

**CONSTRUCCIÓN DE RECURSOS CON BASE EN LOS DESPERDICIOS DE OBRA:  
CONCRETO Y MAMPOSTERÍA**

**Proyecto de investigación presentado en la Especialización en Dirección de Construcción de  
Edificaciones**

**Trabajo presentado por:**

Carolina Espinel Redondo - ID: 712234

Jeffrey Esneyder Forero Suarez - ID:629582

Cristian Camilo Rodríguez Niño - ID: 704410

**Asesor**

Yenny Yolanda Ortiz



Corporación Universitaria Minuto de Dios

Facultad de ingeniería

Especialización en Dirección de Construcción de Edificaciones

2024



## Tabla de Contenido.

|  |     |
|--|-----|
| 1. PRELIMINARES.....   | 9   |
| 1.1 Planteamiento del problema.....  | 9   |
| 1.2. Objetivo General.....   | 11  |
| 1.3. Objetivos Específicos.....  | 11  |
| 1.4. Justificación del proyecto.....   | 11  |
| 1.5 Alcance del proyecto.....  | 13  |
| 2. MARCO TEÓRICO.....  | 14  |
| 2.1 Antecedentes.....  | 14  |
| 2.2. Estado del arte.....  | 15  |
| 2.3. Marco Conceptual.....   | 19  |
| 2.4. Marco Normativo.....  | 21  |
| 3. DISEÑO METODOLÓGICO.....  | 23  |
| 3.1. Tipo de investigación.....  | 23  |
| 3.2. Metodología.....  | 23  |
| 3.3. Cronograma.....   | 25  |
| 4. RESULTADOS.....   | 27  |
| 4.1. Propuesta.....  | 27  |
| Referencias Bibliográficas.....  | 95  |
| PRESENTACIÓN PROPUESTA TRABAJO FINAL DE INVESTIGACIÓN<br>ESPECIALIZACIÓN EN DIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES “EDCE”<br>..... | 101 |

## **Resumen**

Este estudio investiga la reutilización de desechos de construcción y demolición (RCD), concretamente cilindros de hormigón y mampostería, en la creación de materiales sustentables para la edificación. El propósito principal es descubrir técnicas eficaces para convertir estos desechos en mampuestos y adoquines que satisfagan los criterios de resistencia necesarios. La metodología se organiza en tres etapas: recopilación de información acerca de la producción de RCD, detección y evaluación de combinaciones con agregados reciclados, y creación de prototipos. En el procedimiento experimental, se escogen cilindros de hormigón que excedan las resistencias de diseño a los 28 días y se convierten en conjuntos para cajas de inspección y adoquines sostenibles para senderos.

Los hallazgos indican que los cilindros reutilizados satisfacen los criterios de resistencia fijados, conservando características mecánicas apropiadas para su utilización en edificación. Igualmente, la aplicación de adoquines ecológicos facilita la incorporación de vegetación en zonas pavimentadas, optimizando la infiltración de agua y disminuyendo la temperatura. Las conclusiones subrayan que el uso de RCD no solo disminuye el efecto en el medio ambiente, sino que proporciona opciones económicamente rentables y funcionales para la edificación. Este análisis corrobora la capacidad de los desechos reciclados de aportar a la sostenibilidad en el sector de la construcción, fomentando acciones ecológicas en proyectos de arquitectura e ingeniería civil.

## **Abstract.**

This study investigates the reuse of construction and demolition waste (CDW), specifically concrete cylinders and masonry, in creating sustainable building materials. The primary purpose is to discover effective techniques to transform this waste into masonry blocks and pavers that meet the necessary strength criteria. The methodology is organized into three stages: gathering information on CDW production, identifying and assessing mixtures with recycled aggregates, and prototype development. In the experimental procedure, concrete cylinders that exceed design strength at 28 days are selected and transformed into units for inspection boxes and sustainable pavers for pathways.

The findings indicate that the reused cylinders meet the established strength criteria, maintaining mechanical properties suitable for construction use. Likewise, the application of ecological pavers facilitates vegetation incorporation into paved areas, enhancing water infiltration and reducing temperature. The conclusions emphasize that using CDW not only reduces environmental impact but also provides economically viable and functional options for construction. This analysis confirms the potential of recycled waste to contribute to sustainability in the construction sector, promoting eco-friendly practices in architectural and civil engineering projects.

## **Palabras claves.**

Mampostería, concreto, agregados, desperdicios.

## **Introducción.**

Este trabajo de investigación se centra en la administración y reutilización de los desechos de construcción y demolición (RCD) producidos en la industria de la construcción en Colombia, particularmente los que provienen de concreto y mampostería. El asunto principal del estudio es desarrollar técnicas para convertir estos desechos en materiales de construcción eficientes y sostenibles, tales como morteros y mampuestos. Este análisis se presenta en respuesta a los problemas ambientales y sociales vinculados con el incremento en la cantidad de RCD que impacta a las ciudades más representativas del país, especialmente Bogotá, donde la gestión ineficaz de estos desechos conduce a elevadas tasas de contaminación y saturación de los lugares de disposición final.

La relevancia de este estudio reside en la necesidad de reducir el efecto ambiental que generan los RCD en Colombia, una nación que produce cerca de 18 millones de toneladas de desechos de construcción anualmente, siendo Bogotá la principal contribuyente a este total. Además, la gestión incorrecta de estos residuos representa no sólo un desafío medioambiental, sino también una oportunidad para innovar en la creación de materiales ecológicos y asequibles que puedan emplearse en nuevas edificaciones. El estudio aporta a las iniciativas de sostenibilidad y reciclaje en la industria, surgiendo una opción de reutilización que disminuye la necesidad de materiales vírgenes y promueve técnicas de construcción más respetuosas con el medio ambiente.

Para llevar a cabo el estudio, se utiliza un enfoque aplicativo fundamentado en un diseño experimental metodológico. La investigación se segmenta en tres etapas fundamentales, comenzando con la etapa de recopilación y estudio de datos, en la que se analizan los sitios y circunstancias donde se producen los residuos de concreto y mampostería, esto abarca la revisión

de documentos y un estudio cuantitativo que facilita la identificación de las zonas y cantidades de producción de estos residuos. Seguidamente se da paso a la etapa de identificación y pruebas de mezclas, donde se utilizarán investigaciones previas llevadas a cabo por profesionales en el campo, estas investigaciones han sido escogidas cuidadosamente debido a su importancia metodológica, y sus hallazgos se utilizarán como guía para valorar la viabilidad de los agregados reciclados en usos constructivos, además, se analizan los diseños de mezclas que incluyen agregados reciclados provenientes de los RCD. Se realizan pruebas de resistencia y se examinan las características físicas y mecánicas de las muestras, conforme a normas definidas como la NTC 673-10. Y se finaliza con la etapa de aplicación y evaluación de prototipos en donde se ponen en marcha prototipos de mampuestos hechos con cilindros de hormigón reciclado. Los prototipos pasan por ensayos de resistencia a la compresión y durabilidad para determinar su factibilidad como materiales de construcción.

El propósito principal de este estudio es analizar la factibilidad de emplear desechos de hormigón y mampostería como materias alternativas en las edificaciones. De forma concreta, la investigación tiene como objetivos determinar áreas y modalidades de edificación con mayor producción de desechos; Examinar y valorar la aplicación de agregados reciclados en morteros de inyección y pega; Y elaborar prototipos de mampuestos basados en desechos de concreto y evaluar su rendimiento en ensayos de durabilidad.

La investigación se estructura empezando por el planteamiento del problema donde analiza los retos medioambientales y logísticos asociados al RCD, luego el marco teórico donde se analizan antecedentes, situación actual y conceptos fundamentales, siguiendo con la metodología donde se expresan los pasos utilizados para la recopilación y estudio de la

información. Y se finaliza con la presentación de los resultados y las conclusiones donde se exponen los hallazgos y se resumen los resultados.

Esta investigación espera proporcionar opciones eficaces para el reaprovechamiento de RCD, minimizando su efecto en el entorno y fomentando una construcción más sustentable en la nación. La propuesta tiene como objetivo no solo innovar en la producción de materiales reciclados sino también establecer un marco de referencia que promueva prácticas responsables en la administración de desechos provenientes de la construcción y la demolición.

# **1. PRELIMINARES**

## **1.1 Planteamiento del problema.**

Colombia es uno de los países de Latinoamérica que presenta altos índices en el mercado de proyectos de construcción de vivienda, con altos índices de construcción en ciudades principales como Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla; impulsando directamente de esta manera el mercado de la producción de materiales para la construcción. Así mismo, en el año 2023 Colombia presentó un área de construcciones equivalente a 47.104.603 m<sup>2</sup>, según los censos realizados por el DANE. [1]

Sin embargo, estas construcciones generan una gran cantidad de residuos de construcción y demolición (RCD), lo cual representa un gran reto ambiental y logístico en el país.

Adicionalmente, según CAMACOL, Colombia genera 18 millones de toneladas en residuos de construcción y demolición al año, siendo Bogotá y sus alrededores con 12 millones de toneladas, la ciudad que más genera RDC en el país; siendo así un tema preocupante para la ciudad porque no hay suficientes espacios y lugares que traten los RDC. En adición, estos restos de construcción y demolición generan contaminación al medio ambiente por las partículas de polvo que emiten los escombros en sitio o desde su trasiego a escombreras o lugares de acopio para estos desperdicios. [2]

En Colombia, la industria de la construcción es responsable de una porción considerable de las emisiones de CO<sub>2</sub> a causa del manejo incorrecto de los desechos de construcción y demolición (RCD). El traslado y gestión de estos desechos produce partículas y contaminación

en el medio ambiente. Adicionalmente, el sector de la construcción aporta el 35-40% de los desechos totales de la nación. [13]

Los organismos de control, al evidenciar los altos índices de producción de residuos RDC, han generado algunas normativas para regular y manejar estos desperdicios de manera responsable, aunque, es muy complicado disponer un control sobre estos desperdicios por los altos volúmenes que se generan al año debido a la cantidad de emisores, siendo estos organismos públicos de construcción y constructoras privadas. [3]

Así mismo, si no se toman cartas en el asunto, se pueden presentar consecuencias en el medio ambiente por la falta de escombreras y lugares de disposición de dichos materiales, ya que, las emisiones contaminantes van en aumento con el pasar del tiempo debido a los RCD.

Los desechos de hormigón y mampostería constituyen una porción significativa del RCD. En su gestión, se liberan entre 0.5 y 0.8 toneladas de CO<sub>2</sub> por cada tonelada de hormigón, en función del tipo de mezcla y los procedimientos utilizados. Adicionalmente, la utilización de materiales vírgenes para sustituir estos desechos, como el cemento, demanda una extracción intensiva, con cerca de 1.7 toneladas de materias primas por cada tonelada de cemento fabricada, lo que agota los recursos naturales renovables. [14]

Por consiguiente, esta investigación busca identificar el uso de estos residuos para la producción de materiales que puedan ser utilizados en el mismo campo de la construcción con características similares a los materiales convencionales o puedan ser usados como materiales para la implementación de insumos con características sostenibles debido a su proceso de reutilización. En consecuencia, a lo anterior, se expone la siguiente pregunta.

¿Cuál es la importancia de encontrar formas de reutilizar los residuos de construcción y demolición?

El objetivo de esta investigación es identificar los procesos de disposición de los RDC como lo pueden ser residuos de concreto (Cilindros de concreto) y escombros de bloque en arcilla, para ser implementados en la creación de nuevos materiales y/o ser usados en procesos constructivos dentro de actividades comunes de la construcción.

## **1.2. Objetivo General**

Identificar formas de aprovechar los cilindros de muestras de concreto y los desperdicios de mampostería desechados en la obra, que presenten propiedades favorables para su reutilización.

## **1.3. Objetivos Específicos**

- Determinar las áreas de mayor generación de desperdicios de mampostería y cilindros de concreto en la obra, así como calcular el porcentaje de estos desperdicios respecto al total.
- Analizar la implementación de agregado reciclado hecho a partir de RCD para mezclas de morteros de inyección y morteros de pega.
- Desarrollar un prototipo de mampuesto utilizando cilindros de concreto desechados y realizar un análisis de resultados en el uso de agregado reciclado.

## **1.4. Justificación del proyecto**

Este trabajo de investigación se justifica a partir de las situaciones actuales que se presentan en el manejo de los desperdicios generados por el concreto y la mampostería en obra,

en la cual, el manejo de estos desperdicios es mínimo y se terminan usando como relleno o simplemente trasladados a botaderos de escombros; por otra parte, se propone reutilizar estos desperdicios de formas óptimas que garanticen la disminución del desaprovechamiento de los desperdicios anteriormente mencionados que generan contaminación y dan paso a la acumulación de escombros en acopios externos. A su vez, se plantea colaborar en la reutilización del concreto y también presentando un enfoque con un análisis del uso de residuos de mampostería como materiales óptimos utilizados en actividades específicas con características eficientes.

Como grupo de investigación, se busca aportar ideas con el fin de reutilizar estos materiales para darles un uso adicional que permita garantizar el funcionamiento dentro de la construcción, disminuyendo la emisión de altas cantidades de escombros. Además, se propone como una posibilidad utilizar los cilindros de concreto después de un proceso para darles cuerpo y forma, convirtiéndolos en mampuestos de material reutilizado.

Por otro lado, se planea analizar el uso de los residuos de bloques de mampostería en arcilla, después de un proceso de triturado como agregado fino o grueso, dependiendo del proceso de triturado como una alternativa al uso de los materiales convencionales extraídos de cantera.

Con estas ideas se generan beneficios ambientales porque se reduce el desperdicio en obra aprovechando los residuos y disminuyendo la disposición de estos en botaderos; así mismo, se obtienen nuevos materiales que pueden ser innovadores por su grado de reutilización.

## **1.5 Alcance del proyecto**

Se busca proporcionar una muestra realizada en obra, aprovechando los desperdicios de concreto que generan los cilindros óptimos en resistencia, con el objetivo de evidenciar que pueden ser utilizados como una alternativa innovadora en el sector de la construcción.

Asimismo, se planea implementar una muestra de un mampuesto fabricado a partir de los cilindros en concreto, con el fin de demostrar su viabilidad como alternativa.

El estudio se enfocará en una evaluación experimental que examinará las propiedades físicas y mecánicas de los materiales producidos a partir de los cilindros de hormigón, además de la resistencia a la compresión y durabilidad del mampuesto elaborado. En esta etapa del estudio, no se prevé la aplicación en proyectos reales, sin embargo, se ofrecerán sugerencias para futuros estudios que puedan realizar pruebas en contextos de construcción.

Se presentarán pruebas técnicas, como ensayos de resistencia a la compresión, absorción de agua y durabilidad, conforme a las regulaciones actuales en construcción como la NTC 673-10 para la resistencia de materiales de mampostería, con el objetivo de asegurar que los materiales reutilizados satisfagan los estándares técnicos necesarios para su utilización segura en proyectos.

Además, se pretende realizar un análisis del uso de los residuos de mampostería en arcilla como agregado reciclado, utilizándolos como agregado fino o grueso. Esto permitirá obtener resultados potenciales en el uso de estos residuos, promoviendo las prácticas sostenibles en la industria en la construcción para generar oportunidades económicas relacionadas con la producción y el uso de nuevos materiales reutilizados.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes

Con el pasar del tiempo, el aumento de las obras de construcción en la ciudad de Bogotá y sus alrededores va en un crecimiento abrupto que no solo genera un desarrollo a la ciudad y sus alrededores, sino que genera un alto impacto en el medio ambiente con la sobreproducción de desperdicios de construcción y demolición

Según la investigación realizada por Lasso, A. L. & Misle, R. (2012) se evidencia que disponer de los residuos RDC tiene sus ventajas y desventajas, porque realizar la disposición de estos residuos tiene beneficios en la reutilización de materiales, pero también puede presentar afectaciones en el medio ambiente con el proceso de disposición final.

Por otra parte, se siguen presentando falencias en la clasificación de RCD porque según la Guía para la elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición - RCD en obra de Parrado, C. (2015) indica que los residuos se clasifican como aprovechables y no aprovechables, pero los RDC no presentan una clasificación específica dentro de la normativa nacional. Esta investigación busca demostrar que a partir de algunos residuos de construcción y demolición se pueden generar nuevos materiales que pueden ser implementados en construcciones verticales o urbanísticas.

Este trabajo busca investigar alternativas para el uso de residuos de demolición y construcción, aumentando las ventajas en la reutilización de recursos y minimizando el impacto que generan estos residuos, Así mismo plantear que los RDC pueden ser mayormente utilizados y clasificados dentro del margen de aprovechables para no solo tener como alternativa terminar en botaderos de disposición de escombros.

## 2.2. Estado del arte

La generación masiva de RCD no solo plantea desafíos ambientales, sino también económicos y sociales, dado el impacto negativo que pueden tener en el medio ambiente y en la calidad de vida de las comunidades locales.

El principal enfoque de este proyecto de investigación es abordar la problemática desde una perspectiva innovadora, con el fin de identificar métodos de disposición que permitan la reutilización de RCD, específicamente residuos de concreto (cilindros de concreto) y escombros de mampostería en arcilla, para producción de nuevos materiales a su uso en procesos constructivos.

| Año  | N. Autor(es)   | Título  | Objetivo  | Conclusiones   | Bibliografía   |
|------|--|---|---|--|--|
| 2021 | Luis Gustavo Mateo Rojas - Percy Andrés Iribarren Ibañez | REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN PARA LA FABRICACIÓN DE CONCRETO RECICLADO A UTILIZAR EN COLUMNAS | Esta investigación analizó la reutilización de estos residuos incorporándolos en el diseño de las mezclas para la fabricación de concreto estructural, y así reducir la disposición final inadecuada en bienes de dominio público (playas, parques, vías, áreas naturales protegidas, etc.) e hídrico (cauces, riberas de los cuerpos de agua, fajas marginales, etc.), mediante el análisis de muestras de concreto reciclado, determinando el porcentaje de agregado grueso reciclado óptimo a ser utilizado en el diseño de concreto estructural, comparando los datos obtenidos de la prueba de resistencia a la compresión con las especificaciones de la norma E.060 "Concreto Armado" del reglamento nacional de edificaciones del Perú. | La elaboración de concreto estructural a utilizar en columnas, incorporando en la mezcla agregado grueso reciclado en un 40%, 60% y 80% con un curado de 28 días, no mostró resultados técnicamente viables. Los valores de resistencia a la compresión obtenidos en la prueba de laboratorio de resistencia de materiales se encuentran por debajo de la resistencia mínima requerida por la norma E.060 del reglamento nacional de edificaciones del Perú, sin mostrar diferencias significativas entre los tipos de mezcla elaborados. Asimismo, se plantea la hipótesis de la relación indirectamente proporcional entre la resistencia a la compresión y el porcentaje de sustitución de AGN (agregado grueso natural) por AGR (agregados gruesos reciclados), por lo que en estudios futuros se debe analizar esta correlación utilizando muestras de gran tamaño. | Rojas, M. G. L. (2021). Reutilización de residuos de construcción y demolición para la fabricación de concreto reciclado a utilizar en columnas [Tesis de licenciatura, Universidad Científica del Sur]. Repositorio Científica. <a href="https://hdl.handle.net/20.500.12805/2181">https://hdl.handle.net/20.500.12805/2181</a> |

|      |   |  |  |   |   |
|------|---|--|--|---|---|
| 2019 | Machaca Iquiapaza, Gisela   | Evaluación de concreto reciclado, proveniente de procesos de demolición y construcción de viviendas para su reúso en concreto simple en la ciudad de Juliaca   | <p>Evaluar el concreto reciclado que se genera por procesos de demolición y construcción de viviendas, para el reúso en concreto simple en la ciudad de Juliaca.</p> <p>Zonificar la ciudad de Juliaca en función del volumen de producción de residuos sólidos provenientes de las demoliciones de construcciones de material noble.</p> <p>Caracterizar el concreto reciclado proveniente de la demolición de construcciones de material noble para su reúso con base a estándares ya establecidos.</p> <p>Plantear el reúso del concreto reciclado según su caracterización como agregado en el concreto simple en proporciones adecuadas.</p>  | <p>Se ha logrado evaluar el concreto reciclado, generados por procesos de demolición y construcción de viviendas para el reúso en concreto simple en la ciudad de Juliaca, para este concreto con agregado reciclado el porcentaje de sustitución en 5% respecto al agregado natural supera el objetivo con 7.73% de la resistencia de diseño a la edad de 28 días, y la sustitución al 10% del peso. Del agregado natural, se encuentra en el objetivo de las resistencias del concreto simple.</p> <p>El reemplazo del agregado reciclado al 5 y 10% en el agregado natural por peso, es recomendable su uso para concretos simples, por los resultados obtenidos en la investigación supera el objetivo planteado. Sin remediar se recomienda hacer estudios a cantidad de porcentajes de reemplazo, así como de 15%.</p>  | <p>Machaca Iquiapaza, G. (2019, 13 de septiembre). Evaluación de concreto reciclado, proveniente de procesos de demolición y construcción de viviendas para su reúso en concreto simple en la ciudad de Juliaca [Tesis de Licenciatura, Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil]. Repositorio UPEU. <a href="http://hdl.handle.net/20.500.12840/2714">http://hdl.handle.net/20.500.12840/2714</a></p> |
| 2020 | Lozano Ojeda, Fernando Ciro - Sagastegui Calvinapon, Wilson Ernesto | Influencia del reemplazo de agregado natural por agregado de concreto reciclado, sobre las propiedades mecánicas del concreto, para el diseño de edificaciones | <p>Determinar la influencia del reemplazo de agregado natural por agregado de concreto reciclado sobre las propiedades mecánicas del concreto, compresión, flexión y adherencia, para el diseño de edificaciones. Elaborar un diseño de mezcla de acuerdo al ACI 211 a partir de la caracterización de los agregados para su posterior reemplazo con agregado de concreto reciclado con TMN 1/2".</p> <p>Realizar el ensayo de asentamiento para los diferentes porcentajes de reemplazo de agregado natural por agregado reciclado, con un asentamiento no menor de 2".</p> <p>Determinar la resistencia a sulfatos, desgaste por abrasión, pH y alcalinidad e índice de forma de los agregados usados en la elaboración de concreto estructural.</p> <p>Calcular el coeficiente de Poisson del concreto elaborado, a partir de los ensayos de resistencia a la compresión.</p> | <p>El uso del agregado de concreto reciclado, al 95% de confiabilidad influye significativamente en las propiedades mecánicas del concreto, en la resistencia promedio a la compresión de 248 kg/cm<sup>2</sup>, a flexión de 117 kg/cm<sup>2</sup> y a la adherencia de 64 kg/cm<sup>2</sup> en torno al diseño de edificaciones, con p-valores de 0.000, 0.001 y 0.002, menores que el p-valor de 0.05, siendo significativamente heterogéneo al valor patrón de 0%ACR.</p> <p>El diseño de mezcla de acuerdo al ACI -211, determinó que las proporciones de los agregados son 1:3:5 (Cemento: Arena: piedra – A:AF:AG) para una relación agua cemento a/c=0.56, obteniendo una resistencia final de 246 kg/cm<sup>2</sup>.</p> <p>Se realizó el ensayo de asentamiento del concreto con los diferentes porcentajes de reemplazo de agregado natural por agregado de concreto</p> | <p>Lozano Ojeda, F. C., &amp; Sagastegui Calvinapon, W. E. (2020, marzo). Influencia del reemplazo de agregado natural por agregado de concreto reciclado, sobre las propiedades mecánicas del concreto, para el diseño de edificaciones [Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Trujillo]. DSpace UNITRU. <a href="https://hdl.handle.net/20.500.14414/16070">https://hdl.handle.net/20.500.14414/16070</a></p>  |

