Elaboración de materiales no convencionales a partir de Residuos de Construcción y Demolición en el marco de la construcción sostenible.

Jhon Darwyn Jiménez Ramírez
Químico Industrial, Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, jdjimenezrsena.edu.co, Medellín.
Alejandra Betancur Sánchez
Ingeniera Química, Universidad de Antioquia, alejandra.betancurs@udea.edu.co, Medellín.

RESUMEN

La construcción es uno de los principales sectores que mueve la economía, pero también es responsable de la generación del 30% de los residuos sólidos mundiales. En este contexto, se ha desarrollado un proyecto para la elaboración de materiales no convencionales a partir de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) bajo procesos de sostenibilidad. La metodología propuesta inicia con la revisión bibliográfica de los procesos de aprovechamiento de RCD y continúa con la caracterización de los residuos, la elaboración de mezclas y la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales obtenidos. Los resultados muestran que es posible obtener materiales de calidad a partir de RCD, lo que contribuye a la reducción de la cantidad de residuos sólidos generados en la construcción y a la sostenibilidad del medio ambiente. Los resultados obtenidos muestran resistencias de 10,1 Mpa en promedio, las cuales cumplen con las Normas Técnicas Colombianas NTC 4076 (mampostería no estructural) y se clasifican como clase baja según la NTC 4026 (mampostería estructural). Este proyecto puede ser replicado en otros centros de formación y en la industria de la construcción en general, con el fin de promover prácticas más sostenibles y responsables con el medio ambiente.

Palabras clave: Agregados, agregado grueso, agregado fino, construcción sostenible, materiales no convencionales, RCD.

ABSTRACT

Construction is one of the main sectors driving the economy, but it is also responsible for the generation of 30% of the world's solid waste. In this context, a project has been developed for the production of non-conventional materials from Construction and Demolition Waste (CDW) under sustainable processes. The proposed methodology begins with a bibliographic review of the processes for the use of CDWs and continues with the characterization of the waste, the preparation of mixtures and the evaluation of the physical and mechanical properties of the materials obtained. The results show that it is possible to obtain quality

materials from CDW, which contributes to the reduction of the amount of solid waste generated in construction and to the sustainability of the environment. The results obtained show resistances of 10.1 Mpa on average, which comply with Colombian Technical Standards NTC 4076 and NTC 4026. This project can be replicated in other training centers and in the construction industry in general, in order to promote more sustainable and environmentally responsible practices.

Keywords: aggregates, coarse aggregates, fines aggregates, CDW, non-conventional materials and sustainable construction.

1. INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción y edificación es clave en la economía, pero también es responsable de la generación de grandes cantidades de residuos sólidos, lo que representa un problema ambiental importante. La generación de residuos ha ido creciendo rápidamente con el aumento de la población. Se estima que la generación mundial de residuos casi se duplicará para 2050 y se triplicará para 2100 en comparación con el año 2016 (Economist, 2018; World-Counts, 2020). La industria de la construcción es responsable de aproximadamente el 23% de la contaminación del aire, el 40% de la contaminación del agua potable y contribuye al 50% de los residuos depositados en vertederos (Granda, 2023).

En Colombia, de acuerdo con el DANE, se producen 24,8 millones de toneladas de residuos al año, de los cuales el 47 % provienen de los hogares y se tiene una generación per cápita de 515 kilogramos. A su vez la tasa de reciclaje, que se refiere a la proporción de material reciclado sobre la generación total de residuos sólidos, es cercana al 11,82 % en el año 2019, con una clasificación promedio de los residuos en los hogares en todo el país del 39,9 % y del 42,2 % en las cabeceras municipales (DANE, 2020).
Según datos del DANE, en el Valle de Aburrá para el año 2022 se considera una generación de 41.498 Toneladas de RCD (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2023).
Un volumen enorme de residuos se deposita en rellenos sanitarios y esto está creando importantes problemas medioambientales, como la contaminación del suelo, el agua y el aire, y también repercutiendo en la salud humana.

En este contexto, se han desarrollado estrategias que buscan la concientización de productores, constructores y la comunidad desde el reconocimiento de los materiales de construcción, el cambio de una economía lineal a una circular, la reincorporación de materiales residuales y alternativos provenientes del reciclaje o aprovechamiento de residuos sólidos, contribuyendo a la conservación y uso eficiente de recursos naturales (Urrego et al., 2022).

