



Estrategias Circulares Para La Gestión Sostenible Del Concreto Residual En El Sector De Prefabricados Del Municipio De Luruaco.

ESTUDIANTES.

Ingrid Johana Hernández Perea

Brayan de Jesús Coronado Coronado

Corporación Universitaria Reformada

Facultad de Ingeniería

Programa de Tecnología en Desarrollo Ambiental y Sostenible articulado por ciclo propedéutico con Ingeniería Ambiental.

Barranquilla-Atlántico

2025



Estrategias Circulares Para La Gestión Sostenible Del Concreto Residual En El Sector De Prefabricados Del Municipio De Luruaco

ESTUDIANTES

Ingrid Johana Hernández Perea

Brayan de Jesús Coronado Coronado

Investigación presentada como requisito para optar por el título de Tecnólogo en Desarrollo Ambiental y Sostenible.

Tutora:

Sofía Sulbaran Siado

Cotutora:

Martha Alicia Mendoza Hernández

Corporación Universitaria Reformada

Departamento de Ingeniería

Barranquilla – Atlántico

2025

Nota de Aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jefe a Cargo

Si crees en ti, todo lo puedes lograr...

Antes de terminar la secundaria soñaba con graduarme y empezar mis estudios en Ingeniería Ambiental, camino que no sería fácil, pero con responsabilidad, disciplina y pasión por esta linda carrera podría lograr esta y muchas más metas. Durante este proceso hubo momentos de altos y bajos, pero siempre Dios fue el motor que me guió porque fue mi fuente de inspiración, autor de toda sabiduría, conocimiento, el dador de fortaleza, sabiduría y entendimiento.

A mis padres Oleisa Perea Waldo, Iván Hernández Jinete, Inelda Coronado Berdugo, Navid Coronado Teran, por apoyarme, brindarme su sabiduría, los recursos necesarios para seguir adelante e incluirme la dedicación, pasión, esfuerzo por lograr y cumplir con mis objetivos, hoy puedo decir que soy lo que soy es gracias a ustedes.

A mis hermanos Janer Barraza Coronado, Rolando Coronado Coronado, Sebastián Hernández Perea, Iván Hernández Perea por ser mi apoyo incondicional, de nobleza y amor, de todos los días ayudarme a salir adelante, hasta en el mínimo detalle.

Se los dedico porque son mi motivación a ser una excelente persona y una gran profesional cada día y me enseñaron que los sueños son posibles con esfuerzo y disciplina, que contribuyeron en mi formación integral para ser un gran ser humano y un excelente profesional.

Ingrid Johana Hernández Perea
Brayan de Jesús Coronado Coronado



CORPORACIÓN UNIVERSITARIA
REFORMADA
UNIVERSIDAD DE LA SALUD

Agradecimiento

El autor expresa su agradecimiento a:

Dios por haberme acompañamiento en cada paso de este proceso. Su guía constante y su fortaleza en los momentos más desafiantes, porque sin Él nada hubiese sido posible, por su fortaleza en los momentos de dificultad, y gracias a Él para culminar esta etapa de éxito esta etapa tan significativa.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi mamá y mi papá, quienes han sido mi mayor motivación y la base de cada uno de mis logros. Gracias por su apoyo incondicional, sus consejos y por enseñarme a mantenerme firme incluso en los momentos más difíciles.

A mis hermanos y sobrinas, gracias por acompañarme con cariño, paciencia y palabras de ánimo durante todo este proceso. Su presencia ha sido fundamental para mantenerme enfocado y seguir avanzando

A mis compañeros de la universidad, quienes han compartido conmigo horas de estudio, trabajos, retos y aprendizajes.

Y a mis amigos, que han estado conmigo, brindándome apoyo, compañía y motivación cuando más lo necesité.

A cada uno de ustedes: gracias. Este logro también es suyo.

Asimismo, extiendo mi más sincero agradecimiento a nuestras tutoras Sofia Briseth de Jesús Sulbaran y Martha Alicia Mendoza Hernández, por su valioso tiempo, dedicación, paciencia y constante apoyo. Su orientación y compromiso fueron fundamentales para el desarrollo de este informe. Agradezco no solo sus conocimientos compartidos, sino también su disposición para motivarme a continuar, superar los obstáculos y dar siempre lo mejor de mí.

CONTENIDO

Resumen	10
Abstract	11
1. Introducción	13
2. Planteamiento del problema.....	16
3. Justificación	18
4. Objetivos	21
4.1. Objetivo General.....	21
4.2. Objetivos Específicos.....	21
5. Marco referencial	22
5.1. Estado Del Arte.....	22
5.2. Marco Legal	26
5.3. Marco teórico	29
5.3.1. Economía Circular y Gestión de Residuos en la Construcción.....	29
5.3.2. Concreto Residual: Caracterización y Ciclo de Vida.....	30
5.3.3. Valorización de Residuos: Conceptos y Estrategias	32
5.3.4. Prefabricados de Concreto y Oportunidades de Circularidad	33
5.3.5. Ecodiseño y Diseño para el Reciclaje	35
5.3.6. Experiencias Internacionales de Valorización de Concreto	37

6. Metodología	39
6.1. Tipo de investigación	39
6.2. Diseño metodológico	41
6.2.1. Desarrollo metodológico	41
6.3. Área de estudio	42
7. Resultados y discusión	45
7.1. Fase I. Diagnóstico y Caracterización de residuos	45
7.1.1. Fuentes de generación	45
7.1.2. Material excedente durante la fundida del bordillo	45
7.1.3. Material desprendido durante el vibropresado	46
7.1.4. Material no conforme o mermas de producción	47
7.1.5. Mezcla adherida a la mezcladora en estado seco	47
7.1.6. Fragmentos generados durante el transporte interno	48
7.1.7. Piezas deterioradas durante la distribución externa	49
7.1.8. Cantidades generadas	49
7.2. Fase II: Identificación de oportunidades de valorización.	50
7.3. Fase III: propuesta de diseño de estrategias sostenibles para la reincorporación del concreto residual	53
8. Propuesta	53
8.1. PROPUESTA 1: Control de la generación de concreto residual.	53

8.2.	PROPUESTA 2: SELECCIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCTO OBJETIVO.....	56
9.	Conclusiones	61
10.	Recomendaciones	62
11.	Bibliografía	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación del concreto Residual	30
Tabla 2.	Cuadro comparativo de evaluación del aprovechamiento de concreto residual	51
Tabla 3.	Masas de los materiales.....	55
Tabla 4.	Fórmulas de volúmenes	55
Tabla 5.	Productos objetivos para la reincorporación del concreto residual.....	57
Tabla 6.	Porcentajes propuestos en diseños experimentales para la reincorporación de concreto residual	58
Tabla 7.	Ensayo físico-mecánico en productos de concreto	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Fases metodológicas del proyecto	41
Figura 2.	Distribución en planta de la línea de producción de prefabricados de concreto.....	44
Figura 3.	Área de fundidora de bordillo	45
Figura 4.	Área de vibroprensadora (planta megablock).....	46
Figura 5.	Área de selección de productos para el proceso de almacenamiento temporal	47

Figura 6. Mezcladora (planta megablock)	48
Figura 7. Formato de Seguimiento y Control de los Residuos generados en la Planta de Producción	54

Resumen

Este estudio presenta una investigación aplicada con un enfoque mixto, es decir cuantitativo y cualitativo orientado a la formulación de estrategias circulares para la gestión sostenible del concreto residual en el sector de prefabricados del municipio del Luruaco, Atlántico. La problemática surge del incremento en la demanda de prefabricados que ha generado una acumulación de residuos de concreto provenientes de pérdidas operacionales, no conformidades en mezclado y moldeo, material excedente en fundición de bordillos, desprendimiento durante vibropresado y fragmentos generados en transporte. El diagnóstico y caracterización de residuos mediante observación directa de los puntos críticos del proceso productivo; identificación de oportunidades de valorización a través de revisión técnica y documental que evidencio experiencias previas de reincorporación del 10-15% de concreto triturado en bordillo; y formulación de estrategias circulares basadas en los principios de reducción, reutilización, reciclaje y rediseño son las tres fases de la metodología estructurada. Los resultados preliminares demostraron la viabilidad técnica de adicionar concreto residual en productos no estructurales, sin embargo, se identificaron limitaciones en la alta absorción de agua del material reciclado y la capacidad restringida de la infraestructura de trituración. El estudio se fundamenta en la gestión integral de los Residuos de Construcción y Demolición, es decir la Resolución 1257 de 2021 que contribuye al fortalecimiento de la gestión ambiental empresarial mediante la transición hacia modelos productivos sostenibles bajo el enfoque de economía circular.

Palabras Claves: economía circular, concreto residual, prefabricados, valorización, gestión sostenible.

Abstract

This study presents an applied research project with a mixed-methods approach both quantitative and qualitative aimed at formulating circular strategies for the sustainable management of residual concrete in the precast sector of the municipality of Luruaco, Atlántico. The issue arises from the growing demand for precast products, which has led to an accumulation of concrete waste resulting from operational losses, nonconformities in mixing and molding, excess material produced during curb casting, detachment during vibro-compaction, and fragments generated during transportation.

The structured methodology consists of three phases: a diagnostic assessment and characterization of waste through direct observation of critical points in the production process; the identification of valorization opportunities through technical and documentary review, which revealed prior experiences incorporating 10–15% of crushed concrete into curbs; and the formulation of circular strategies based on the principles of reduction, reuse, recycling, and redesign.

Preliminary results demonstrated the technical feasibility of adding residual concrete to non-structural products; however, limitations were identified regarding the high water absorption of the recycled material and the restricted capacity of the crushing infrastructure. The study is grounded in the comprehensive management of Construction and Demolition Waste (C&DW), specifically under Resolution 1257 of 2021, contributing to the strengthening of corporate environmental management and supporting the transition toward sustainable production models under a circular economy approach.

Keywords: circular economy, residual concrete, precast products, valorization, sustainable management.

1. Introducción

Uno de los sectores productivos con mayor impacto ambiental a nivel mundial es la industria de la construcción, siendo es el responsable del consumo masivo de los recursos naturales y de la generación de grandes volúmenes de residuos. El concreto, como segundo material más utilizado después del agua, desempeña un papel fundamental en desarrollo de la infraestructura urbana, vivienda y obras civiles. Sin embargo, su producción y uso conllevan retos ambientales significativos, especialmente en lo competente a la gestión de los residuos que se generan durante los procesos de fabricación, construcción y demolición.