|      |   |   |  |  |   |
|------|---|---|--|--|---|
|      |   |   |  | reciclado, obteniendo asentamiento no menor a 2''; por lo cual se evitó el uso de aditivos plastificantes.   |   |
| 2020 | Rocha-Pardo, Julián Ricardo   | Elementos de construcción a partir de residuos de construcción y demolición en Bogotá | Elaborar un estudio que permita la identificación y aprovechamiento de los RCD como insumo para la obtención de productos.<br>Caracterizar los residuos de construcción y demolición que se generan en la ciudad de Bogotá.<br>Definir los materiales que se producen a partir de residuos de construcción y demolición, identificando sus componentes.<br>Determinar la aplicabilidad de los RCD para productos que se pueden realizar dada la existencia en el mercado | Dentro de las conclusiones es importante resaltar la gran necesidad que genera buscar una solución a los RCD en la ciudad de Bogotá, liderada por la administración podría generar herramientas y permitirse la creación de Plantas de transformación, ampliación de las zonas de almacenamiento, separadas del entorno urbano y ambiental, así como mayor control de los residuos generados y aumentando el porcentaje de reciclaje y reutilización de los mismos.<br>En la ciudad de Bogotá no existe un modelo adecuado de gestión de residuos de construcción y demolición, a pesar de que las entidades gubernamentales realizan estudios y controles sobre los generadores, aún se presentan muchos botaderos clandestinos, que perjudican el medio ambiente y los cuerpos de agua de la ciudad. | Rocha Pardo, J. R. (2020). Elementos de construcción a partir de residuos de construcción y demolición en Bogotá. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia <a href="https://hdl.handle.net/10983/24803">.https://hdl.handle.net/10983/24803</a> |
| 2020 | Wilson David Losada Beru - Laura Alejandra Montilla Rodríguez - Julieth Alejandra Villarraga Diaz | Diagnóstico de RCD para plaquetas en muros divisorios                                 | Implantación de los procesos para la reutilización de los residuos de construcción y demolición en la ciudad de Girardot para la producción de paneles prefabricados en base a la experiencia en este tema.  | Tomando en cuenta los materiales necesarios para un concreto convencional el cual es de \$ 142.193,00 x m3 y uno con RCD \$129.608,00 x m3 , el cual muestra una disminución de \$ 12.585,00 x m3 , este representa una disminución en los gastos de inversión para un concreto, además de las ventajas de la reducción de la contaminación ambiental, el cual también se refleja en costos. Estos costos por m3 de cada concreto que se use, pueden generar un ahorro del 8,85 % al elaborar concretos con RCD en comparación con un concreto convencional  | Villarraga,J.,Losada,W. y Montilla,L. (2020).Diagnóstico de RCD para plaquetas en muros divisorios.(trabajo de grado).Corporación Universitaria Minuto de Dios. Girardot-Colombia   |

*Tabla 1. Estado del arte*

| <b>Año</b> | <b>N. Autor(es)</b>   | <b>Conclusiones</b>   | <b>Vacíos Identificados</b>  | <b>Aporte del Proyecto</b>   |
|------------|---|---|--|--|
| 2021       | Luis Gustavo Mateo Rojas - Percy Andrés Irribarren Ibañez   | La reutilización de RCD en la fabricación de concreto estructural no mostró resultados técnicamente viables debido a la baja resistencia a la compresión obtenida.  | Se identifica la necesidad de analizar la correlación entre resistencia a la compresión y porcentaje de sustitución de Agregados reciclados en estudios futuros. | El proyecto buscará implementar un método de disposición que permita la reutilización eficiente de residuos de concreto y mampostería, explorando nuevas formas de uso en la construcción vertical.  |
| 2019       | Machaca Iquiapaza, Gisela   | Se recomienda el uso de concreto reciclado en proporciones del 5% y 10% respecto al agregado natural en concreto simple, ya que supera los objetivos de resistencia a la edad de 28 días.                     | No se aborda la posibilidad de utilizar otros tipos de RCD en la construcción.   | El proyecto explorará la viabilidad de utilizar residuos de concreto y mampostería en la producción de nuevos materiales para mejorar la sostenibilidad en la construcción vertical.   |
| 2020       | Lozano Ojeda, Fernando Ciro - Sagastegui Calvanapon, Wilson Ernesto                               | Se determina que el reemplazo de agregado natural por agregado de concreto reciclado influye significativamente en las propiedades mecánicas del concreto.  | No se menciona la aplicación específica de este método en la construcción vertical.  | El proyecto se centrará en evaluar la influencia del reemplazo de agregado natural por RCD en la producción de materiales para la construcción vertical, considerando su viabilidad técnica y económica.   |
| 2020       | Rocha-Pardo, Julián Ricardo   | Se destaca la necesidad de implementar un modelo adecuado de gestión de RCD en Bogotá, liderado por la administración y con la creación de plantas de transformación y ampliación de zonas de almacenamiento. | Se señala la falta de un modelo de gestión adecuado de RCD en Bogotá.  | El proyecto buscará proponer soluciones innovadoras para el manejo y aprovechamiento de RCD en la construcción vertical, contribuyendo a la reducción de la contaminación ambiental y al desarrollo sostenible de la ciudad.                             |
| 2020       | Wilson David Losada Beru - Laura Alejandra Montilla Rodríguez - Julieth Alejandra Villarraga Diaz | Se evidencia que el uso de RCD en la construcción puede generar un ahorro significativo en costos y una reducción de la contaminación ambiental.  | No se profundiza en la aplicación específica de este método en la construcción vertical.   | El proyecto se enfocará en identificar y desarrollar métodos de disposición de RCD que puedan ser aplicados de manera eficiente en la construcción vertical, contribuyendo a la sostenibilidad y la reducción de costos en el sector de la construcción. |

*Tabla 2. Análisis estado del arte*

El estado del arte destaca avances en la reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD) en la producción de concreto, pero también resalta áreas críticas que requieren atención. Aunque varios estudios han explorado el uso de RCD en mezclas de concreto estructural, persisten desafíos en la optimización de los porcentajes de sustitución para cumplir

con las normativas de calidad. Además, se necesita investigar más sobre los efectos a largo plazo en propiedades mecánicas, durabilidad y resistencia.

La falta de un modelo de gestión adecuado para RCD en ciudades como Bogotá resalta la necesidad de intervención gubernamental. Aunque algunos estudios proporcionan análisis económicos, se requiere un enfoque integral que considere aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales en futuras investigaciones y prácticas relacionadas con la reutilización de RCD en la construcción.

### **2.3. Marco Conceptual**

#### **Desperdicios de mampostería en arcilla:**

Se refieren a los residuos generados durante los procesos constructivos, que incluyen cortes en los mampuestos para ajustar la modulación, rupturas accidentales del material y pérdidas durante el trasiego en obra, lo que da lugar a la obtención de casquetes, fragmentos y pedazos de bloques o ladrillos. Estos desperdicios pueden acumularse en grandes cantidades si no se controla su disposición final, lo que puede dar lugar a la contaminación ambiental o a su destino en vertederos de escombros.

**Figura 1**  
*Desperdicios de mampostería en arcilla.*



Fuente. <https://images.app.goo.gl/pNAhN16Jh9wdNiKt9>

### **Cilindros de muestras en concreto:**

Las muestras de cilindro se realizan con el objetivo de llevar a cabo determinadas pruebas para estipular la resistencia a la compresión y la calidad del material. Por consiguiente, se busca conocer la calidad del concreto con el objetivo de diagnosticar la calidad del concreto utilizado en dicha obra y asegurar que cumple con los estándares establecidos por la NRC-10.

**Figura 2.**

*Cilindros de muestras en concreto.*



SIICA (2021) Fuente. <https://images.app.goo.gl/cajZgoZoVyP2er7u5>

### **Agregados reciclados:**

Los agregados reciclados son aquellos que ofrecen una alternativa sostenible, ya que son obtenidos por medio de los desperdicios de mampostería en arcilla. Esto ayuda de gran manera a reemplazar los agregados convencionales, contribuyendo en la reducción de la sobreexplotación de las canteras naturales. A su vez, al utilizar los agregados reciclados disminuye la generación de desperdicios y fomenta la reutilización de los desechos de obra.

**Figura 3**

*Agregados reciclados.*



Fuente. <https://images.app.goo.gl/CiZPPcC3dCFioACPA>

## **Residuos de construcción y demolición (RCD):**

Los RCD generan una afectación al espacio público, ya que son los grandes culpables del deterioro ambiental y paisajístico de cualquier ciudad de Colombia. Generalmente, estos residuos son restos sólidos que salen después de la terminación de una obra. Además, al no tener un control respecto a cuánto desperdicio se vota anualmente por proyecto, es más difícil reglamentar el porcentaje (%) de residuos que se puede producir. Los residuos más comunes en la construcción son: Los escombros de restos de concreto, cerámica y mampostería proveniente de recortes o materiales rotos. [4]

### **2.4. Marco Normativo**

Este proyecto enmarca diversas normativas y regulaciones que se basan en la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) y el incentivar las prácticas sostenibles en el sector de la construcción en Colombia. En primer lugar, la Ley 1259 de 2008 establece los principios y normas generales para la gestión integral de residuos sólidos en Colombia. En el contexto de los residuos de construcción y demolición (RCD), esta ley promueve su reutilización, reducción y reciclaje como parte de una gestión sostenible de los mismos. Además, establece directrices para la planificación, organización, ejecución y evaluación de acciones relacionadas con la gestión de los RCD.

Por otro lado, el Decreto 1077 de 2015 complementa la Ley 1259 al establecer los procedimientos y criterios específicos para la gestión integral de los RCD producidos por construcciones y demoliciones. Este decreto regula aspectos como la clasificación, separación, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de los RCD. También define responsabilidades, obligaciones y mecanismos de seguimiento y control para garantizar una adecuada gestión de estos residuos.

Las normativas anteriormente mencionadas son fundamentales en la regulación de la gestión de RCD en Colombia, estas promueven la implementación de prácticas sostenibles en el sector de la construcción, Sin embargo, se destaca que aún existen desafíos en su aplicación adecuada, haciendo énfasis en el tema de reutilización y aprovechamiento de estos materiales. Por lo tanto, el proyecto pretende considerar como estas normativas pueden ser complementadas con acciones específicas. Además, se debe de trabajar en la promoción de prácticas que incentiven el adecuado manejo y disposición de residuos de obra y el desarrollo de tecnologías que permitan el ya mencionado manejo óptimo de desperdicios.

- La norma ASTM C404 dicta las exigencias granulométricas para los agregados en morteros de inyección, señalando que el agregado de gran grosor debe tener entre un 95% y un 100% de partículas que superen el tamiz de 4.75 mm y un 5% más en el tamiz de 150  $\mu$ m. Estos valores garantizan una correcta distribución que promueve el flujo de la mezcla y evita obstáculos, fomentando una adecuada cohesión y penetración en el mortero.
- La norma NTC 673-10 establece los procedimientos para evaluar la resistencia a compresión de morteros, garantizando la calidad y durabilidad de las estructuras. Se requiere que los morteros alcancen un mínimo de 20 MPa a los 28 días y al menos 14 MPa a los 7 días, equivalente al 70% de la resistencia final. Las muestras que no cumplen con estos valores deben ser descartadas.
- Norma técnica NTC colombiana 77 Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos, determina la distribución de los tamaños de las partículas que componen los agregados finos y gruesos, para el análisis por tamizado de estos agregados.

### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

Este diseño metodológico se fundamenta en la organización de los procesos que se llevarán a cabo para el desarrollo de esta investigación. Presenta la cantidad y tipos de procesos que responden a los objetivos planteados previamente.

#### **3.1. Tipo de investigación**

Esta investigación adopta un enfoque aplicativo, ya que se centra en lograr uno de los objetivos específicos con el propósito de implementarlo en la práctica.

#### **3.2. Metodología**

La metodología de este trabajo de investigación se compone de tres fases fundamentales para garantizar su cumplimiento.

1. **Fase de investigación y recolección de datos:** Esta fase es implementada para el análisis de desperdicios de concreto y mampostería para determinar dónde y qué cantidad se presenta:
  - 1.1 Revisión documental para identificar los lugares donde se presentan estos desperdicios y las cantidades porcentuales que se tienen.
  - 1.2 Análisis documental de la información obtenida para determinar en donde se puede obtener el beneficio de la reutilización de estos desperdicios.
  - 1.3 Elaboración de un cuadro comparativo que muestra los impactos de no aprovechar los desperdicios de concreto - mampostería y los beneficios al disponer de ellos adecuadamente.

2 **Fase de identificación:** Se determinan las alternativas de disposición que se tienen para estos desperdicios de mampostería:

2.1 Estudiar algunos diseños de mezcla presentados en trabajos de investigación donde se abarque un campo más amplio en las alternativas de uso del agregado reciclado.

2.2 Analizar los diseños de mezcla donde se determinen las cantidades de cemento, agua, arena y escombros de mampostería que serán usados como agregado reciclado y así identificar las mejores opciones.

2.3 Analizar las resistencias presentadas en los diseños que dependerán de las proporciones de RDC utilizadas para determinar la mejor opción.

2.4 Exponer las conclusiones del uso del agregado reciclado, comparando las proporciones de RCD utilizado para proporcionar ideas más claras sobre su uso.

3. **Fase de aplicación:** Se detallan los pasos necesarios para lograr el objetivo de obtener un mampuesto eficiente para la construcción de muros o adoquines. Esta fase abarca la realización e implementación del mampuesto proporcionado.

**3.1** Mampuesto de concreto reciclado:

**3.1.1.** Seleccionar los cilindros de concreto que presentan resultados positivos a 28 días y las muestras a 56 días serán desechadas y recopilar los resultados de sus muestras para tenerlos como evidencia de su resistencia óptima.

**3.1.2.** Cortar y convertir cada uno de los cilindros que tiene 10 cm de diámetro por 20 cm de alto a mampuestos con dimensiones de 7 cm de ancho x 7 cm de espesor x 20 cm de longitud.

**3.1.3.** Realizar un murete de muestra o un piso de adoquín para implementar este mampuesto obtenido a partir de dichos cilindros.

**3.1.4.** Recopilar los resultados en material fotográfico donde se evidencia la implementación de los mampuestos reciclados para exponer su uso.

**3.1.5.** Exponer las conclusiones del uso de estos mampuestos, comparándolos con el rendimiento de un mampuesto tradicional de dimensiones similares y así determinar su factibilidad de uso.

### **3.3. Cronograma**

#### **Fase 1: Investigación y Recolección de Datos**

- *Semana 1-2:* Revisión documental para identificar lugares y cantidades de desperdicios.
- *Semana 3-4:* Análisis de la información obtenida y elaboración del cuadro comparativo.
- *Semana 5:* Extracción de materiales necesarios para el desarrollo del diseño de la mezcla y el mampuesto.

#### **Fase 2: Identificación de Alternativas de Disposición**

- *Semana 6-7:* Diseño de mampuestos y cuantificación de la cantidad necesaria.
- *Semana 8-9:* Análisis de mezcla de concreto con agregado reciclado de mampostería.

#### **Fase 3: Evaluación de Mezclas con agregado reciclado.**

- *Semana 10-11:* Análisis de los resultados propuestos por datos informativos con respecto a la implementación de agregado reciclado.
- *Semana 12-13:* Análisis de resultados y exposición de conclusiones sobre la factibilidad y el uso de agregado en mezclas de construcción.

#### **Fase 4: Aplicación de la Metodología**

- *Semana 14-15:* Selección de cilindros de concreto y preparación de mampuestos.

- *Semana 16-17:* Implementación de mampuestos y recopilación de resultados fotográficos.
- *Semana 18:* Análisis de resultados respecto al registro fotográfico. Identificando sus características físicas, entre otras.
- *Semana 15-16:* Exposición de conclusiones sobre el uso de mampuestos reciclados.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Propuesta.**

#### **4.1.1 Desarrollo de objetivo No. 1**

El manejo de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), particularmente los desperdicios de concreto y mampostería, es un aspecto crítico en la sostenibilidad de la industria de la construcción. Las zonas específicas a abordar son Bogotá y la Sabana, ya que son regiones en constante desarrollo urbano, lo que genera grandes cantidades de estos residuos. La adecuada identificación y cuantificación de estos desperdicios es esencial para implementar estrategias de manejo eficiente y sostenible.

Para dar inicio a esta investigación se desarrollará el primer objetivo que busca analizar los puntos críticos de generación de RCD en Bogotá y la Sabana, enfocándose en concreto y mampostería. Para ello, se propone un enfoque metódico para la recolección y análisis de datos, que permitirá comprender mejor los volúmenes y distribución de estos residuos. A continuación, se presenta un esquema paso a paso que guiará la recolección de la información necesaria.

##### **4.1.1.1 Residuos de Construcción y Demolición aprovechados en el Distrito Capital - RCDA**

- **Paso 1:** Utilizando el navegador Google Chrome, se busca la página web oficial del Observatorio Ambiental de Bogotá (Secretaría Distrital de Ambiente, s.f.).

**Figura 4**

Paso 1 del proceso de investigación.



Nota: Imagen de autoría propia. Página web <https://oab.ambientebogota.gov.co/>

- **Paso 2:** Al ingresar en el sitio web, se selecciona el apartado de *Indicadores Ambientales*.

**Figura 5**

Paso 2 del proceso de investigación.



Nota: Camelo, M. D. F. (2021). Observatorio Ambiental de Bogotá. Imagen tomada de <https://oab.ambientebogota.gov.co/>

- **Paso 3:** En el menú de indicadores, se elige la categoría *Suelo* y luego se selecciona el subapartado *Residuos*.

**Figura 6**  
Paso 3 del proceso de investigación.



Nota: Observatorio Ambiental (2021). Imagen tomada de <https://oab.ambientebogota.gov.co/>

- **Paso 4:** A continuación, se debe acceder a la sección de *Residuos de Construcción y Demolición aprovechados en el Distrito Capital (RCDA)*.

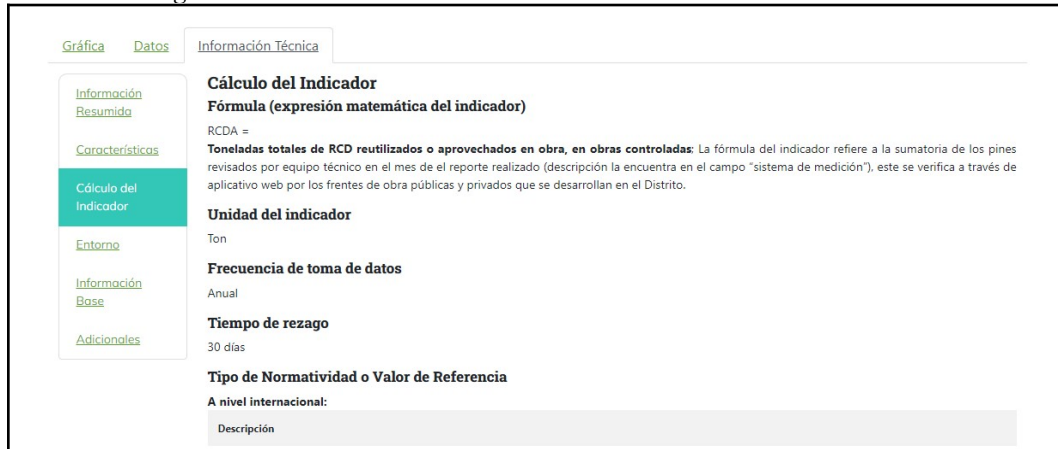
**Figura 7**  
Paso 4 del proceso de investigación.



Nota: Observatorio Ambiental (2021). Imagen tomada de <https://oab.ambientebogota.gov.co/>

- **Paso 5:** En esta página, se puede visualizar una descripción general del indicador. Este indicador presenta los resultados del control y seguimiento a obras de infraestructura en Bogotá, con el objetivo de evaluar el adecuado tratamiento y aprovechamiento de los RCD en las obras constructivas.

**Figura 8**  
Paso 5 del proceso de investigación.



Nota: Observatorio Ambiental (2021). Imagen tomada de <https://oab.ambientebogota.gov.co/>

- **Paso 6:** Una vez en la sección, se puede acceder a una tabla de datos donde se muestran las toneladas de RCD aprovechadas en el Distrito Capital por año.

**Figura 9**  
Parte 1 del paso 6 del proceso de investigación.



Nota: Observatorio Ambiental (2021). Imagen tomada de <https://oab.ambientebogota.gov.co/>

**Figura 10**

Parte 2 del paso 6 del proceso de investigación.

| Periodo | Residuos de Construcción y Demolición aprovechados en el Distrito Capital - RCDA (Ton) |
|---------|--|
| 2014    | 1.281.445  |
| 2015    | 1.601.600  |
| 2016    | 1.073.356  |
| 2017    | 2.339.085,99   |
| 2018    | 1.752.331  |
| 2019    | 1.643.468  |
| 2020    | 1.013.480,60   |
| 2021    | 2.124.425,58   |
| 2022    | 3.097.617  |
| 2023    | 3.912.491  |

Nota: Observatorio Ambiental (2021). Imagen tomada de <https://oab.ambientebogota.gov.co/>

**Análisis de los datos obtenidos (2019-2023)**

Con base en los datos de la tabla que muestra las toneladas de residuos de construcción y demolición aprovechados, se pueden observar las siguientes cifras correspondientes a los años 2019 a 2023:

- **2019:** 1.643.468 toneladas.
- **2020:** 1.013.480,60 toneladas.
- **2021:** 2.124.425,58 toneladas.
- **2022:** 3.097.617 toneladas.
- **2023:** 3.912.491 toneladas.

A partir de esta información, se puede extraer varias conclusiones sobre la gestión de residuos de construcción y demolición en Bogotá durante estos años:

1. **Tendencia creciente:** Desde 2019 hasta 2023, se evidencia un aumento significativo en la cantidad de residuos aprovechados, con una notable subida entre 2021 y 2023. Esto sugiere una mejora en los procesos de reciclaje y reutilización de RCD en la ciudad.
2. **Impacto de la pandemia (2020):** En 2020, se observa una reducción considerable en la cantidad de residuos aprovechados (1.013.480,60 toneladas), lo que podría estar relacionado con la disminución de actividades constructivas debido a la pandemia de COVID-19.
3. **Recuperación post-pandemia:** En los años posteriores (2021-2023), se registra una fuerte recuperación y expansión en el aprovechamiento de residuos, especialmente en 2022 y 2023, con incrementos importantes en comparación con los años anteriores.
4. **Gestión sostenible:** Estos datos reflejan un esfuerzo por parte de la ciudad para mejorar la gestión sostenible de los RCD, al aumentar las toneladas aprovechadas y reincorporadas al ciclo productivo mediante procesos de reciclaje y reutilización, lo que contribuye a la reducción de impactos ambientales.