En el caso del Área Metropolitana de Medellín, se están desarrollando actividades de gestión adecuada de RCD generadas en obras, utilizando elementos sistemáticos como la página web www.metropol.gov.co. Este aplicativo permite a los generadores y gestores inscribirse ante la Autoridad y presentar sus reportes en cumplimiento de las resoluciones 472/2017 y 1257/2021 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2023).
Hay varios tipos de residuos que se pueden reciclar para lograr un ahorro sustancial de recursos; por ejemplo, las llantas están siendo aprovechadas como gránulos de goma para adicionarlos como agregado fino en la elaboración de los eco ladrillos, dando una mayor absorción y menor resistencia (Pérez et al., 2021). También, el caucho producido a partir de neumáticos al final de su vida útil se ha aplicado en hormigón y construcciones de carreteras como agregados en mezclas asfálticas (Li et al., 2016).

Existen cuatro líneas principales de reutilización de residuos de concreto: Fabricación de concretos empleando RCD como sustituto total de áridos naturales o como sustituto de las fracciones gruesas o finas; elaboración de prefabricados como bloques divisorios, bordillos y tuberías;

uso en carreteras como base y subbase; y aprovechamiento de los residuos de hormigón como materia prima para la producción de nuevos productos de alta calidad (Osorio & Montoya, 2018). Los resultados obtenidos al emplear RCD para la fabricación de concretos son positivos, puesto que se han logrado producir concretos de hasta un 30% más de resistencia a la compresión en comparación con concretos fabricados con agregados convencionales (Wagih et al., 2013). Cabe aclarar que existen numerosos materiales sostenibles, pero para la construcción, los procesos empleados para su obtención y puesta a punto también deben serlo. Por tal motivo, estos materiales deberán contar con tecnología que mejore su funcionamiento y su valor sostenible (Romero, 2020).

En Colombia ya existen iniciativas para edificaciones sustentables y sostenibles, pero a pesar de ser pioneros en esto, los diseñadores y arquitectos siguen construyendo de manera tradicional sin pensar en la relación hombre con la naturaleza, y son pocos los que han querido innovar y participar en la mitigación de CO^2 en los procesos de la construcción (Malaver & Ortiz, 2018).

La reutilización y el reciclaje de los residuos de la construcción a lo largo del ciclo de vida de los edificios y las infraestructuras es una de las estrategias fundamentales para alcanzar la sostenibilidad en el sector de la construcción, y para ello, el concepto de "residuo" debería tender a desaparecer y dejar paso a la consideración de este flujo de materiales como un "recurso" (Sunsunaga, 2014).

Dentro de los materiales no convencionales utilizados actualmente en la construcción se encuentran: Paneles que reemplazan la madera, fabricados a partir de desechos de cultivo de trigo y sorgo; pintura ecológica a base de proteína de leche, arcilla, cal y pigmentos minerales; vidrio reciclado varias veces, para usarse como recubrimiento de paredes y muebles; paneles fabricados a partir de botellas de plástico; el mycelium, el cual consiste en una estructura de raíz de hongos en las que estos pueden crecer alimentados por un compuesto de otros materiales naturales. Una vez secada al aire sirve para crear ladrillos muy resistentes; fibra de celulosa de papel reciclado fabricada con un proceso de baja energía, el polipropileno, polibutileno y polietileno como alternativa al PVC y el concreto de ceniza volcánica como sustituto del cemento tradicional. Este material ecológico permite que el 97% de los componentes convencionales se pueden reemplazar por materias primas naturales (Rebuild, 2019).

En un estudio, se aplicó una herramienta de sostenibilidad para determinar cuál de las dosificaciones de reciclaje utilizadas para producir los bloques de hormigón calificados era sostenible. Los hallazgos mostraron que la receta que usaba fibras de sisal (es decir, 0,25 % de la cantidad de cemento) en agregados 100 % reciclados de desechos de construcción y demolición para la producción de bloques de concreto, resultó ser una receta más sostenible que las demás. Esta condición sugiere que el uso del 100 % de residuos de construcción y demolición en materiales de construcción contribuye a la conservación de recursos de relativamente la misma cantidad de agregados naturales para uso futuro, lo cual está en línea con el concepto de construcción sostenible. Por lo tanto, es posible reciclar el 100 % de los desechos de

construcción y demolición en materiales de construcción (Sabai et al, 2014). Las recetas empleadas en el anterior estudio cumplieron la resistencia a la compresión, la cual tiene un valor de 7 MPa que se utiliza tradicionalmente para definir el requisito mínimo de capacidad de carga, así como la relación de absorción de agua del 12%.