La generación anual de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en Colombia, supera los 22 millones de toneladas, con un índice de aprovechamiento que apenas alcanza el 14,46%, una cifra baja considerablemente de economía circular (DNP, 2017). Dicha situación representa no solo un problema de disposición final y saturación de escombreras, sino también una pérdida de oportunidades para la valorización de los materiales que podrían reincorporarse a los ciclos productivos, bajo los principios de sostenibilidad.

La industria de prefabricados en concreto enfrenta esta problemática de manera particular en el municipio de Luruaco, Atlántico. Durante el proceso de fabricación de bloques, adoquines y bordillos, se generan residuos de concreto provenientes de pérdidas operacionales, productos no conformes, material excedente durante el modelo y vibropensado, así como los fragmentos derivados del transporte y manipulación. En la actualidad, estos residuos son utilizados como material de relleno dentro de las instalaciones, sin que exista una estrategia formal de aprovechamiento que permita su reincorporación eficiente al proceso producto o su transformación en subproductos de valor agregado.

A través del crecimiento del sector de obras civiles en el país con un incremento del 9,6% durante el segundo trimestre de 2025 según el DANE, se ha acrecentado la generación de concreto residual; generando presión sobre las áreas de almacenamiento temporal, afectando la eficiencia operativa sobre las áreas de almacenamiento temporal, lo que afecta la eficiencia operativa y representando un verdadero reto para el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, en particular la Resolución 1257 de 2021 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS M. d., 2021).

Dada a esta circunstancia, resulta importante desarrollar estrategias de economía circular enfocadas en orientar el aprovechamiento sostenible del concreto residual que no solo contribuyan a la reducción del impacto ambiental, sino que también fortalezcan la competitividad empresarial, optimicen el uso de recursos y promuevan la transición hacia modelos productivos más eficientes y responsables. Los principios de reducir, reutilizar, reciclar y rediseñar de la economía circular; ofrecen un marco conceptual operativo idóneo para transformar el concreto residual de pasivo ambiental a recurso valioso.

Esta investigación propone caracterizar los residuos de concreto generados en una planta de prefabricados del municipio de Luruaco, identificar oportunidades técnicamente viables para la valorización y formular estrategias circulares que permitan su reincorporación al proceso productivo o su transformación en nuevos subproductos. Este trabajo se enmarca en los esfuerzos nacionales e internacionales por promover la construcción sostenible y contribuye al desarrollo de conocimiento aplicado que puede ser empleado en otras empresas del sector de prefabricados en el contexto regional y nacional.

A través de un enfoque metodológico mixto, que combina la caracterización cuantitativa de los residuos con el análisis cualitativo de las condiciones operativas y técnica, esta

investigación busca aportar soluciones prácticas y contextualmente pertinentes que fortalezca la gestión ambiental del sector y evidencien la viabilidad técnica, económica y ambiental del aprovechamiento del concreto residual bajo principios de economía circular.

2. Planteamiento del problema

En el municipio de Luruaco Atlántico, Colombia existe una empresa dedicada a la producción de prefabricados en concreto, lo cual, dentro de sus actividades, realizan la compra de áridos naturales como la arena, grava y gravilla usados en construcción. La empresa actualmente fabrica bloques, adoquines y bordillos, entre otros productos.

Durante la operación de esta empresa se generan residuos de concreto, estos provienen principalmente de pérdidas operacionales y no conformidades registradas en las etapas de mezclado, moldeo y transporte. Entre las fuentes específicas de generación se identifican el material excedente que cae durante la fundida de bordillo, el material desprendido durante la etapa de vibroprensado del producto, el no conforme derivado de desviaciones en la dosificación o en la compactación (mermas de producción), las acumulaciones de mezcla adherida a las paredes internas de la mezcladora en estado seco, con y los fragmentos o piezas que presentan deterioro físico durante las operaciones de transporte interno o en la distribución externa por carretera.

Sin embargo, el alto incremento de la demanda de prefabricados ha aumentado de manera considerable lo cual genera una problemática dentro del almacenamiento temporal, ya que representa pérdida de espacio operativo, afectación estética o paisajística, riesgos para la seguridad industrial y posibles impactos ambientales asociados. Actualmente la empresa no realiza entrega de estos residuos a gestor autorizado, sino que los utiliza dentro de las instalaciones para relleno de las áreas que se tienen proyectadas para el acopio de los productos terminados y áridos naturales.

La situación descrita plantea una urgencia empresarial dado que, sin una gestión adecuada, el aumento del concreto residual puede afectar la eficiencia del proceso productivo,

generar sobre costos operativos y comprometer el cumplimiento de estándares ambientales. En este sentido, la formulación de estrategias de economía circular no solo contribuiría al aprovechamiento racional de los recursos y la reducción del impacto ambiental, sino que además representaría una oportunidad para fortalecer la eficiencia productiva y la competitividad empresarial frente a otras empresas, al integrar prácticas sostenibles dentro del modelo operativo de la organización.

A partir de lo anterior, resulta pertinente desarrollar una investigación orientada a identificar estrategias de gestión y aprovechamiento del concreto residual, contribuyendo a la mejora del desempeño ambiental y a la optimización de los procesos productivos en el sector de prefabricados.

En este contexto, surge la siguiente pregunta que orienta la presente investigación:

¿Qué estrategias de economía circular pueden formularse para optimizar el aprovechamiento del concreto residual y reducir la presión sobre las áreas de almacenamiento en una empresa de prefabricados del municipio de Luruaco?

3. Justificación

A nivel mundial, el concreto es el segundo material más consumido después del agua, lo que refleja su importancia en la creación de infraestructura esencial como vías, edificios, aceras, hospitales, escuelas y viviendas (Urieles, 2020). Sin embargo, este uso intensivo también genera grandes volúmenes de concreto residual cuya gestión constituye un reto ambiental y operativo debido a su alta densidad, difícil manipulación y nula biodegradabilidad. Estas características convierten al concreto sobrante en un pasivo ambiental que, si no se controla adecuadamente, puede permanecer por largos periodos en el entorno, afectando el suelo, el paisaje industrial y la eficiencia de las actividades operativas (MADS, 2021).

En Colombia, la Resolución 1257 de 2021 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible establece lineamientos para la gestión integral de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), resaltando la necesidad de aprovechar y valorizar materiales como el concreto antes de su disposición final. En este marco normativo, el aprovechamiento del concreto residual se convierte en una estrategia ambientalmente prioritaria para disminuir la presión sobre los rellenos, reducir emisiones asociadas al transporte y evitar la acumulación de residuos dentro de las plantas productivas.

Desde la perspectiva empresarial, el sector de prefabricados enfrenta el desafío de optimizar el uso de materiales para reducir desperdicios y aumentar la competitividad. Aunque el concreto puede ser triturado y reincorporado como agregado en nuevos procesos, muchas empresas aún no cuentan con mecanismos estandarizados para su aprovechamiento. Experiencias documentadas en ciudades como Barranquilla demuestran que es posible reutilizar el concreto residual para fabricar productos no estructurales como mobiliario urbano, bordillos, pisos, rampas y jardineras, obteniendo beneficios económicos significativos al disminuir los costos de

materia prima, transporte y disposición final (Universidad Nacional de Colombia, 2014). Estas estrategias aportan eficiencia operativa, fortalecen la capacidad de innovación y posicionan a las empresas que las implementan como actores competitivos dentro de una economía circular emergente.

En términos sociales y de sostenibilidad, la valorización del concreto residual contribuye directamente a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente en producción y consumo responsable, acción por el clima y ciudades sostenibles. Estas prácticas promueven modelos productivos circulares que reducen la explotación de recursos naturales, impulsan empleos asociados a la gestión ambiental y fomentan la creación de entornos urbanos más sostenibles y accesibles (Corporación Universitaria Minuto de Dios, 2021). Además, incrementan la responsabilidad social empresarial al demostrar un compromiso real con la reducción de impactos ambientales y el cumplimiento de la normatividad vigente.

Para Industrias Tectónico, ubicada en el municipio de Luruaco, la pertinencia de este estudio es especialmente alta. La empresa presenta variaciones mensuales significativas en la generación de concreto residual, alcanzando volúmenes de hasta 48 m³ en algunos meses productivos. Parte de este material se acumula dentro del predio, ocupando áreas operativas claves y afectando el orden, la movilidad interna y la seguridad industrial. Aunque ocasionalmente se utiliza como material de relleno, esta práctica no resuelve el problema de fondo ni genera valor para la compañía. La falta de un sistema técnico y estandarizado de aprovechamiento del concreto residual limita la eficiencia productiva, incrementa los costos de disposición y representa una oportunidad desaprovechada para fortalecer la gestión ambiental y la innovación empresarial.



4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Formular estrategias de economía circular orientadas al aprovechamiento sostenible del concreto residual generado en una empresa del sector de prefabricados del municipio de Luruaco (Atlántico).

4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los residuos de concreto generados en las distintas etapas del proceso productivo de la empresa.
- Identificar las oportunidades de valorización y reincorporación del concreto residual bajo los principios de la economía circular.
- Proponer el diseño de estrategias sostenibles para la reincorporación del concreto residual en procesos productivos o en la creación de nuevos subproductos.

5. Marco referencial

5.1. Estado Del Arte

La gestión del concreto residual proveniente de retornos de mezcla, desperdicios de producción, cortes, piezas rechazadas y demoliciones de elementos de concreto ha pasado de ser un pasivo operativo a una fuente de valor cuando se reincorpora como insumo en prefabricados y mobiliario urbano bajo principios de economía circular. Esta transición exige compatibilizar desempeño técnico (resistencia, durabilidad, abrasión), estandarización y trazabilidad del material, además de marcos de compras públicas sostenibles que prioricen piezas con contenido reciclado y criterios de calidad verificables.

En el contexto europeo, (Contreras-Llanes, 2021), evaluaron el uso de agregados reciclados en la fabricación de pavimentos urbanos con adoquines y bordillos. Sus resultados mostraron que, pese a una ligera reducción en su densidad del 5-8% y disminución en su resistencia a compresión del 10-15% respecto a mezclas convencionales, los prefabricados cumplieron con las normas europeas EN 1338 y EN340 en términos de durabilidad y resistencia a la absorción. Este hallazgo evidencio la viabilidad técnica de la sustitución parcial de agregados naturales en elementos no estructurales de pavimentación. Posteriormente, el mismo grupo de investigación, profundizo la caracterización técnico-mecánica de los agregados reciclados, identificando que procesos de pretratamiento como la trituración, cribado y la pre-saturación mejoran la calidad del material, ampliando las posibilidades de aplicación incluso en concretos estructurales moderados.