El análisis de estos datos revela un progreso constante en la gestión de residuos de construcción y demolición en Bogotá. Las cifras demuestran un avance hacia un manejo más sostenible de estos residuos, impulsado por una mayor conciencia ambiental y políticas más estrictas para el control y seguimiento de estas actividades.

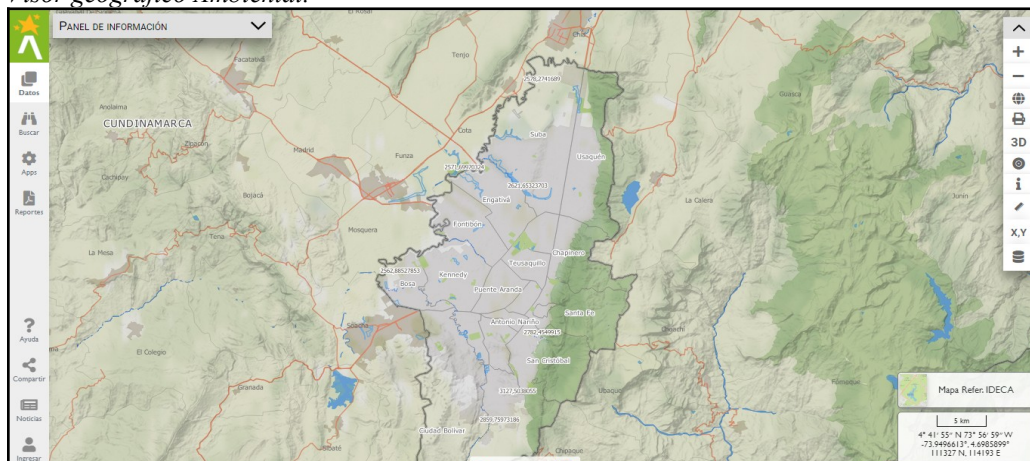
Además, el marco normativo que rige la gestión de los RCD, como el *Decreto 586 de 2015* y la *Resolución 472 de 2017*, establece directrices claras que aseguran la correcta disposición y aprovechamiento de estos residuos, contribuyendo a la protección del medio ambiente y la salud pública.

#### 4.1.1.2 Proyectos que producen residuos de construcción y demolición en Bogotá

Utilizando el mismo portal del observatorio ambiental de Bogotá, también se obtuvieron cuáles y cuántos proyectos están registrados como productores de estos residuos. A continuación, se presenta un esquema paso a paso:

- **Acceso al Visor Geográfico Ambiental:** Dentro del portal del observatorio se dirigió al [Visor Geográfico Ambiental](#) de Bogotá.

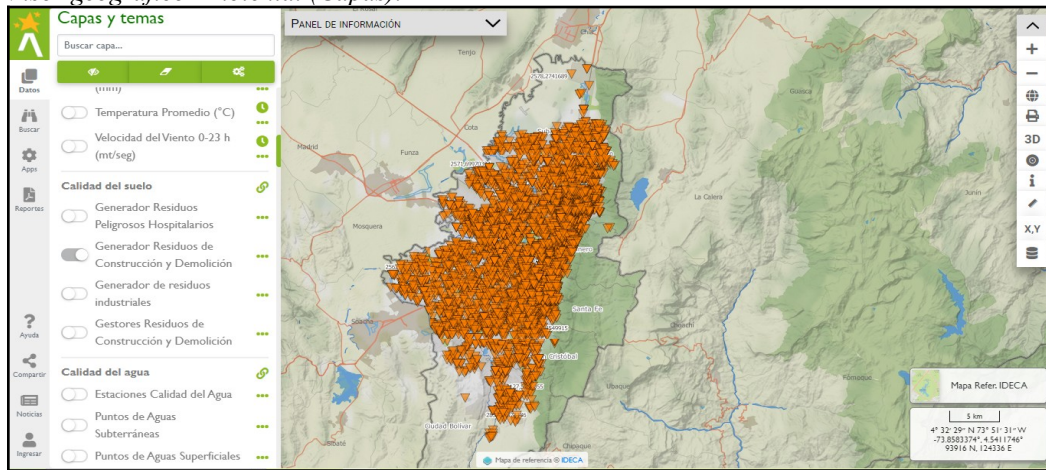
**Figura 11**  
*Visor geográfico Ambiental.*



*Nota:* De Ambiente de Bogotá, S. D. (s. f.). Imagen tomada de <https://visorgeo.ambientebogota.gov.co/>

- **Buscar la capa:** En el visor, se seleccionó la opción "Capas". Luego, en el buscador "Generadores de residuos de construcción y demolición" y se activó.

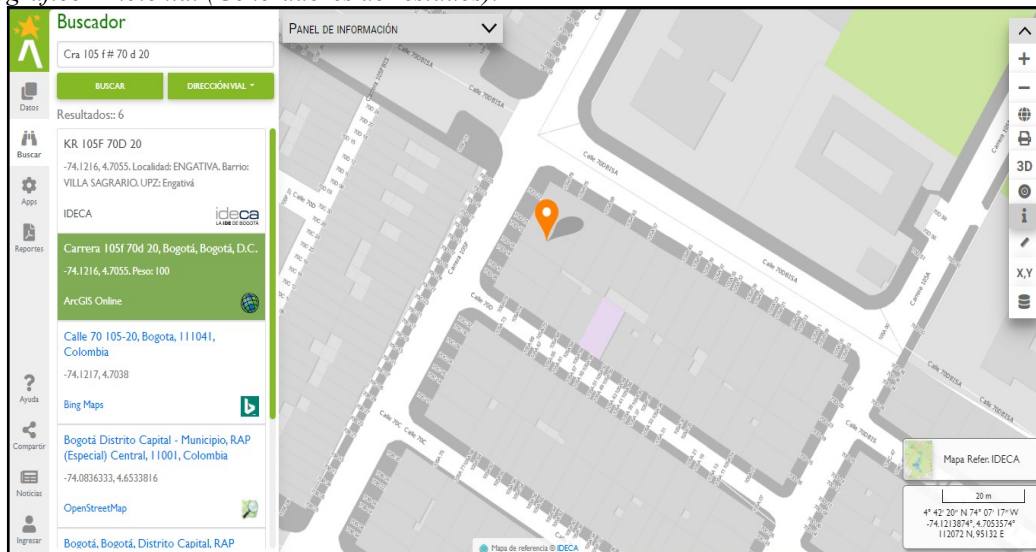
**Figura 12**  
**Visor geográfico Ambiental (Capas).**



Nota: De Ambiente de Bogotá, S. D. (s. f.). Imagen tomada de <https://visorgeo.ambientebogota.gov.co/>

- **Visualizar los puntos de interés:** Al activar la capa, se pueden ver la ubicación de los proyectos constructivos que generan residuos de construcción y demolición en Bogotá.
- **Exploración de los proyectos:** Opcionalmente, se puede consultar los puntos específicos en el mapa para acceder a información detallada de los generadores de residuos.

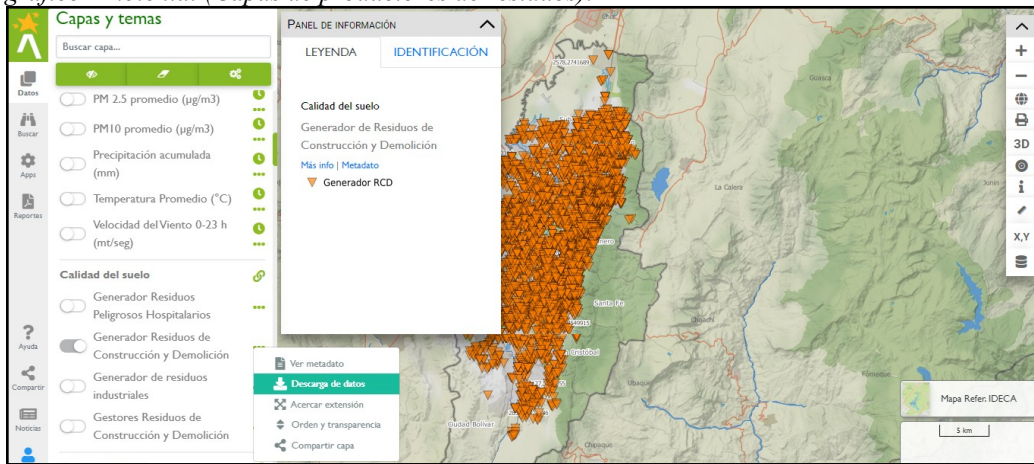
**Figura 13**  
**Visor geográfico Ambiental (Generadores de residuos).**



Nota: De Ambiente de Bogotá, S. D. (s. f.). Imagen tomada de <https://visorgeo.ambientebogota.gov.co/>

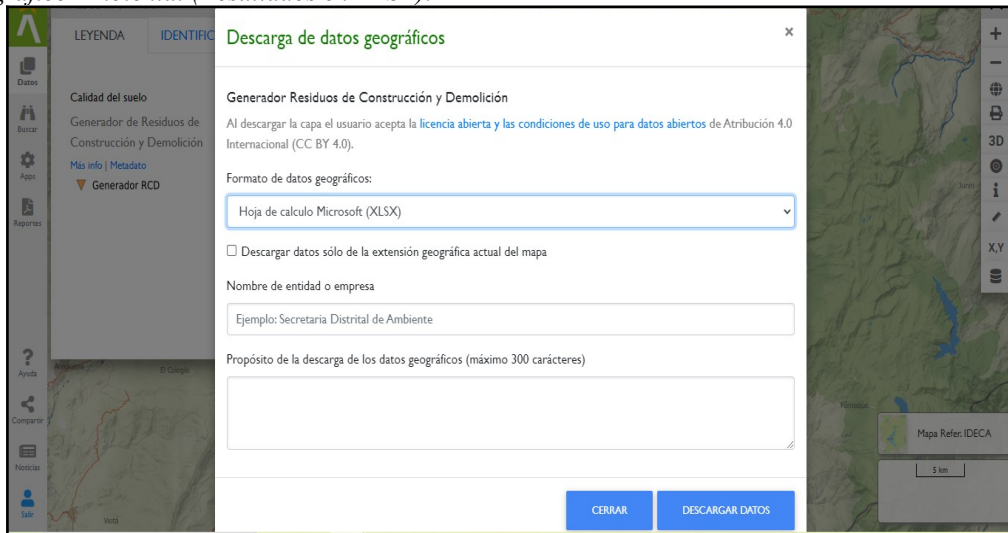
- **Descarga de datos:** Utilizando las opciones de capa, se descargaron todos los datos de los proyectos productores de RCD, lo anterior en formato XLSX

**Figura 14**  
Visor geográfico Ambiental (Capas de productores de residuos).



Nota: De Ambiente de Bogotá, S. D. (s. f.). Imagen tomada de <https://visorgeo.ambientebogota.gov.co/>

**Figura 15**  
Visor geográfico Ambiental (Resultados en XLSX).



Nota: De Ambiente de Bogotá, S. D. (s. f.). Imagen tomada de <https://visorgeo.ambientebogota.gov.co/>

## Análisis de los datos obtenidos

Los generadores de RCD en Bogotá incluyen tanto personas naturales como jurídicas que realizan obras de construcción, remodelación o demolición. Estos actores tienen la responsabilidad de gestionar adecuadamente los residuos generados conforme a la normativa

vigente, en especial la Resolución 1115 de 2012. La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) regula su actividad, identificando puntos de generación mediante el Visor Geográfico Ambiental (VGA). Mediante los datos obtenidos en formato XLSX, se realizó el siguiente análisis:

El archivo contiene una lista de proyectos generadores de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en Bogotá. Cada fila representa un proyecto con las siguientes columnas clave:

1. **objectid:** Identificador único del proyecto.
2. **id\_proy:** Número de identificación del proyecto.
3. **nombre\_proy:** Nombre del proyecto de construcción o demolición.
4. **dir\_proy:** Dirección del proyecto.
5. **nombre\_constructora:** Nombre de la empresa constructora.
6. **pin:** Código interno del proyecto.
7. **Estado:** Estado del proyecto (ACTIVO).
8. **fecha\_inicio:** Fecha de inicio del proyecto.
9. **fecha\_fin:** Fecha estimada o real de finalización del proyecto.
10. **fecha\_actualización:** Fecha en la que se actualizó la información del proyecto.

#### **Análisis preliminar:**

1. **Total, de proyectos activos:** Todos los proyectos listados están marcados como "ACTIVO".
2. **Fechas de inicio y fin:** Los proyectos abarcan fechas desde el 2010 hasta 2023, lo que implica que algunos son proyectos de largo plazo.

3. **Constructoras involucradas:** Hay varias empresas, pero se destaca AMARILO S.A.S. como constructora en múltiples proyectos.

Se proporciona un análisis más detallado sobre la distribución geográfica y temporal de estos proyectos, así como su relación con los residuos de construcción y demolición en Bogotá.

## **Análisis de los Proyectos que Producen Residuos de Construcción y Demolición en Bogotá**

### **Cantidad de Proyectos Activos**

Actualmente, hay 6,129 proyectos activos relacionados con la producción de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en Bogotá.

### **Empresas Constructoras Involucradas**

Las empresas con mayor número de proyectos de RCD en Bogotá son:

- **CODENSA S.A ESP:** 864 proyectos.
- **Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.S.P.:** 228 proyectos.
- **Secretaría de Educación del Distrito:** 196 proyectos.
- **Instituto de Desarrollo Urbano (IDU):** 162 proyectos.
- **Instituto Distrital de Recreación y Deporte (IDRD):** 115 proyectos.

Esto muestra que tanto empresas privadas como entidades gubernamentales tienen un rol significativo en la producción de residuos de construcción en la ciudad.

### **Fechas Clave de los Proyectos**

- **Fecha de inicio más antigua:** El proyecto más antiguo data del **30 de diciembre de 1899**, lo cual parece ser un error o un dato mal registrado.

- **Fecha de finalización más reciente:** El proyecto más lejano en término tiene una fecha de finalización estimada para el **31 de enero de 2035**.
- **Mediana de las fechas de inicio:** La mayoría de los proyectos comenzaron alrededor del **17 de septiembre de 2018**.

Los datos de este proyecto investigativo revelan que Bogotá cuenta con una extensa cantidad de proyectos que generan residuos de construcción y demolición (RCD). Estos proyectos incluyen tanto iniciativas privadas como públicas, gestionadas por entidades como CODENSA y la Secretaría de Educación del Distrito. La amplia variedad y el rango temporal de estos proyectos reflejan una actividad constructiva sólida y continua. En este contexto, la herramienta Visor Geográfico Ambiental resulta crucial para el seguimiento y control de estas actividades, asegurando el cumplimiento de las normativas relacionadas con la gestión de los RCD.

#### **4.1.1.3 Residuos RCD en Bogotá**

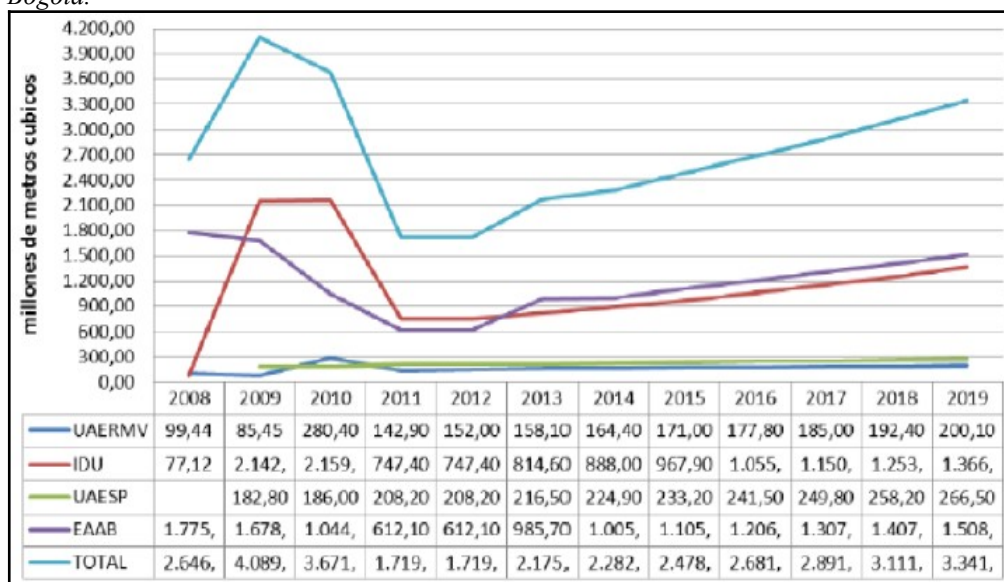
En Colombia, se estima que cada año se generan alrededor de 7,000 metros cúbicos de concreto premezclado. En el último año reportado por el DANE, que abarca desde septiembre de 2017 hasta agosto de 2018, se produjeron 6,663.4 metros cúbicos de este material (DANE, 2018). Además, se calcula que en el país se generan más de 22 millones de toneladas de residuos de construcción (MADS, 2017). Estas cifras ofrecen una visión aproximada de la magnitud del problema ambiental relacionado con el manejo de estos residuos, considerando los grandes volúmenes que ocupan y la constante falta de espacio para su disposición en Colombia. Esta problemática se refleja en el caso en el que la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá (SDA) clausuró una escombrera ilegal en la calle 163 con carrera 4ta, donde encontraron una montaña

de 55,000 metros cúbicos de basura y desechos de construcción, lo que representaba un riesgo de deslizamiento para la comunidad de Santa Cecilia en Usaquén (Cuevas, 2017)[10].

Según la investigación realizada por la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos, en Bogotá, los principales responsables de la generación de residuos de construcción y demolición (RCD) son 15 contratistas públicos. Estos contratistas, entre los que destacan el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), producen juntos poco más del 50% de los RCD del año 2012. Este fenómeno está en crecimiento, y se prevé que para finales de 2018 se generen alrededor de 3,200 metros cúbicos de estos residuos.

**Figura 16**

Gráfico comparativo de generación de residuos de construcción y demolición por parte de las entidades del sector público en Bogotá.



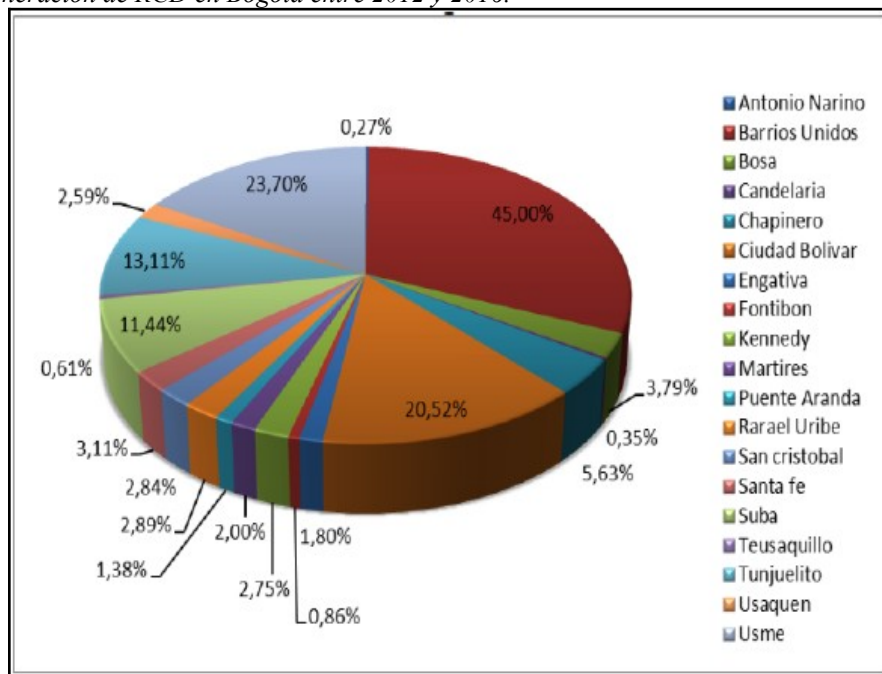
Nota: Rodriguez L. Fabian M. y Terán C. Cesar L. (2018). Imagen tomada de Formulación de un plan de gestión para el uso de agregados de concreto reciclado en concretos hidráulicos para una empresa constructora en la ciudad de Bogotá.

En cuanto al sector privado, los datos estadísticos obtenidos de los censos del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y la Cámara Colombiana de la

Construcción (CAMACOL) muestran que en 2009 se generaron aproximadamente 1.42 metros cúbicos de escombros por cada metro cuadrado de construcción. Esto resultó en una producción cercana a 4.3 millones de metros cúbicos de residuos, compuestos principalmente de asfalto, concreto, arcilla, arena, lodo, materiales orgánicos y rocas.

Según los datos de las principales administradoras de escombros en Bogotá, como Cemex, la Fiscala y Cantarrana, solo el 10% de los residuos que se reciben diariamente en la ciudad son realmente residuos de construcción y demolición. Para 2009, las localidades que más contribuyeron a estos residuos fueron Barrios Unidos (45%), Usme (23.7%) y Ciudad Bolívar (20.52%). Los principales tipos de residuos fueron concreto (499 toneladas), tierra (346 toneladas), ladrillo (339 toneladas) y cerámica (79 toneladas).

