 8 , se obtiene un índice global de la obra igual a:

$$IGR^V = \frac{481,20 \text{ m}^3}{1.780,06 \text{ m}^2} = 0,2703 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

En la Tabla 20 se observa la comparativa con el indicador encontrado en la literatura con respecto a rehabilitación estructural. El indicador A, corresponde al segundo Plan Nacional Integrado de Residuos en



España que se enfoca en el primer documento con cantidad fiable de información que validan estos resultados, Llatas (2011), presentando un valor menor pero no significativamente distante.

Tabla 20. Comparativa de indicadores volumétricos por superficie.

Tipo de indicador	Unidad	España <sup>a</sup>			Esta investigación
		A	B	C	
Construcción	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,125	0,1388	0,1078	-
Demolición Total	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,785-0,858	-	-	-
Demolición Parcial	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	-	-	-	-
Rehabilitación	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	0,489	-	-	0,2703

Fuente: Mália, De Brito, Pinheiro, & Bravo (2013)<sup>a</sup>; Armijos(2018).

Esta investigación presenta un valor más bajo en comparación con el indicador reportado en la literatura, lo cual puede deberse a que la demolición realizada en la rehabilitación estructural del edificio fue parcial y no total. Además, otras posibles causas de esta diferencia podrían ser la menor cantidad de materiales removidos, el tipo de estructura intervenida, o incluso la metodología empleada para el manejo de los residuos. Factores como el tamaño y la antigüedad del edificio, así como las técnicas de reciclaje o disposición final utilizadas, también podrían haber influido en los resultados obtenidos.

#### 4.2.6 Indicador de Aprovechamiento.

El indicador de aprovechamiento se determinó para los residuos producto de la etapa de demoliciones en la obra sin tener en cuenta los residuos de excavación. Basados en la normativa colombiana vigente estos incluyeron las actividades de demolición en la mampostería, los encamisados de las zapatas, las columnas existentes y los residuos producto de las excavaciones.

$$\text{Indicador de Aprovechamiento} = \frac{100,90 \text{ t}}{337,64 \text{ t}} = 0,299$$

Teniendo en cuenta las metas de aprovechamiento de la Resolución 1257 de 2021 para la ciudad de Cali, la cual presenta un porcentaje de 25% de aprovechamiento desde el 2023 y por ser categoría especial, este indicador la cual es la proyección del aprovechamiento que se podría haber tenido en obra, estaría cumpliendo con esa meta, aunque no haya sido una obra que tenga la obligatoriedad del cumplimiento de la meta, puesto que es inferior a 2.000 m<sup>2</sup>.

$$\text{Indicador de Aprovechamiento real} = \frac{11,15 \text{ t}}{404,49 \text{ t}} = 0,0276$$

La obra en general tuvo un gran potencial de aprovechamiento, pero no se logró una gestión óptima debido a la limitada disponibilidad de gestores especializados en la ciudad de Cali, tan solo el 2,76% fue aprovechado. A pesar de que se realizaron gestiones antes los dos gestores de aprovechamiento autorizados en la ciudad, no fue posible que aceptaran los residuos. Por otro lado, la falta de infraestructura adecuada y de incentivos para promover el reciclaje y reutilización de estos residuos en la institución, redujo las oportunidades de maximizar el aprovechamiento.

Fomentar la separación de residuos en origen durante la obra, ayudará a incrementar el aprovechamiento de los RCD, ya que aumentará el costo para el tratamiento de estos residuos y la calidad del producto resultante si no se llegase a hacer.

Capacitar sobre el manejo adecuado para la reutilización de los RCD en obra al personal profesional contratista e interventor, así como al personal encargado de elaborar los pliegos de condiciones en las entidades ejecutoras dado el caso, ayudará a que estos residuos puedan ser utilizados como agregados en las actividades de la misma obra, en lugar de considerarse como residuos finales resultantes de la ejecución de las obras.

## **5. Guía para la gestión integral del RCD**

### **5.1 Introducción.**

La guía para la gestión de RCD se estructuró con base en las necesidad y desafíos comunes que presentan los proyectos de rehabilitación estructural. Estas obras, que frecuentemente involucran la intervención de estructuras existentes, requieren un enfoque meticuloso debido a la complejidad del trabajo en edificaciones en uso o en entornos urbanos.

La guía aborda aspectos clave como la clasificación y caracterización de los residuos, las mejores prácticas para su manejo y las medidas de seguridad necesarias para proteger tanto a los trabajadores como al público. Se destacan estrategias para minimizar la generación de RCD y maximizar su aprovechamiento, contribuyendo a la sostenibilidad y eficiencia de los proyectos de rehabilitación.

La importancia de aplicar buenas prácticas en la gestión de RCD radica en la necesidad de realizar intervenciones cuidadosas y bien planificadas, que aseguren tanto la integridad estructural de las edificaciones como la continuidad de los servicios en las áreas afectadas, sin comprometer la seguridad ni el entorno

### **5.2 Alcance.**

La estructura y contenido de la guía están diseñados para abordar las necesidades y desafíos específicos que surgen en diversos proyectos de rehabilitación estructural. En este contexto, se hace énfasis en la importancia de gestionar eficazmente los RCD desde su generación hasta su aprovechamiento y disposición final, asegurando un manejo responsable y sostenible en cada etapa del proceso.

Esta guía está orientada al cumplimiento de las normativas locales vigentes; la Resolución 0472 de 2017 y su modificación la Resolución 1257 de 2021, emitidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y que rigen la gestión de estos RCD, así como a las mejores prácticas internacionales. Su alcance incluye desde la planificación inicial, la implementación de prácticas de manejo en sitio, hasta el aprovechamiento y disposición final de estos residuos, todo con un enfoque en la sostenibilidad y eficiencia.

Las medidas y recomendaciones incluidas son aplicables a diferentes tipos de obras de rehabilitación, garantizando la adaptabilidad a distintas condiciones de obra, independientemente de la naturaleza del edificio o su entorno, y promoviendo la reducción del impacto ambiental.

### 5.3 Datos del generador.

Nombre o razón social: Universidad Javeriana Cali

NIT: 860.013.720-1

Dirección de la obra: Edificio administrativo ala este – Universidad Javeriana Sede Cali.

### 5.4 Ubicación y descripción de la obra.

La intervención en obras de rehabilitación estructural suele centrarse en áreas específicas de un edificio que requieren ajustes, remodelaciones o mejoras para asegurar su funcionalidad y seguridad. Estos trabajos pueden implicar la intervención parcial o total de una edificación, dependiendo de su configuración arquitectónica y el estado de cada zona.

Como ejemplo, en un proyecto previo, la intervención se realizó en un edificio que estaba dividido en dos alas como se observa en la Figura 27, donde una de las alas ya había sido remodelada previamente, y la intervención se limitó exclusivamente a la otra ala (ala este), asegurando la continuidad de los servicios en la parte no afectada.



Figura 27. Ubicación específica del proyecto - Edificio administrativo ala este. Fuente: Google Earth Pro

El reforzamiento estructural en proyectos de rehabilitación implica la ejecución de una serie de intervenciones orientadas a mejorar la estabilidad, seguridad y durabilidad de una edificación. Esto incluye el trabajo sobre elementos estructural como columnas, vigas y muros, así como la de componentes no estructurales para asegurar la adaptación del edificio a nuevas condiciones de uso.

Las intervenciones podrían incluir el encamisado de columnas de concreto, la instalación de riostras metálicas en fachadas, y la rehabilitación de elementos no estructurales como muros perimetrales de mampostería reforzada. Adicionalmente, se puede contemplar la remodelación de la cubierta, sustituyendo materiales antiguos por otros más modernos, como cubiertas aptas para la instalación de paneles solares.

### **5.5 Objetivo.**

Proveer a los responsables de obra con herramientas y estrategias necesarias para gestionar de manera eficaz los RCD, maximizando su aprovechamiento y fomentando la reducción en la disposición final de estos residuos a través de prácticas sostenibles y eficientes.

### **5.6 Clasificación de los RCD.**

La Resolución 0472 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), clasifica a los residuos en dos categorías principales; susceptibles de aprovechamiento y no susceptibles de aprovechamiento. Esta distinción es fundamental para orientar las buenas prácticas de estos residuos en el sector de la construcción.