Investigadores de la Universidad del Valle, demuestran la viabilidad de utilizar el residuo de ladrillo (RL) como precursor primario de un mortero activado alcalinamente de tipo híbrido apto para fabricar elementos constructivos, tipo bloque, adoquín y teja, con propiedades incluso superiores a las mínimas establecidas en las normas técnicas colombianas (NTC), destacando la incorporación de tan solo un 10 % en peso de cemento Portland (OPC) y la utilización de procesos de conformado manual (Robayo et al., 2016).

De acuerdo con la norma NTC 4026, los bloques de RL obtenidos se pudieron clasificar como “bloques estructurales de clase alta”, al tener una resistencia a la compresión de 17.09 MPa y una capacidad de absorción de agua del 7.3 %, es decir, un 31.5 % más resistentes y un 18.8 % menos absorbentes que los requerimientos establecidos en la norma NTC 4026. La producción de los elementos constructivos se basó en el desarrollo de un mortero híbrido de 48.61 MPa de resistencia a la compresión a los 28 días de curado a temperatura ambiente (25 °C). Como activadores alcalinos se usaron hidróxido de sodio (NaOH) grado industrial y silicato sódico comercial (Na2SiO3). (Robayo et al., 2016).

En cuanto a elaboración de bloques de cemento añadiendo residuos de construcción Herrera et al. (2021), presentan un proceso detallado en cuanto a materiales y sus características para la elaboración de bloques en concreto teniendo como referentes de calidad la norma técnica Colombiana NTC 4026 de 1997, se realizaron tres combinaciones de agregados en proporciones de agregado convencional y agregado de RCD de 80:20, 70:30 y 60:40 y tamaños de grano de 3/8 de pulgada y un tamaño máximo nominal de No.4. La resistencia a la comprensión presentó un valor promedio de 7 MPa, dando resultados positivos según lo dispuesto en la Norma NSR-10 Título D para elementos de mampostería tipo bloque por individual.

2. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se propuso una metodología de marco lógico en la cual la población de estudio fue el Centro para el Desarrollo del Hábitat y la Construcción (CDHC), donde se recolectaron los residuos de construcción y demolición (RCD) para la elaboración de los materiales no convencionales, las fases del Proyecto se definen a continuación en la figura 1.

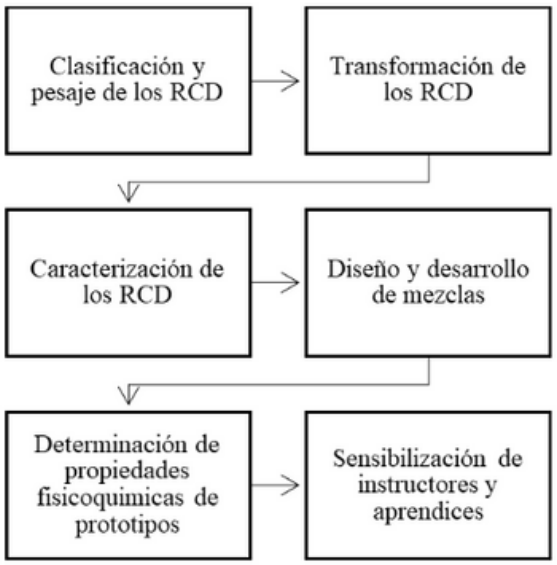

Figura 1. Etapas del proyecto
Fuente: Elaboración propia.

2.1. Caracterización

En esta etapa se realizó separación de residuos de yeso, pesaje y almacenamiento de los RCD, inicialmente en el taller de acabados y pintura (donde se realizan actividades de formación en acabados, pintura de interiores y exteriores en edificaciones y revestimiento de paredes y accesorios interiores), posteriormente en el patio de prácticas del Centro de formación CDHC en la cual se desarrollan procesos formativos en procesos estructurales y no estructurales de construcción (levantamiento de paredes, enchape, elaboración de vigas, columnas). La cantidad de RCD que se originan en el centro es variada, debido a que esto depende de las actividades formativas que se llevan a cabo, así como el número de grupos de procesos constructivos y de hábitat que se desarrollen al año. Sin embargo, se puede identificar un promedio de 47.566 Kg.
Los residuos con características de concreto, arena, grava y material puzolánico son generados a partir de las prácticas de formación.