**Figura 17**  
Gráfica de la generación de RCD en Bogotá entre 2012 y 2016.



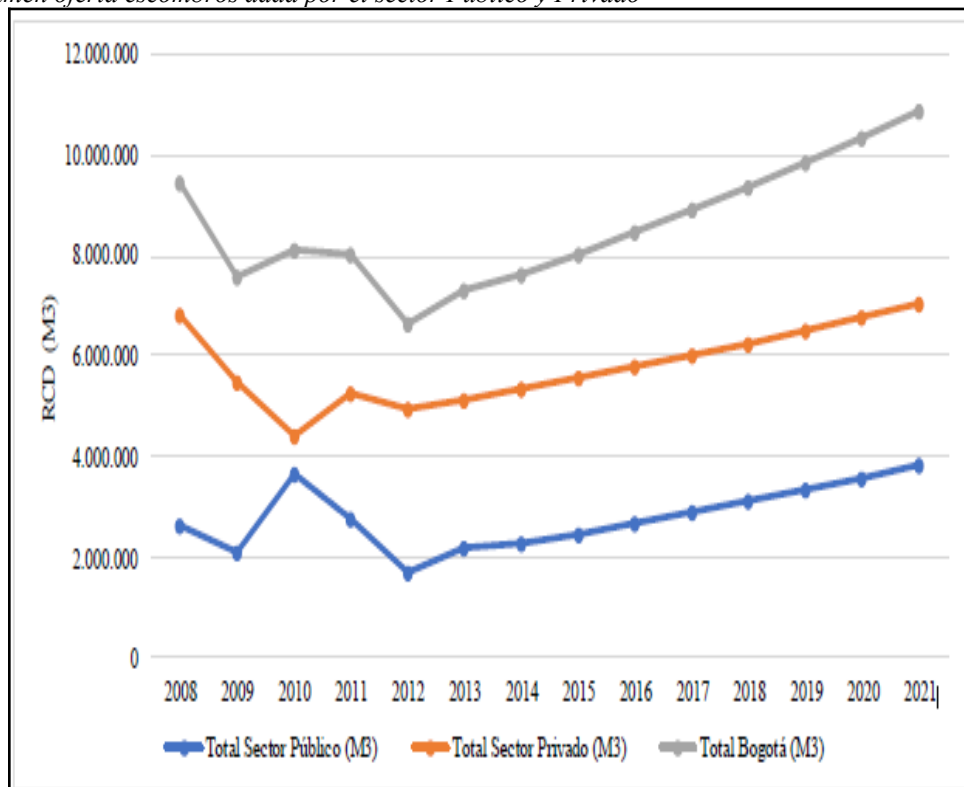
Nota: Rodriguez L. Fabian M. y Terán C. Cesar L. (2018). Imagen tomada de Formulación de un plan de gestión para el uso de agregados de concreto reciclado en concretos hidráulicos para una empresa constructora en la ciudad de Bogotá.

En la ciudad de Bogotá se generaron poco más de 32 millones de toneladas de RCD en el periodo entre 2012 y 2016.

#### 4.1.1.4 Aprovechamiento de RCD

En cuanto al aprovechamiento y tratamiento de los RCD, la UAESP estimó que cerca de un 37% de los RCD son aprovechados en la ciudad de Bogotá, siendo cifras similares a las presentadas en ciudades como en Cali (45%) y Medellín (30%), y consistentes con lo propuesto por la Secretaria Distrital de Ambiente, que en 2017 evaluó un 25% de aprovechamiento de estos materiales.

**Figura 18**  
Gráfica resumen oferta escombros dada por el sector Público y Privado



*Nota: Rodríguez L. Fabian M. y Terán C. Cesar L. (2018). Imagen tomada de Formulación de un plan de gestión para el uso de agregados de concreto reciclado en concretos hidráulicos para una empresa constructora en la ciudad de Bogotá.*

Se puede evidenciar que Bogotá presenta la más alta tasa de generación de residuos de construcción y demolición con un total de 18'314.429 toneladas y 12'287.619 metros cúbicos; cifras muy superiores a las generadas por Medellín, que se ubica en el segundo lugar con un total de 1'778.522 toneladas y 1'185.681 metros cúbicos para el año 2013[11].

| <b>TASA DE GENERACIÓN DE RCD - 2013</b> |                  |                       |
|---|------------------|-----------------------|
| <b>UBICACIÓN</b>                        | <b>TONELADAS</b> | <b>METROS CÚBICOS</b> |
| BOGOTÁ                                  | 18.314.429       | 12.287.619            |
| MEDELLÍN                                | 1.778.522        | 1.185.681             |

*Tabla 3. Residuos de construcción y demolición para el año 2013 en Colombia*

Nota: Rodriguez L. Fabian M. y Terán C. Cesar L. (2018). Imagen tomada de Formulación de un plan de gestión para el uso de agregados de concreto reciclado en concretos hidráulicos para una empresa constructora en la ciudad de Bogotá.

#### 4.1.1.5 Aprovechamiento de residuos de construcción y demolición entre el año 2019 y 2023 en Bogotá.

| <b>AÑO</b>  | <b>TONELADAS APROVECHADAS</b> | <b>ANÁLISIS</b>  |
|-------------|-------------------------------|--|
| <b>2019</b> | 1.643.468                     | Inicio del análisis antes de presentarse la pandemia.                          |
| <b>2020</b> | 1.013.480,60                  | Se presenta una reducción significativa por el problema global de la pandemia. |
| <b>2021</b> | 2.124.425,58                  | Se presenta una recuperación en el mercado de la construcción y su producción. |
|             |                               | Se logra un crecimiento significativo en                                       |

|             |           |   |
|-------------|-----------|---|
| <b>2022</b> | 3.097.617 | comparación a los dos años anteriores, aumentando el aprovechamiento de estos residuos.                             |
| <b>2023</b> | 3.912.491 | Se implementan nuevas medidas con el aumento de los RCD aprovechados, optando por implementar procesos sostenibles. |

*Tabla 4. Resumen de información de acuerdo a la generación de RCD*

#### 4.1.1.6 Conclusiones

- ***Desarrollo de la Administración de RCD: Avances en la Sostenibilidad***

El aumento notable en la cantidad de RCD utilizados en Bogotá entre 2019 y 2023, particularmente desde 2021, indica un progreso positivo hacia una administración más sustentable de estos desechos. Este incremento se relaciona con la implementación de estrategias de reciclaje y reutilización más eficaces, lo que evidencia una mayor aplicación de prácticas de economía circular en el sector de la edificación urbana. La producción en masa de RCD en Bogotá y la Sabana sugiere que estos avances forman parte de un proceso todavía en desarrollo, en el que los esfuerzos deben continuar intensificándose para abordar los retos ambientales y logísticos que conlleva la gestión de grandes cantidades de desechos.

- ***Efecto de la Pandemia: Transformaciones y Ajustes en el sector***

La reducción en el uso de RCD en 2020, provocada por la pandemia de COVID-19, no solo muestra una disminución en la actividad de construcción, sino también una interrupción momentánea de los procesos de manejo de desechos. La reducción a 1.013.480,60 toneladas durante ese año puede ser vista como un reto logístico, agravado por limitaciones en las operaciones y modificaciones en las dinámicas de trabajo. Sin embargo, la rápida recuperación notada en 2021 y la significativa expansión en los años

subsiguientes resaltan la habilidad de la industria para adaptarse. Este fenómeno señala que, con la reactivación de la construcción, también se incorporaron mejoras en la administración de desechos, probablemente motivadas por un mayor enfoque en las normativas medioambientales.

- ***Marco regulador: Catalizador de la transformación***

La normativa establecida por Decretos como el 586 de 2015 y la 472 de 2017 ha tenido un rol esencial en la transformación de la administración de RCD en Bogotá. Estas pautas han proporcionado un marco jurídico definido para promover la adecuada gestión y uso de los desechos, garantizando que tanto el sector público como el privado se alineen con las metas de sostenibilidad. No obstante, a pesar de que se ha alcanzado un avance significativo, resulta imprescindible que las regulaciones se adapten para abordar los retos que surgen, como el desarrollo constante de las ciudades y la exigencia de innovar en los métodos de reciclaje de materiales más complicados de manejar.

- ***La Función de las Políticas Públicas y la Conciencia sobre el Medio ambiente***

El significativo aumento en la utilización de RCD durante 2022 y 2023 puede ser debido a una mayor sensibilidad ambiental en el sector de la construcción, además de la puesta en marcha de políticas públicas más rigurosas. Conforme la presión sobre los recursos naturales se incrementa y los lugares para la eliminación de desechos se reducen, los participantes en la construcción han empezado a reconocer la importancia de adoptar una perspectiva más responsable hacia los RCD. Esta transformación de paradigma no solo atiende a las presiones regulatorias, sino también a la percepción de que la sostenibilidad y la utilización eficaz de materiales reciclados pueden transformarse en elementos competitivos en la industria.

- ***Dificultades Constantes: Escalabilidad y Mejora Constante***

Pese al avance notado, la administración de RCD en Bogotá todavía se topa con retos considerables. La tendencia ascendente en la cantidad de desechos reciclados es positiva, sin embargo, la capacidad de las infraestructuras de reciclaje debe continuar aumentando para cubrir la demanda prevista para los años venideros. Igualmente, es vital incrementar la calidad de los materiales reciclados para que sean competitivos en cuanto a resistencia y precio con los materiales tradicionales. Los progresos en la reutilización de desechos tales como el hormigón y la mampostería generarán innovaciones tecnológicas y una cooperación más estrecha entre el sector público, privado y universitario.

- ***Oportunidades futuras: Innovación en Materiales Reciclados***

La tendencia ascendente hacia el aprovechamiento de RCD ofrece una oportunidad para la innovación en la creación de nuevos materiales de edificación. Conforme los desechos de hormigón y mampostería se reincorporan al proceso de producción, se pueden crear productos con atributos superiores, como una resistencia incrementada o una huella de carbono disminuida. Esta metamorfosis también genera posibilidades para la generación de nuevos mercados relacionados con los materiales reciclados, con ventajas económicas que pueden fomentar el empleo y la inversión en tecnologías de reciclaje de vanguardia.

- ***Involucramiento de Organismos Públicos***

El estudio resalta la significativa implicación de organismos públicos como CODENSA, el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), encargados de una parte considerable de los RCD producidos. Esto demuestra que las construcciones de infraestructura pública tienen un rol fundamental en la producción de desechos. Como resultado de su influencia, estas instituciones deben

encabezar la implementación de prácticas sustentables y la puesta en marcha de políticas de reciclaje y reutilización.

- ***Los Datos Temporales presentan Discrepancias.***

Pese a que la mayoría de los proyectos comenzaron después de 2010, existen irregularidades en los registros, como la presencia de un proyecto con inicio en 1899. Estas inconsistencias resaltan la necesidad de optimizar los sistemas de registro y seguimiento de datos para prevenir fallos y asegurar análisis exactos y fiables.

- ***Recuperación Después de la Pandemia y Crecimiento Acelerado***

Durante 2019 y 2023, el volumen de desechos utilizados en Bogotá aumentó significativamente, particularmente tras el efecto adverso de la pandemia en 2020. Este incremento puede ser visto como una señal de la reactivación económica y la aplicación de mejores prácticas en la administración de RCD. Además, subraya la importancia de políticas más sólidas para garantizar que el uso continúe en aumento.

- ***Obstáculos en la Administración de Residuos y Disposición Final***

El reporte destaca problemas constantes en la gestión incorrecta de desechos, tal como sucede con la escombrera ilegal en Usaquén, lo que supone un peligro para el medio ambiente y la sociedad. Este tipo de sucesos resalta la importancia de robustecer la vigilancia y las penalizaciones relacionadas con la gestión de RCD.

- ***Inequidades en la Creación y Uso de Residuos***

Bogotá es la capital de Colombia que produce más desechos en el país, acumulando más de 18 millones de toneladas de RCD, superando a urbes como Medellín. Pese a los progresos en el uso de estos desechos, únicamente el 37% son reciclados, lo que señala un potencial considerable para optimizar los procesos de reutilización.

## - *Futuras Implicaciones*

La elevada concentración de proyectos en marcha en Bogotá, con más de 6.000 proyectos que producen RCD, evidencia una sólida y constante actividad de construcción. Esto indica un intenso crecimiento urbano, pero también presenta retos vinculados con la administración de desechos y su sostenibilidad. Es crucial aplicar estrategias holísticas de gestión de desechos que minimicen el efecto en el medio ambiente.

Como algunos proyectos tienen una duración hasta 2035, resulta vital elaborar estrategias a largo plazo que no solo traten la administración de los desechos presentes, sino que también prevean los retos a futuro. Con el desarrollo sostenido del sector de la construcción, resulta crucial establecer políticas de prevención, reciclaje y disminución de desechos desde las fases de diseño y planificación.

### **4.1.2 Desarrollo de objetivo No. 2**

#### **4.1.2.1 Alternativas de disposición y evaluación de mezclas con RCD.**

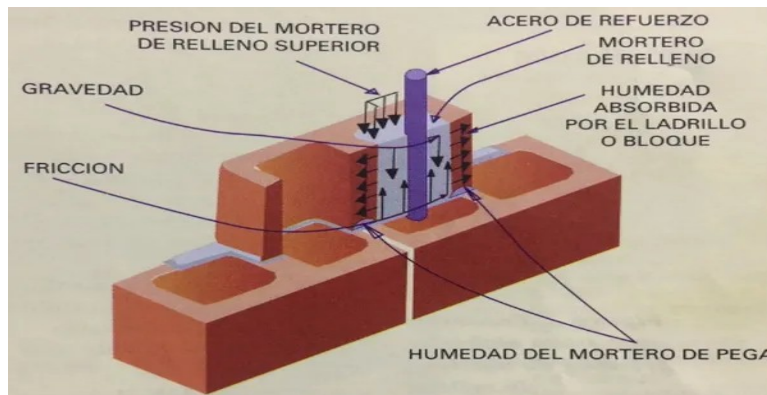
El segundo objetivo específico es "Analizar la implementación de agregado reciclado hecho a partir de RCD para mezclas de morteros de inyección y morteros de pega." Para llevarlo a cabo, se basa en estudios previos realizados por Bernal Guinard, Cortes y Hernández Mora (2024) en el *Informe Final Morteros de Pega*, así como por Betancourt, Oliveros y Paramo (2024) en el *Informe Final Morteros de Inyección*, ambos desarrollados en la Universidad de La Sabana para Constructora Capital. Dichos estudios examinan la viabilidad de los residuos de construcción y demolición (RCD) como agregado reciclado en mezclas de morteros, proponiendo una alternativa sostenible para la reutilización de recursos. Por lo tanto, los análisis y resultados que se presentan a continuación corresponden a investigaciones previas, en lugar de ensayos propios de este estudio.

#### 4.1.2.1.1 Mortero de inyección.

En los morteros de inyección, se analiza la viabilidad de incorporar RCD como parte de los morteros fluidos, evaluando sus características físicas y mecánicas. Este análisis sigue los lineamientos propuestos por Betancourt, Oliveros y Paramo (2024) en su estudio sobre la implementación de residuos reciclados en mezclas de morteros de inyección.

#### **Figura 19**

*Mortero de inyección en mampostería*



*Nota:* Silva, O. J. (2022). Imagen tomada de <https://360enconcreto.com/blog/detalle/mortero-relleno-para-mamposteria/>

- **Paso 1: Parámetros.**

Según (Betancourt, Oliveros y Paramo (2024)), determinaron los parámetros del agregado, en el cuál se evidencia que el tamaño máximo del RCD debe ser de 25 mm, el tamaño máximo nominal debe ser de 19 mm y el módulo de finura debe ser de 5.9.

Para los morteros de inyección, tanto el tamaño máximo del agregado como el tamaño máximo nominal (TMN) son esenciales ya que establecen la fluidez y la habilidad del mortero para infiltrarse en las fisuras o cavidades en estructuras ya existentes. Un máximo tamaño de agregado de 25 mm y un TMN de 19 mm aseguran que el mortero conserve una textura apropiada para fluir de forma homogénea sin obstrucciones, asegurando de esta manera una excelente distribución y adhesión en zonas

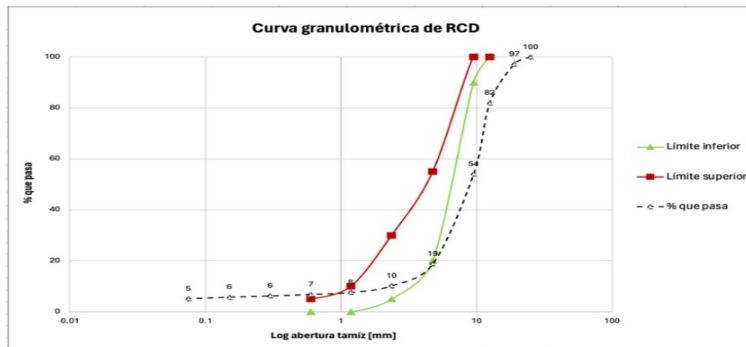
de acceso complicado. Adicionalmente, un módulo de finura de 5.9 señala una granulometría que favorece la cohesión y disminuye la segregación en la mezcla, elementos cruciales para garantizar la estabilidad del mortero tras ser inyectado.

- **Paso 2: Ensayos.**

Al realizar el ensayo de granulometría y siguiendo los parámetros de la norma ASTM C404 [1] se evidencia que el agregado reciclado puede ser utilizado con pequeños ajustes en las mezclas de inyección. Por otra parte, los resultados de la figura 20 (Betancourt, Oliveros y Paramo (2024)) muestran que la granulometría de los RCD no es tan lejana de los resultados ideales que presenta la norma, pero solo pueden ser utilizados como agregado grueso.

**Figura 20**

Curva granulométrica de agregado de RCD



Nota: Betancourt, (2024). Gráfica tomada del informe final de morteros de inyección

- **Paso 3: Caracterización.**

Al revisar las características físicas de los RCD y su comportamiento, se evidencia que los agregados reciclados presentan características irregulares en su composición y presentan paredes lisas después de su triturado, pero según la figura 21 que identifican (Betancourt, Oliveros y Paramo (2024)) demuestra que este tipo de agregado tiene

grandes capacidades de absorción, lo cual debe ser tenido en cuenta en los procesos de dosificación dadas estas características.

**Figura 21**

*Densidades y absorción del agregado grueso de RCD.*

|  |      |
|--|------|
| Densidad absoluta (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.60 |
| Densidad nominal (g/cm <sup>3</sup> )  | 2.83 |
| Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> ) | 3.40 |
| Absorción (%)                          | 9.1  |

*Nota: Betancourt, (2024). Tabla tomada del informe final de morteros de inyección*

- **Paso 4: Diseños de mezcla.**

Se analizan 4 diseños de mezcla que fueron realizados por (Betancourt, Oliveros y Paramo (2024)) buscando encontrar a dosificación ideal compuesta por 30% de concreto, 28% de cerámica y 42% de residuos de ladrillo para que consiga cumplir con los parámetros establecidos según la norma que se componen por:

- Resistencia = 220 Kg/cm<sup>2</sup> ó 21.6 Mpa
- Trabajabilidad = 210 mm

### **Diseño de mezcla 1:**

Se implementan 30% de RCD y 70% de agregado natural para el diseño de mezcla 1 que según la figura 22 se compone por:

**Figura 22**

*Dosificación diseño de mezcla 1*

| Material | Masa (kg por m <sup>3</sup> ) | Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> ) | Volumen (m <sup>3</sup> por m <sup>3</sup> ) | Ajuste por humedad (kg) |
|----------|-------------------------------|--|--|-------------------------|
| Agua     | 235.7                         | 1000                                   | 0.24   | -                       |
| Cemento  | 449.0                         | 2880                                   | 0.16   | -                       |
| Arena    | 448.2                         | 2790                                   | 0.16   | 12.5                    |
| Grava    | 660.5                         | 3890                                   | 0.17   | 10.0                    |
| RCD      | 283.1                         | 3400                                   | 0.08   | 23.5                    |
| Aditivo  | 4.5                           | 1160                                   | 0.004  | -                       |

Nota: Betancourt, (2024). Tabla tomada del informe final de morteros de inyección

Por otra parte, se revisan los resultados de resistencia evidenciados en los ensayos realizados a 7 y 28 días respectivamente, donde se presenta una muestra baja a 7 días sobre el límite de resistencia que debe ser descartada según la norma NTC 673- 10 y a 28 días todas las muestras pasaron satisfactoriamente. Los resultados obtenidos (*Betancourt, Oliveros y Paramo (2024)*) se presentan a continuación.

### Figura 23

Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #1, 7 días

| Muestra | Resultados de Resistencia (MPa) | Resultados de Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|---------------------------------|--|
| 1       | 23.7                            | 241.7  |
| 2       | 23.2                            | 236.6  |
| 3       | 21.9                            | 223.3  |

Nota: Betancourt, (2024). Tabla tomada del informe final de morteros de inyección

La Figura 23, que presenta los resultados de resistencia a la compresión de las muestras de la Mezcla #1 durante 7 días, muestra los valores alcanzados en MPa para tres muestras, los cuales son: Composición 1 presenta 23.7 MPa (241.7 Kgf/cm<sup>2</sup>), Composición 2 presenta 23.2 MPa (236.6 Kgf/cm<sup>2</sup>) y Composición 3 presenta 21.9 MPa (223.3 Kgf/cm<sup>2</sup>). Para determinar si estos valores son positivos o negativos, deben ser cotejados con el objetivo de resistencia mínima

fijado por la normativa, que es de 21.6 MPa (220 Kgf/cm<sup>2</sup>). Cuando se lleva a cabo este análisis, se verifica que todas las muestras, incluyendo la muestra 3, exceden el valor de referencia de 21.6 MPa, lo que señala que satisfacen los criterios de resistencia fijados.

A pesar de que la muestra 3 tiene el valor más bajo de las tres, su resistencia continúa siendo apropiada, dado que cumple con los parámetros establecidos, logrando 21.9 MPa, que excede el mínimo necesario. Para finalizar, tanto los resultados de la muestra 3 como los demás resultados, son satisfactorios y aceptables de acuerdo con los estándares.

**Figura 24**

*Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #1, 28 días*

| Muestra | Resultados de Resistencia (MPa) | Resultados de Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|---------------------------------|--|
| 1       | 31.1                            | 317.1  |
| 2       | 29.4                            | 299.8  |
| 3       | 29.0                            | 295.7  |

*Nota: Betancourt, (2024). Tabla tomada del informe final de morteros de inyección*

La Figura 24 muestra los datos de resistencia a la compresión para las muestras de la Mezcla #1 durante un período de 28 días. Los resultados alcanzados en MPa para todas las muestras son: Composición 1 presenta 31.1 MPa (317.1 Kgf/cm<sup>2</sup>), Composición 2 presenta 29.4 MPa (299.8 Kgf/cm<sup>2</sup>) y Composición 3 presenta 29.0 MPa (295.7 Kgf/cm<sup>2</sup>). Al examinar estos resultados y cotejarlos con el objetivo mínimo de resistencia requerido de 21.6 MPa (220 Kgf/cm<sup>2</sup>), se puede notar que todas las muestras no solo satisfacen, sino que exceden notablemente el requisito regulador. Este rendimiento señala que, tras 28 días, las muestras de la Mezcla #1 exhiben una resistencia a la compresión notablemente más alta que la mínima fijada,

corroborando así la efectividad del diseño de mezcla para lograr los niveles de resistencia previstos.

### **Conclusiones mezcla #1**

En términos generales, el diseño de mezcla 1, que incluye un 30% de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y un 70% de agregado natural, ha probado ser eficaz para los objetivos de resistencia establecidos en la normativa, a los 7 y 28 días respectivamente. A los 7 días, todas las muestras alcanzaron la resistencia mínima de 21.6 MPa, aunque una de ellas mostró el valor más bajo dentro del grupo, pero todavía sobrepasó el límite. Al cabo de 28 días, los hallazgos muestran un aumento significativo en la resistencia, sobrepasando de manera notable el valor de referencia, lo que fortalece la factibilidad de este diseño de mezcla en cuanto a resistencia estructural.

Para concluir, el diseño de mezcla 1 satisface los parámetros definidos y constituye una solución apropiada en el marco de los morteros de inyección, ofreciendo suficiente trabajabilidad y resistencia para usos que exigen un estricto cumplimiento de estándares de calidad y rendimiento.