La identificación clara de los RCD susceptibles de aprovechamiento permite fomentar su reutilización, reciclaje y valorización, contribuyendo así a la reducción de la cantidad de residuos enviados a vertederos y al fomento de la economía circular en la industria de la construcción. Por otro lado, los RCD no susceptibles de aprovechamiento requieren un manejo diferenciado, que pueden incluir su disposición final en rellenos sanitarios autorizados o a la aplicación de tecnologías adecuadas de tratamiento, Esta clasificación (Ver Tabla 21) es fundamental para promover una gestión integral y sostenible de los RCD, en línea con los principios de conservación ambiental y desarrollo sostenible.

Tabla 21. Clasificación de los RCD (Resolución 0472 de 2017; El Autor, 2024).

CATEGORÍA	GRUPO	COMPONENTES	IMAGEN DE REFERENCIA
Residuos de Construcción y Demolición (RCD) susceptibles de aprovechamiento.	Productos de excavación y sobrantes de la adecuación de terreno.	Coberturas vegetales, tierras, limos y materiales pétreos productos de la excavación.	 <p>Fuente: El Autor.</p>
	Productos de cimentaciones y pilotaje.	Arcillas, bentonitas y demás.	 <p>Fuente: ceramicartis.com</p>
	Pétreos.	Concreto, arenas, gravas, trozos de ladrillos y bloques, cerámicas, sobrante de mezcla de cementos y concretos hidráulicos, entre otros.	 <p>Fuente: González, 2020.</p>
	No pétreos.	Vidrio, metales como acero, hierro, cobre, aluminio, con o sin recubrimiento de zinc o estaño, plásticos como PVC, polietileno, espumas de poliestireno y de poliuretano, policarbonato, acrílico, gomas, cauchos, compuestos de madera o cartón, yeso (drywall), entre otros.	 <p>Fuente: González, 2020.</p>

CATEGORÍA	GRUPO	COMPONENTES	IMAGEN DE REFERENCIA
Residuos de Construcción y Demolición (RCD) no susceptibles de aprovechamiento.	Materiales contaminados con residuos peligrosos.	Materiales contaminados con pinturas, solventes y otras sustancias químicas peligrosas como pesticidas, herbicidas o materiales corrosivos.	 <p>Fuente: canecas.com.co</p>
	Materiales que por su estado no puede ser aprovechables .	Materiales de demolición muy mezclados, materiales muy degradados, restos de adhesivos y sellantes, restos de aislamiento contaminados y materiales compuestos de difícil separación.	 <p>Fuente: macypblog.wordpress.com</p>
	Materiales con características de peligrosidad.	Residuos de asbesto, residuos de pinturas y solventes, residuos de aceites y lubricantes, residuos de adhesivos y sellantes, equipos de iluminación con mercurio, baterías y pilas.	 <p>Fuente: El Autor</p>

### 5.7 Normatividad Colombiana.

Dentro de la jerarquía en la gestión integral de los RCD, se debe de implementar como primera alternativa la priorización de las actividades de prevención o reducción de la generación de RCD en la obra, como segunda medida implementar el aprovechamiento de estos residuos; ya sea por medio de la reutilización o del reciclaje, y como última opción, realizar la disposición final de RCD a sitios certificados ambientalmente, como se muestra en la Figura 28.



Figura 28. Jerarquía en la gestión integral de los RCD. Fuente: El Autor.

Se consideran como actividades para la gestión integral de RCD según la Resolución No. 0472 de 2017 y la Resolución 1257 de 2021; la prevención y reducción, seguido de recolección y transporte, almacenamiento de los residuos, el aprovechamiento de estos y por último la disposición final (MADS). A continuación, se describen las actividades recomendadas por esta normativa:

### 5.7.1 Prevención y reducción de RCD.

La planeación adecuada en la obra, en conjunto con el contratista se deberá:

- Determinar la cantidad estricta de materiales de construcción para evitar pérdida de materiales.
- Una adecuada separación en obra por tipo de RCD, así como los de los materiales de construcción.
- Realizar un adecuado control de la escorrentía superficial y aguas lluvias cuando sea necesario.

### 5.7.2 Recolección y transporte de RCD.

Para la recolección y el transporte de RCD en la obra, se deberá tener en cuenta los siguientes puntos:

- Los vehículos transportadores del material deberán tener en regla la documentación requerida por el tránsito y transporte, así como la de emisiones atmosféricas.
- El volumen de material en los contenedores o platoes de carga no deberá de sobrepasar el borde superior más bajo.
- Evitar el manejo, cargue y descargue de los RCD para evitar que las partículas se dispersen.
- Evitar el contacto con el viento y la lluvia u otro material que humedezca los RCD, para eso cubrir el contenedor con plástico es buena opción.

### 5.7.3 Almacenamiento de RCD.

Se deberá optar por tener uno o varios sitios de almacenamiento temporal de los RCD en la obra junto con barreras alrededor del sitio para evitar el la dispersión de partículas y el impacto visual de los transeúntes, todo debidamente señalizado (Ver Figura 29).





Figura 29. Almacenamiento temporal en obra de RCD.

#### **5.7.4 Aprovechamiento de RCD.**

Este proceso comprende la reutilización o el reciclaje de los RCD, con el fin de realizar su reincorporación al ciclo económico. A continuación, se describen los procesos:

##### **5.7.4.1 Reutilización de RCD.**

Consiste en aprovechar nuevamente los RCD recuperados sin necesidad de realizar modificaciones o transformaciones en ellos, lo que permite prolongar su utilidad y evitar la generación de nuevos residuos.

##### **5.7.4.2 Reciclaje de RCD.**

Se centra en la transformación activa de los RCD, donde se someten a procesos y tratamientos que los convierten en materias primas o insumos específicos, listos para ser utilizados en la producción de nuevos materiales de construcción. Este proceso implica darles una nueva vida y funcionalidad, reduciendo así la necesidad de extraer recursos naturales y promoviendo la economía circular en el sector de la construcción.

#### **5.7.5 Disposición final de RCD.**

Se deberá optar los sitios específicos autorizados para la disposición final de los RCD, donde se eviten al máximo los impactos al medio ambiente. Se localizarán prioritariamente en áreas cuyo paisaje se encuentre degradado como minas y canteras abandonadas, entre otros.

## **5.8 Generadores de RCD.**

La Resolución No. 0472 de 2017 denomina generador, a la persona natural o jurídica que con las actividades que realiza de construcción, demolición, reparación o mejoras locativas, genera RCD. Se clasifican en dos grupos:

### **5.8.1 Gran generador de RCD.**

El gran generador, es el generador de RCD que cumple con algunas de las siguientes condiciones según la modificación que tuvo la Resolución No. 0472 de 2017 por la Resolución No. 1257 de 2021:

- a) Obra que requiere la expedición de licencia de construcción en cualquiera de sus modalidades y/o licencia de intervención y ocupación del espacio público.
- b) Obra que tenga un área construida igual o superior a 2.000 m<sup>2</sup>.
- c) Los proyectos que requieren licencia ambiental.

### **5.8.2 Obligaciones de Gran generador de RCD.**

Los grandes generadores deberán:

- a) Formular, implementar y mantener actualizado el Programa de Manejo Ambiental de RCD.
- b) Cumplir con la meta de aprovechamiento.
- c) Reportar a la autoridad ambiental competente el cumplimiento de la presente resolución al final de cada trimestre del año durante la ejecución de la obra, entregando como mínimo, la información requerida en los Anexos I, II, V, VI y VII que hacen parte integral de la Resolución No. 1257 de 2021.
- d) Si las actividades están sujeta a licenciamiento ambiental, deben realizar los reportes a través del informe de Cumplimiento Ambiental, con la periodicidad que haya definido la autoridad ambiental para este instrumento.

### **5.8.3 Pequeño generador de RCD.**

Es el generador de RCD que cumple con algunas de las siguientes condiciones:

- a) La obra no requiere la expedición de licencia de construcción en cualquiera de sus modalidades y/o licencia de intervención y ocupación del espacio público.
- b) Obra que requiere la expedición de licencia de construcción en cualquiera de modalidades y/o licencia de intervención y ocupación del espacio público y tenga un área construida inferior a 2.000 m<sup>2</sup>.