Estos estudios europeos se caracterizan por su rigurosidad metodológica y enfoque en la estandarización de procesos, sin embargo, presentan limitaciones en cuanto a la diversidad de

fuentes de Residuos de Construcción y Demolición analizadas y su aplicabilidad en contextos con menos infraestructura de procesamiento, como es el caso de los países latinoamericanos.

En México, (Adame, 2025) desafió las restricciones normativas que limitan el uso de Residuos de Construcción y Demolición en concretos estructurales a un 20% según las normas técnicas NTAE-002-QRO-2023 y NTC-CDMX-2023. Sus resultados demostraron que, con un control adecuado de la mezcla, relación agua-cemento y uso de aditivos superplastificante, es posible fabricar concretos clase 2 con sustituciones superiores al 30% sin comprometer significativamente el desempeño mecánico.

En Colombia, (Pinzón S. , 2022) se analizó la viabilidad de aplicar materiales reciclados en viviendas rurales del municipio de Piedecuesta, Santander, concluyendo que los Residuos de Construcción y Demolición, combinados con plásticos y vidrios reciclados y mobiliario urbano, reduciendo costos de construcción hasta en un 25% y disminuyendo la presión sobre recursos naturales. Este estudio se diferencia de los europeos al incorporar una dimensión socioeconómica y de pertinencia territorial, reconociendo las limitaciones de infraestructura y acceso a tecnología de las comunidades rurales colombianas. No obstante, la investigación no abordó la caracterización fisicoquímica detallada de los materiales ni realizó ensayos de resistencia a largo plazo.

Desde una perspectiva de diseño industrial, (Rodríguez Cáceres, 2025) se desarrolló en Lima, Perú, la propuesta “Fragmento Revier” una propuesta de mobiliario urbano e interior elaborados a partir de RCD bajo un modelo de doble circularidad. Esta iniciativa no solo revaloriza los materiales residuales, sino que propone su reinserción continua en el ciclo productivo mediante estrategias de intercambio y actualización modular. El proyecto destaca

por su enfoque innovador de diseño sostenible, aunque la evaluación de desempeño estructural y durabilidad de las piezas fue limitada.

Complementariamente, (Arenas Sota, 2022), planteó un modelo de negocio para elaborar mobiliario decorativo a partir de RCD en Lima Metropolitana, identificando como principal barrera la ausencia de cultura de reciclaje en el sector construcción y proponiendo un sistema de recolección, procesamiento y comercialización que otorga valor agregado a los residuos. Este estudio aporta una visión empresarial aplicada, aunque requiere validación de viabilidad financiera y análisis de mercado más robusto.

En el contexto colombiano (Duque, 2024), argumenta que las empresas pueden aprovechar estratégicamente los RCD en obras públicas de Medellín como parte de políticas de sostenibilidad, integrándose a estrategias de economía circular urbana promovidas por el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) y la Resolución 1257 de 2021. Este análisis político-normativo evidencia el avance institucional de la gestión de RCD en Colombia, aunque no proporciona datos técnicos sobre porcentajes de sustitución o desempeño mecánico de los materiales reciclados.

Por otra parte, (Quiroga (2021) demostró que el uso de reciclados de mobiliario urbano (bancas, jardineras, bolardos) contribuye efectivamente a la mitigación de impactos ambientales y ofrece soluciones funcionales para espacios públicos en Bogotá. Los prototipos desarrollados presentaron resistencia adecuada para cargas de uso no estructural, aunque el autor reconoce que aún deben mejorarse los aspectos relacionados con la estabilidad estructural ante cargas concentradas y la resistencia a la intemperie prolongada. Este estudio se limita a aplicaciones decorativas y de bajo requerimiento mecánico.

En Barranquilla, (Castillo A., 2019) se realizó un estudio experimental sobre la viabilidad de usar agregados reciclados provenientes de residuos domésticos en aplicaciones estructurales. Sus resultados que es factible lograr sustituciones de hasta el 50% en volumen, alcanzando resistencias a compresión cercanas a 19-20 Mpa a los 28 días, cumpliendo con los requisitos de la NTC 417 para elementos no estructurales. Este estudio representa un antecedente directo para la región Caribe colombiana, aunque se limita a agregados de origen doméstico y no evalúa residuos industriales como los generados en plantas de prefabricados.

Por su parte, (Quiroga (2021) demostró en otro estudio que el concreto fabricado con agregados reciclados cumple inicialmente con los requisitos de resistencia a compresión, sin embargo, a los 28 días se observó una disminución del desempeño mecánico del orden del 12-18% respecto a los factores de calidad del agregado reciclado y el control deficiente durante las operaciones de demolición y procesamiento, evidenciando las necesidades de procesos más rigurosos de selección, limpieza y trituración de los RCD.

Pese a los avances documentados, se identifica un vacío investigativo significativo específicamente en la región Caribe colombiana y particularmente en el departamento del Atlántico. El único estudio regional identificado (Castillo A., 2019) se limita a agregados de demolición doméstica y no aborda residuos industriales provenientes de plantas de prefabricados, que presentan características particulares como la alta homogeneidad en composición, granulometría controlable y menor contaminación con materiales extraños.

De igual manera, la alta temperatura, humedad relativa elevada y la exposición a salinidad cerca de zonas costeras son las condiciones climáticas del Caribe colombiano que influyen significativamente en el comportamiento del concreto reciclado, especialmente en

cuanto a absorción de agua, velocidad de carbonatación y susceptibilidad a corrosión de refuerzos en productos con armadura.

5.2. Marco Legal

En el presente marco se recopilan las disposiciones que regulan la gestión ambiental sobre el manejo de los residuos en Colombia.

La Ley 2811 de 1974, el Congreso de la República de Colombia, corresponde al Código Nacional de Recursos Naturales Renovables, establece ciertas reglas para el manejo de los residuos sólidos y desechos. Además, prohíbe la descarga no autorizada de desechos que afecten el suelo o la población, fomentando la gestión responsable de los recursos naturales y el control de la contaminación. (CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA, 1974).

Años más tarde, la Constitución Política de Colombia de 1991, la Asamblea Nacional Constituyente, reconoce el ambiente sano como un derecho fundamental y establece deberes de los ciudadanos para la preservación del patrimonio natural y cultural del país.

Establece los principios rectores de la protección ambiental en Colombia. El Artículo 79 garantiza el derecho de todas las personas a disfrutar de un ambiente sano, mientras que el Artículo 8 asigna al Estado y a los ciudadanos la obligación de proteger las riquezas naturales y culturales de la Nación. (ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTE, 1991).

Ley 99 de 1993: el Congreso de la República de Colombia, crea el Ministerio del Medio Ambiente y estructura el Sistema Nacional Ambiental (SINA), asignando competencias específicas a las autoridades ambientales en distintos niveles territoriales.

Define principios como la armonía regional, distribuyendo competencias ambientales entre distintos niveles territoriales (CONGRESO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA, 1993).

Resolución 541 de 1994: el Ministerio del Medio Ambiente, regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales de concretos y agregados sueltos de construcción de demolición y capa orgánica suelo y subsuelo de excavación (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE , 1994).

Establece directrices técnicas para el manejo adecuado de residuos de construcción y demolición (RCD), con el fin de prevenir la contaminación, minimizar impactos negativos sobre el ambiente y garantizar una disposición final controlada y sostenible (MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE , 1994).

Ley 1259 de 2008: el Congreso de la República de Colombia, implementa el comparendo ambiental, y toma como infracción el disponer residuos sólidos y escombros en sitios de uso público no acordados ni autorizados por la autoridad competente. Establece a los municipios a determinar sitios autorizados para la disposición final de escombros y sanciona el incumplimiento con multas hasta de 30 SMLV. (CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA, 2008).

Ley 1383 de 2010: el Congreso de la República de Colombia, modifica el Código Nacional de Tránsito Terrestre (Ley 769 de 2002). En su artículo 102 regula el manejo de escombros, estableciendo que cada municipio debe determinar los lugares autorizados para su disposición final. El incumplimiento genera una sanción de hasta 30 SMLV (CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA, 2010).

Refuerza la responsabilidad municipal en la gestión de escombros y promueve el control del vertimiento inadecuado en espacios públicos, contribuyendo a la protección del entorno urbano (CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA, 2010).

Decreto 1075 de 2015: el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, reglamenta el sector Vivienda, Ciudad y Territorio, define lineamientos sobre el servicio público de aseo y la gestión de residuos de Construcción y Demolición (RCD) (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, 2015).

Determina que el generador es responsable del manejo y disposición final de los RCD, y dispone que los municipios deben coordinar su gestión con los prestadores del servicio público de aseo, garantizando un manejo ambientalmente responsable (MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, 2015).

Resolución 0472 de 2017 (Artículo 16): el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), reglamenta la gestión integral de los residuos generados en actividades de construcción y demolición (RCD) (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2021).

Finalmente, la Resolución 1257 de 2021, emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), modifica la resolución 0472 de 2017 y actualiza los lineamientos para la gestión integral de los residuos de construcción y demolición (RCD) y complementa las disposiciones establecidas en la (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2021).

Esta norma busca fortalecer las estrategias de aprovechamiento, trazabilidad y control de los RCD, promoviendo la economía circular y la reducción del impacto ambiental generado por las actividades constructivas (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2021).

5.3. Marco teórico

5.3.1. Economía Circular y Gestión de Residuos en la Construcción

Principios de la Economía Circular

La economía circular representa un cambio de paradigma frente al modelo lineal tradicional de "extraer-producir-desechar", proponiendo un sistema restaurativo y regenerativo en el que los recursos se mantienen en uso el mayor tiempo posible, extrayendo su máximo valor durante su vida útil y recuperando y regenerando productos y materiales al final de su vida de servicio (Foundation, 2015).

Este modelo se basa en tres principios fundamentales: primero, eliminar residuos y contaminación desde el diseño, lo que implica replantear los procesos productivos para minimizar la generación de desechos; segundo, mantener productos y materiales en uso, prolongando la vida útil mediante la reutilización, reparación, remanufactura y reciclaje por último, regenerar los sistemas naturales, devolviendo nutrientes al entorno y restaurando al capital natural (Commission, 2013).