### **Diseño de mezcla 2:**

Se implementan 50% de RCD y 50% de agregado natural para el diseño de mezcla 2 que según la figura 24 se compone por:

#### ***Figura 25***

*Dosificación diseño de mezcla 2*

| Material | Masa (kg por m <sup>3</sup> ) | Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> ) | Volumen (m <sup>3</sup> por m <sup>3</sup> ) | Ajuste por humedad (kg) |
|----------|-------------------------------|--|--|-------------------------|
| Agua     | 246.5                         | 1000                                   | 0.25   | -                       |
| Cemento  | 449.0                         | 2880                                   | 0.16   | -                       |
| Arena    | 448.2                         | 2790                                   | 0.16   | 12.5                    |
| Grava    | 471.8                         | 3890                                   | 0.12   | 7.1                     |
| RCD      | 471.8                         | 3400                                   | 0.14   | 39.2                    |
| Aditivo  | 4.5                           | 1160                                   | 0.004  | -                       |

Nota: Betancourt, (2024). Tabla tomada del informe final de morteros de inyección

Por otro lado, se revisan los resultados de resistencia evidenciados en los ensayos realizados a 7 y 28 días respectivamente, donde se presenta una muestra baja a 7 días que debe ser descartada según la norma NTC 673- 10 y a 28 días todas las muestras pasaron satisfactoriamente. Los resultados obtenidos (Betancourt, Oliveros y Paramo (2024)) se presentan a continuación.

**Figura 26**

Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #2, 7 días

| Muestra | Resultados de Resistencia (MPa) | Resultados de Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|---------------------------------|--|
| 1       | 19.7                            | 200.9  |
| 2       | 18.9                            | 192.7  |
| 3       | 20.7                            | 211.1  |

Nota: Betancourt, (2024). Tabla tomada del informe final de morteros de inyección

Para esta mezcla, la resistencia mínima necesaria es de 21.6 MPa (220 Kgf/cm<sup>2</sup>), de acuerdo con la norma NTC 673-10. Al cotejar, notamos que ninguna de las muestras satisface este requisito a los 7 días. Específicamente, la Muestra 2 presenta el valor más bajo, con 18.9 MPa, lo que señala que, de acuerdo con la normativa, debe ser descartada, dado que no cumple con la resistencia mínima requerida.

**Figura 27**

Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #2, 28 días

| Muestra | Resultados de Resistencia (MPa) | Resultados de Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|---------------------------------|--|
| 1       | 26.7                            | 272.3  |
| 2       | 26.3                            | 268.2  |
| 3       | 25.8                            | 263.1  |

Nota: Betancourt, (2024). Tabla tomada del informe final de morteros de inyección

A los 28 días, todas las muestras alcanzan la resistencia mínima necesaria de 21.6 MPa (220 Kgf/cm<sup>2</sup>), sobrepasando significativamente el valor establecido como referencia. Esto señala que la Mezcla #2 consigue la resistencia requerida a los 28 días, demostrando resultados gratificantes y consistentes que aseguran el acatamiento de las regulaciones.

### **Conclusiones mezcla #2**

La mezcla 2, que incluye un 50% de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) y un 50% de agregado natural, muestra un rendimiento variado en cuanto a resistencia. A los 7 días, las muestras no llegan al nivel de resistencia mínimo de 21.6 MPa, lo que señala que la mezcla necesita más tiempo para alcanzar su resistencia máxima. No obstante, a los 28 días, todas las muestras alcanzan y exceden el límite de resistencia, consiguiendo un rendimiento positivo. Para finalizar, a pesar de que esta combinación tiene una baja resistencia inicial, tiene la capacidad de llegar y exceder los parámetros definidos a los 28 días, lo que la convierte en idónea para aplicaciones donde la resistencia final es más relevante que el desarrollo temprano.

### **Diseño de mezcla 3:**

Se implementan 75% de RCD y 25% de agregado natural para el diseño de mezcla 3 que según la figura 27 se compone por:

**Figura 28**

*Dosificación diseño de mezcla 3*

| Material | Masa (kg por m <sup>3</sup> ) | Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> ) | Volumen (m <sup>3</sup> por m <sup>3</sup> ) | Ajuste por humedad (kg) |
|----------|-------------------------------|--|--|-------------------------|
| Agua     | 248.3                         | 1000                                   | 0.25   | -                       |
| Cemento  | 449.0                         | 2880                                   | 0.16   | -                       |
| Arena    | 448.2                         | 2790                                   | 0.16   | 12.5                    |
| Grava    | 235.9                         | 3890                                   | 0.06   | 3.6                     |
| RCD      | 707.7                         | 3400                                   | 0.21   | 58.8                    |
| Aditivo  | 4.5                           | 1160                                   | 0.004  | -                       |

*Nota: Betancourt, (2024). Tabla tomada del informe final de morteros de inyección*

Adicionalmente, se revisan los resultados de resistencia evidenciados en los ensayos realizados a 7 y 28 días respectivamente, donde se presenta una muestra a 7 y 28 días que no cumplen con el rango permisible y deben ser descartadas según la norma NTC 673- 10. Los resultados obtenidos (*Betancourt, Oliveros y Paramo (2024)*) se presentan a continuación.

**Figura 29**

*Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #3, 7 días*

| Muestra | Resultados de Resistencia (MPa) | Resultados de Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|---------------------------------|--|
| 1       | 17.3                            | 176.4  |
| 2       | 19.3                            | 196.8  |
| 3       | 17.4                            | 177.4  |

*Nota: Betancourt, (2024). Tabla tomada del informe final de morteros de inyección*

Estos valores no cumplen con la exigencia mínima de resistencia de 21.6 MPa (220 Kgf/cm<sup>2</sup>) establecida en la norma NTC 673-10, lo que señala que todas las muestras deben ser eliminadas para este periodo de evaluación por no satisfacer los criterios de resistencia inicial.

**Figura 30**

*Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #3, 28 días*

| Muestra | Resultados de Resistencia (MPa) | Resultados de Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|---------------------------------|--|
| 1       | 25.4                            | 259.0  |
| 2       | 23.7                            | 241.7  |
| 3       | 23.0                            | 234.5  |

*Nota: Betancourt, (2024). Tabla tomada del informe final de morteros de inyección*

Cuando transcurren 28 días, todas las muestras alcanzan y exceden el valor mínimo de resistencia de 21.6 MPa (220 Kgf/cm<sup>2</sup>), lo que indica que la mezcla logra la resistencia requerida a largo plazo y sobrepasa los criterios de desempeño fijados por la regulación.

### **Conclusiones mezcla #3**

Por lo general, el diseño de mezcla 3 no consigue alcanzar el parámetro de resistencia a los 7 días, dado que todas las muestras no alcanzan el mínimo necesario. No obstante, tras 28 días, las muestras exhiben un rendimiento positivo, superando el valor de referencia de resistencia, lo que corrobora su idoneidad para usos donde la resistencia final es más relevante que el desarrollo inicial. Para concluir, esta combinación podría ser adecuada para usos en morteros de inyección que valoren la resistencia a largo plazo y alcancen los criterios de calidad y desempeño a los 28 días.

### **Diseño de mezcla 4:**

Se implementan 100% de RCD y 0% de agregado natural para el diseño de mezcla 4 que según la figura 31 se compone por:

**Figura 31**

*Dosificación diseño de mezcla 4*

| Material | Masa (kg por m <sup>3</sup> ) | Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> ) | Volumen (m <sup>3</sup> por m <sup>3</sup> ) | Ajuste por humedad (kg) |
|----------|-------------------------------|--|--|-------------------------|
| Agua     | 240.2                         | 1000                                   | 0.24   | -                       |
| Cemento  | 449.0                         | 2880                                   | 0.16   | -                       |
| Arena    | 448.2                         | 2790                                   | 0.16   | 12.5                    |
| Grava    | 0.0                           | 3890                                   | 0.00   | -                       |
| RCD      | 707.7                         | 3400                                   | 0.21   | 58.8                    |
| Aditivo  | 4.5                           | 1160                                   | 0.004  | -                       |

*Nota: Betancourt, (2024). Tabla tomada del informe final de morteros de inyección.*

Por otra parte, se revisan los resultados de resistencia evidenciados en los ensayos realizados a 7 y 28 días respectivamente, donde se presenta una muestra baja a 7 días que debe ser descartada según la norma NTC 673- 10 y a 28 días todas las muestras pasaron satisfactoriamente. Los resultados obtenidos (*Betancourt, Oliveros y Paramo (2024)*) se presentan a continuación.

**Figura 32**

*Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #4, 7 días*

| Muestra | Resultados de Resistencia (MPa) | Resultados de Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|---------------------------------|--|
| 1       | 18.4                            | 187.6  |
| 2       | 20.0                            | 203.9  |
| 3       | 20.2                            | 206.0  |

*Nota: Betancourt, (2024). Tabla tomada del informe final de morteros de inyección*

La muestra 1 no satisface los niveles de resistencia previstos de acuerdo con la regulación (NTC 673-10) y, por ende, debe ser eliminada. Las muestras 2 y 3 exhiben valores de resistencia

temprana consistentes y apropiados a los 7 días, lo que señala un progreso positivo en el incremento de la resistencia.

**Figura 33**

*Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #4, 28 días*

| Muestra | Resultados de Resistencia (MPa) | Resultados de Resistencia (Kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|---------|---------------------------------|--|
| 1       | 26.7                            | 272.3  |
| 2       | 26.3                            | 268.2  |
| 3       | 25.8                            | 263.1  |

*Nota: Betancourt, (2024). Tabla tomada del informe final de morteros de inyección*

Todas las muestras satisfactoriamente satisfacen las condiciones de resistencia a los 28 días. Los resultados se encuentran en un rango limitado, lo que señala uniformidad en la mezcla y un adecuado control de calidad. La resistencia media a los 28 días indica que la mezcla 4 presenta un desempeño apropiado para su aplicación estructural de acuerdo a los criterios fijados.

**Conclusiones mezcla #4**

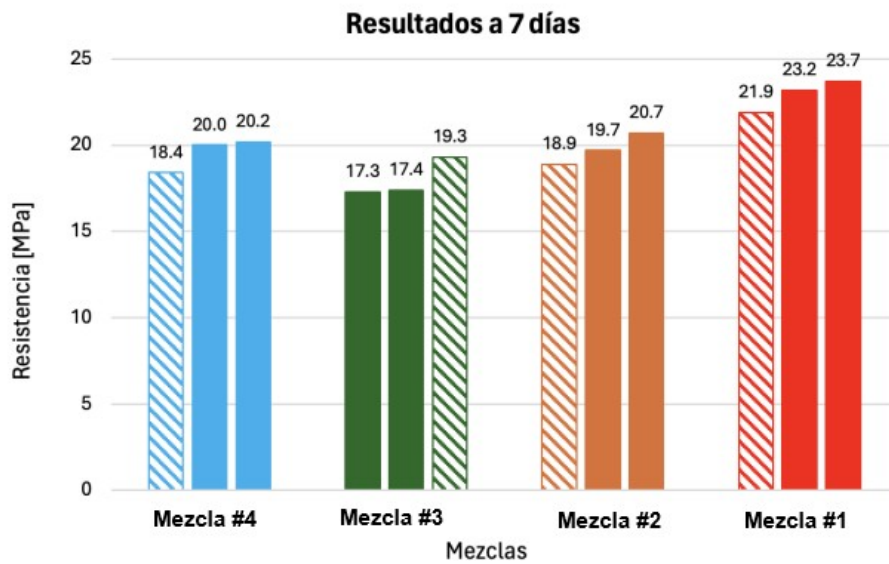
La mezcla 4 ha demostrado un rendimiento apropiado en cuanto a la resistencia a la compresión a los 28 días, presentando una leve variabilidad a los 7 días cuando se descartó una muestra. Esto evidencia que el diseño de mezcla es fiable y puede aplicarse en usos que demandan morteros de inyección con alta resistencia a la compresión final.

### Paso 5: Comparaciones y observaciones.

Se realiza una comparación de resistencias tanto a 7 como a 28 días, según las proporciones entre agregado RCD y agregado natural (Betancourt et al., 2024) presentadas para identificar la proporción que presente la mejor dosificación con relación a la resistencia esperada logrando analizar las siguientes gráficas.

**Figura 34**

*Resistencia a la compresión a 7 días.*

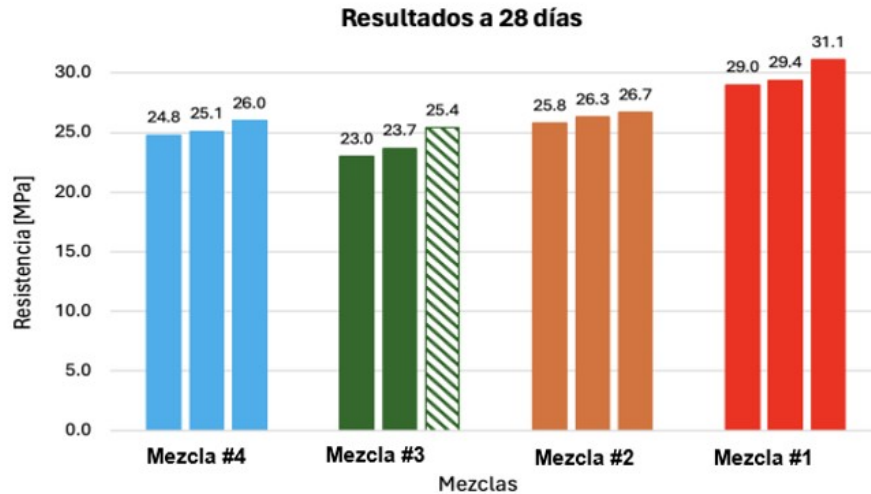


*Nota: Betancourt, (2024). Gráfica tomada del informe final de morteros de inyección*

Según la anterior gráfica de resultados muestra que las barras con líneas diagonales son las muestras que fueron descartadas según la norma.

**Figura 35**

Resistencia a la compresión a 28 días.



Nota: Betancourt, (2024). Gráfica tomada del informe final de morteros de inyección

Según la anterior gráfica de resultados muestra que las barras con líneas diagonales son las muestras que fueron descartadas según la norma.

### **Paso 6: Conclusiones.**

Conclusiones finales respecto al uso en diferentes proporciones entre agregado RCD y agregado natural para obtener las mejores resistencias.

- Analizando las gráficas de resistencias a 7 y 28 días se puede concluir que el uso de agregado reciclado es eficiente para obtener resistencias ideales, según la norma, pero se debe tener en cuenta la disponibilidad de RCD en obra, ya que disponer de un 100% de agregado reciclado para producir mortero de inyección en altas cantidades, sería muy difícil, ya que no se producen altas tasas de RCD que puedan suplir la producción diaria de la mezcla.
- Comparando los resultados obtenidos sería ideal utilizar la proporción de mezcla 30% (RCD)/ 70% (Natural) para lograr suplir la necesidad de producción de cada

obra cumpliendo con la relación calidad - precio dadas las buenas resistencias obtenidas que presenta la proporción mencionada; ya que la producción de RCD conlleva un tiempo más largo y con las exigencias de tiempos de construcción en la actualidad sería muy difícil de utilizar relaciones mayores.

- En las obras que se utilicen agregados reciclados pueden presentar ahorros en el costo de producción de los morteros de inyección, porque se utilizarían materiales RCD que no tienen costo alguno.
- Implementar estas alternativas de uso de agregados reciclados tienen gran impacto respecto a la sostenibilidad en la construcción, porque disminuye la cantidad de RCD que llegan a los botaderos y ayuda al medio ambiente, disminuyendo de buena manera el impacto ambiental.

#### 4.1.2.1.2 Morteros de pega

Como respuesta al desafío presentado en un reto propuesto por Bernal Guinard, Cortes y Hernández Mora (2024) en el *Informe Final Morteros de Pega*, crearon cinco fórmulas de mezcla con distintos porcentajes de sustitución de arena de peña por residuos de construcción y demolición (RCD): 10%, 25%, 50%, 75% y 100%. Estos diseños se fundamentan en la dosificación del mortero de pega del proyecto Serralta, que tiene como objetivo lograr una resistencia a la compresión de 220 Kgf/cm<sup>2</sup>.

Según este estudio, se obtuvieron datos sobre la fluidez y la resistencia a la compresión a los 7 y 28 días, lo que ofrece una base robusta para el análisis. Además, el RCD se manejó por separado en proporciones específicas: 35% de concreto reciclado, 30% de ladrillo reciclado y 35% de cerámica. La cerámica se trituró para conseguir un tamaño de grano más fino, con el objetivo de potenciar las propiedades cementantes de sus componentes.

**Paso 1:** Dentro del ensayo que hecho (Bernal Guinard, Cortes y Hernández Mora (2024)), se realizó un lavado sobre tamiz N° 200, uno de los propósitos del ensayo fue determinar la cantidad de material fino que se encuentra en la muestra. Obteniendo como resultado un porcentaje de material fino del 8.4%.

**Paso 2:** Se realizó un ensayo de granulometría del material fino, esto con el objetivo de comprender la distribución de tamaños de partículas dentro de la fracción del material. Siguiendo con la Norma Técnica colombiana número 77 [3] se obtuvieron los siguientes datos:

| Tamiz | Tamiz(mm) | Masa retenida (g) | Masa retenida corregida (g) | % retenido | % retenido acumulado | % que pasa |
|-------|-----------|-------------------|-----------------------------|------------|----------------------|------------|
| 3/8"  | 9.50      | 0.0               | 0.0                         | 0.0%       | 0.0%                 | 100%       |

|         |      |        |        |       |       |       |
|---------|------|--------|--------|-------|-------|-------|
| No. 4   | 4.75 | 1193.6 | 1193.8 | 47.8% | 47.8% | 52.2% |
| No. 8   | 2.36 | 549.3  | 549.4  | 22.0% | 69.7% | 30.3% |
| No. 16  | 1.18 | 307.0  | 307.1  | 12.3% | 82.0% | 18.0% |
| No. 30  | 0.60 | 156.1  | 156.1  | 6.2%  | 88.3% | 11.7% |
| No. 50  | 0.30 | 125.6  | 125.6  | 5.0%  | 93.3% | 6.7%  |
| No. 100 | 0.15 | 99.0   | 99.0   | 4.0%  | 97.2% | 2.8%  |
| No. 200 | 0.08 | 56.2   | 56.2   | 2.2%  | 99.5% | 0.5%  |

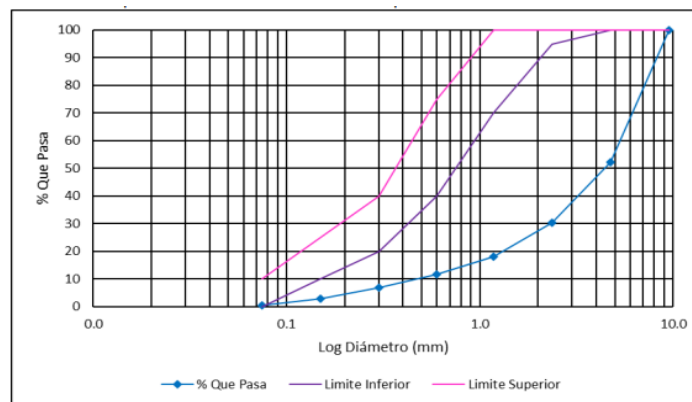
**Tabla 5.** Resultados de la Granulometría RCD mezclado.

*Nota: Moreno L., Prieto L., Bilbao N. (2024). Tabla tomada del informe final de mortero de pega*

Dentro de los resultados se puede decir que el módulo de finura del material mezclado como viene de obra es muy alto y después del proceso de trituración siguen siendo las partículas muy grandes, ya que tiene un valor de 4.78. Se puede decir que el material se comporta diferente a como se indica en la normativa que debe comportarse. Según la normativa técnica No. 77, los agregados finos, se pueden leer hasta 0,1 g y con una precisión de 0,1 g ó del 0,1 % de la carga de ensayo. Además, el tamaño de la muestra de ensayo del agregado fino, después del secado, debe ser mínimo 300 g.

**Figura 36**

*Curva granulométrica del RCD mezclado.*



*Nota: Moreno L., Prieto L., Bilbao N. (2024). Gráfica tomada del informe final de mortero de pega*

Se evidencia que la RCD no cumple con los requisitos mínimos, debido esto, se trituró nuevamente y se caracterizó cada material.

**Paso 3:** Granulometría de RCD separado

Los ensayos de granulometría se realizaron siguiendo los mismos criterios que se aplicaron al RCD mezclado. Se separó en tres criterios los cuales son:

- Granulometría de la Cerámica Triturada Nuevamente: Al triturar nuevamente se obtuvieron estos resultados.

| Tamiz   | Peso del Tamiz | Peso del Tamiz + Masa retenida | Masa retenida | Masa corregida | % retenido | % ret. Acumulado | % Que pasa |
|---------|----------------|--------------------------------|---------------|----------------|------------|------------------|------------|
| No. 4   | 445            | 445                            | 0             | 0.00           | 0.0%       | 0.0%             | 100%       |
| No. 8   | 404            | 429                            | 25            | 25.17          | 8.4%       | 8.4%             | 91.6%      |
| No. 16  | 361.5          | 368                            | 6.5           | 6.54           | 2.2%       | 10.6%            | 89.4%      |
| No. 30  | 327.5          | 380.5                          | 53            | 53.36          | 17.8%      | 28.6%            | 71.6%      |
| No. 50  | 296.5          | 355                            | 58.5          | 58.89          | 19.6%      | 48.0%            | 52.0%      |
| No. 100 | 273            | 348                            | 75            | 75.50          | 25.2%      | 73.2%            | 26.8%      |
| No. 200 | 281.5          | 334                            | 52.5          | 52.85          | 17.6%      | 90.8%            | 9.2%       |
| Fondo   | 251.5          | 279                            | 27.5          | 27.68          | 9.2%       | 100%             | 0.0%       |

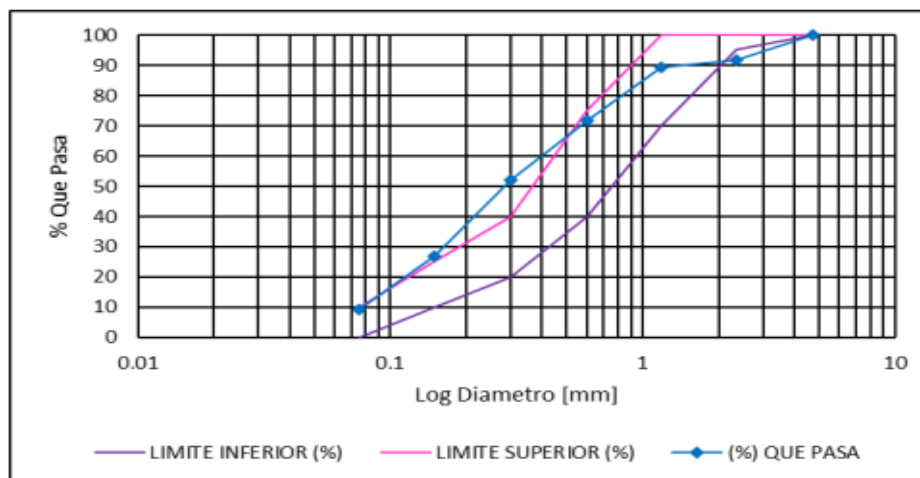
**Tabla 6.** Resultados de la Granulometría Cerámica Triturada Nuevamente

*Nota: Moreno L., Prieto L., Bilboa N. (2024). Tabla tomada del informe final de mortero de pega*

En el nuevo ciclo de trituración se evidencio una finura de 1.68 lo cual es más baja a la inicial.