#### 5.8.4 Obligaciones de Pequeño generador de RCD.

Los pequeños generadores deberán entregar los RCD únicamente a gestores de RCD para que realicen las actividades de recolección, transporte, almacenamiento, aprovechamiento y/o disposición final en los puntos limpios, sitios de aprovechamiento y/o disposición final, según sea el caso.

#### 5.9 Gestión de los RCD.

La disposición final de los RCD ha generado una crisis en muchos lugares, ya que los gobiernos locales enfrentan dificultades para gestionarlos de manera adecuada. Frente a esta problemática, se han propuesto estrategias de reutilización de los RCD, no solo como parte de los requisitos técnicos que deben cumplirse en los proyectos sino también por los beneficios ambientales que estas prácticas pueden generar a largo plazo.

Con el propósito de proteger el medio ambiente, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible a través de la Resolución No. 0472 del 2017 “Por lo cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición – RCD y se dictan otras disposiciones”, propone garantizar una adecuada gestión de estos residuos en los proyectos. Sin embargo, la Resolución No. 1257 de 2021 que modifica algunos artículos de la Resolución No. 0472 de 2017, establece nuevas metas de aprovechamiento de RCD en su Artículo 9º así como se muestra en la siguiente tabla (ver Tabla 22):

Tabla 22. Cumplimiento de meta por categorías. Fuente: Resolución No. 1257 de 2021 - MADS.

<b>Categoría Especial &lt;500.001 hab.</b>	<b>Categoría 1, 2, 3 30.001 - 500.000 hab.</b>	<b>Categoría 4, 5, 6 10.000 - 30.000 hab.</b>	<b>Cumplimiento de Meta</b>
25%	15%	5%	1 de enero de 2023
50%	30%	20%	1 de enero de 2026
75%	60%	40%	1 de enero de 2030

Es importante recalcar que la implementación de estas políticas permite reducir la contaminación proveniente de los proyectos de construcción, destacando que la reutilización de los RCD como materia prima impacta positivamente en el desarrollo de estrategias de construcciones amigables con el medio ambiente. Para ello, analizar debidamente los indicadores preliminares permitirá tomar una mejor decisión a la hora de la selección de material y su clasificación, el reciclaje o la reutilización, así como alternativas de tratamiento o, en definitiva, la eliminación de RCD.

### **5.9.1 Descripción de las actividades de demolición selectiva.**

Según MAAT (2020), la demolición selectiva de RCD implica el desmontaje y la extracción cuidadosa de los materiales específicos de la estructura del edificio, este proceso puede resumirse en la siguiente secuencia:

- a) Protección de estructuras colindantes: Tener precaución para proteger las estructuras vecinas de posibles daños, utilizar estructuras de protección y sistemas de control de polvo.
- b) Retirada de instalaciones y servicios: Desconectar y retirar los sistemas de fontanería, electricidad, aire acondicionado o cualquier otro tipo de servicio presente en el edificio.
- c) Desmontaje: Extracción de los elementos estructurales y no estructurales del edificio tales como vigas, columnas, mampostería, paneles, entre otros, para su posterior reutilización o reciclaje. Usar sistema de conductos o toboganes para la clasificación correcta de los residuos cuando se trabaje en las partes superiores, con un mínimo de un tobogán por tipo de residuos según clasificación de Resolución No. 0472 de 2017.
- d) Separación de materiales: Clasificar en sitios temporales según su tipo, como madera, metal, concreto, ladrillos, vidrio, plástico, entre otros, esto para facilitar el manejo adecuado para el reciclaje o la disposición final.
- e) Retirada de materiales peligrosos: Realizar una adecuada extracción de estos materiales peligrosos en realizar la disposición en sitios exclusivos para ellos.
- f) Gestión de los residuos: Los materiales ya clasificados y separados, se envían a instalaciones de reciclaje o aprovechamiento si son materiales aprovechables o, si son materiales no aprovechables a sitios de disposición final según la regulación ambiental.

### **5.9.2 Descripción de las actividades de almacenamiento temporal de RCD en obra.**

Para el manejo adecuado de los RCD en obra, se deberá tener en cuenta los siguientes puntos:

- a) Identificación y separación en la fuente: se clasificará los RCD susceptibles de aprovechamiento según su tipo; productos de excavación y sobrantes de adecuación de terreno, productos de cimentaciones, pétreos y No pétreos, esto permitirá clasificar de manera correcta los diferentes tipos de residuos generados para un futuro aprovechamiento.
- b) Sitio de almacenamiento temporal: se almacenarán en áreas específicas y separadas según su tipo, utilizando zonas designadas para cada categoría de residuo con el objetivo de evitar mezclar los materiales y facilitar el posterior manejo y aprovechamiento.

- c) Señalización: es importantes señalar las áreas de almacenamiento de RCD donde se observe claramente los tipos de residuos clasificados. Esto permitirá que los trabajadores identifiquen y depositen correctamente los residuos, evitando que se confundan.
- d) Seguridad y control de polvo: incluir cubiertas, barreras o lonas para los acopios de RCD y/o la implementación de poca humectación para la reducción de partículas en el aire.
- e) Transporte y disposición final: se realiza el transporte de los RCD a instalaciones de reciclaje, aprovechamiento o disposición final.

### 5.10 Clasificación de los componentes de los Agregados Reciclados.

La atención primordial en la mejora de los RCD se enfoca en los Agregados Reciclados (ARC), los cuales, para poder ser aprovechados como materias primas en el ámbito constructivo, deben ser sometidos a procesos de preparación previa. Existen varias normativas para la clasificación de ARC, para entender un poco más acerca de este tema se utilizará la Norma Europea UNE EN 933 inciso 11 de 2010, donde clasifica el árido grueso reciclado de la manera que se muestra en la Tabla 23.

*Tabla 23. Clasificación de residuos de construcción y demolición del agregado grueso en la Unión Europea. Fuente: UNE EN 933 11, 2010.*

Constituyente	Descripción
Rc	Concreto, productos de concreto, mortero y ladrillos de concreto.
Ru	Piedra natural, agregado reciclado limpio (sin mortero).
Rb	Ladrillos de cerámica, tejas, fachaletas, cerámicos, otros productos de construcción que no flotan.
Ra	Material bituminoso.
Rg	Vidrio.
FLs	Agregados flotantes (< 1mg/m <sup>3</sup> )
FLns	Material flotante, no agregados (<1mg/m <sup>3</sup> )
X	Otros: Material cohesivo (suelo y arcillas), metales, no flotantes (madera), plástico y caucho.

Con fines de identificación y estimación de las proporciones de sus componentes, la utilidad de la norma NTC 6422 – Ensayo de Clasificación de los Componentes de los Agregados Gruesos Reciclados (ARC), nos permitirá describir un método simple para examinar dichos Agregados.

### 5.11 Gestión integral de RCD aplicado al proyecto.

En el ámbito de la construcción, la gestión integral de los RCD desempeña un papel crucial para minimizar el impacto ambiental y promover prácticas sostenibles. Cuando se emprende un proyecto de obra civil que involucra tanto la demolición como la construcción, resulta fundamental implementar estrategias efectivas para la gestión de estos residuos. La correcta planificación y ejecución de estas acciones

permiten maximizar la reducción, reutilización, reciclaje y disposición adecuada de los materiales generados, optimizando así los recursos y reduciendo el impacto ambiental asociado. En este contexto, el objetivo principal es establecer un enfoque integral que abarque desde la identificación y clasificación de los RCD con ayuda de los actores involucrados, hasta su posterior tratamiento y aprovechamiento, fomentando la economía circular y contribuyendo al desarrollo sostenible del sector de la construcción.

#### **5.11.1 Actores involucrados en la producción y administración de RCD.**

Inicialmente, todos los agentes que comprometen en las actividades de obra se encuentran involucrados en la gestión de residuos y en la implementación de las técnicas propuestas para llevar a cabo correctamente los objetivos establecidos, los principales actores en esta obra son:

- Director de obra: Encargado de la totalidad de proyecto, es la principal figura y autoridad en la ejecución del plan de gestión, por tanto, es quién haga cumplir las exigencias de los lineamientos adoptados y plasmados en el presente documento.
- Profesional de salud y seguridad en el trabajo: Motiva al personal de obra, es un actor fundamental en la implementación del plan de gestión al momento de supervisar los procesos y llevar el registro y control de los indicadores.
- Residente de obra: Se encuentra al frente de las cuadrillas y subcontratistas, influye en las acciones de trabajo del personal y se está al tanto de una correcta ejecución de las actividades en la obra.
- Cuadrillas de trabajo y subcontratistas: Encargados directos de la reducción y separación de los RCD en el interior del proyecto.