El Diagrama de Mariposa de la Economía Circular

El diagrama de mariposa desarrollado por la Fundación Ellen MacArthur ilustra el flujo continuo de materiales técnicos y biológicos en un sistema circular. Para materiales técnicos como el concreto, el modelo propone ciclos internos de menor impacto (mantenimiento, reutilización, redistribución) antes de recurrir a ciclos externos como el reciclaje (Ellen, 2013). Este marco conceptual es fundamental para entender cómo el concreto residual puede transitar de un modelo de disposición final hacia uno de valorización continua.

Economía Circular en el Sector de la Construcción

El sector de la construcción es responsable del 30-40% de los residuos sólidos globales (López Ruiz et al., 2020), lo que lo convierte en un área prioritaria para la implementación de estrategias circulares. La aplicación de este modelo en la industria del concreto implica la reducción de la extracción de materias primas vírgenes, diseño de productos con criterios de desmontabilidad y reciclabilidad, valorización de residuos como nuevos recursos, extensión de la vida útil de productos y materiales y, simbiosis industrial entre diferentes procesos productivos (Rúa, 2024).

5.3.2. Concreto Residual: Caracterización y Ciclo de Vida

Definición y Clasificación del Concreto Residual

El concreto residual comprende todos aquellos materiales cementantes que se generan como desechos durante las etapas de producción, construcción, demolición o mantenimiento de estructuras e infraestructuras. Según su estado físico y origen, puede clasificarse en:

Tabla 1. Clasificación del concreto Residual

Concreto fresco residual	Concreto endurecido residual	Lodos cementantes
Mezcla no endurecida proveniente de excedentes de producción, retornos de obra o limpiezas de equipos.	Fragmentos, piezas no conformes, productos rechazados o materiales demolidos.	Finos provenientes del lavado de equipos o de procesos de reciclaje.

Fuente: Autores., 2025.

Ciclo de Vida del Concreto en Modelo Lineal vs. Circular

En el modelo lineal tradicional, el concreto sigue una trayectoria unidireccional:

- **Extracción:** agotamiento de canteras, alteración de ecosistemas.
- **Producción:** alto consumo energético, emisiones de CO₂ (principalmente del cemento).
- **Uso:** generación de residuos durante construcción y mantenimiento.
- **Disposición final:** saturación de escombreras, pérdida de valor del material (Flower, 2007).

En contraste, el modelo circular propone cerrar los ciclos mediante formulaciones que faciliten la recuperación futura, reincorporación de residuos en el mismo proceso productivo, aplicación del material reciclado en productos de menor exigencia y separación de cemento, agregados y aditivos para nuevos usos.

Propiedades del Concreto Reciclado

Los agregados de concreto reciclado (ACR) presentan características diferenciadas respecto a los agregados naturales:

- **Mayor absorción de agua:** debido a la porosidad del mortero adherido (10-15% vs. 1-3% en agregados naturales).

- **Menor densidad:** por la presencia de material cementante ($2.2-2.4 \text{ g/cm}^3$ vs. $2.6-2.7 \text{ g/cm}^3$).
- **Variabilidad granulométrica:** dependiente de los procesos de trituración y cribado
- **Resistencia mecánica:** puede alcanzar 80-95% de la resistencia del concreto con agregados naturales, según dosificación (Contreras-Llanes, 2021).

5.3.3. Valorización de Residuos: Conceptos y Estrategias

Jerarquía de Gestión de Residuos

La gestión sostenible de residuos se estructura según una jerarquía que prioriza acciones de mayor valor ambiental:

- a) Prevención:** Evitar la generación desde el diseño.
- b) Reducción:** Minimizar cantidades generadas.
- c) Reutilización:** Dar nuevo uso sin transformación.
- d) Reciclaje:** Transformar el residuo en materia prima.
- e) Valorización energética:** Recuperar energía del material.
- f) Disposición final:** Último recurso, controlado y regulado.

Valorización vs. Reciclaje vs. Reutilización

Es fundamental distinguir estos conceptos aplicados al concreto residual:

- **Reutilización:** uso directo del concreto endurecido sin procesamiento (ej: bloques enteros como relleno).

- **Reciclaje:** transformación del concreto en agregado mediante trituración para fabricar nuevo concreto.
- **Valorización:** aprovechamiento del material para generar un producto de valor (puede incluir reciclaje, pero también downcycling o upcycling).

Downcycling vs. Upcycling

- **Downcycling:** el material reciclado se destina a aplicaciones de menor valor o exigencia técnica (ej: concreto estructural → base de pavimentos).
- **Upcycling:** el material reciclado genera productos de igual o mayor valor que el original (ej: concreto residual → mobiliario urbano con diseño).

Subproductos en la Economía Circular

Un subproducto es un material generado en un proceso productivo que, mediante un tratamiento mínimo, puede utilizarse en otro proceso o aplicación sin clasificarse como residuo.

Para que el concreto residual se considere subproducto debe:

- Tener certeza de uso posterior.
- Poder utilizarse directamente sin transformación adicional.
- Formar parte integral de un proceso productivo.
- Cumplir requisitos técnicos y ambientales para su aplicación.

5.3.4. Prefabricados de Concreto y Oportunidades de Circularidad

Proceso de Producción de Prefabricados

Los prefabricados de concreto se manufacturan en plantas especializadas mediante procesos controlados que incluyen:

- a) **Dosificación:** proporción exacta de cemento, agregados, agua y aditivos.
- b) **Mezclado:** homogeneización en mezcladoras mecánicas.
- c) **Moldeo:** vertido en moldes específicos según producto
- d) **Compactación:** mediante vibración (vibroprensado) para eliminar aire
- e) **Curado:** condiciones controladas de humedad y temperatura
- f) **Desmolde y almacenamiento:** extracción del producto y acopio temporal

Tipología de Productos Prefabricados

Los prefabricados se clasifican según su función estructural:

- **Elementos estructurales:** vigas, columnas, losas (alta exigencia mecánica).
- **Elementos no estructurales:** bloques de mampostería, celosías, losetas (exigencia moderada).
- **Elementos de urbanismo:** adoquines, bordillos, rejillas, mobiliario urbano (exigencia variable según uso).

Generación de Residuos en Plantas de Prefabricados

Durante la producción de prefabricados se identifican múltiples puntos de generación de concreto residual:

- **Etapas de mezclado:** material adherido a equipos, excedentes de dosificación.

- **Etapas de moldeo:** derrames, reboses, piezas mal formadas.
- **Etapas de compactación:** desprendimientos durante vibroprensado.
- **Control de calidad:** productos no conformes por variaciones dimensionales o fisuras.
- **Transporte y distribución:** fracturas por manipulación.

Ventajas de los Prefabricados para la Economía Circular

Los sistemas de prefabricación presentan condiciones favorables para implementar estrategias circulares:

- Procesos controlados que facilitan la estandarización del reciclaje.
- Trazabilidad de lotes y composiciones.
- Posibilidad de reincorporar material dentro de la misma planta.
- Menor variabilidad del residuo generado (composición conocida).
- Infraestructura disponible para trituración y reacondicionamiento.

5.3.5. Ecodiseño y Diseño para el Reciclaje

Principios del Ecodiseño

El ecodiseño integra criterios ambientales desde las etapas iniciales del diseño de productos, buscando minimizar impactos durante todo el ciclo de vida. Aplicado a prefabricados de concreto, implica:

- **Selección de materiales:** priorizar insumos reciclados o de bajo impacto.

- **Eficiencia en uso:** optimizar dosificaciones para reducir material.
- **Durabilidad:** diseñar para máxima vida útil.
- **Desmontabilidad:** facilitar la separación de componentes al fin de vida.
- **Reciclabilidad:** asegurar que el producto pueda valorizarse completamente.

Design for Recycling (Diseño para el Reciclaje)

Esta estrategia específica busca que los productos sean fácilmente reciclables al término de su vida útil:

- Uso de materiales mono-componente o fácilmente separables.
- Evitar recubrimientos o aditivos que dificulten el reciclaje.
- Documentación de composiciones para facilitar procesamiento futuro.
- Incorporación de indicadores de trazabilidad (códigos, marcas).

Simbiosis Industrial

La simbiosis industrial es un modelo colaborativo donde los residuos de una empresa se convierten en materia prima para otra. En el sector de prefabricados, puede manifestarse como:

- Intercambio de concreto residual entre plantas.
- Uso de escorias de otras industrias como agregados.
- Aprovechamiento de lodos de concreto en cementeras.
- Integración con plantas de reciclaje de RCD del territorio (Chertow, 2007).

5.3.6. Experiencias Internacionales de Valorización de Concreto

Europa: Liderazgo en Normativa y Tasas de Aprovechamiento

Los países de la Unión Europea han establecido marcos regulatorios estrictos que han elevado las tasas de reciclaje de RCD por encima del 70% en algunos casos (Contreras-Llanes, 2021). Experiencias destacadas incluyen:

- **Países Bajos:** incorporación sistemática de 20-30% de agregado reciclado en concreto nuevo.
- **Alemania:** plantas especializadas en separación y clasificación de RCD con certificación de calidad.
- **España:** normativa técnica que permite hasta 20% de sustitución en elementos estructurales.

América Latina: Avances y Desafíos

La región presenta tasas de aprovechamiento considerablemente menores, aunque con experiencias emergentes:

- **Colombia:** tasa de reciclaje del 14,46% con marco normativo reciente (MADS M. d., 2021).
- **México:** Investigaciones que demuestran viabilidad de sustituciones superiores al 20% en concretos estructurales (Adame, 2025).
- **Perú:** Proyectos piloto de mobiliario urbano con RCD (Arenas Sota, 2022).

Casos de Éxito en Prefabricados con Concreto Reciclado

(Contreras-Llanes, 2021), documentaron la fabricación exitosa de pavimentos urbanos (adoquines y bordillos) con agregados reciclados que cumplen normativa europea de durabilidad y abrasión, demostrando la viabilidad técnica de estos productos.

En Colombia, experiencias en Barranquilla y Medellín han incorporado concreto reciclado en mobiliario urbano no estructural como rampas, jardineras y muros de contención de erosión (Chaves, 2014), evidenciando oportunidades de valorización en aplicaciones de menor exigencia estructural.

6. Metodología

6.1. Tipo de investigación

El presente estudio se enmarca en una investigación aplicada con alcance descriptivo y propositivo, orientada a analizar la problemática ambiental derivada de la generación de concreto residual en una planta de prefabricados y a formular estrategias de aprovechamiento con enfoque de economía circular.