2.2 Transformación de los RCD

La transformación de los RCD se llevó a cabo de acuerdo con los procesos que se presentan a continuación.

Trituración: En este proceso se usó un triturador de mandíbula con motor trifásico de muelas en acero y manganeso, correas de transmisión en V, y eje fabricado en acero con capacidad de 1 a 4 toneladas/hora para un primer proceso de trituración y para la recuperación de gruesos y finos. En la Figura 2 se identifica el equipo utilizado.

Figura 2. Triturador de Mandíbula
Fuente: Propia.

En un segundo proceso se utilizó trituradora eléctrica de escombros Modelo 2F-TR, desplazable en 3 rodachines, la cual permite disminuir el tamaño de grano del material residual. El equipo se presenta en la Figura 3.

Figura 3. Triturador eléctrico 2F-TR.
Fuente: Propia.

Tamizaje automático y manual: En la tamizadora automática se logra separar material en un tamaño de partícula para finos tipo No. 4 y en agregados gruesos de ½ pulgada. En el tamizaje manual se usaron mallas No. 2 y No. ¾, con lo cual se obtuvo material de ¾ y ½ de pulgada. En las Figuras 4 y 5 se presentan los equipos utilizados.

Figura 4. Tamizadora sencilla.
Fuente: Propia

Figura 5. Tamizadora con malla doble.
Fuente: Propia

2.3 Caracterización de los RCD

Una vez separado el material se realizaron análisis de granulometría, densidad y absorción los cuales permiten dar inicio al desarrollo de los diseños de mezclas determinando las propiedades específicas para el uso de estos materiales según sus condiciones particulares. Estos análisis cumplen con parámetros mínimos como la distribución de tamaño de partícula (que influye en la trabajabilidad, compactación y resistencia), densidades reales y aparentes (con el fin de calcular la cantidad de material en mezcla y composición mineralógica) y el ensayo de absorción (que permite el ajuste adecuado de agua en la mezcla). Los ensayos se ejecutaron por personal calificado del laboratorio de ensayos de agregados, concretos y cementos LEACCEM del Centro de formación CDHC, los ensayos se realizaron siguiendo los mandatos y parámetros de la Norma Técnica Colombiana NTC 4017.

2.4 Diseño y desarrollo de Mezclas

Se realizan las dosificaciones del material, manteniendo un 10% de cemento. Las dosificaciones contienen una mezcla de cemento, material grueso (grava residual con un tamaño granulométrico superior a 4,76 mm retenidos al 100%), fino (material de construcción con un tamaño inferior a 4,75 mm, que pasa 100% malla 3/8” de RCD) y otros residuos que se dosifican en proporciones específicas para evaluar el comportamiento de la resistencia del material en cada una de las dosificaciones. Dentro de los otros residuos incorporados en las mezclas se usaron: micro plástico 5%,

carbón inactivo 5% (proporcionados por Empresas Públicas de Medellín (EPM)), residuos mineros 10% (obtenidos del Centro Minero Ambiental El Bagre) y material puzolánico 10,85% (obtenido en el Centro CDHC). Estos materiales se homogenizaron en seco, posteriormente se adicionó agua en una cantidad conocida y se introdujo la mezcla en máquina de bloques CINVA RAM, previamente engrasada para evitar que el bloque se adhiera y garantizando que el material quedara bien distribuido en ella. Una vez el material está dentro de la máquina, se comprime y se deja reposar durante 10 minutos, para posteriormente extraerlo y someterlo a curado en agua durante 21 y 28 días.

2.5 Estandarización de diseño de mezclas y determinación de propiedades físico-mecánicas.

Estandarización de diseño de mezclas: Una vez realizados los ensayos en cilindros y según los resultados arrojados bajo las condiciones de calidad, se elaboraron bloques con dimensiones de largo 31,4 cm, ancho de 15,4 cm, área bruta de 406,5 cm^2 y peso de 8,5 Kg aproximadamente con materiales residuales de finos (62,5%), grava puzolánica y residual (25%), así como cemento (12,5%) esto en base seca e hidratación de 1600ml de agua.

Determinación de propiedades físico-mecánicas: El bloque fue sometido a falla mediante ensayo realizado teniendo como referencia la norma NTC 4017:2005, por el laboratorio de ensayos de agregados, concretos y cementos – LEACCEM, del Centro de formación CDHC. El ensayo realizado es de resistencia a la compresión en unidades de Mampostería.