#### **5.11.2 Orientación a actores involucrados.**

- Se deberá realizar comité inicial donde se abarquen temas de concientización para todo el personal y el equipo de gestión de la obra, haciéndoles ver los impactos ambientales que está causando las actividades de construcción y demolición en todas las ciudades del mundo.
- Presentar las normativas vigentes que establecen una gestión integrada para estos residuos y que beneficios traen al sector de la construcción y todos los agentes involucrados en él.
- Facilitar la difusión y discusión del documento del plan de gestión de RCD entre todos los actores involucrados, con el objetivo de promover un amplio conocimiento y comprensión de su contenido, así como fomentar la participación activa y el compromiso de todos los implicados en su implementación.

- Dejar evidencia de las modificaciones que pueden ocurrir durante la ejecución de la obra en cuanto al Plan de Gestión de RCD.
- Tener comunicación óptima y continuamente activa entre todo el equipo de trabajo para una buena coordinación en las actividades desde la separación de los residuos de construcción y demolición en su origen hasta el aprovechamiento de los RCD en el interior del proyecto.
- Promover charlas con frecuencia donde se resalten los propósitos del plan de gestión del RCD y las metas que están propuestas para el final del proyecto, sensibilizando a todos los agentes involucrados a lo largo de la jornada laboral y en su vida cotidiana a pensar ecológicamente, ya que son procesos que harán cambio en sus vidas.
- Realizar comités paulatinamente en la obra donde se abarque información general, ideas, opiniones, soluciones o dado el caso de algunas mejoras en el plan de Gestión de RCD por parte del equipo de trabajo en obra.

### **5.11.3 Separación obligatoria en el origen (SOO).**

La planeación adecuada ayudará al control de los RCD, realizando inicialmente la separación obligatoria en el origen (SOO) por tipo de RCD, así como el manejo de aguas lluvias en la obra. Para eso se deberá:

1. Capacitar y concientizar al personal de obra: Informar correctamente a los trabajadores directos mediante carteles de obra, señalizaciones, entre otros, sobre la manipulación y control de los residuos en el momento inicial.
2. Supervisión y monitoreo: Inspeccionar el comportamiento adecuado de los trabajadores en el sitio de trabajo para dar garantía de SOO.
3. Lugares de acopio: Utilizar sitios de almacenamientos temporales para la acumulación de los residuos, así como protegerlos de los RCD que son susceptibles de aprovechamiento.

A continuación, se plantean algunas ideas que se pueden incorporar en la SOO:

- Se propone plantear un sistema de 4 conductos o toboganes como se aprecia en la Figura 30 para cada tipo de residuo; concreto, ladrillo, tuberías y peligrosos, donde se logre evacuar los residuos de construcción desde la parte superior hasta la superficie, sin que se mezclen en el piso inferior.



Figura 30. Prototipo de conducto de evacuación de residuos. Fuente: itm-construccion.com

- Instalación de tableros artesanales en las entradas de los toboganes, con su debido nombre del residuos, señalización y clasificación para no confundirse, y cuidar la separación en la fuente que es la más importantes en la gestión.
- Instalación de barreras, ya que permite mitigar el impacto visual de los transeúntes, así como cuidar de su bienestar protegiéndolos de cualquier partícula que logre caer de las alturas.
- Se realizará el seguimiento a la generación de los RCD por medio de la medición en volumen de los residuos en la obra civil, tal como se muestra en la Figura 31, de esa manera se podrán determinar índices.



Figura 31. Separación en la fuente - Áreas señalizadas con su debido tipo de clasificación de residuos.

- Se deberá cubrir el material evitando así el contacto con la lluvia y el viento, para ello la instalación y el uso de cajones estacionarios permiten la separación efectiva de los RCD como se muestra en la Figura 32.





Figura 32. Prototipo de separación de residuos en sitio temporal de RCD. Fuente: El Autor; M Alejandro Rojas M, 2023

- Incorporación de otro sitio de almacenamiento temporal de los RCD, donde se realice el pesaje, la separación y almacenamiento por tipo de RCD aprovechable, el aprovechamiento en la planta y el almacenamiento de los productos luego del proceso.
- Prohibir la disposición de los RCD en áreas no autorizadas dentro del proyecto, cuidando principalmente la separación de la disposición de RCD y el suministro de materiales.

### 5.12 Gestores de RCD.

Se deberá contactar con los gestores autorizados por la autoridad ambiental competente para cada actividad de la gestión; reciclaje, transporte, disposición final, entre otros.

Se dispondrá de formatos (Ver anexos) donde se llevará a cabo el registro de los RCD hasta su disposición final, para eso hay que tener en cuenta:

- Tener gestores encargados para los RCD susceptibles de aprovechamiento en una segunda vida útil como el plástico y el cartón.
- Tener gestores encargados de la disposición final de los RCD pétreos.
- Tener gestores especializados en el aprovechamiento de RCD pétreos, enfocados en la transformación de estos residuos, generalmente a través de procesos de reciclaje.
- Tener gestores de RCD encargados en el aprovechamiento del acero.
- Tener gestores que se encarguen del transporte y la disposición final de los RCD contaminados, peligrosos y no susceptibles de aprovechamiento.

### 5.13 Indicadores de seguimiento de gestión de RCD

Para conocer cuantitativamente y llevar un control sobre la gestión de RCD en el proyecto, se optará por tener en cuenta el Anexo I. "Formato único para la formulación e implementación del programa de manejo

ambiental de RCD” de la Resolución No. 1257 de 2021, y las exigencias del Decreto No. 507 de 2023 de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá D.C., donde se requiere inicialmente un reporte con los valores proyectados y posteriormente, reportes periódicos mensuales relacionados así:

#### **5.13.1 Indicador de eficiencia.**

Este indicador permite conocer la inversión realizada mes a mes por parte del generador en la gestión de los RCD de la obra, con respecto a lo calculado en la fase de planeación y presentado en el Plan de Gestión de RCD.

$$\frac{\text{Gastos mensuales de la implementación del PGRCD}}{\text{Presupuesto planeado para el PGRCD}} \times 100$$

#### **5.13.2 Indicador de efectividad.**

Este indicador permite hacer el seguimiento a las cantidades generadas mes a mes de RCD y control a los datos reportados a la entidad de inspección local.

$$\frac{\text{Cantidad de residuos aprovechables en la obra por mes}}{\text{Cantidad de material usado para la ejecución de la obra por mes}} \times 100$$

#### **5.14 Visitas al proyecto**

Para lograr llevar el control del plan de gestión de RCD en el proyecto, se realizarán visitas periódicas a la obra, donde se estipulará una frecuencia con base al siguiente análisis:

- Producción y generación de RCD: La cantidad de RCD en los centros de acopio sean razonable donde permitan una buena medición.
- Control y disposición de RCD: Lograr un adecuado uso de los sitios temporales de almacenamiento de RCD, teniendo en cuenta la debida clasificación de los residuos, la limpieza, la gestión para el aprovechamiento y por último la evacuación d disposición final.

Contemplado los puntos anteriores, se establece inicialmente que mínimo una visita semanal a la obra permitirá llevar un seguimiento adecuado y facilitará controlar el progreso del plan de gestión. Realizándose durante toda la fase de remodelación de proyecto que inicialmente son seis meses.

#### **5.15 Alternativas para la implementación del Plan de Gestión de RCD**

Se tienen en cuenta diferentes alternativas que se pueden llevar a cabo para el correcto funcionamiento del plan de gestión, así como el manejo de los RCD generados por el proyecto.

**a) Alternativa 1 – Uso de dos trituradoras.**

Una alternativa es el uso de una segunda trituradora que puede estar ubicada cerca del área de aprovechamiento de RCD. La incorporación de una trituradora adicional mejora el rendimiento en el procesamiento de los residuos, especialmente cuando se proyectan volúmenes elevados.

**b) Alternativa 2 – Receptores externos.**

Para la recepción de RCD se puede tener empresas donde se puedan utilizar estos residuos, o terceros que requieran de estos residuos. Con esta alternativa se logra aprovechar al máximo los residuos generados y procesados.