El enfoque adoptado es mixto (cuantitativo y cualitativo); John W. Creswell y Vicki L. Plano Clark son los autores fundamentales para explicar la investigación de métodos mixtos. En su obra "Designing and Conducting Mixed Methods Research" (Creswell, 2018), definen este enfoque como: "Un procedimiento para recolectar, analizar e integrar datos cuantitativos y cualitativos en un solo estudio o en una serie de estudios sucesivos con el propósito de comprender mejor un problema de investigación".

- Desde el componente cuantitativo, se registran volúmenes, frecuencias y tipos de residuos generados en las distintas etapas del proceso.
- Desde el componente cualitativo, se interpretan las causas operativas, las condiciones del proceso y las prácticas de manejo asociadas a la generación del concreto residual.

Abbas Tashakkori y Charles Teddlie: En "*Mixed Methods in Social & Behavioral Research*", destacan que los métodos mixtos constituyen el "tercer paradigma de investigación", superando la dicotomía cuantitativo-cualitativo (Tashakkori, 2010).

R. Burke Johnson y Anthony J. Onwuegbuzie: Definieron el método mixto como una postura pragmática que prioriza la pregunta de investigación sobre consideraciones metodológicas puras (Johnson, 2004).

El Componente Cuantitativo se encarga de emplear técnicas para medir y dimensionar el concreto residual generado en la planta de prefabricados. Para ello, se realiza el registro de volúmenes mensuales de concreto residual, expresados en metros cúbicos y toneladas según la densidad establecida en el Reglamento NSR-10 (2400 kg/m^3). Además, se cuantifican las fuentes de generación mediante un formato de seguimiento y control que permite identificar cantidades diferenciadas por tipo de residuo, como material excedente, no conforme, adherido a mezcladora, fragmentos, entre otros (Creswell J. W., 2014).

Por otro lado, el Componente Cualitativo es útil para comprender el contexto operativo, las prácticas de manejo y las percepciones sobre la gestión del concreto residual. Se realiza una observación directa de las operaciones en las distintas etapas del proceso productivo mezclado, fundida, vibropresado, transporte y almacenamiento registrando las condiciones que favorecen la generación de residuos. Se lleva a cabo la revisión técnica y documental de experiencias previas de reincorporación entre un 10% y 15% de CRT en bordillos, junto con las limitaciones identificadas, tales como alta absorción de agua, capacidad restringida de trituración y ajustes en dosificación, como el clima cálido tropical de Luruaco, que afecta el fraguado y la humedad, la expansión del sector de prefabricados y limitaciones de infraestructura (Hernández Sampieri, 2014).

- Conforme a (Creswell, 2018), el componente cuantitativo, permite generalizar los hallazgos, identificar patrones y establecer relaciones entre variables, lo cual es fundamental para determinar la viabilidad técnica de reincorporar el concreto residual en

los procesos productivos y el cualitativo permite explorar significados, comprender procesos y capturar la complejidad del fenómeno desde la perspectiva de quienes operan el sistema productivo.

6.2. Diseño metodológico

6.2.1. Desarrollo metodológico

La investigación se estructura en tres fases metodológicas, articuladas con los objetivos específicos:

Figura 1. Fases metodológicas del proyecto



Fuente: Propia., 2025.

6.3. Área de estudio

El área de estudio se localiza en el municipio de Luruaco, en el departamento del Atlántico, región Caribe de Colombia. Luruaco se sitúa a 45 km al suroeste de Barranquilla, entre la vía Troncal de Occidente y el sistema lagunar que conforma la Ciénaga de Luruaco, uno de los humedales más importantes del departamento.

Desde el punto de vista físico-ambiental, Luruaco presenta un clima cálido tropical, con temperaturas promedio entre 27 °C y 32 °C durante todo el año, humedad relativa elevada y dos periodos climáticos bien marcados: uno seco (diciembre a abril) y uno húmedo (mayo a noviembre) (Spark, 2025). Estas condiciones inciden directamente en los procesos de fraguado, manejo de agregados y secado del concreto, factores clave dentro del estudio del concreto residual.

El territorio se caracteriza por suelos arcillosos y franco-arcillosos, de buena disponibilidad para actividades productivas e industriales ligeras. Luruaco es un municipio con actividad económica emergente, donde predominan los sectores agrícolas, comercial y de servicios, junto con un crecimiento progresivo del sector de prefabricados de concreto, del que forma parte la empresa objeto del presente estudio.

Dentro del municipio, el estudio se desarrolla específicamente en la zona industrial donde se ubica la planta de prefabricados en concreto, la cual se dedica a la producción de bordillos, adoquines, bloques (entre otros). En esta instalación se identificaron los puntos críticos de generación de concreto residual, como:

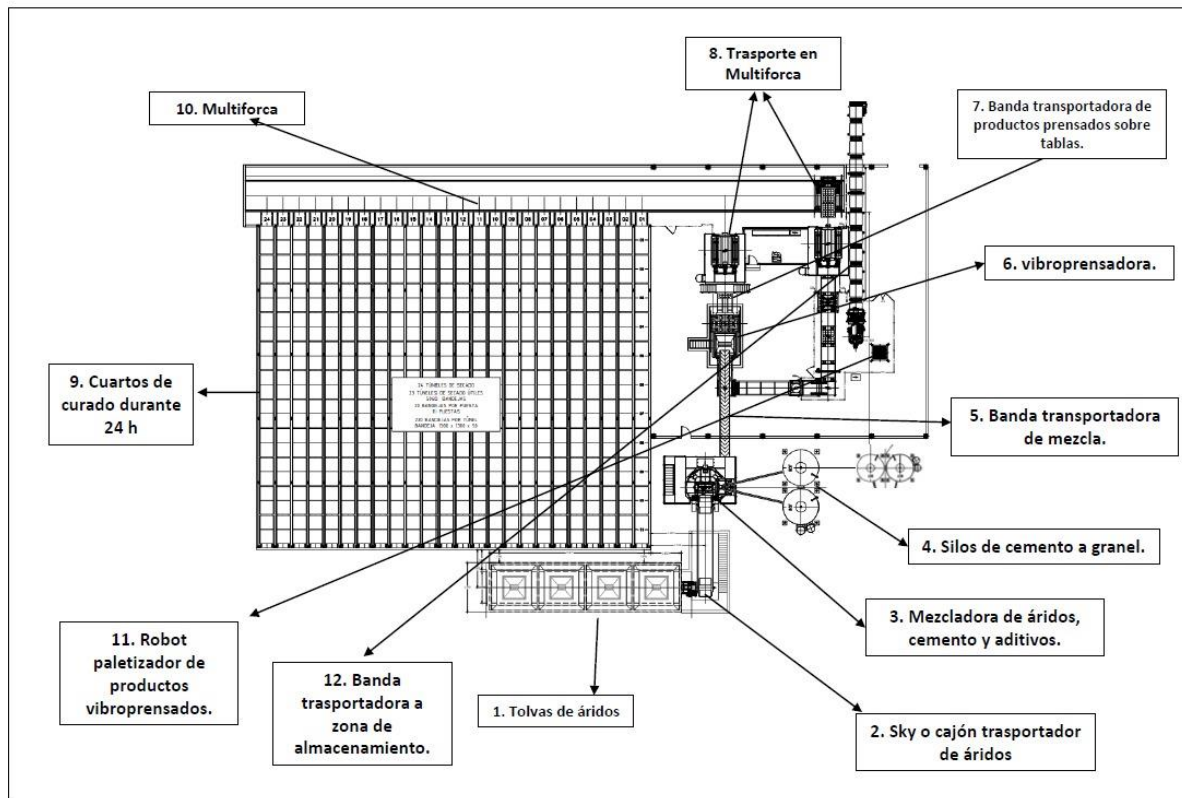
- Área de mezclado del concreto.
- Zona de fundida de bordillos.
- Área de vibroprensado.

- Zona de selección y almacenamiento temporal.
- Sectores de transporte interno y despacho.

La ubicación estratégica de la planta en Luruaco facilita el acceso a materias primas provenientes de canteras del Atlántico y Bolívar, pero también implica desafíos ambientales asociados a la gestión responsable de residuos y al cumplimiento de la Resolución 1257 de 2021, que regula el aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD) en Colombia (MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, 2021).

El contexto municipal clima cálido, cercanía a fuentes hídricas, condiciones de suelo y expansión industrial convierte a Luruaco en un escenario adecuado para implementar un modelo de economía circular aplicado a prefabricados de concreto, permitiendo transformar el concreto residual en un insumo valorizable dentro del ciclo productivo de la empresa.

Figura 2. Distribución en planta de la línea de producción de prefabricados de concreto



Fuente: Empresa de Prefabricados, 2025.

7. Resultados y discusión.

7.1. Fase I. Diagnóstico y Caracterización de residuos

Como parte del proceso metodológico de la investigación, se realiza la identificación y análisis de las fuentes de generación de concreto residual en la planta de prefabricados, con el propósito de determinar los puntos del proceso productivo donde se origina este material.

7.1.1. Fuentes de generación

Durante la observación directa y el seguimiento a las operaciones, se determinan las siguientes fuentes específicas, distribuidas en diferentes etapas de la línea de producción:

7.1.2. Material excedente durante la fundida del bordillo

Se genera durante el llenado de los moldes con carretilla para la fabricación de bordillos, cuando parte de la mezcla cae por fuera debido a rebose, dosificación excesiva o manejo manual del vertido. En esta etapa se emplea un vibrador de inmersión para eliminar burbujas y compactar la mezcla, aunque su acción también provoca pequeños goteos de concreto fresco por los bordes.

Figura 3. Área de fundidora de bordillo

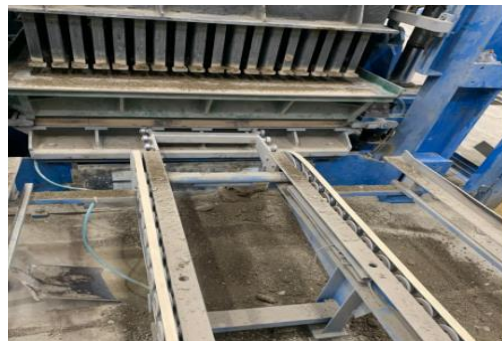


Fuente: Propia, 2025.

7.1.3. Material desprendido durante el vibroprensado

Corresponde al material que se desprende de los moldes durante la aplicación de vibración y presión en el proceso de compactación. En algunos casos, el exceso de humedad o la carga inadecuada genera la salida de mezcla por los bordes o su adherencia a la máquina. Este residuo también se genera en estado fresco.