**Figura 37**

Curva granulométrica de la cerámica triturada por segunda vez.



Nota: Moreno L., Prieto L., Bilboa N. (2024). Gráfica tomada del informe final de mortero de pega

- Granulometría del Concreto Triturado en Obra: Se obtuvieron los siguientes resultados de la granulometría del concreto

| Tamiz   | Peso del Tamiz | Peso del Tamiz+ Masa retenida | Masa retenida | Masa corregida | % retenido | % Ret. acumulado | % Que pasa |
|---------|----------------|-------------------------------|---------------|----------------|------------|------------------|------------|
| No. 4   | 445            | 445                           | 0.0           | 0.0            | 0.0%       | 0.0%             | 100%       |
| No. 8   | 404            | 582                           | 178           | 178            | 59.3%      | 59.3%            | 40.7%      |
| No. 16  | 361.5          | 424.5                         | 63            | 63             | 21.0%      | 80.3%            | 19.7%      |
| No. 30  | 327.5          | 351                           | 23.5          | 23.50          | 7.8%       | 88.2%            | 11.8%      |
| No. 50  | 296.5          | 310                           | 13.5          | 13.50          | 4.5%       | 92.7%            | 7.3%       |
| No. 100 | 273.0          | 281.5                         | 8.5           | 8.5            | 2.8%       | 95.5%            | 4.5%       |
| No. 200 | 281.5          | 290                           | 8.5           | 8.5            | 2.8%       | 98.3%            | 1.7%       |
| Fondo   | 251.5          | 256.5                         | 5.0           | 5.0            | 1.7%       | 100%             | 0.0%       |

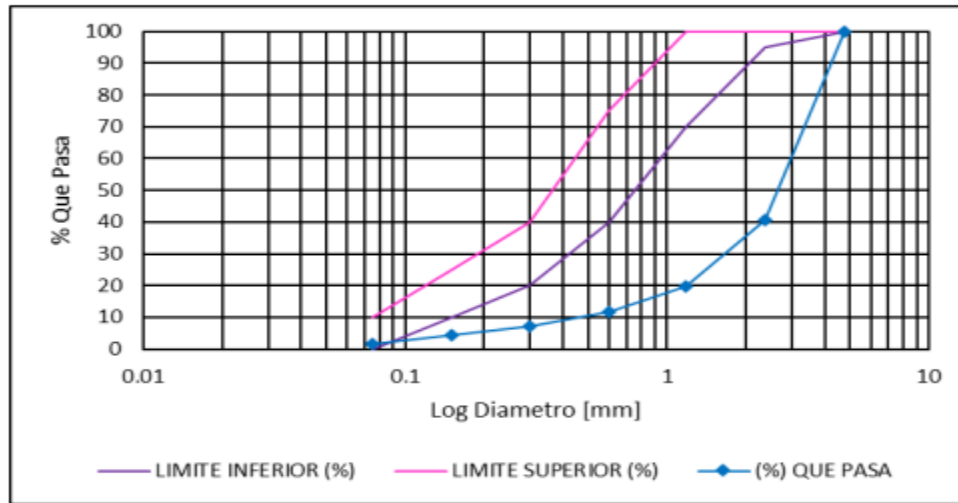
**Tabla 7.** Granulometría del Concreto Triturado en Obra

Nota: Moreno L., Prieto L., Bilboa N. (2024). Tabla tomada del informe final de mortero de pega

A partir de los resultados, podemos deducir que el concreto presenta un comportamiento similar al del RCD mezclado, lo que indica una elevada presencia de partículas gruesas. Puede ser un problema ya que debe ser equilibrado con los demás agregados según el estilo de mezcla.

**Figura 38**

*Curva granulométrica del Concreto*



*Nota: Moreno L., Prieto L., Bilboa N. (2024). Gráfica tomada del informe final de mortero de pega*

- Granulometría del Ladrillo Triturado en Obra: Se obtuvieron los siguientes resultados de la granulometría del ladrillo

| Tamiz   | Peso del Tamiz | Peso del Tamiz+ Masa retenida | Masa retenida | Masa corregida | % Retenido | % Ret. Acumulado | % Que Pasa |
|---------|----------------|-------------------------------|---------------|----------------|------------|------------------|------------|
| No. 4   | 0              | 0                             | 0             | 0.00           | 0.0%       | 0.0%             | 0.0%       |
| No. 8   | 528            | 673                           | 145           | 145            | 48.3       | 48.3             | 51.7       |
| No. 16  | 534            | 604                           | 70            | 70             | 23.3%      | 71.7%            | 28.3%      |
| No. 30  | 498.5          | 525.5                         | 27            | 27             | 9.0%       | 80.7%            | 19.3%      |
| No. 50  | 495.5          | 511                           | 15.5          | 15.50          | 5.2%       | 85.8%            | 14.2%      |
| No. 100 | 433.5          | 461.5                         | 28            | 28             | 9.3%       | 95.2%            | 4.8%       |

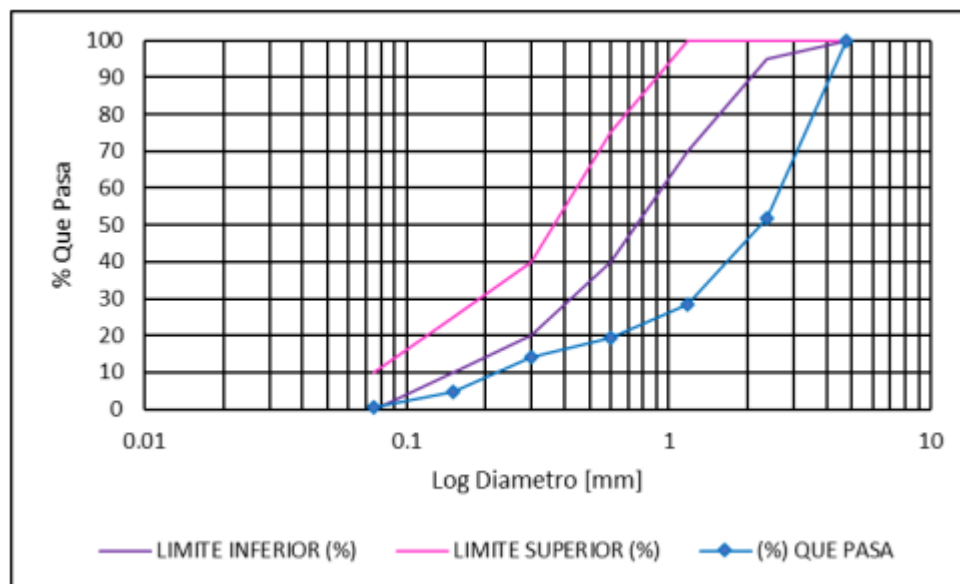
|         |       |     |     |     |      |       |      |
|---------|-------|-----|-----|-----|------|-------|------|
| No. 200 | 693   | 706 | 12  | 13  | 4.3% | 99.5% | 0.5% |
| Fondo   | 254.5 | 256 | 1.5 | 1.5 | 0.5% | 100%  | 0.0% |

**Tabla 8.** Granulometría del Concreto Triturado en Obra

Nota: Moreno L., Prieto L., Bilboa N. (2024). Gráfica tomada del informe final de mortero de pega

A partir de los resultados, podemos concluir que el concreto exhibe un comportamiento comparable al del RCD mezclado, lo que se refleja en una alta cantidad de partículas gruesas, como se puede observar en el gráfico.

**Figura 39.** Curva Granulométrica del Ladrillo.



Nota: Moreno L., Prieto L., Bilboa N. (2024). Gráfica tomada del informe final de mortero de pega

Se estableció que la densidad de los agregados separados es de 2.40 kg/m<sup>3</sup> para el concreto, 2.00 kg/m<sup>3</sup> para la cerámica y 2.20 kg/m<sup>3</sup> para el ladrillo, lo que indica que tanto el ladrillo como la cerámica presentan una densidad baja en comparación con el agregado natural, es decir, la arena de peña.

Se evidenció la alta absorción de los RCD, donde los RCD mezclados mostraron una absorción del 10.9%. Por separado, el ladrillo presentó una absorción del 12.2%, la cerámica una del 11.7% y el concreto una del 8.5%.

- **Paso 4: Resultados**

**1. DISEÑO DE MEZCLA #1** – Reemplazamiento en arenas, 90% Agregados Naturales - 10% RCD, el cual está subdividido en 35% Cerámica, 35% Concreto y 30% Ladrillo

**Figura 40.** Dosificación diseño de mezcla #1.

| Material | Masa (kg por m3) | Densidad aparente (kg/m3) | Volumen (m3 por m3) | Ajuste por humedad |
|----------|------------------|---------------------------|---------------------|--------------------|
| Agua     | 341.1            | 997                       | 0.366               | 350                |
| Cemento  | 365              | 3100                      | 0.118               | 0                  |
| Arena    | 1214.1           | 2300                      | 0.529               | 0                  |
| RCD      | RCD              | RCD                       | RCD                 | RCD                |
| Cerámica | 47.2             | 2000                      | 0.024               | 0                  |
| Ladrillo | 40.5             | 2300                      | 0.018               | 0                  |
| Concreto | 47.2             | 2400                      | 0.020               | 0                  |
| Cal      | 44               | 1117                      | 0.039               | 0                  |
| Aditivo  | 3.6              | 1160                      | 0.003               | 0                  |

Nota: Moreno L., Prieto L., Bilbao N. (2024). Mortero de pega

Fluidez: 110%

**RESULTADOS DE RESISTENCIA MEZCLA #1** Los cubos fueron fallados a 7 y 28 días, resume los resultados obtenidos.

**Figura 41.** Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #1

| Muestra | Resultados de Resistencia 7 días (MPa) | Resultados de Resistencia 28 días (MPa) |
|---------|--|---|
| 1       | 7.97                                   | 15.28                                   |
| 2       | 9.23                                   | 16.06                                   |
| 3       | 9.98                                   | 15.54                                   |

Nota: Moreno L., Prieto L., Bilbao N. (2024). Mortero de pega

**2. DISEÑO DE MEZCLA #2** – Reemplazamiento en arenas, 75% Agregados Naturales - 25% RCD, el cual esta subdividido en 35% Cerámica, 35% Concreto y 30% Ladrillo

**Figura 42.** Dosificación diseño de mezcla #2

| Material | Masa (kg por m <sup>3</sup> ) | Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> ) | Volumen (m <sup>3</sup> por m <sup>3</sup> ) | Ajuste por humedad |   |
|----------|-------------------------------|--|--|--------------------|---|
| Agua     | 343.1                         | 997                                    | 0.366  | 353.4              |   |
| Cemento  | 365                           | 3100                                   | 0.118  | 0                  |   |
| Arena    | 1011.75                       | 2300                                   | 0.529  | 0                  |   |
| RCD      | Cerámica                      | 118.0                                  | 2000   | 0.059              | 0 |
|          | Ladrillo                      | 101.2                                  | 2300   | 0.044              | 0 |
|          | Concreto                      | 118.0                                  | 2400   | 0.049              | 0 |
| Cal      | 44                            | 1117                                   | 0.039  | 0                  |   |
| Aditivo  | 3.6                           | 1160                                   | 0.003  | 0                  |   |

Nota: Moreno L., Prieto L., Bilbao N. (2024). Mortero de pega

Fluidez: 100%

**RESULTADOS DE RESISTENCIA MEZCLA #2** Los cubos fueron fallados a 7 y 28 días, resultados obtenidos.

**Figura 43.** Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #2

| Muestra | Resultados de Resistencia 7 días (MPa) | Resultados de Resistencia 28 días (MPa) |
|---------|--|---|
| 1       | 9.11                                   | 15.58                                   |
| 2       | 9.81                                   | 14.57                                   |
| 3       | 9.77                                   | 16.00                                   |

Nota: Moreno L., Prieto L., Bilbao N. (2024). Mortero de pega

**3. DISEÑO DE MEZCLA #3** – Reemplazamiento en arenas, 50% Agregados Naturales - 50% RCD, el cual esta subdividido en 35% Cerámica, 35% Concreto y 30% Ladrillo

**Figura 44.** Dosificación diseño de mezcla #3

| Material | Masa (kg por m <sup>3</sup> ) | Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> ) | Volumen (m <sup>3</sup> por m <sup>3</sup> ) | Ajuste por humedad |   |
|----------|-------------------------------|--|--|--------------------|---|
| Agua     | 343.1                         | 997                                    | 0.366  | 359.2              |   |
| Cemento  | 365                           | 3100                                   | 0.118  | 0                  |   |
| Arena    | 674.5                         | 2300                                   | 0.529  | 0                  |   |
| RCD      | Cerámica                      | 236.1                                  | 2000   | 0.118              | 0 |
|          | Ladrillo                      | 202.4                                  | 2300   | 0.088              | 0 |
|          | Concreto                      | 236.1                                  | 2400   | 0.098              | 0 |
| Cal      | 44                            | 1117                                   | 0.039  | 0                  |   |
| Aditivo  | 3.6                           | 1160                                   | 0.003  | 0                  |   |

Nota: Moreno L., Prieto L., Bilbao N. (2024). Mortero de pega

Fluidez: 106%

**RESULTADOS DE RESISTENCIA MEZCLA #3** Los cubos fueron fallados a 7 y 28 días, los resultados obtenidos.

**Figura 45.** Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #3

| Muestra | Resultados de Resistencia 7 días (MPa) | Resultados de Resistencia 28 días (MPa) |
|---------|--|---|
| 1       | 14.45                                  | 19.04                                   |
| 2       | 15.45                                  | 18.86                                   |
| 3       | 14.74                                  | 19.31                                   |

Nota: Moreno L., Prieto L., Bilbao N. (2024). Mortero de pega

**4. DISEÑO DE MEZCLA #4** – Reemplazamiento en arenas 25% Agregados Naturales - 75% RCD, el cual esta subdividido en 35% Cerámica, 35% Concreto y 30% Ladrillo

**Figura 46.** Dosificación diseño de mezcla #4.

| Material | Masa (kg por m <sup>3</sup> ) | Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> ) | Volumen (m <sup>3</sup> por m <sup>3</sup> ) | Ajuste por humedad |   |
|----------|-------------------------------|--|--|--------------------|---|
| Agua     | 343.1                         | 997                                    | 0.366  | 364.4              |   |
| Cemento  | 365                           | 3100                                   | 0.118  | 0                  |   |
| Arena    | 337.25                        | 2300                                   | 0.529  | 0                  |   |
| RCD      | Cerámica                      | 354.1                                  | 2000   | 0.177              | 0 |
|          | Ladrillo                      | 303.5                                  | 2300   | 0.132              | 0 |
|          | Concreto                      | 354.1                                  | 2400   | 0.148              | 0 |
| Cal      | 44                            | 1117                                   | 0.039  | 0                  |   |
| Aditivo  | 3.6                           | 1160                                   | 0.003  | 0                  |   |

Nota: Moreno L., Prieto L., Bilbao N. (2024). Mortero de pega

Fluidez: 102%

**RESULTADOS DE RESISTENCIA MEZCLA #4** Los cubos fueron fallados a 7 y 28 días resultados obtenidos

**Figura 47.** Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #4

| Muestra | Resultados de Resistencia 7 días (MPa) | Resultados de Resistencia 28 días (MPa) |
|---------|--|---|
| 1       | 13.82                                  | 14.56                                   |
| 2       | 14.09                                  | 14.10                                   |
| 3       | 14.78                                  | descartado                              |

Nota: Moreno L., Prieto L., Bilbao N. (2024). Mortero de pega

**5. DISEÑO DE MEZCLA #5** – Reemplazamiento en arenas 0% Agregados Naturales – 100% RCD, el cual esta subdividido en 35% Cerámica, 35% Concreto y 30% Ladrillo

**Figura 48.** Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #5

| Material | Masa (kg por m <sup>3</sup> ) | Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> ) | Volumen (m <sup>3</sup> por m <sup>3</sup> ) | Ajuste por humedad |   |
|----------|-------------------------------|--|--|--------------------|---|
| Agua     | 343.1                         | 997                                    | 0.366  | 377.4              |   |
| Cemento  | 365                           | 3100                                   | 0.118  | 0                  |   |
| Arena    | 0                             | 2300                                   | 0.529  | 0                  |   |
| RCD      | Cerámica                      | 472.2                                  | 2000   | 0.236              | 0 |
|          | Ladrillo                      | 404.7                                  | 2300   | 0.176              | 0 |
|          | Concreto                      | 472.2                                  | 2400   | 0.197              | 0 |
| Cal      | 44                            | 1117                                   | 0.039  | 0                  |   |
| Aditivo  | 5.4                           | 1160                                   | 0.005  | 0                  |   |

Nota: Moreno L., Prieto L., Bilbao N. (2024). Mortero de pega

Fluidez: 102%

**RESULTADOS DE RESISTENCIA MEZCLA #5** Los cubos fueron fallados a 7 y 28 días, los resultados obtenidos.

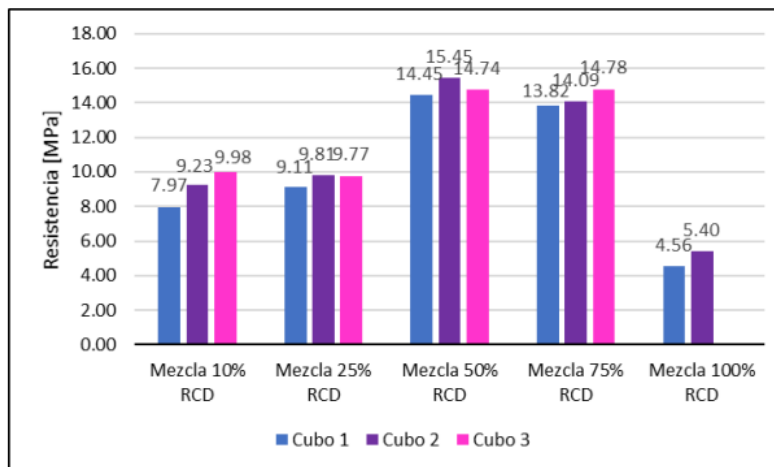
**Figura 49.** Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #5

| Muestra | Resultados de Resistencia 7 días (MPa) | Resultados de Resistencia 28 días (MPa) |
|---------|--|---|
| 1       | 4.56                                   | 5.95                                    |
| 2       | 5.40                                   | 5.65                                    |
| 3       | descartado                             | 6.03                                    |

Nota: Moreno L., Prieto L., Bilbao N. (2024). Mortero de pega

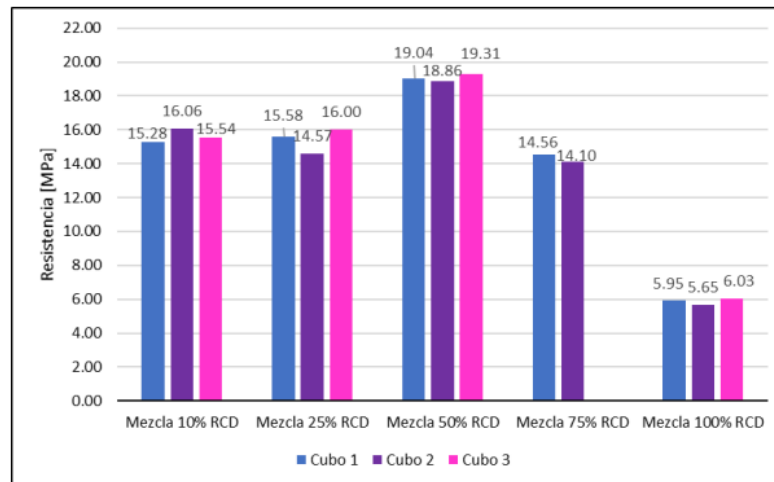
Obtenidos datos de la resistencia a la compresión

**Figura 50.** Comparación de resultados de resistencia a la compresión a 7 días.



Nota: Moreno L., Prieto L., Bilbao N. (2024). Mortero de pega

**Figura 51.** Comparación de resultados de resistencia a la compresión a 28 días.



Nota: Moreno L., Prieto L., Bilbao N. (2024). Mortero de pega

## **Conclusiones de mortero de pega**

### **- *Rendimiento del mortero con agregados reciclados***

Se evaluaron cinco modelos de combinación de morteros que presentaban proporciones de sustitución de arena natural por desechos de construcción y demolición (RCD) del 10%, 25%, 50%, 75% y 100%. Los hallazgos indican que a los 7 y 28 días, las resistencias a la compresión fueron satisfactorias, aunque las mezclas con un mayor porcentaje de RCD presentaron una reducción en la resistencia final. Concretamente, la información indica que el diseño de combinación con un 10% de RCD consiguió una fluidez del 110% y mantuvo una excelente resistencia a la compresión. Esto sugiere que una incorporación mínima de RCD puede resultar eficaz sin afectar de manera significativa la calidad del mortero.

### **- *Efecto del proceso de granulometría y trituración***

Los estudios granulométricos llevados a cabo tanto para el RCD combinado como para los materiales individuales (cerámica, concreto y ladrillo) demostraron que el procedimiento de trituración resultó crucial para disminuir el tamaño de las partículas, en particular en la cerámica. Durante el primer ciclo, el RCD mezclado mostraba un alto módulo de finura (4.78), señalando la existencia de partículas de gran tamaño. La segunda etapa de trituración de la cerámica resultó en un módulo de finura de 1.68, lo que facilitó la mejora en la distribución de partículas y la calidad del mortero.

### **- *Comportamiento de los materiales separados***

La división de los RCD en tres elementos (cerámica, concreto y ladrillo) posibilitó la identificación de propiedades específicas de cada material. Una vez triturada de nuevo, la

cerámica mostró un incremento en su granulometría, lo que facilitó su integración en las mezclas. El hormigón triturado, por otro lado, conservó una granulometría más grande, lo que lo hizo menos apropiado para mezclas que necesitan partículas pequeñas.

Finalmente, el ladrillo demostró un comportamiento parecido al del hormigón, con un elevado porcentaje de partículas de gran grosor, lo que impacta la capacidad de trabajo del mortero.

- ***Densidad y absorción de los materiales***

Las investigaciones sobre densidad y absorción mostraron discrepancias significativas entre los componentes reciclados y los naturales. En comparación con la arena de peña natural, los RCD mostraron una densidad inferior: 2.40 kg/m<sup>3</sup> para el hormigón, 2.00 kg/m<sup>3</sup> para la cerámica y 2.20 kg/m<sup>3</sup> para el ladrillo. Además, los RCD demostraron una alta absorción de agua. El RCD combinado absorbió un 10.9%, en contraste con los niveles del ladrillo y la cerámica, que llegaron al 12.2% y 11.7% respectivamente. Esta elevada absorción podría influir en la relación entre agua y cemento en las mezclas, disminuyendo la resistencia final.