**c) Alternativa 3 - Aliados estratégicos.**

Asociarse con una constructora u otra empresa relacionada en este medio es buena opción, se les puede plantear estrategias donde se logre implementar el punto limpio en sus obras y que seamos nosotros quienes suministremos la maquinaria. Con esta alternativa puede haber un ahorro en el tema del arrendamiento de los parqueaderos en la Universidad.

**5.16 Análisis preliminar.**

- Después del uso de la trituradora de mandíbula u otro equipo de trituración, se puede realizar un análisis de depreciación y conocer el salvamento de la máquina para su posterior venta y así recuperar parte de la inversión.
- Con la programación de la obra que suministre el contratista, se puede ajustar el rendimiento en la gestión de los residuos.
- Para poder comercializar los productos reciclados, es necesario conocer un valor base de mercado donde se observe la oferta de estos materiales.
- Para un buen análisis de ingresos que generaría la implementación del Plan de Gestión integral de RCD, es necesario determinar con el presupuesto oficial contratado el costo de la disposición final de los RCD. Con el presupuesto se pueden identificar las actividades dentro de la obra donde se podrían utilizar los agregados reciclados y así poder determinar un valor presupuestado de estos agregados naturales que se reemplazarían.

El aumento de los ingresos dependerá de muchos factores tales como:

- a) Un mayor aprovechamiento en los RCD, esto dependerá del manejo que se les da a los residuos en su separación y transporte.
- b) Una mejor oferta a la hora de vender los residuos aprovechados.

La reutilización de los materiales implementados para la gestión de los residuos en obras posteriores por la empresa contratista, genera un ingreso a largo plazo.

### **5.17 Señalización**

Desde el inicio de la actividad y hasta su finalización se debe mantener delimitada el área de trabajo con cinta de señalización para prevenir el paso peatonal o vehicular por la zona donde se realizan los trabajos con estacas de madera o material firme donde la cinta de señalización pueda ser instalada correctamente. Igualmente se debe de contar con la señalización de demolición junto con caída a distinto o mismo nivel y un cerramiento.

### **5.18 Disposición de área de trabajo.**

- Solicitar los planos actualizados y aprobados para la revisión de las redes existentes de los circuitos eléctricos de baja y media tensión, circuitos de internet, fibra óptica comunicaciones, filtros de aguas lluvias y todas las que pudieran intervenir en la demolición.
- Marcar y señalizar con cinta amarilla y roja, teniendo en cuenta que la roja se instalara cuando hay peligro de riesgo eléctrico.
- Realizar sobre planta los cálculos los elementos a demoler según el nivel requerido de cada elemento.
- Retirar elementos recuperables y destinar un sitio de almacenamiento temporal donde no sufran deterioro por las condiciones propias de la obra.

### **5.19 Actividades de demolición.**

- Ejecutar actividad según el tipo de demolición escogida, puede ser mecánica o manual según convenga.
- Se entiende por demolición manual los trabajos desarrollados con herramienta menor (pala, pica, barra, punteros, martillos, cincel, macetas, etc.) y operada por los trabajadores. Para la ejecución de esta actividad se debe utilizar los Elementos de Protección Personal (EPP) que corresponda. Las personas que ejecutan la demolición manual deben realizarlo en ciclos de trabajo que incluyen un descanso; el supervisor civil de la obra debe estar vigilando la postura adoptada por los

trabajadores en el desarrollo de la labor para evitar incapacidades por lesiones como consecuencia de la actividad.

- Para las demoliciones mecánicas como se observa en la Figura 33, se evalúa todo lo correspondiente a los permisos y normas de seguridad que se necesita para la operación del equipo que va a realizar la actividad y previo a la ejecución de la actividad se realiza un control de maquinaria, igualmente se utilizara el equipo más adecuado según las condiciones propias como: Martillo demoledor por compresor, maquinaria con línea hidráulica y roto martillo , los cuales debes tener sus respectivos pre operacionales y contar con su respectivos elementos de protección personal.



*Figura 33. Demolición de losa de vía existente.*

#### **5.19.1 Tipos de demoliciones**

- Demolición manual: en esta se utilizará puntero y maseta, esta actividad se ejecutará con un ayudante y se guiará con un oficial y/o maestro, el ayudante por cada 15 minutos descansará 5 minutos y tendrá todos los elementos de protección personal.
- Demolición de forma mecánica: en esta se utilizará maquinaria amarilla, esta actividad se ejecutará con un operario y se guiará con un oficial y/o maestro, el operario por cada 30 minutos descansará 8 minutos y tendrá todos los elementos de protección personal. Ver Figura 34.



*Figura 34. Demolición de vía existente con minicargador adaptado con martillo demoledor.*

- Demolición de forma mecánica: en esta se utilizará un demoledor compresor, esta actividad se ejecutará con un operario y se guiará con un oficial y/o maestro, el operario por cada 15 minutos descansará 5 minutos y tendrá todos los elementos de protección personal, como se muestra en la Figura 35.



*Figura 35. Demolición de vía existente con compresor y martillo demoledor.*

- Se tendrá 1 paletero el cual deberá guiar la máquina para así evitar que el personal no autorizado para la actividad ingrese en la zona de intervención y se presente algún inconveniente.

### **5.19.2 Acopio de material resultado de las demoliciones**

- Se utilizará un minicargador, retroexcavadora o carretillas manuales para agrupar el escombro sobrante a una distancia de 3 metros del punto de demolición para después ser retirados a la mayor brevedad posible.

## **5.20 Limpieza**

- Evitar acopio de material de demolición cerca al área de trabajo.
- Depositar el material demolido en punto de acopio para hacer después disposición de este a un sitio certificado por la autoridad ambiental.
- Cuando las volquetas en las que se transporta el material pueden acceder hasta el sitio de demolición, la máquina deposita directamente en ellas el material excavado.
- Cuando el cargue de residuos no es directo, la máquina de cargue se desplazará hasta un lugar donde las volquetas puedan acceder y descargar en ellas o almacenar temporalmente el material en algún sitio, donde otra máquina, como un minicargador, se encarga de cargarlo a la volqueta.
- Cargar la volqueta según la capacidad y nivelar el material dentro del volcó para evitar la caída de trozos y debe estar con su respectiva carpa.

## **5.21 Procesos de aprovechamiento**

El proceso de aprovechamiento de RCD en obra tiene el objetivo de valorizar estos residuos al ser reutilizados o reciclados. La gestión de los RCD menciona principalmente estos aspectos relacionados con el aprovechamiento:

### **5.21.1 Gestión de residuos peligrosos**

Se deberá de recolectar cuidadosa y controladamente los residuos peligros por personal capacitado y equipos adecuados en contenedores apropiados, asegurando que no haya fugas ni derrames durante el transporte, para minimizar el riesgo de contaminación ambiental durante el proceso de recolección. Estos residuos deberán almacenarse en instalaciones designadas y seguras que cumplan con las regulaciones ambientales y de seguridad hasta su disposición final.

Para el tema de transporte, se deberá de realizar la entrega de los residuos peligrosos generados en obra a un gestor de residuos peligrosos autorizado por la autoridad ambiental

#### **5.21.2 Autoridad y responsabilidades**

- **Gerencia:** Tiene autoridad y responsabilidad para verificar la correcta interpretación y aplicación de la documentación del SGI, su vigencia y aplicabilidad.
- **Coordinador de Calidad:** Tiene autoridad y responsabilidad para verificar que todos los documentos propuestos para el Plan de gestión integral cumplan en el presente documento.
- **Líderes de calidad o su representante en obra:** Tiene la responsabilidad para asegurar cumpla la aplicación de este procedimiento y el control de documentos y registros.
- **Todo el resto del personal:** Tiene la responsabilidad de aplicar este procedimiento para la creación de toda la documentación del Plan de gestión integral.