Figura 4. Área de vibroprensadora (planta megablock)



Fuente: Propia, 2025.

7.1.4. Material no conforme o mermas de producción

Se agrupan en esta categoría los prefabricados que no cumplen con las especificaciones técnicas de calidad, debido a errores en la dosificación, fallas de compactación o variaciones en el contenido de humedad. Estos residuos se presentan en estado endurecido y constituyen una de las principales fuentes de generación de concreto residual en la planta.

Figura 5. Área de selección de productos para el proceso de almacenamiento temporal



Fuente: Propia, 2025.

7.1.5. Mezcla adherida a la mezcladora en estado seco

Se origina por la retención de material en las paredes, paletas y fondo de la mezcladora durante la preparación del concreto. El uso de plastificantes y acelerantes en la formulación favorece el fraguado rápido y la adherencia del material a las superficies metálicas, generando acumulaciones endurecidas con el tiempo. Este residuo se clasifica como seco y compacto.

Figura 6. Mezcladora (planta megablock)



Fuente: Propia, 2025.

7.1.6. Fragmentos generados durante el transporte interno

Se genera por fracturas o desprendimientos de piezas durante su traslado al área de curado y almacenamiento. En esta etapa, los productos se movilizan en estibas, y por efecto del peso o de los movimientos del transporte interno, pueden salirse o fracturarse parcialmente, generando residuos de concreto endurecido que se presentan en forma de fragmentos o piezas rotas.



7.1.7. Piezas deterioradas durante la distribución externa

Se presentan durante el transporte por carretera hacia los puntos de entrega. Las vibraciones, movimientos bruscos o deficiente estiba ocasionan daños en los prefabricados, generando residuos de concreto endurecido con fisuras o fracturas parciales.



7.1.8. Cantidades generadas

El análisis de la generación mensual del concreto residual, según la información suministrada por el responsable ambiental, evidencia variaciones importantes durante el año 2025. El mes de septiembre concentró el mayor volumen con 48 m³, mientras que abril registró la cifra más baja, con aproximadamente 10 m³.

Estos valores corresponden a datos generales, ya que no se realizó una caracterización diferenciada por tipo de residuo. Sin embargo, se identificó que los principales puntos de generación dentro de la planta Megablock corresponden a: mezcla adherida en estado seco en la mezcladora, material no conforme o mermas de producción, y material desprendido durante el

proceso de vibropresado. De acuerdo con lo reportado, gran parte de este concreto residual fue aprovechado internamente en el predio, principalmente en actividades de relleno y nivelación.

7.2. Fase II: Identificación de oportunidades de valorización.

El aprovechamiento del concreto residual constituye una estrategia fundamental dentro de los principios de la economía circular, al permitir la reincorporación de materiales provenientes del propio proceso productivo para reducir el consumo de recursos vírgenes y minimizar la generación de residuos. En esta fase, el propósito fue analizar la viabilidad técnica y ambiental de reincorporar el concreto triturado dentro de las mezclas de prefabricados, con el fin de identificar oportunidades de valorización sostenibles para la empresa.

Para ello, se desarrolla una revisión técnica y documental, complementada con la información suministrada por el área de calidad, que permitió reconocer experiencias previas de reincorporación de material residual y compararlas con los resultados obtenidos en investigaciones recientes.

Durante esta revisión se identificó que, en una experiencia anterior implementada en otra planta de la organización, se adicionó concreto triturado proveniente de productos no conformes y mermas de producción, en proporciones del 10 % al 15 %, dentro de la mezcla utilizada para la fabricación de bordillos de concreto.

Esta práctica no implicó sustituir los áridos naturales, sino adicionarlos parcialmente con material reciclado, con el propósito de aprovechar los residuos internos sin modificar de manera sustancial la formulación tradicional. Los resultados fueron satisfactorios en cuanto al

comportamiento general de la mezcla; sin embargo, el concreto reciclado presentó una alta absorción de agua, lo que restringió su aplicación a porcentajes bajos y exclusivamente en productos no estructurales. Ver, **Tabla 2**.

Tabla 2. Cuadro comparativo de evaluación del aprovechamiento de concreto residual

Aspecto evaluado	Práctica actual/ experiencia previa	Limitaciones identificadas	Oportunidades para el plan piloto.
Porcentaje de incorporación	Se adiciona entre 10% y 15% de concreto residual triturado en bordillos.	No se han explorado porcentajes mayores, comportamiento desconocido en otros productos.	Evaluar gradualmente valores superiores y definir porcentajes óptimos de adición.
Producto utilizado	Bordillo, por ser no estructural y más flexible a variaciones en mezcla.	No se han realizado pruebas en bloques, adoquines u otros prefabricados.	Extender ensayos a otras líneas de la planta Megablock.
Estado del material	Se utiliza concreto residual triturado proveniente de piezas no conformes y mermas.	Alta absorción de agua; comportamiento irregular según granulometría.	Estabilizar el material mediante prehumectación o selección granulométrica controlada.
Procesamiento del material	Trituración básica con equipo de capacidad limitada.	Baja capacidad de trituración y granulometría no uniforme.	Incorporar trituradora de mayor capacidad y cribado

Aspecto evaluado	Práctica actual/ experiencia previa	Limitaciones identificadas	Oportunidades para el plan piloto.
			para control granulométrico.
Comportamiento en mezcla	Requiere ajustes en agua y cemento; uso de plastificantes	Mayor demanda de aditivos; mezcla menos estable si el árido reciclado no está homogéneo	Optimizar dosificación mediante curvas de absorción y tiempos de prehumectación.
Aprovechamiento actual	Parte del material se usa como complemento en mezclas y como relleno interno en el predio.	El uso como relleno no es valorización circular; baja reincorporación técnica.	Establecer reincorporación sistemática como árido reciclado en nuevos productos.
Control de calidad	Ensayos realizados en planta de manera puntual.	No se aplican ensayos de laboratorio con protocolo completo.	Implementar plan piloto con ensayos: comprensión, tracción, absorción, abrasión, durabilidad.
Información disponible	Existe base empírica gracias a experiencia previa del área de calidad.	No hay caracterización detallada por tipo de residuo; datos generales.	Crear sistema formal de monitoreo y trazabilidad de concreto residual.

Fuente: Autores., 2025.

7.3. Fase III: propuesta de diseño de estrategias sostenibles para la reincorporación del concreto residual

Esta fase tiene como propósito proponer estrategias sostenibles para la reincorporación del concreto residual dentro del proceso productivo, aprovechando la base empírica existente en la empresa particularmente la experiencia previa de adición del 10–15 % de concreto triturado en la fabricación de bordillos y extendiendo su aplicación hacia otras líneas como bloques y adoquines de concreto. Para ello, se planteará un conjunto de acciones orientadas a validar técnicamente la reincorporación del material mediante ensayos de laboratorio, pruebas a escala industrial, ajustes operativos y la implementación de un sistema de control de la generación de concreto residual.

Debido a la complejidad técnica y operativa que implica reincorporar el concreto residual en diferentes líneas de prefabricados, esta fase se estructura en cuatro propuestas que permiten abordar de manera ordenada el control de la generación del residuo, la validación técnica del material, la formulación de estrategias de reincorporación y su posterior verificación a nivel industrial. Estas propuestas se desarrollan de manera complementaria y secuencial, conformando un plan integral de gestión circular para la empresa.

8. Propuesta

8.1. PROPUESTA 1: Control de la generación de concreto residual.

La falta de una caracterización diferenciada por tipologías de residuo limita la identificación precisa de las causas que originan el concreto residual. Esta situación pone en evidencia la necesidad de implementar un sistema formal de monitoreo que registre la

procedencia del material y fortalezca los mecanismos de control, especialmente en periodos de mayor demanda operativa en la planta de producción.

Para eso se propone un formato de seguimiento y control de los residuos generados en la planta de producción para llevar control de los mismos Ver, **Figura 7**.

Figura 7. Formato de Seguimiento y Control de los Residuos generados en la Planta de Producción

LOGO		FORMATO DE SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LOS RESIDUOS GENERADOS EN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN													CÓDIGO		
Sede Planta															VERSIÓN		
Municipio, Ciudad															FECHA		
		Nit															
N°	Tipo de Residuo	Turno (Marcar con una X)		Fecha	N° Lote	Volumen			Responsable		Transporte			Tipo de aprovechamiento			
		Mañana	Tarde			(Cantidad m3)	Densidad (kg/m3)	Cantidad (Ton)	Nombre completo	Cargo	Externo (marca con una X)	Interno (marca con una X)	Placa de vehiculo	En instalacione	Punto Limpio	Disposició n final	Planta de aprovechamiento
1						45	2400	108									
2								0									
3								0									
4								0									
5								0									
6								0									
7								0									
8								0									
9								0									
10								0									
11								0									
12								0									
13								0									
14								0									
15								0									
16								0									
								0									
TOTAL						45		108									

Fuente: Propia., 2025.

Teniendo en cuenta que no se cuenta con pesaje para el concreto residual, la Resolución 1257 de 2021, en el Artículo 9 el cual modifica el artículo 19 de la Resolución 0472; párrafo 1: "En el caso de no contar con la infraestructura para la medición del peso en toneladas del material para su gestión, se hará uso de las densidades de la tabla B.3.2-1 incluida en el título B-Cargas del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10 para calcular la equivalencia entre el peso y el volumen del material a reportar , o se aportará la medición de la densidad del material para una muestra controlada que permita establecer el peso real del material".