- ***Resultados de resistencia a la compresión***

A los 7 y 28 días, las cinco mezclas evaluadas presentaron un rendimiento diverso en cuanto a resistencia a la compresión. El diseño con un 10% de RCD mostró los mejores resultados en resistencia, en cambio, los diseños con proporciones superiores de RCD evidenciaron una reducción progresiva en la resistencia. No obstante, la combinación con 50% de RCD consiguió mantener una fluidez del 106% y resistencias aceptables, lo que indica que una mezcla balanceada de RCD y agregados naturales podría ser factible para determinados usos.

- ***Reflexiones para la aplicación de RCD en la construcción***

Los hallazgos del estudio subrayan que la utilización de RCD es factible en la fabricación de morteros, en particular cuando se emplean cantidades moderadas de RCD (entre el 10% y el 50%). No obstante, debido a la elevada absorción de agua y la gran granulometría de ciertos materiales reciclados, resulta crucial llevar a cabo un control riguroso de la dosificación y el procedimiento de trituración. El empleo de RCD puede generar beneficios económicos al utilizar materiales que, de otra forma, serían descartados, sin embargo, su aplicación debe balancearse con las exigencias técnicas de resistencia y fluidez.

### 4.1.3 Desarrollo de objetivo No. 3

#### 4.1.3.1 Prototipo experimental

- **Paso 1: Idea principal.**

Se implementó la reutilización de los cilindros de concreto que tenían como fin terminar en rellenos de suelo o en botaderos autorizados.

- **Paso 2: Selección de muestras con resultados favorables a 28 días.**

Se seleccionaron 7 números de muestra que cumplieran con los requisitos de resistencia a 28 días y se identificó que efectivamente los cilindros serían desechados, los cuales se enumeraban en tríos de la siguiente forma:

- **Muestra de concreto convencional de 21 Mpa número 2304**

Figura 52. Muestra 2304 con resultados favorables compresión a 28 días.

Vista Previa

No. de muestra: 2304      No. interno de muestra: 2304      Clase de muestra: Concreto

Tipo de muestra: 9 Cilindros (4 in)      Tipo de mezcla: LOS210      Fecha: 2024-07-08

Tipo de muestra: 4      Ubicación: TORRE 8      Piso: 8

Concretera: CEMEX      Localización: PLACA TORRE 8 PISO 8 (4 APTOS)      Temperatura: 26.000

Asentamiento: 5.5      Estado: Terminada      Observación: Revisar

Remisión: 242365954

| No. | Remisión | Cilindro | Resistencia (MPa) | Edad | Vaciado    | Ensayo     | Recolección | Individual | %        | Parejas | % Parejas |
|-----|----------|----------|-------------------|------|------------|------------|-------------|------------|----------|---------|-----------|
| 1   | 7333     | 378757   | 21.000            | 7    | 2024-07-08 | 2024-07-15 | 2024-07-10  | 22.800     | 108.571% | 22.867  | 108.889%  |
| 2   | 7333     | 378758   | 21.000            | 7    | 2024-07-08 | 2024-07-15 | 2024-07-10  | 22.600     | 107.619% | 22.867  | 108.889%  |
| 3   | 7333     | 378759   | 21.000            | 7    | 2024-07-08 | 2024-07-15 | 2024-07-10  | 23.200     | 110.476% | 22.867  | 108.889%  |
| 4   | 7562     | 378760   | 21.000            | 28   | 2024-07-08 | 2024-08-05 | 2024-07-31  | 27.000     | 128.571% | 27.000  | 128.571%  |
| 5   | 7562     | 378761   | 21.000            | 28   | 2024-07-08 | 2024-08-05 | 2024-07-31  | 27.500     | 130.952% | 27.000  | 128.571%  |
| 6   | 7562     | 378762   | 21.000            | 28   | 2024-07-08 | 2024-08-05 | 2024-07-31  | 26.500     | 126.190% | 27.000  | 128.571%  |
| 7   |          | 378763   | 21.000            | 56   | 2024-07-08 | 2024-09-02 | 2024-08-28  |            |          |         |           |
| 8   |          | 378764   | 21.000            | 56   | 2024-07-08 | 2024-09-02 | 2024-08-28  |            |          |         |           |
| 9   |          | 378765   | 21.000            | 56   | 2024-07-08 | 2024-09-02 | 2024-08-28  |            |          |         |           |

Cumple con la resistencia a 28 días

Nota: Imagen tomada de software para obras de constructora capital.

La información presentada evidencia que la resistencia de diseño (21 MPa) para este tipo de concreto es superada, ya que cumple con resistencias superiores 22 MPa y los cilindros a 56 días serán desechados, ya que no es necesario enviar los testigos a fallar.

- **Muestra de mortero de inyección de 17 Mpa número 2306**

Figura 53. Muestra 2306 con resultados favorables, compresión a 28 días.

| Vista Previa     |                                   |          |                         |             |            |                   |             |            |          |         |           |
|------------------|-----------------------------------|----------|-------------------------|-------------|------------|-------------------|-------------|------------|----------|---------|-----------|
| No. de muestra:  | 2306                              |          | No. interno de muestra: | 2306        |            | Clase de muestra: |             |            |          |         |           |
| Tipo de muestra: | Grouting (4 in)                   |          | Tipo de mezcla:         | GROUTP7-P12 |            | Fecha:            |             |            |          |         |           |
| Tipo de muestra: | 10                                |          | Ubicación:              | TORRE 7     |            | Piso:             |             |            |          |         |           |
| Localización:    | GROUTING TORRE 7 PISO 7 (4 APTOS) |          | Temperatura:            | 26.000      |            | Asentamiento:     |             |            |          |         |           |
| Estado:          | Terminada                         |          | Observación:            | Revisar     |            | Remisión:         |             |            |          |         |           |
| Listado          |                                   |          |                         |             |            |                   |             |            |          |         |           |
| No.              | Remisión                          | Cilindro | Resistencia (MPa)       | Edad        | Vaciado    | Ensayo            | Recolección | Individual | %        | Parejas | % Parejas |
| 1                | 7379                              | 380820   | 17.000                  | 7           | 2024-07-09 | 2024-07-16        | 2024-07-15  | 17.200     | 101.176% | 16.433  | 96.667%   |
| 2                | 7379                              | 380821   | 17.000                  | 7           | 2024-07-09 | 2024-07-16        | 2024-07-15  | 16.000     | 94.118%  | 16.433  | 96.667%   |
| 3                | 7379                              | 380822   | 17.000                  | 7           | 2024-07-09 | 2024-07-16        | 2024-07-15  | 16.100     | 94.706%  | 16.433  | 96.667%   |
| 4                | 7597                              | 380823   | 17.000                  | 28          | 2024-07-09 | 2024-08-06        | 2024-08-05  | 20.300     | 119.412% | 20.200  | 118.824%  |
| 5                | 7597                              | 380824   | 17.000                  | 28          | 2024-07-09 | 2024-08-06        | 2024-08-05  | 19.500     | 114.706% | 20.200  | 118.824%  |
| 6                | 7597                              | 380825   | 17.000                  | 28          | 2024-07-09 | 2024-08-06        | 2024-08-05  | 20.800     | 122.353% | 20.200  | 118.824%  |
| 7                |                                   | 380826   | 17.000                  | 56          | 2024-07-09 | 2024-09-03        | 2024-09-02  |            |          |         |           |
| 8                |                                   | 380827   | 17.000                  | 56          | 2024-07-09 | 2024-09-03        | 2024-09-02  |            |          |         |           |
| 9                |                                   | 380828   | 17.000                  | 56          | 2024-07-09 | 2024-09-03        | 2024-09-02  |            |          |         |           |

Cumple con la resistencia a 28 días

Nota: Imagen tomada de software para obras de constructora capital.

La información presentada evidencia que la resistencia de diseño (17 MPa) para este tipo de mortero de inyección es superada, ya que cumple con resistencias superiores 20.8 MPa a 28 días de curado y los cilindros a 56 días serán desechados, ya que no es necesario enviar los testigos a fallar.

- **Muestra de concreto convencional de 21 Mpa número 2365**

Figura 54. Muestra 2365 con resultados favorables, compresión a 28 días.

| Vista Previa     |                    |          |                         |   |            |                   |             |            |          |         |           |
|------------------|--------------------|----------|-------------------------|---|------------|-------------------|-------------|------------|----------|---------|-----------|
| No. de muestra:  | 2365               |          | No. interno de muestra: | 2365  |            | Clase de muestra: |             |            |          |         |           |
| Tipo de muestra: | 9 Cilindros (4 in) |          | Tipo de mezcla:         | M13000  |            | Fecha:            |             |            |          |         |           |
| Tipo de muestra: | 4                  |          | Ubicación:              | TORRE 8   |            | Piso:             |             |            |          |         |           |
| Concretera:      | CEMEX              |          | Localización:           | MUROS TORRE 9 PISO 9 (I1-4A-3) TORRE 8 PISO 9 (H-11-10-7C-8K-3x2) |            | Temperatura:      |             |            |          |         |           |
| Estado:          | Terminada          |          | Observación:            | Revisar   |            | Asentamiento:     |             |            |          |         |           |
| Listado          |                    |          |                         |   |            |                   |             |            |          |         |           |
| No.              | Remisión           | Cilindro | Resistencia (MPa)       | Edad  | Vaciado    | Ensayo            | Recolección | Individual | %        | Parejas | % Parejas |
| 1                | 7484               | 386663   | 21.000                  | 7   | 2024-07-22 | 2024-07-29        | 2024-07-24  | 18.700     | 89.048%  | 18.533  | 88.254%   |
| 2                | 7484               | 386664   | 21.000                  | 7   | 2024-07-22 | 2024-07-29        | 2024-07-24  | 19.200     | 91.429%  | 18.533  | 88.254%   |
| 3                | 7484               | 386665   | 21.000                  | 7   | 2024-07-22 | 2024-07-29        | 2024-07-24  | 17.700     | 84.286%  | 18.533  | 88.254%   |
| 4                | 7657               | 386666   | 21.000                  | 28  | 2024-07-22 | 2024-08-19        | 2024-08-14  | 23.500     | 111.905% | 23.300  | 110.952%  |
| 5                | 7657               | 386667   | 21.000                  | 28  | 2024-07-22 | 2024-08-19        | 2024-08-14  | 23.800     | 113.333% | 23.300  | 110.952%  |
| 6                | 7657               | 386668   | 21.000                  | 28  | 2024-07-22 | 2024-08-19        | 2024-08-14  | 22.600     | 107.619% | 23.300  | 110.952%  |
| 7                |                    | 386669   | 21.000                  | 56  | 2024-07-22 | 2024-09-16        | 2024-09-11  |            |          |         |           |
| 8                |                    | 386670   | 21.000                  | 56  | 2024-07-22 | 2024-09-16        | 2024-09-11  |            |          |         |           |
| 9                |                    | 386671   | 21.000                  | 56  | 2024-07-22 | 2024-09-16        | 2024-09-11  |            |          |         |           |

Cumple con la resistencia a 28 días

Nota: Imagen tomada de software para obras de constructora capital.

La información presentada evidencia que la resistencia de diseño (21 MPa) para este tipo de concreto es superada, ya que cumple con resistencias superiores 22 MPa y los cilindros a 56 días serán desechados, ya que no es necesario enviar los testigos a fallar.

- **Muestra de mortero de inyección de 17 Mpa número 2380**

Figura 55. Muestra 2380 con resultados favorables, compresión a 28 días.

| Vista Previa  |          |          |  |      |            |                                  |             |            |          |         |           |
|---|----------|----------|--|------|------------|----------------------------------|-------------|------------|----------|---------|-----------|
| No. de muestra:<br><b>2380</b>                      |          |          | No. interno de muestra:<br><b>2380</b> |      |            | Clase de muestra:<br>Mampostería |             |            |          |         |           |
| Tipo de muestra:<br>Grouting (4 in)                 |          |          | Tipo de mezcla:<br><b>GROTP7-P12</b>   |      |            | Fecha:<br>2024-07-23             |             |            |          |         |           |
| Tipo de muestra:<br>10                              |          |          | Ubicación:<br>TORRE 10                 |      |            | Piso:<br>9                       |             |            |          |         |           |
| Localización:<br>GROUTING TORRE 10 PISO 9 (4 APTOS) |          |          | Temperatura:<br>25.000                 |      |            | Asentamiento:<br>9               |             |            |          |         |           |
| Estado:<br>Terminada                                |          |          | Observación:<br>Revisar                |      |            |                                  |             |            |          |         |           |
| Listado   |          |          |  |      |            |                                  |             |            |          |         |           |
| No.   | Remisión | Cilindro | Resistencia (MPa)                      | Edad | Vaciado    | Ensayo                           | Recolección | Individual | %        | Parejas | % Parejas |
| 1   | 7526     | 386762   | 17.000                                 | 7    | 2024-07-23 | 2024-07-30                       | 2024-07-29  | 23.200     | 136.471% | 22.600  | 132.941%  |
| 2   | 7526     | 386763   | 17.000                                 | 7    | 2024-07-23 | 2024-07-30                       | 2024-07-29  | 23.800     | 140.000% | 22.600  | 132.941%  |
| 3   | 7526     | 386764   | 17.000                                 | 7    | 2024-07-23 | 2024-07-30                       | 2024-07-29  | 20.800     | 122.353% | 22.600  | 132.941%  |
| 4   | 7687     | 386765   | 17.000                                 | 28   | 2024-07-23 | 2024-08-20                       | 2024-08-17  | 29.200     | 171.765% | 29.467  | 173.333%  |
| 5   | 7687     | 386766   | 17.000                                 | 28   | 2024-07-23 | 2024-08-20                       | 2024-08-17  | 28.900     | 170.000% | 29.467  | 173.333%  |
| 6   | 7687     | 386767   | 17.000                                 | 28   | 2024-07-23 | 2024-08-20                       | 2024-08-17  | 30.300     | 178.235% | 29.467  | 173.333%  |
| 7   |          | 386768   | 17.000                                 | 56   | 2024-07-23 | 2024-09-17                       | 2024-09-16  |            |          |         |           |
| 8   |          | 386769   | 17.000                                 | 56   | 2024-07-23 | 2024-09-17                       | 2024-09-16  |            |          |         |           |
| 9   |          | 386770   | 17.000                                 | 56   | 2024-07-23 | 2024-09-17                       | 2024-09-16  |            |          |         |           |

↑  
Cumple con  
la resistencia  
a 28 días  
↓

Nota: Imagen tomada de software para obras de constructora capital.

La información presentada evidencia que la resistencia de diseño (17 MPa) para este tipo de mortero de inyección es superada, ya que cumple con resistencias superiores 30.3 MPa a 28 días de curado y los cilindros a 56 días serán desechados, ya que no es necesario enviar los testigos a fallar.

- **Muestra de concreto convencional de 21 Mpa número 2392**

Figura 56. Muestra 2392 con resultados favorables, compresión a 28 días.

| Vista Previa                           |          |          |   |      |            |                               |             |            |          |         |           |
|--|----------|----------|---|------|------------|-------------------------------|-------------|------------|----------|---------|-----------|
| No. de muestra:<br>2392                |          |          | No. interno de muestra:<br>2392               |      |            | Clase de muestra:<br>Concreto |             |            |          |         |           |
| Tipo de muestra:<br>9 Cilindros (4 in) |          |          | Tipo de mezcla:<br>LOS210                     |      |            | Fecha:<br>2024-07-24          |             |            |          |         |           |
| Tipo de muestra:<br>4                  |          |          | Ubicación:<br>PISCINA                         |      |            | Piso:<br>2                    |             |            |          |         |           |
| Concretera:<br>CEMEX                   |          |          | Localización:<br>PLACA CUBIERTA SAUNA Y TURCO |      |            | Temperatura:<br>26.000        |             |            |          |         |           |
| Asentamiento:<br>5.5                   |          |          | Estado:<br>Terminada                          |      |            | Observación:<br>Revisar       |             |            |          |         |           |
| Remisión:<br>242548534                 |          |          |   |      |            |                               |             |            |          |         |           |
| Listado                                |          |          |   |      |            |                               |             |            |          |         |           |
| No.                                    | Remisión | Cilindro | Resistencia (MPa)                             | Edad | Vaciado    | Ensayo                        | Recolección | Individual | %        | Parejas | % Parejas |
| 1                                      | 7526     | 388734   | 21.000  | 7    | 2024-07-24 | 2024-07-31                    | 2024-07-29  | 20.000     | 95.230%  | 19.200  | 91.429%   |
| 2                                      | 7526     | 388735   | 21.000  | 7    | 2024-07-24 | 2024-07-31                    | 2024-07-29  | 19.800     | 94.286%  | 19.200  | 91.429%   |
| 3                                      | 7526     | 388736   | 21.000  | 7    | 2024-07-24 | 2024-07-31                    | 2024-07-29  | 17.800     | 84.762%  | 19.200  | 91.429%   |
| 4                                      | 7748     | 388737   | 21.000  | 28   | 2024-07-24 | 2024-08-21                    | 2024-08-17  | 24.500     | 116.667% | 24.267  | 115.556%  |
| 5                                      | 7748     | 388738   | 21.000  | 28   | 2024-07-24 | 2024-08-21                    | 2024-08-17  | 23.400     | 111.429% | 24.267  | 115.556%  |
| 6                                      | 7748     | 388739   | 21.000  | 28   | 2024-07-24 | 2024-08-21                    | 2024-08-17  | 24.900     | 118.571% | 24.267  | 115.556%  |
| 7                                      |          | 388740   | 21.000  | 56   | 2024-07-24 | 2024-09-18                    | 2024-09-16  |            |          |         |           |
| 8                                      |          | 388741   | 21.000  | 56   | 2024-07-24 | 2024-09-18                    | 2024-09-16  |            |          |         |           |
| 9                                      |          | 388742   | 21.000  | 56   | 2024-07-24 | 2024-09-18                    | 2024-09-16  |            |          |         |           |

Cumple con la resistencia a 28 días

Nota: Imagen tomada de software para obras de constructora capital.

La información presentada evidencia que la resistencia de diseño (21 MPa) para este tipo de concreto es superada, ya que cumple con resistencias superiores 24 MPa y los cilindros a 56 días serán desechados, ya que no es necesario enviar los testigos a fallar.

- Muestra de concreto convencional de 21 Mpa número 2487

Figura 57. Muestra 2487 con resultados favorables, compresión a 28 días.

| Vista Previa                           |          |          |   |      |            |                               |             |            |          |         |           |
|--|----------|----------|---|------|------------|-------------------------------|-------------|------------|----------|---------|-----------|
| No. de muestra:<br>2487                |          |          | No. interno de muestra:<br>2487                           |      |            | Clase de muestra:<br>Concreto |             |            |          |         |           |
| Tipo de muestra:<br>9 Cilindros (4 in) |          |          | Tipo de mezcla:<br>LOS210                                 |      |            | Fecha:<br>2024-08-16          |             |            |          |         |           |
| Tipo de muestra:<br>4                  |          |          | Ubicación:<br>TORRE 9                                     |      |            | Piso:<br>12                   |             |            |          |         |           |
| Concretera:<br>CEMEX                   |          |          | Localización:<br>TORRE 9 PISO 12 PLACA Y ESCALERA 4 APTOS |      |            | Temperatura:<br>26.000        |             |            |          |         |           |
| Estado:<br>Terminada                   |          |          | Observación:<br>Revisar                                   |      |            | Remisión:<br>242822861        |             |            |          |         |           |
| Asentamiento:<br>5.5                   |          |          |   |      |            |                               |             |            |          |         |           |
| Listado                                |          |          |   |      |            |                               |             |            |          |         |           |
| No.                                    | Remisión | Cilindro | Resistencia (MPa)   | Edad | Vaciado    | Ensayo                        | Recolección | Individual | %        | Parejas | % Parejas |
| 1                                      | 7748     | 402184   | 21.000  | 7    | 2024-08-16 | 2024-08-23                    | 2024-08-20  | 14.500     | 69.048%  | 15.600  | 74.286%   |
| 2                                      | 7748     | 402185   | 21.000  | 7    | 2024-08-16 | 2024-08-23                    | 2024-08-20  | 15.900     | 75.714%  | 15.600  | 74.286%   |
| 3                                      | 7748     | 402186   | 21.000  | 7    | 2024-08-16 | 2024-08-23                    | 2024-08-20  | 16.400     | 78.095%  | 15.600  | 74.286%   |
| 4                                      | 7986     | 402187   | 21.000  | 28   | 2024-08-16 | 2024-09-13                    | 2024-09-10  | 21.300     | 101.429% | 21.267  | 101.270%  |
| 5                                      | 7986     | 402188   | 21.000  | 28   | 2024-08-16 | 2024-09-13                    | 2024-09-10  | 21.300     | 101.429% | 21.267  | 101.270%  |
| 6                                      | 7986     | 402189   | 21.000  | 28   | 2024-08-16 | 2024-09-13                    | 2024-09-10  | 21.200     | 100.952% | 21.267  | 101.270%  |
| 7                                      |          | 402190   | 21.000  | 56   | 2024-08-16 | 2024-10-11                    | 2024-10-08  |            |          |         |           |
| 8                                      |          | 402191   | 21.000  | 56   | 2024-08-16 | 2024-10-11                    | 2024-10-08  |            |          |         |           |
| 9                                      |          | 402192   | 21.000  | 56   | 2024-08-16 | 2024-10-11                    | 2024-10-08  |            |          |         |           |

Cumple con la resistencia a 28 días

Nota: Imagen tomada de software para obras de constructora capital.

La información presentada evidencia que la resistencia de diseño (21 MPa) para este tipo de concreto es superada por resistencia mínima de 0.2 MPa, ya que cumple con resistencias superiores 21.2 MPa y los cilindros a 56 días serán desechados, ya que no es necesario enviar los testigos a fallar.