## 6. CONCLUSIONES

- La gestión adecuada de los RCD fomenta una economía circular en el sector de la construcción. Con la separación en la fuente y la clasificación de los residuos, se pueden identificar materiales que aún tienen valor y pueden ser reutilizados o reciclados dentro del proyecto o en proyectos posteriores. Además, promueve el empleo local en la gestión de los residuos y las actividades que se relacionan con la implementación del plan de gestión.
- Una de las principales lecciones aprendidas de este proyecto es la importancia de implementar la demolición selectiva en obras de rehabilitación estructural. A diferencia de la demolición convencional, la demolición selectiva permite separar y clasificar los materiales desde el origen, lo que maximiza las oportunidades de reciclaje y reutilización de los RCD. Esta técnica no solo reduce el volumen de residuos que requieren disposición final, sino que también facilita el aprovechamiento de materiales valiosos, como el concreto, mampostería, entre otros.
- Concientizar y capacitar a todas las partes involucradas en el proyecto sobre los beneficios ambientales y económicos que estas prácticas generan, junto con la comunicación y la planificación de las actividades fundamentales para una correcta minimización, separación en la fuente y, aprovechamiento o disposición final de los residuos, garantizando una continuidad en el tiempo, ayuda a maximizar la correcta separación de los residuos que se va generando con las actividades de demolición en obra.
- Se pudo implementar el plan de gestión de RCD en el proyecto, considerando que un funcionamiento adecuado reducirá los egresos y aumentará los ingresos al aprovechar los residuos. Aunque inicialmente pueda parecer que el plan genera pérdidas económicas, a largo plazo podría no traducirse en ganancias financieras significativas, sin embargo, lo que sí se espera es que aporte beneficios ambientales, contribuyendo a la concientización de la población sobre el problema global de los gases de efecto invernadero.
- La guía diseñada proporciona una estructura clara y detallada que facilita la gestión eficaz de los RCD en proyectos de rehabilitación estructural. Este documento no solo cumple con las normativas vigentes, como las Resoluciones No. 0472 de 2017 y No. 1257 de 2021 del MADS, sino que también ofrece recomendaciones prácticas para optimizar el manejo de residuos, minimizando su impacto ambiental y promoviendo prácticas sostenibles en proyectos de rehabilitación estructural.
- La guía se benefició enormemente de las lecciones aprendidas durante el estudio de caso, ya que, durante las observaciones realizadas durante las trece visitas a la obra y la toma de muestras

representativas, permitieron ajustar y perfeccionar las recomendaciones y estrategias incluidas, garantizando su relevancia y aplicabilidad en situaciones similares futuras. Este documento fue presentado y socializado a los constructores encargados de la rehabilitación estructural del edificio administrativo ala este de la Pontificia Universidad sede Cali, asegurando su comprensión y compromiso con las prácticas propuestas. El análisis detallado de la información técnica, presupuestal y del cronograma permitió identificar las áreas clave donde se podían implementar mejoras en la gestión de los RCD. Las recomendaciones específicas incluidas en la guía reflejan estas oportunidades de mejora, lo que facilita una planificación y ejecución más eficientes y sostenibles del proyecto.

- La caracterización de los RCD generados durante la rehabilitación estructural fue fundamental para entender la naturaleza y volumen de los residuos producidos. Esta caracterización proporcionó datos precisos que informaron la creación de estrategias de gestión adecuadas, asegurando que los residuos fueran manejados de manera segura y eficiente.
- Los indicadores obtenidos en esta investigación resultaron más bajos en comparación con las metodologías empleados en los países reportados en la revisión literaria, en el contexto de proyectos de rehabilitación estructural. Estos países han logrado optimizar sus procesos de gestión de RCD gracias a metodologías constructivas más avanzadas y al estricto cumplimiento de sus normativas, lo que les permite alcanzar porcentajes de aprovechamiento y reciclaje más elevados. La diferencia en los resultados es atribuible en parte, a que en este proyecto implicó una demolición parcial en lugar de una total, lo que limitó la cantidad de RCD generados y por ende, aunque el potencial de aprovechamiento era alto, no se logró maximizar su reutilización.
- Se recomienda establecer programas de capacitación continua, implementar sistemas de monitoreo y evaluación, y promover la investigación sobre nuevas tecnologías en el reciclaje de RCD. Así mismo, la colaboración multidisciplinaria será clave para enriquecer el enfoque integral que demanda la gestión de residuos en el ámbito de la construcción. En conjunto, estas acciones no solo beneficiarán a los proyectos individuales, sino que también aportarán a la construcción de un sector más responsables y consciente de su papel en la sostenibilidad ambiental.
- La implementación de un plan de gestión integral de RCD en proyectos de rehabilitación estructural es fundamental para optimizar el aprovechamiento de residuos y mitigar el impacto ambiental. La obra en general presentó un gran potencial para el aprovechamiento de los residuos generados, sin embargo, se logró identificar una problemática significativa: la falta de gestores especializados en el aprovechamiento de RCD, lo que resultó en una escasa o casi nula

reutilización de los materiales generados en la obra. Esta carencia subraya la necesidad urgente de integrar profesionales capacitados en la gestión de residuos para maximizar el potencial de reutilización y reciclaje.

- Para futuros proyectos de rehabilitación estructural, es esencial implementar desde el inicio la demolición selectiva y mejorar la separación en la fuente para optimizar el reciclaje y la reutilización de los RCD. También se recomienda fomentar el uso de materiales reciclados, integrar nuevas tecnologías para el reciclaje y capacitar continuamente al personal en prácticas sostenibles. Asimismo, una planificación temprana y detallada del manejo de los residuos, junto con un monitoreo constante del proceso de gestión, garantizará una mayor eficiencia y cumplimiento de las normativas ambientales, reduciendo tanto los costos como el impacto ambiental.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Comisión Europea. *Construction and demolition waste protocol and guidelines*. Documento de referencia sobre mejores prácticas para el manejo de RCD. Julio 2018.

Eurostat. *Waste generation by economic activities and households*. Tabla estadística. 2018

Agencia Europea de Medio Ambiente (European Environment Agency). *Construction and demolition waste: challenges and opportunities in a circular economy (Briefing No. 16/2020)*. ISSN 1977-8449. 2020

Agencia Europea de Medio Ambiente (European Environment Agency). *Municipal waste by waste operations*. Tabla estadística. 2019.

Análisis de la generación de residuos de construcción y demolición (RCD) en un Proyecto institucional: Estudio de caso. Jose Alexander Marin Orrego, 2019.

Caracterización de la generación de residuos de construcción en sistemas industrializados para viviendas de interés social, en la ciudad de Santiago de Cali. Jonathan Vladimir Armijos Tinoco, 2018.

Aprovechamiento de residuos cerámicos de construcción en concretos no estructurales fabricados en obra: Estudio de caso. Nicolás Martínez Osorio, 2021.

Análisis para la gestión de residuos de construcción y demolición del sector vivienda en Santiago de Cali: Estudio de caso. Rosa Cristina González Lima, 2020.

Estudio técnico, económico y normativo para el aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) en un Proyecto de vivienda. Jose Alexander Sepúlveda Mejía, 2021.

Hiete M., Stengler E. et al. *Removal Systems for Construction and Demolition Waste and Natural Building Materials*. O en libro: *Recycling and Reuse of Materials and Their Products. Advances in Science and Technology Vol. 100*. Trans Tech Publications Ltd. Septiembre 2017.

Nagapan, S., Rahman, I.A., y Asmi, A. *Factors contributing to the generation of construction and demolition waste in Asia*. International journal of Construction Management. 2020.

Department of Statistics Malaysia (DOSM). *Compendium of Environment Statistics 2021*. [https://www.dosm.gov.my/v1/index.php?r=column/cone&menu\\_id=d2sxTnIJVDNcVWZVQ1Rrd3JMNXRHdz09](https://www.dosm.gov.my/v1/index.php?r=column/cone&menu_id=d2sxTnIJVDNcVWZVQ1Rrd3JMNXRHdz09)

Ahmad Bazral A.M. et al. *Effective Construction Waste Management for Large Construction Projects in Malaysia*. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*. Vol 849, No. 1, 2021. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/849/1/012107>

Japan Ministry of Environment. State of Generation and Treatment of Construction Waste in FY 2020. Publicación anual del Construction Waste Recycling Promotion Office. <https://www.env.go.jp/recycle/smtprs/attach/6537480.pdf>

Lockrey, P.J., Ngachi, C., Yamaguchi, T. et al. Design model detailing waste management in building deconstruction and demolition. *Waste Management & Research* 39, 471–481 (2021). <https://doi.org/10.1177/0734242X20941515>

Statistics Canada (2020). Waste Management Industry Survey: Business and Government Sectors 2017

EPA (2022). National Overview: Facts and Figures on Materials, Wastes and Recycling.