Tabla 3. Masas de los materiales

<i>Material</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>	<i>Material</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>
Acero	7 800	Mortero de inyección para mampostería	2 250
Agua		Mortero de pega para mampostería	2 100
Dulce	1 000	Piedra	
Marina	1 030	Caliza, mármol, cuarzo	2 700
Aluminio	2 700	Basalto, granito, gneis	2 850
Arena		Arenisca	2 200
Limpia y seca	1 440	Pizarra	2 600
Seca de río	1 700	Plomo	11 400
Baldosa cerámica	2 400	Productos bituminosos	
Bronce	8 850	Asfalto y alquitrán	1 300
Cal		Gasolina	700
Hidratada suelta	500	Grafito	2 160
Hidratada compacta	730	Parafina	900
Carbón, apilado	800	Petróleo	850
Carbón vegetal	200	Relleno de ceniza	920
Cemento pórtland, a granel	1 440	Tableros de madera aglutinada	750
Cobre	9 000	Terracota	
Concreto simple	2 300	Poros saturados	1 950
Concreto reforzado	2 400	Poros no saturados	1 150
Corcho, comprimido	250	Tierra	
Estaño	7 360	Arcilla húmeda	1 750
Grava seca	1 660	Arcilla seca	1 100
Hielo	920	Arcilla y grava seca	1 600
Hierro		Arena y grava húmeda	1 900
Fundido	7 200	Arena y grava seca apisonada	1 750
Forjado	7 700	Arena y grava seca suelta	1 600
Latón	8 430	Limo húmedo consolidado	1 550
Madera laminada	600	Limo húmedo suelto	1 250
Madera seca	450-750	Vidrio	2 600
Mampostería de concreto	2 150	Yeso en tableros para muros	800
Mampostería de ladrillo macizo	1 850	Yeso suelto	1 150
Mampostería de piedra	2 200	Zinc en láminas enrolladas	7 200

Fuente: Tomado de Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente – NSR-10. (2010). Título B- Cargas, Tabla de masas y pesos de materiales. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Obtenido de:

https://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/NSR-10_Titulo_B.pdf

Para el caso del concreto residual la densidad es 2400, por lo tanto, se comparten a continuación las siguientes fórmulas que servirán de apoyo para hallar los volúmenes deseados en el formato.

Tabla 4. Fórmulas de volúmenes

Para hallar el volumen en m3	$Largo * Alto * Ancho$
Para hallar el volumen en toneladas	$\frac{Cantidad\ m3 * densidad}{1000}$

Fuente: Autores., 2025.

8.2. PROPUESTA 2: SELECCIÓN DE LA LÍNEA DE PRODUCTO OBJETIVO.

Dado que la empresa trabaja con cuatro líneas principales de prefabricados, se propone seleccionar como productos objetivo aquellos en los que se evaluará la reincorporación del concreto residual triturado (CRT). Estas líneas corresponden a: bordillos, bloques estructurales, bloques no estructurales y adoquines portuarios, los cuales representan la totalidad de productos fabricados actualmente en la planta.

La selección de estas líneas permitirá analizar diferentes niveles de exigencia mecánica, variación dimensional y comportamiento de mezcla, constituyendo la base para determinar en cuáles productos es técnica y operativamente viable incorporar el CRT dentro del proceso productivo. A continuación, se muestra los productos objetivos:

Tabla 5. Productos objetivos para la reincorporación del concreto residual

Productos	Descripción breve	Imagen
Bordillo en concreto	Producto no estructural, buena tolerancia a variaciones de mezclas. Presenta evidencia previa de adición del 10%-15% de CRT.	 Bordillo L50, Bordillo U50, Bordillo L10, Bordillo A10 80x15x35 cms recto, 80x15x35 cms con chaffán, 80x15x45 cms, 80x20x50 cms
Bloque Estructural	Elementos con altas exigencias de resistencia a compresión y control de absorción.	 Bloque 09, Bloque 12, Bloque 015, Bloque 020 Resistencia Bloque estructural 13 Mpa, Resistencia Bloque No estructural 08 Mpa 09 x 19 x 39 Cm, 12 x 19 x 39 Cm, 16 x 19 x 39 Cm, 19x 19 x 39 Cm
Bloque no estructural	Producto con tolerancia moderada a sustituciones parciales. Útil para validar ajustes de mezcla.	
Adoquín portuario	Elemento de alta exigencia mecánica sometida a carga pesadas INV 50. Evaluación avanzada.	 Portuarios Para uso en zonas de tráfico pesado, patios de contenedores, puertos, aeropuertos, zonas francas, parques industriales y zonas similares 10x20x12 Cm Colores

Fuente: Tomado de Tectónico <https://www.tectonico.co/>

A. Diseño de mezclas

Para cada línea de producto se plantearán series experimentales con diferentes porcentajes de sustitución del árido natural por CRT:

Tabla 6. Porcentajes propuestos en diseños experimentales para la reincorporación de concreto residual

<i>Serie control</i>	<i>Serie experimental 1</i>	<i>Serie experimental 2</i>	<i>Serie experimental 3</i>
<i>0 % CRT</i>	10 % CRT	15 % CRT	20 % CRT (solo si los porcentajes previos presentan buen desempeño)

Fuente: Autores., 2025.

La curva granulométrica y la relación agua cemento se ajustarán según el comportamiento del CRT, que suele presentar mayor absorción que los áridos naturales, lo definirá el director de calidad de la planta.

B. Ensayos físico–mecánicos según normas técnicas

A continuación, se presenta la siguiente tabla la cual sintetiza los ensayos físico-mecanismos según normatividad técnica:

Tabla 7. Ensayo físico-mecánico en productos de concreto

Bloques estructurales (NTC 4026 – Clase A)	Bloques no estructurales (NTC 4026 – Clase B y C)	Adoquines portuarios (INV 510)	Bordillos de concreto (NTC 4109)
Resistencia a compresión Absorción de agua. Densidad aparente Variación dimensional	Resistencia a compresión. Absorción Densidad Variación dimensional	Resistencia a compresión Resistencia a flexo–tracción Absorción Durabilidad y abrasión Variación dimensional	Ensayo principal: Resistencia a flexión Procedimiento: El bordillo se apoya en dos puntos según especificación normativa. Se aplica una carga vertical en el punto medio de la luz útil. Se registra la carga máxima antes de la falla. Este ensayo permitirá comparar:

Bloques estructurales (NTC 4026 – Clase A)	Bloques no estructurales (NTC 4026 – Clase B y C)	Adoquines portuarios (INV 510)	Bordillos de concreto (NTC 4109)
			Bordillos convencionales (0 % CRT) Bordillos con 10 %, 15 % y 20 % CRT

Fuente: Autores., 2025.

Formalizando así la base empírica existente y validando técnicamente la incorporación del CRT.

C. Estrategias Sostenibles De Reincorporación Del CRT.

A partir de los ensayos y resultados esperados, se plantean tres estrategias:

Reincorporación progresiva en bloques y bordillos

- Utilizar los porcentajes máximos validados de CRT.
- Establecer un protocolo formal (mezcla, tiempos, humedad, vibroprensa).
- Implementar trazabilidad interna de lotes con registros de calidad.

En bordillos se consolidará la experiencia previa y se definirá un modelo estándar para su fabricación.

9. Conclusiones

La investigación permitió caracterizar las principales fuentes de generación de concreto residual en la empresa de prefabricados ubicada en el municipio de Luruaco, identificándose residuos provenientes principalmente del excedente generado durante la fundida de bordillos, el desprendimiento de material durante el vibropresado, productos no conformes o mermas de producción, material adherido a la mezcladora y fragmentos ocasionados durante las actividades de transporte y distribución. Asimismo, se evidenció una variación importante en la generación mensual, alcanzando aproximadamente 48 m³ en septiembre de 2025 y 10 m³ en abril del mismo año, lo que demuestra la necesidad de fortalecer el seguimiento y control de este material.

A partir de la identificación de las oportunidades de valorización, se determinó que el concreto residual presenta potencial para ser reincorporado como agregado reciclado en la fabricación de productos de concreto, especialmente en elementos no estructurales. La experiencia previa identificada en la empresa, correspondiente a la incorporación de entre 10 % y 15 % de concreto residual triturado en la fabricación de bordillos, constituye una alternativa de referencia para continuar evaluando su aprovechamiento en otras líneas de producción, como bloques y adoquines.

Sin embargo, se identificaron condiciones técnicas que deben ser consideradas antes de ampliar la reincorporación del concreto residual. Entre estas se encuentran la alta absorción de agua del material reciclado, la variabilidad de su granulometría y la capacidad limitada de los equipos de trituración disponibles. Estas condiciones pueden influir en la dosificación de las

mezclas y en el comportamiento final de los productos, por lo cual resulta necesario realizar procesos de selección granulométrica, control de humedad y optimización de las dosificaciones.

Finalmente, las estrategias formuladas permiten orientar a la empresa hacia un modelo de gestión basado en los principios de economía circular, mediante la reducción de la generación del residuo, su control y clasificación, la trituración y adecuación del material y su posterior reincorporación en productos de concreto. De esta manera, el concreto residual puede dejar de ser considerado únicamente como un material destinado a relleno y convertirse progresivamente en un recurso aprovechable dentro del mismo proceso productivo, contribuyendo al uso eficiente de materias primas y al fortalecimiento de la gestión ambiental empresarial.

10. Recomendaciones

Se recomienda implementar un sistema formal de seguimiento y control de la generación de concreto residual que permita registrar periódicamente las cantidades generadas y clasificarlas de acuerdo con su fuente de generación. Este sistema facilitará la identificación de las etapas del proceso productivo que generan mayores pérdidas y permitirá establecer medidas de prevención y reducción orientadas a disminuir la cantidad de material residual generado.

Teniendo en cuenta el control, se considera necesario que el área de producción fortalezca el proceso de aprovechamiento mediante la implementación de equipos con mayor capacidad de trituración y sistemas de cribado que permitan obtener un agregado reciclado con una granulometría más uniforme. De igual manera, se deberá considerar la prehumectación o el control de humedad del material, debido a su mayor capacidad de absorción de agua frente a los agregados naturales.

Con base a estas mejoras operativas, se recomienda que el equipo técnico desarrolle pruebas experimentales de manera progresiva, iniciando con porcentajes de incorporación del 10 % y 15 % de concreto residual triturado y evaluando porcentajes superiores únicamente cuando los resultados obtenidos demuestren un comportamiento adecuado. Estas pruebas deberán considerar las características de cada producto y estar acompañadas de los respectivos ensayos físico-mecánicos antes de establecer su aplicación a escala industrial.

Finalmente, se recomienda ampliar las investigaciones hacia otras líneas de producción de la planta, particularmente bloques y adoquines, con el propósito de determinar nuevas posibilidades de reincorporación del concreto residual. Dicha implementación deberá realizarse de manera gradual, mediante pruebas de laboratorio, validaciones a escala industrial, control de calidad y trazabilidad de los lotes, garantizando que los productos obtenidos cumplan con las características técnicas requeridas para su uso.

11. Bibliografía

CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. (16 de 03 de 2010). *Ley 1383 de 2010*.