**- Muestra de mortero de inyección de 21 Mpa número 2488**

*Figura 58. Muestra 2488 con resultados favorables, compresión a 28 días.*

| Vista Previa                                     |          |                              |                   |                               |            |                   |             |                      |          |                      |           |
|--|----------|------------------------------|-------------------|-------------------------------|------------|-------------------|-------------|----------------------|----------|----------------------|-----------|
| No. de muestra: 2488                             |          | No. interno de muestra: 2488 |                   | Clase de muestra: Mampostería |            |                   |             |                      |          |                      |           |
| Tipo de muestra: Grouting (4 in)                 |          | Tipo de mezcla: GROUTP1-P6   |                   | Fecha: 2024-08-16             |            | Piso: 11          |             | Asentamiento: 9      |          | Observación: Revisar |           |
| Tipo de muestra: 10                              |          | Ubicación: TORRE 8           |                   | Temperatura: 26.000           |            | Estado: Terminada |             | Observación: Revisar |          |                      |           |
| Localización: TORRE 8 PISO 11 APTOS. 29-30-31-32 |          |                              |                   |                               |            |                   |             |                      |          |                      |           |
| Listado  |          |                              |                   |                               |            |                   |             |                      |          |                      |           |
| No.  | Remisión | Cilindro                     | Resistencia (MPa) | Edad                          | Vaciado    | Ensayo            | Recolección | Individual           | %        | Parejas              | % Parejas |
| 1  | 7748     | 402199                       | 21.000            | 7                             | 2024-08-16 | 2024-08-23        | 2024-08-20  | 16.700               | 75.524%  | 16.467               | 75.413%   |
| 2  | 7748     | 402200                       | 21.000            | 7                             | 2024-08-16 | 2024-08-23        | 2024-08-20  | 17.600               | 83.610%  | 16.467               | 75.413%   |
| 3  | 7748     | 402201                       | 21.000            | 7                             | 2024-08-16 | 2024-08-23        | 2024-08-20  | 15.100               | 71.905%  | 16.467               | 75.413%   |
| 4  | 7986     | 402202                       | 21.000            | 28                            | 2024-08-16 | 2024-09-13        | 2024-09-10  | 22.000               | 104.762% | 22.500               | 107.143%  |
| 5  | 7986     | 402203                       | 21.000            | 28                            | 2024-08-16 | 2024-09-13        | 2024-09-10  | 23.900               | 113.810% | 22.500               | 107.143%  |
| 6  | 7986     | 402204                       | 21.000            | 28                            | 2024-08-16 | 2024-09-13        | 2024-09-10  | 21.600               | 102.857% | 22.500               | 107.143%  |
| 7  |          | 402205                       | 21.000            | 56                            | 2024-08-16 | 2024-10-11        | 2024-10-08  |                      |          |                      |           |
| 8  |          | 402206                       | 21.000            | 56                            | 2024-08-16 | 2024-10-11        | 2024-10-08  |                      |          |                      |           |
| 9  |          | 402207                       | 21.000            | 56                            | 2024-08-16 | 2024-10-11        | 2024-10-08  |                      |          |                      |           |

↑  
Cumple con la resistencia a 28 días  
↓

*Nota: Imagen tomada de software para obras de constructora capital.*

La información presentada evidencia que la resistencia de diseño (21 MPa) para este tipo de mortero de inyección es superada, ya que cumple con resistencias superiores 21.3 MPa a 28 días de curado y los cilindros a 56 días serán desechados, ya que no es necesario enviar los testigos a fallar.

- **Paso 3: Se procede con el proceso de corte de los cilindros que serán utilizados tanto como mampuesto y adoquín.**

**- Selección de los cilindros.**

**Figura 59.** Selección de las muestras para corte.



Nota: Imagen de autoría propia.

Se seleccionan los cilindros de las muestras previamente revisadas con el fin de reutilizar cilindros que serán desechados y servirán como adoquín o mampuesto respectivamente

#### - Corte de los cilindros

**Figura 60.** Corte del cilindro para mampuesto.



Nota: Imagen de autoría propia.

Como se muestra en la figura 61, con ayuda de un trabajador certificado se procede a realizar los cortes respectivos para obtener los mampuestos a partir de los cilindros con medidas de 10 cm de diámetro y 20 cm de alto, en mampuestos de 7 cm de ancho por 20 cm de alto

#### - Corte de los cilindros

*Figura 61. Corte del cilindro para adoquín.*



*Nota: Imagen de autoría propia.*

Con ayuda de un trabajador certificado, como se evidencia en la figura 61, se procede a realizar los cortes respectivos para obtener dos adoquines a partir de los cilindros con medidas de 10 cm de diámetro y 20 cm de alto, en adoquines de 10 cm de diámetro y 10 cm de alto.

#### **- Recolección de prototipos para su respectivo uso**

**Figura 62.** Mampuestos y adoquines reciclados



*Nota: Imagen de autoría propia.*

Se recolectan los prototipos que serán utilizados previamente para evidenciar su implementación en actividades cotidianas de obra civil. Prototipos cortados como se evidencia en la figura 62.

- **Paso 4: Implementación del mampuesto para cajas de inspección**

*Figura 63. Paso 1: Modulación de mampuesto para cajas de inspección*



*Nota: Imagen de autoría propia.*

Como se muestra en la figura 63, se modulan los mampuestos con el fin de poder armar la caja de inspección prototipo antes de ser unidas por medio de mortero de pega.

*Figura 64. Paso 2: Unión de mampuestos para cajas de inspección*



*Nota: Imagen de autoría propia.*

Como se muestra en la figura 64, se procede con la unión de las unidades de mampuesto con mortero de pega para dar lugar a la caja de inspección

**Figura 65.** Paso 3: Emboquille de unidades para cajas de inspección



*Nota: Imagen de autoría propia.*

Como se evidencia en la figura 65, se procede con la respectiva emboquillada de las pegas verticales para garantizar la correcta unión tanto vertical como horizontal de las unidades.

**Figura 66.** Paso 4: Instalación de marco para cajas de inspección



*Nota: Imagen de autoría propia.*

Como se muestra en la figura 66, se procede a la instalación del marco para la tapa de inspección con la finalidad de ser fundido al finalizar la construcción de la caja, al ser un prototipo solo se muestra el proceso hasta la instalación del marco.



**Figura 69.** Paso 3: Emboquille de adoquín con granzón



Nota: Imagen de autoría propia.

Se emboquillan los adoquines entre sí con una primera capa de material de zaranda de arena (Granzón) para llenar los espacios que se encuentran entre sí como se evidencia en la figura 69.

**Figura 70.** Paso 4: Emboquille de adoquín con tierra negra



Nota: Imagen de autoría propia.

Se termina de emboquillar los adoquines en la capa superior con tierra negra, como se muestra en la figura 70 hasta alcanzar la altura del adoquín, para poder sembrar semillas de pasto que podrá crecer entre los adoquines.

*Figura 71. Paso 5: Siembra de las semillas de pasto para sendero.*



*Nota: Imagen de autoría propia.*

Se siembran las semillas entre las juntas con el fin de garantizar el crecimiento de pasto entre los adoquines y darle una visual de adoquín ecológico, como se ve en la figura 71.

*Figura 72. Adoquín Ecológico*



*Nota: Imagen tomada de [https://adoquinecologico.blogspot.com/2017/11/adoquin-ecologico\\_27.html](https://adoquinecologico.blogspot.com/2017/11/adoquin-ecologico_27.html)*

## **ANÁLISIS DE COSTOS.**

**Ladrillo recocido vs. mampuesto reciclado:**

Se realiza un análisis de costos entre el ladrillo recocido que es comprado a proveedor contra los prototipos de mampuesto hecho a base de los cilindros de concreto.

| <b>CONCEPTO</b>                                     | <b>LADRILLO RECOCIDO</b> | <b>MAMPUESTO RECICLADO</b> |
|---|--------------------------|----------------------------|
| Cantidad necesaria (unidades) para 1 m <sup>2</sup> | 69 UND                   | 71 UND                     |
| Costo por unidad                                    | \$ 550                   | \$ 72.80                   |
| Costo total de material                             | \$ 37.950,00             | \$ 12.846,45               |
| Mano de obra  | \$ 0                     | \$ 108,13                  |
| Transporte  | \$ 4.830,00              | \$ 0                       |
| Valor total   | <b>\$ 42.780,00</b>      | <b>\$ 12.954,58</b>        |

**Tabla 9**

*Relación de costos de ladrillo recocido vs. mampuesto reciclado*

*Nota: Esta tabla muestra la relación de costos calculada según anexo 2*

### **Análisis:**

Al realizar el análisis de costo se ve de manera viable realizar mampuestos reciclados, ya que presentan un costo menor al ser realizados en obra y no tener que pagar por transporte ni por materia prima para su fabricación, pero su rendimiento es más lento porque para producir al menos 4032 und se requeriría de un mes completo de trabajo y las programaciones de obra no podrían esperar tanto tiempo por un insumo para realizar cajas de inspección porque el material de proveedor se suministra en por lo menos viajes de 5000 unidades. En conclusión, es viable por costo, pero no es tan viable por tiempos de programación.

### Adoquín en arcilla vs. adoquín reciclado.

Se realiza un análisis de costos entre el adoquín en arcilla que es comprado a proveedor contra los prototipos de adoquín hechos a base de los cilindros de concreto. Relación calculada según anexo 2

| CONCEPTO  | LADRILLO RECOCIDO   | MAMPUESTO RECICLADO |
|---|---------------------|---------------------|
| Cantidad necesaria (unidades) para 1 m <sup>2</sup> | 50 UND              | 127 UND             |
| Costo por unidad                                    | \$ 803              | \$ 50.96            |
| Costo total de material                             | \$ 40.150,00        | \$ 16.126,19        |
| Mano de obra  | \$ 0                | \$ 75.69            |
| Transporte  | \$ 3.500            | \$ 0                |
| Valor total   | <b>\$ 42.780,00</b> | <b>\$ 12.954,58</b> |

*Tabla 10*

*Relación de costos de adoquín en arcilla vs. adoquín reciclado*

*Nota: Esta tabla muestra la relación de costos calculada según anexo 2*

### Análisis:

Al realizar el análisis de costo se ve de manera viable realizar adoquines reciclados, ya que presentan un costo menor al ser realizados en obra y no tener que pagar por transporte ni por materia prima para su fabricación, pero su rendimiento es más lento porque para producir al menos 5760 und se requeriría de un mes completo de trabajo, pero el material de proveedor se suministra en por lo menos viajes de 5000 unidades y por consiguiente el rendimiento de tiempo es mejor.

Adicionalmente, se analiza que para llenar un área de un metro cuadrado la cantidad de adoquines reciclados casi se triplica para cubrir el área mencionada dada su forma circular. En conclusión, es viable por costo, pero no es tan viable por tiempos de programación.

## **CONCLUSIONES DE LOS PROTOTIPOS**

### **- *Eficiencia al recuperar materiales***

El prototipo experimental evidencia que se pueden reutilizar cilindros de hormigón utilizados como residuos para la producción de mampuestos y adoquines, lo que aporta de manera notable a la disminución de desechos en el sector de la construcción. Este procedimiento no solo reduce el impacto ecológico al prevenir el traslado de cilindros a vertederos autorizados, sino que también proporciona una opción económica y sustentable para la producción de materiales;

### **- *Alcance apropiado de los criterios de resistencia***

Los cilindros escogidos para el prototipo satisfacen e incluso exceden los criterios de resistencia tras 28 días de curado, presentando valores que superan los 21 MPa y 17 Mpa en las muestras de concreto tradicional y mortero de inyección, respectivamente. Este fenómeno evidencia que los cilindros reutilizados conservan características mecánicas apropiadas para su empleo en componentes de edificación sin poner en riesgo la seguridad estructural.

### **- *Variedad de aplicaciones***

Los cilindros se transformaron con éxito en mampuestos para cajas de inspección y adoquines para caminos ecológicos, demostrando la capacidad de los materiales reciclados para ajustarse a diferentes requerimientos de construcción. Esta reutilización posibilita la producción de elementos útiles con un toque estético y ecológico, lo que abre la oportunidad de utilizar aplicaciones extra en construcciones civiles y paisajismo.

- ***Proceso productivo y acceso a mano de obra***

La producción de mampuestos y adoquines a partir de cilindros reciclados es factible a través de métodos sencillos y herramientas de corte tradicionales, lo que permite que el procedimiento sea accesible para personal con formación. Esto facilita la reproducción del prototipo en otros proyectos, favoreciendo una cadena productiva más eficaz y fomentando la sostenibilidad en diversas fases de la construcción.

- ***Ventajas ambientales y estéticas del adoquín ecológico***

El uso de estos adoquines ecológicos en un camino regulado con granzón y tierra negra, sumado a la plantación de semillas de pasto, posibilita la creación de zonas verdes que combinan funcionalidad con un efecto visual beneficioso. Este tipo de pavimento, al proporcionar el desarrollo de vegetación, promueve la infiltración de agua y disminuye el calor en áreas exteriores, proporcionando una opción ecológica para proyectos urbanos y residenciales.

## **Referencias Bibliográficas**

[1] DANE (2023). *Censo de edificaciones (CEED)*.

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

[2] Informa. (2024, 16 febrero). *Gestión de residuos de construcción en Colombia: un problema ambiental con vacíos normativos*. - Asociación Colombiana de Universidades. Asociación

Colombiana de Universidades. <https://ascun.org.co/gestion-de-residuos-de-construccion-en-colombia-un-problema-ambiental-con-vacios-normativos/#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20C%C3%A1mara%20Colombiana%20de,860.000%20y%20Manizales%20con%20306.000>.

[3] Sánchez, B. (2020). *Reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD) en la industria de la construcción* [Trabajo de grado]. Universidad Militar Nueva Granada. Tomado

de: <https://dimacro.com.co/portafolio/laboratorio-concreto-suelos/molde-cilindrico-prueba-de-concreto/>

[4] *¿Sabes qué son los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), y cómo disponerlos desde tu casa o empresa?* - Historial de noticias - Secretaría Distrital de Ambiente. (n.d.).

Secretaría Distrital De Ambiente.

[https://www.ambientebogota.gov.co/historial-de-noticias/-/asset\\_publisher/VqEYxdh9mhVF/content/-sabes-que-son-los-residuos-de-construccion-y-demolicion-rcd-y-como-disponerlos-desde-tu-casa-o-empresa-](https://www.ambientebogota.gov.co/historial-de-noticias/-/asset_publisher/VqEYxdh9mhVF/content/-sabes-que-son-los-residuos-de-construccion-y-demolicion-rcd-y-como-disponerlos-desde-tu-casa-o-empresa-)

[5] Hernández, A, Varela E. (2020). *Propuesta para la reutilización de residuos y escombros provenientes de los laboratorios de concreto en Villavicencio*. Universidad Santo Tomas.

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/30316/2020andreshernandez?se>

[6] Observatorio Ambiental de Bogotá. (s.f.). *Observatorio Ambiental de Bogotá*. Alcaldía Mayor de Bogotá. Recuperado el 9 de septiembre de 2024, de

<https://oab.ambientebogota.gov.co/>

[7] Visor Geográfico Ambiental. (s.f.). *Visor Geográfico Ambiental*. Alcaldía Mayor de Bogotá.

Recuperado el 9 de septiembre de 2024, de <https://visorgeo.ambientebogota.gov.co/?lon=-74.224822&lat=4.649736&z=11&l=5:1|39:1>

[8] Lasso, A. L. & Misle, R. (2012). Evaluación técnica, económica e institucional de la gestión de residuos de construcción y demolición en Bogotá D.C. Recuperado de:

<http://hdl.handle.net/10554/15570>.

[9] Parrado, C. (2015). *Guía para la elaboración del Plan de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición - RCD en obra - Secretaría Distrital de Ambiente*. GOV.CO.

<https://www.ambientebogota.gov.co/guia-para-la-elaboracion-del-plan-de-gestion-de-residuos-de-construccion-y-demolicion-rcd-en-obra>

[10] Rodríguez L. Fabián, Terán C. César L. (2018) Formulación de un plan de gestión para el uso de agregados de concreto reciclado en concretos hidráulicos para una empresa constructora en la ciudad de Bogotá. Universidad Católica de Colombia.

[11] Pérez V. Grace Y. Pérez (2019). Separación del concreto presente en los residuos de construcción y demolición para su reciclaje y reutilización in situ como agregado grueso. Universidad de los Andes.

[12] Betancourt A., Oliveros A., Paramo S. (2024). *Informe Final Morteros de Inyección* (Materiales de construcción). Universidad la Sabana.

[13] Construcción Latinoamericana. (2024, enero 24). La construcción, responsable del 40% de los residuos en Colombia: ¿El reciclaje como solución? Construcción Latino Americana.

<https://www.construccionlatinoamericana.com/news/la-construccion-responsable-del-40-de-los-residuos-en-colombia-el-reciclaje-como-solucion-/8034594.article>

[14] Argos Colombia. Residuos de construcción: Cómo convertirlos en aliados de la sostenibilidad. Argos Colombia. Recuperado el 2 de octubre de 2024, de

<https://colombia.argos.co/residuos-de-construccion-como-convertirlos-en-aliados-de-la-sostenibilidad/>

[15] Moreno L., Prieto L., Bilboa N. (2024). *Informe Final Morteros de pega* (Materiales de construcción). Universidad la Sabana.

[16] Calderón, L. R. (2015). NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 77 CONCRETOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS y GRUESOS. Tomado de: [\(PDF\) NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 77 CONCRETOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS POR TAMIZADO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS | Leonardo R. Calderón - Academia.edu](#)

## **Anexos**

### **LISTA DE TABLAS**

1. Tabla 1. Estado del arte
2. Tabla 2. Análisis estado del arte
3. Tabla 3. Residuos de construcción y demolición para el año 2013 en Colombia
4. Tabla 4. Resumen de información de acuerdo a la generación de RCD
5. Tabla 5. Resultados de la Granulometría RCD mezclado
6. Tabla 6. Resultados de la Granulometría Cerámica Triturada Nuevamente
7. Tabla 7. Granulometría del Concreto Triturado en Obra
8. Tabla 8. Granulometría del Concreto Triturado en Obra
9. Tabla 9 Relación de costos de ladrillo recocido vs. mampuesto reciclado
10. Tabla 10 Relación de costos de adoquín en arcilla vs. adoquín reciclado

### **LISTA DE FIGURAS O GRÁFICOS**

1. Figura 1 Desperdicios de mampostería en arcilla
2. Figura 2. Cilindros de muestras en concreto
3. Figura 3 Agregados reciclados.
4. Figura 4 Paso 1 del proceso de investigación.
5. Figura 5 Paso 2 del proceso de investigación.
6. Figura 6 Paso 3 del proceso de investigación
7. Figura 7 Paso 4 del proceso de investigación.
8. Figura 8 Paso 5 del proceso de investigación.
9. Figura 9 Parte 1 del paso 6 del proceso de investigación.
10. Figura 10 Parte 2 del paso 6 del proceso de investigación.
11. Figura 11 Visor geográfico Ambiental.
12. Figura 12 Visor geográfico Ambiental (Capas)
13. Figura 13 Visor geográfico Ambiental (Generadores de residuos)
14. Figura 14 Visor geográfico Ambiental (Capas de productores de residuos).
15. Figura 15 Visor geográfico Ambiental (Resultados en XLSX).
16. Figura 16 Gráfico comparativo de generación de residuos de construcción y demolición por parte de las entidades del sector público en Bogotá.

17. Figura 17 Gráfica de la generación de RCD en Bogotá entre 2012 y 2016.
18. Figura 18 Gráfica resumen oferta escombros dada por el sector Público y Privado
19. Figura 19 Mortero de inyección en mampostería
20. Figura 20 Curva granulométrica de agregado de RCD
21. Figura 21 Densidades y absorción del agregado grueso de RCD.
22. Figura 22 Dosificación diseño de mezcla 1
23. Figura 23 Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #1, 7 días
24. Figura 24 Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #1, 28 días
25. Figura 25 Dosificación diseño de mezcla 2
26. Figura 26 Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #2, 7 días
27. Figura 27 Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #2, 28 días
28. Figura 28 Dosificación diseño de mezcla 3
29. Figura 29 Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #3, 7 días
30. Figura 30 Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #3, 28 días
31. Figura 31 Dosificación diseño de mezcla 4
32. Figura 32 Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #4, 7 días
33. Figura 33 Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #4, 28 días
34. Figura 34 Resistencia a la compresión a 7 días.
35. Figura 35 Resistencia a la compresión a 28 días.
36. Figura 36 Curva granulométrica del RCD mezclado.
37. Figura 37 Curva granulométrica de la cerámica triturada por segunda vez.
38. Figura 38 Curva granulométrica del Concreto
39. Figura 39. Curva Granulométrica del Ladrillo.
40. Figura 40. Dosificación diseño de mezcla #1.
41. Figura 41. Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #1
42. Figura 42. Dosificación diseño de mezcla #2
43. Figura 43. Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #2
44. Figura 44. Dosificación diseño de mezcla #3
45. Figura 45. Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #3
46. Figura 46. Dosificación diseño de mezcla #4.
47. Figura 47. Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #4

48. Figura 48. Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #5
49. Figura 49. Resultados de resistencia a la compresión probetas Mezcla #5
50. Figura 50. Comparación de resultados de resistencia a la compresión a 7 días.
51. Figura 51. Comparación de resultados de resistencia a la compresión a 28 días.
52. Figura 52. Muestra 2304 con resultados favorables compresión a 28 días.
53. Figura 53. Muestra 2306 con resultados favorables, compresión a 28 días.
54. Figura 54. Muestra 2365 con resultados favorables, compresión a 28 días.
55. Figura 55. Muestra 2380 con resultados favorables, compresión a 28 días.
56. Figura 56. Muestra 2392 con resultados favorables, compresión a 28 días.
57. Figura 57. Muestra 2487 con resultados favorables, compresión a 28 días.
58. Figura 58. Muestra 2488 con resultados favorables, compresión a 28 días.
59. Figura 59. Selección de las muestras para corte.
60. Figura 60. Corte del cilindro para mampuesto.
61. Figura 61. Corte del cilindro para adoquín
62. Figura 62. Mampuestos y adoquines reciclados
63. Figura 63. Paso 1: Modulación de mampuesto para cajas de inspección
64. Figura 64. Paso 2: Unión de mampuestos para cajas de inspección
65. Figura 65. Paso 3: Emboquille de unidades para cajas de inspección
66. Figura 66. Paso 4: Instalación de marco para cajas de inspección
67. Figura 67. Paso 1: Alistado de base
68. Figura 68. Paso 2: Modulación de adoquín
69. Figura 69. Paso 3: Emboquille de adoquín con granzón
70. Figura 70. Paso 4: Emboquille de adoquín con tierra negra
71. Figura 71. Paso 5: Siembra de las semillas de pasto para sendero.
72. Figura 72. Adoquín Ecológico

## **LISTA DE ANEXOS**

1. ANEXO 1 (Morteros de Inyección).pdf
2. ANEXO 2 (Morteros de Pega).pdf
3. ANEXO 3 (RELACION DE COSTOS).xlsx

**PRESENTACIÓN PROPUESTA TRABAJO FINAL DE INVESTIGACIÓN  
ESPECIALIZACIÓN EN DIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES  
“EDCE”**

*(Utilice o amplíe los espacios sugeridos según convenga – Tamaño Fuente: 12, Interlineado: 1,5)*

1. **Fecha:**

2. **Proponente:**

3. **Identificación:**

4. **Programa:** *Especialización en Dirección de Construcción de Edificaciones*

5. **Director propuesto:** *Yenny Yolanda Ortiz*

6. **Grupo de investigación (opcional):**

7. **Título:** *Construcción de recursos con base en los desperdicios de obra: concreto y mampostería*

8. **Línea de investigación:** *acordes con las 3 líneas establecidas en el programa curricular.*

● *Materiales de construcción*

● *Gestión, Gerencia y Dirección*

● *Programación y Control de Obra*