EPA (2018). Estimating 2018 Building-Related Construction and Demolition Materials Amounts.

Jiménez, J. R. (2015). Hacia una construcción sostenible en Costa Rica. Revista Construcción y Tecnología en Concreto, 1(1), 13-27.

Berridi, J. (2019). Manejo de residuos de construcción y demolición en Panamá. Revista Ingeniería de Construcción RIC Vol. 34 N°1.

Cámara Chilena de la Construcción (2022). Residuos de la Construcción en Chile.

Gutiérrez, C.E. et al. (2022). Development of an environmental circular economy policy for construction and demolition waste in Chile. Process Safety and Environmental Protection, 163, 277-285.

Comisión Europea (2020). EU Construction & Demolition Waste Protocol.

EPA (2018). Estimating 2018 Building-Related Construction and Demolition Materials Amounts.

Hyun, S.Y., et al. (2009). Assessment of recycled aggregate concrete. Waste Management, 29(7), 1825-1833

Decreto Único Reglamentario 1077 de 2015 Nivel Nacional, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=62512>

Colombia Potencia de la Vida, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), Resolución 1257 de 2021, Noviembre 23, 2021, <<Por la cual se modifica la Resolución 0472 e 2017 sobre la gestión integral de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y se adoptan otras disposiciones>>

Resolución 1115 de 2012, Secretaría Distrital de Ambiente, Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Septiembre, 2012. <<Por medio de la cual se adoptan los lineamientos Técnico-Ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital>>

Resolución 932 de 2015, Secretaría Distrital de Ambiente, Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Julio, 2015. <<En calidad de Autoridad Ambiental del Distrito Capital, bajo el uso de sus facultades constitucionales y legales, en especial las conferidas por los artículos 64, 65 y 66 de la Ley 99 de 1993, el Acuerdo Distrital 257 de 2006, así como los Decretos Distritales 109 y 175 de 2009, además,>>

Decreto 507 de 2023, Secretaría Jurídica Distrital, Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Octubre, 2023. <<Por el cual se adopta el modelo y los lineamientos para la gestión integral de los Residuos de Construcción y Demolición – RCD en Bogotá D.C., y se dictan otras disposiciones>>

Agencia de Obras Públicas. (2015). Gestión y tratamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) Guía de las buenas prácticas.

MADS. (2019). Estrategia Nacional de Economía Circular. Obtenido de [https://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular2019%20Final.pdf\\_63717613504\\_9017259.pdf](https://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular2019%20Final.pdf_63717613504_9017259.pdf)

Yost, P. A., & Halstead, J. M. Construction estimating standards to account for solid waste. *Journal of Construction Education*. 1996.

Katsioloudis, A. G., Katsioloudi, T. I., & Kavouras, P. D. Construction and demolition waste modelling base don data collected from field surveys. *Sustainable Cities and Society*. 2021.

Kofoworola, O. F., & Gheewala, S. H. Estimation of construction waste generation and management in Thailand. *Waste management*. 2008.

Departamento de Medio Ambiente de Hong Kong. Environmental Protection Departamento of Hong Kong. Monitoring of solid waste in Hong Kong. *Waste Statistics for 1999*. 2000.

Agencia Ambiental Europea. European Environment Agency. Construction and demolition waste: challenges and opportunities in a circular economy. 2020.

Triturado de mandíbula. <https://listado.mercadolibre.com.co/trituradora-mandibula>. (24 de junio de 2023).

Bossink, B.A.G. De bouwstroom tn al haargeleding (The building stream in all its sections). 1996

Müller, D. B. (2005). Stock dynamics for forecasting material flows—Case study for housing in The Netherlands. *Synthesis*, 59(February 2006), 82–93. <http://doi.org/10.1016/j.eco>

Agencia Nacional de Minería, 2022. <https://www.anm.gov.co/?q=Asi-es-nuestra-Colombia-minera>  
Solarte y CIA, 2014. 02 Planta encamisamiento de columnas.

Webinar Ajustes de la norma nacional de RCD (Resolución 1257 de 2021). <https://www.youtube.com/watch?v=G1e53O7dFP8> (30 de mayo de 2023).

Webinar Plan de Gestión de Residuos Para Proyectos de Construcción y Demolición - 27 de febrero 2020. [https://www.youtube.com/watch?v=jaB\\_0KzgdFY](https://www.youtube.com/watch?v=jaB_0KzgdFY) (30 de mayo de 2023).

Ciclo virtual AGREGADOS RECICLADOS, Verdades y mitos: 1. Aprovechamiento de residuos de construcción. PROCEMCO, 2024. <https://www.youtube.com/watch?v=mz-qqyniV4k&list=LL&index=2> (5 de marzo de 2024)

Chica & Beltrán, 2018. Caracterización de residuos de demolición y construcción para la identificación de su potencial de reuso <https://www.redalyc.org/journal/496/49659032040/html/>

Manual de Construcción Sostenible de Santiago de Cali aprobado por el Concejo de la ciudad mediante Acuerdo 0574 de diciembre de 2023. <https://inntecon.com/wp-content/uploads/Manual-de-construccion-sostenible-Cali-3.pdf>

## 8. ANEXOS

### Anexos del manejo ambiental de RCD en la obra.

Para un control en el manejo de RCD, se optará por el uso del Anexo I de la Resolución No. 1257 de 2021, desde el inciso 1 “Datos del generador” hasta el 4 “Proyección de RCD a generar”, detallado en el siguiente formato:

<b>ANEXO I. FORMATO ÚNICO PARA LA FORMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE MANEJO AMBIENTAL DE RCD</b>	
<b>1. DATOS DEL GENERADOR</b>	
Asignar un número único para el generador por parte de la autoridad ambiental competente por proyecto	
Nombre o razón social	
Documento de identificación o NIT (en caso de personas jurídicas)	
Dirección	
Teléfono	
Correo electrónico	
Nombre contacto (en caso de personas jurídicas)	
<b>2. DATOS DE LA OBRA</b>	
Nombre de la Obra	
Ubicación de la obra (Municipio o distrito, dirección o georreferenciación) / Cédula catastral y folio de matrícula inmobiliaria	
Área del lote del proyecto (m2)	
Área construida aprobada (m2)	
Copia de la licencia de construcción en cualquiera de sus modalidades y/o licencia de intervención y ocupación del espacio público (si aplica)	
Vigencia de la licencia	
Modalidad (obra pública o privada)	
Copia de la orden judicial o administrativa o certificado expedido por la autoridad municipal o distrital competente según el caso, en los eventos previstos en el inciso 2 del numeral 7 del artículo 2.2.6.1.1.7 y el párrafo 2 del artículo 2.2.6.1.1.12 del Decreto 1077 de 2015 o la norma que lo modifique o sustituya (si aplica)	
Uso de suelo - tipo de obra	
Tiempo estimado de ejecución de la obra	
Fecha de inicio de la obra	
Fecha estimada de finalización de la obra	
Peso total de residuos de construcción y demolición proyectados (t) (cálculo de estimación - cantidades de obra)	
<b>3. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES ESPECÍFICAS DE PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE GENERACIÓN DE RCD</b>	
<i>Describa en el Programa de Manejo Ambiental de forma detallada las actividades de prevención y reducción de generación de RCD que implementará en la obra</i>	
<b>4. PROYECCIÓN DE RCD A GENERAR</b>	
<b>TIPO DE RCD</b>	<b>TONELADAS (t)</b>
<b>1. Residuos de construcción y demolición - RCD susceptibles de aprovechamiento:</b>	
1.1 Productos de excavación y sobrantes de la adecuación del terreno: coberturas vegetales, tierras, limos y materiales pétreos productos de la excavación, entre otros.	