Obtenido de Modifica el Código Nacional de Tránsito Terrestre (Ley 769 de 2002. En su artículo 102 regula el manejo de escombros, estableciendo que cada municipio debe determinar los lugares autorizados para su disposición final: <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/1678441>

(CSI)., W. B. (2007). Obtenido de Iniciativa para el reciclaje de croncreto (versión en español): https://docs.wbcsd.org/2009/06/e-CSI_Recycling_Concrete_Spanish.pdf

Adame, I. M. (31 de 03 de 2025). *Implementación de RCD en concretos estructurales*. Obtenido de <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/11659>

Arenas Sota, M. G. (2022). *Pontifica Universidad Católica del Perú Escuela de Posgrado*.

Obtenido de Elaboración de mobiliarios y accesorios decorativos sostenibles reutilizando los residuos de la construcción y demolición en Lima Metropolitana:

<https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/d745bf04-59d1-4a75-a82f-d6e47338b313/content>

ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTE. (1991). *FUNCIÓN PÚBLICA*. Obtenido de

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=4125>

Balaguera, P. G. (2025). *Portafolio*. Obtenido de Producción de obras civiles en Colombia creció 9,6% en el segundo trimestre:

<https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/crecimiento-de-obras-civiles-en-colombia-segundo-trimestre-2025-dane-637651>

Bau, A. K. (2004). Obtenido de Monitoring-Bericht Bauabfälle. Berlin: ARGE KWTB:

https://kreislaufwirtschaft-bau.de/Download/Bericht-05.pdf?utm_source=chatgpt.com

Caicedo, H. V. (2015). *SCRIBD*. Obtenido de Ret-Cel El desarrollo de conjuntos para losas y cubiertas mediante celdas de concreto prefabricadas en Colombia, 1949-1989:

<https://es.scribd.com/document/519452905/1-historia-de-la-prefabricacion-en-colombia>

Cárdenas Robeldo, C. E. (2020). *Universidad Católica de Colombia*. Obtenido de Revisión

documental sobre concretos reciclados y su resistencia a la compresión. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Civil.

Castillo, A. C. (2019). *Universidad de la Costa de Barranquilla*. Obtenido de Estudio de

prefactibilidad de concreto sostenible a partir de agregado reciclado:

<https://repositorio.cuc.edu.co/server/api/core/bitstreams/22fac7a9-7fc2-4534-b5a8-12cb9fec371c/content>

Chaves, A. R. (9 de 12 de 2014). *Universidad Nacional de Colombia. Mobiliario Urbano prefabricado en concreto con agregado grueso reciclado*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/427671567.pdf>

Chertow, M. R. (2007). "Uncovering" Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), p 11-30.

Commission, E. (2013). *Building the Single Market for Green Products: Facilitating Better Information on the Environmental Performance of products and Organisations Brussels: European Commission*.

CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. (1974). *Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=1551>

CONGRESO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA. (22 de 12 de 1993). *Función Pública*. Obtenido de Ley 99 de 1993: "Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el SINA y otras disposiciones": <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=297>

CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. (19 de 12 de 2008). *Ley 1259 de 2008*. Obtenido de "Por medio de la cual se instaura en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones": <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=34388>

Contenedores de Reciclaje. (s.f.). Obtenido de Reciclaje:

<https://contenedoresdereciclaje.com/reciclaje-de-concreto/>

Contreras-Llanes, M. R. (2021). *MDPI*. Obtenido de Recycled Aggregates from Construction and Demolition Waste in the Manufacture of Urban Pavements:

<https://www.mdpi.com/1996-1944/14/21/6605>

Corporación Universitaria Minuto de Dios. (08 de 2021). Obtenido de Producción y comercialización de proyectos para obras de urbanismo a partir de insumos reciclados:

<https://repository.uniminuto.edu/server/api/core/bitstreams/e753f302-d175-4be6-8af6-72e2dd25d173/content>

Creswell, J. W. (2014). *Research Desing: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approarches* (4th ed.). *SAGE Publications*.

Creswell, J. W. (2018). *Designing and conducting mixed methods research* (3rd ed). *SAGE Publications*.

DNP, M. d. (28 de 11 de 2017). *Estudio en la intensidad de utilización de materiales y economía circular en Colombia para la Misión de Crecimiento Verde. Producto 1. Diagnóstico de eficiencia en el uso de materiales y cierre de ciclos en los sectores manufacturero y de construcción*. Obtenido de https://www.dnp.gov.co/LaEntidad_/misiones/mision-crecimiento-verde/Documents/ejes-tematicos/Circular/MATEC%20Producto%201_FINAL.pdf

Duque, M. (2024). *Universidad de Antioquia*. Obtenido de Construcción sostenible y residuos de construcción y demolición: un análisis de política pública en Medellín:

<https://bibliotecadigital.udea.edu.co/entities/publication/fb960b60-ba9a-4af2-9919-78121626f3ad>

- Ellen, M. F. (2013). Obtenido de Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition.
- Flower, D. J. (2007). Green house gas emissions due to concrete manufacture. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 12(5), p. 282-288.
- Foundation, E. M. (2015). *GRowth Within: A Circular Economy Vision for a Competitive Europe*. Ellen MacArthur Foundation Publishing.
- Hernández Sampieri, R. F. (2014). Metodología de la investigación (6 ed). *McGraw-Hill Education*.
- Hormiga, S. P. (2022). *Análisis de la viabilidad de construcción de vivienda rural a partir de materiales reciclados en veredas del municipio de Piedecuesta - Santander*. Obtenido de Corporación Universitaria Minuto de Dios (UNIMINUTO):
<https://repository.uniminuto.edu/server/api/core/bitstreams/2f82e242-97da-49e0-aafa-39f1203df1e2/content>
- Johnson, R. B. (2004). Mixed Methods Research: A Research Paradigm Whose Time Has Come. . *Educational Research* 33(7), 14-26.
- Kosmatka, S. H. (2011). Obtenido de Design and Control of Concrete Mixtures. Portland Cement Association.
- MADS. (2017). *Resolución 0472*. Obtenido de "Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición RCD y se dictan otras disposiciones": <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/resolucion-0472-de-2017.pdf>
- MADS. (2021). Obtenido de "Por la cual se modifica la Reso. 0472 de 2017 sobre la gestión integral de Residuos de Construcción y Demolición - RCD y se adoptan otras

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

MADS. (23 de 11 de 2021). *Resolución 1257 de 2021*. Obtenido de "Por la cual se modifica la Resolución 0472 de 2017 sobre la gestión integral de Residuos de Construcción y Demolición - RCD y se adoptan otras disposiciones":

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

MADS, M. d. (23 de 11 de 2021). *"Por la cual se modifica la Resolución 0472 de 2017 sobre la gestión integral de Residuos de Construcción y Demolición - RCD y se adoptan otras disposiciones"*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-1257-de-2021.pdf>

Mastache Adame, I. (2025). *Universidad Autónoma de Querétaro*. Obtenido de Implementación de RCD en elementos estructurales: Antítesis a las normas (NTAE-002-QRO-2023) y (NTC-CDMX-2023): <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/11659/1/IGLIN-283317.pdf>

Mather Bryant, O. C. (2002). *Cartilla del Concreto*. Obtenido de https://www.academia.edu/50834600/Cartilla_del_concreto_IMCYC

MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. (23 de 11 de 2021). *Resolución 1257 de 2021*. Obtenido de "Por el cual se modifica la Resolución 0472 de 2017 sobre la gestión integral de Residuos de Construcción y Demolición -RCD y se adoptan otras disposiciones": <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-1257-de-2021.pdf>

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. (26 de 05 de 2015). *Decreto 1075*

de 2015. Obtenido de Reglamenta el sector Vivienda, Ciudad y Territorio, define lineamientos sobre el servicio público de aseo y la gestión de residuos de Construcción y Demolición (RCD):

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77913>

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE . (14 de 12 de 1994). *Resolución 541 de 1994*.

Obtenido de "Por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición":

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

Pinzón, S. (2022). Obtenido de Análisis de la viabilidad de construcción de vivienda rural a partir de materiales reciclados en veredas del municipio de Piedecuesta Santander.:

<https://repository.uniminuto.edu/server/api/core/bitstreams/2f82e242-97da-49e0-aafa-39f1203df1e2/content>

Pinzón, S. H. (2022). *Análisis de la viabilidad de construcción de vivienda rural a partir de materiales reciclados en veredas del municipio de Piedecuesta - Santander*. Obtenido de Corporación Universitaria Minuto de Dios - UNIMINUTO:

<https://repository.uniminuto.edu/server/api/core/bitstreams/2f82e242-97da-49e0-aafa-39f1203df1e2/content>

Quiroga, F. (2021). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de Diseño y fabricación de mobiliario urbano a partir de residuos de construcción y demolición:

<https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/ada0dc94-f5b1-4019-ab44-a952e010b37e/content>

- Rodriguez Cáceres, K. K. (2025). *PUCP. "Fragmento Revier": Familia de productos elaborada con un material a base de RCD acompañada de un interacción para su revalorización e inserción a la economía circular en Lima Metropolitana*. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/items/06430c48-c270-403b-a86f-2ac8a071494c>
- Rúa, M. D. (2024). *Universidad de Antioquia. Construcción sostenible y residuos de construcción y demolición: Un análisis de política pública en Medellín*. Obtenido de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/2e9b58ad-2897-4462-a501-a308f6878c0d/content>
- Schwartz, J. D. (2021). Reduce, Reuse and Recycle: The Spolia of Late Antique and Early Christian Rome". *Swarthmore Undergraduate History Journal*. 2(1).
- ScienceDirect. (2025). 3.4. *Hormigón en estado fresco, 3.4.1. Dosificación, mezcla y transporte*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/concrete-batching>
- Spark, W. (2025). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Luruaco - Atlántico*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/22618/Clima-promedio-en-Luruaco-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Tashakkori, A. &. (2010). *Mixed Methods in Social & Behavioral Research (2nd ed.)*. SAGE Publications.
- Universidad Nacional de Colombia. (9 de 12 de 2014). Obtenido de *Mobiliario urbano prefabricado en concreto con agregado grueso reciclado*: <https://core.ac.uk/download/427671567.pdf>
- Urieles, P. E. (2020). *Universidad Cooperativa de Colombia*. Obtenido de *El Concreto con agregados reciclados como proyecto de sostenibilidad urbana :* <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/f3163836-dc5b-4f5a-a872->



9622afb13f4e/content#:~:text=Entre%20los%20impactos%20ambientales%20que,que%20da%C3%B1an%20nuestro%20medio%20ambiente.%20&text=%C2%BFEl%20concreto%20con%20agregados%20recicla