1.2 Productos de cimentaciones y pilotajes: arcillas, bentonitas y demás.
1.3 Pétreos: hormigón, arenas, gravas, gravillas, cantos, pétreos asfálticos, trozos de ladrillos y bloques, cerámicas, sobrantes de mezcla de cementos y concretos hidráulicos, entre otros.
1.4 No pétreos: vidrio, metales como acero, hierro, cobre, aluminio, con o sin recubrimiento de zinc o estaño, plásticos tales como: PVC, polietileno, policarbonato, acrílico, espumas de poliestireno y de poliuretano, gomas y cauchos, madera y compuestos de madera, cartón-yeso (drywall), entre otros.
<b>2. Residuos de construcción y demolición - RCD no susceptibles de aprovechamiento:</b>
2.1 Los contaminados con residuos peligrosos.
2.2. Los que por su estado no pueden ser aprovechados.
2.3 Los que tengan características de peligrosidad, estos se registrarán por la normatividad ambiental especial establecida para su gestión.
<b>5. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE DEMOLICIÓN SELECTIVA (CUANDO APLIQUE)</b>
<i>Describe de forma detallada las actividades de demolición selectiva en el Programa de Manejo Ambiental</i>
<b>6. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE RCD EN OBRA</b>
<i>Describe en el Programa de Manejo Ambiental las actividades de almacenamiento temporal de RCD en obra (puede adjuntar fotografías)</i>
<b>7. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE APROVECHAMIENTO DE RCD EN OBRA Y FUERA DE ESTA</b>
<i>Describe en el Programa de Manejo Ambiental las actividades de aprovechamiento de RCD en la obra y fuera de esta (puede adjuntar fotografías)</i>
<i>Nota: Dentro de las principales actividades de aprovechamiento se encuentran: Reutilización para relleno de redes de servicios públicos - Reutilización en espacio público y privado (material de relleno) - Recuperación de suelos degradados - Reconfiguración de taludes - Reutilización de concreto hidráulico en estabilización de subrasante de vías-Aprovechamiento en plantas de trituración - Reciclaje para reconfiguración de vías - Cadenas de reciclaje.</i>
<b>8. GESTORES DE RCD</b>
<b>Mencione los gestores de RCD que realizarán la gestión de los RCD generados en obra:</b>
Nombre o razón social
Número de identificación o NIT
Representante Legal
Número telefónico de contacto
Municipio o distrito (dirección o georreferenciación)
Actividad ejecutada por el gestor de RCD (recolección, transporte, almacenamiento, aprovechamiento y disposición final)
<b>9. IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE MANEJO AMBIENTAL DE RCD</b>
<i>Se deberá remitir el reporte de implementación del Programa de Manejo Ambiental de RCD a la Autoridad Ambiental competente, con las respectivas constancias expedidas por los gestores, dentro de los plazos establecidos en la resolución vigente.</i>
<b>9.1 ALMACENAMIENTO, APROVECHAMIENTO (EN OBRA O ENTREGADO A UN GESTOR) Y DISPOSICIÓN FINAL</b>
Periodo reportado: <i>(Corresponde a las fechas de inicio y final del trimestre de reporte)</i>



TIPO DE RESIDUO (Total del periodo)	TONELADAS DE RCD APROVECHADAS EN OBRA	TONELADAS DE RCD ENTREGADAS A RECEPTOR	TONELADAS DE RCD ENTREGADO EN PUNTO LIMPIO	TONELADAS DE RCD ENTREGADO A UNA PLANTA DE APROVECHAMIENTO	TONELADAS DE RCD ENTREGADO EN SITIO DE DISPOSICIÓN FINAL	TOTAL RCD (t)
<b>1. Residuos de construcción y demolición - RCD susceptibles de aprovechamiento:</b>						
1.1 Productos de excavación y sobrantes de la adecuación del terreno: coberturas vegetales, tierras, limos y materiales pétreos productos de la excavación, entre otros.						
1.2 Productos de cimentaciones y pilotajes: arcillas, bentonitas y demás.						
1.3 Pétreos: hormigón, arenas, gravas, gravillas, cantos, pétreos asfálticos, trozos de ladrillos y bloques, cerámicas, sobrantes de mezcla de cementos y concretos hidráulicos, entre otros.						
1.4 No pétreos: vidrio, metales como acero, hierro, cobre, aluminio, con o sin recubrimiento de zinc o estaño, plásticos tales como: PVC, polietileno, policarbonato, acrílico, espumas de poliestireno y de poliuretano, gomas y cauchos, madera y compuestos de madera, cartón-yeso (drywall), entre otros.						
<b>2. Residuos de construcción y demolición - RCD no susceptibles de aprovechamiento:</b>						
2.1 Los contaminados con residuos peligrosos.						
2.2. Los que por su estado no pueden ser aprovechados.						
2.3 Los que tengan características de peligrosidad, estos se regirán por la normatividad ambiental especial establecida para su gestión.						
<b>9.2 INDICADORES</b>						
NÚMERO	NOMBRE DEL INDICADOR				TONELADA (t)	INDICADOR / PORCENTAJE
1	Cantidad de RCD generado en obra (t) % (t total)					100%
2	Cantidad de RCD aprovechado en la obra (t) % (t aprovechadas/ t total)					
3	Cantidad de RCD entregado en punto limpio (t) % (t entregadas / t total)					
4	Cantidad de RCD entregado en planta de aprovechamiento de RCD (t) % (t entregadas / t total)					
5	Cantidad de RCD gestionado por receptor % (t entregadas / t total)					
6	Cantidad de RCD llevado a sitio de disposición final de RCD (t) % (t entregadas / t total)					
7	Meta total de aprovechamiento					

Cordialmente,

\_\_\_\_\_  
FIRMA (Representante legal generador de RCD)

c.c. o NIT

NOMBRE



**Formato de plan piloto proporcionado por la Universidad Javeriana sede Cali, para el seguimiento y control de los residuos generados en la obra durante las visitas realizadas.**

Plan Piloto  
Segundo Foro de Gestión y Aprovechamiento de  
Residuos de Construcción y Demolición



Fecha (AAAA/MM/DD): \_\_\_\_\_ Hora (HH:MM) \_\_\_\_\_

Diligenció: \_\_\_\_\_

**Información General**

Nombre del Proyecto	Uso de la edificación	Sistema constructivo
Superficie a construir:	Número de pisos:	Tiempo de ejecución

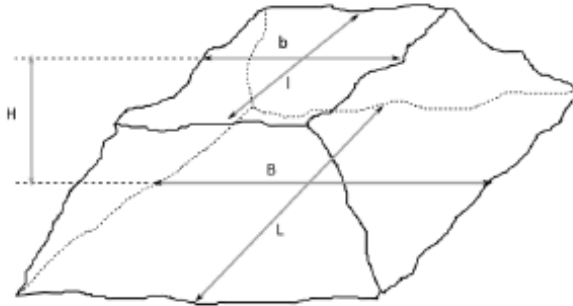
Actividades de obra	Desde (AAAA/MM/DD)		Hasta (AAAA/MM/DD)	
Descripción			Unidad	Cantidad
Excavaciones y rellenos				
Concretos				
Muros				
Pisos y acabados				
Otros (especificar)				

Otros:

**Generación de residuos**

Tipos de residuos	Subcategoría				
	Ra	Rc	Ru	Rc+Ru	Otros
Residuos aprovechables como agregados de construcción					
Residuos aprovechables en usos diferentes agregados	Papel	Cartón	Plástico	Metal	Madera
Residuos recuperables con tecnologías sofisticadas	Yeso	Aislantes	Caucho	Asbesto	Otros
Residuos no aprovechables y peligrosos	Contaminados		Peligrosos		Otros

### Guía para la determinación de volúmenes



Variables:

H: altura promedio de la pila

B: ancho promedio de la base de la pila

L: largo promedio de la base de la pila

b: ancho promedio de la corona de la pila

l: largo promedio de la corona de la pila

Cálculos aproximados del volumen:

Área de la base

$$A_B = B \cdot L$$

Área de la corona

$$A_C = b \cdot l$$

Volumen de la pila

$$V = \frac{1}{3}H(A_B + A_C + \sqrt{A_B \cdot A_C})$$

Subcategoría	H (m)	B (m)	L (m)	b (m)	l (m)	$A_B$ (m <sup>2</sup> )	$A_C$ (m <sup>2</sup> )	V (m <sup>3</sup> )
Rb								
Rc								
Ru								
Ru+Rc								
Otros								

Descripción de las subcategorías para residuos aprovechables como agregados de construcción:

R<sub>C</sub>: Concreto, productos de concreto, morteros y bloques de concreto

R<sub>U</sub>: Agregados naturales, agregados sucios con cementantes (sin mortero)

R<sub>B</sub>: Ladrillos de cerámica, tejas, fachaletas, cerámicos, otros productos de construcción que no flotan

R<sub>A</sub>: material bituminoso (reciclado de concreto asfáltico)

R<sub>G</sub>: vidrio