2.6 Sensibilización a instructores y aprendices

Se realizaron jornadas de transferencia de conocimiento en cuanto al manejo alternativo de RCD, bajo una actividad de solución de problemas. En esta, se presentaron residuos con posibilidad de aprovechamiento en grupos de 5 a 6 personas, en el cual debían realizar un bloque o adoquín con uno de los materiales propuestos y presentar tanto la cantidad y tipo de uso del material como el prototipo de este. Una vez presentada la actividad, se retroalimentaba en cuanto a la posibilidad del uso de materiales bajo el concepto de economía circular y construcción sostenible En la Figura 6 se presentan fotografías de esta actividad.

(a)

(b)

(c)

Figura 6 a, b y c. Grupo1, 2 y 3 de Instructores actividades de economía circular manejo de RCD y residuos orgánicos.
Fuente: Propia

3. RESULTADOS

3.1 Granulometría

La granulometría para los agregados gruesos se realizó con una incertidumbre expandida de 0.37% y un módulo de finura de 5,94. El peso seco antes y después de lavar fue de 5.094,7 g.

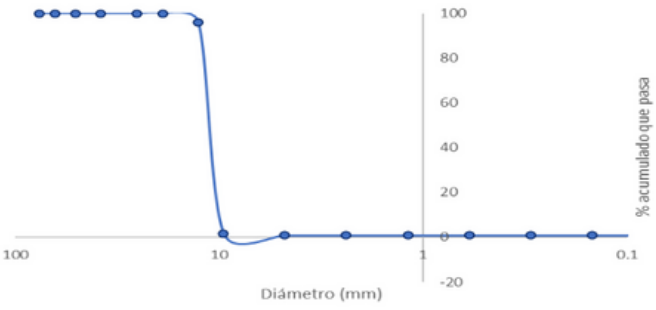

Figura 7. Resultados granulometría gruesos
Fuente: LEACCEM

De acuerdo con lo anterior, se observa que la mayor cantidad del material (>99%) quedó retenida en la malla número 4, conforme a lo que estipula la Norma Técnica Colombiana para este tipo de material.

En el caso particular de la granulometría para agregados finos, se realizó con una incertidumbre expandida de 0.38%, módulo de finura de 2,76. El peso antes de lavar fue de 600 g y luego de lavado de 555,5 g.

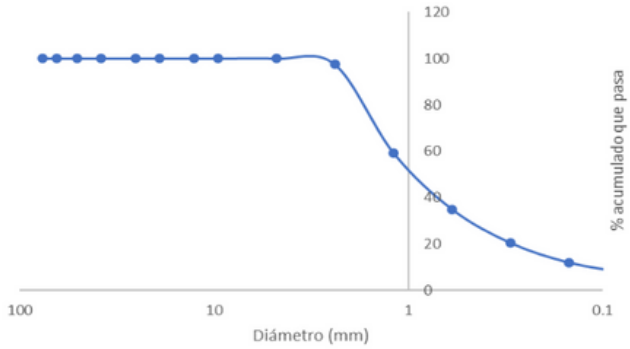

Figura 8. Resultados granulometría en finos
Fuente: LEACCEM

Con base a la figura anterior, para los materiales clasificados como finos, se confirmó que este tipo de material cumple con una distribución granulométrica de ser retenido por encima del 99% en malla número 200 y material que pasa por encima de un 98% en tamiz 3/8".

3.2 Densidad

En cuanto a densidades de los RCD en finos, los resultados obtenidos se presentan a continuación (Tabla 1.).

Tabla 1. Densidad de agregados residuales finos, análisis realizado por laboratorio LACCEM.

Datos densidad y absorción agregados finos	
Densidad relativa (gravedad específica) secado al horno (SH)	*1,93*
Densidad relativa (gravedad específica) en condición saturada y superficialmente seca (SSS)	*2,21*
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	*2,69*
Absorción (%)	*14,52*

En el caso de materiales gruesos residuales las densidades identificadas se muestran a continuación en la Tabla 2.

Tabla 2. Densidad de agregados residuales gruesos, análisis realizado por laboratorio LACCEM.

Datos densidad y absorción agregados gruesos	
Densidad relativa (Gravedad especifica) Seca al horno	*2,28*
Densidad relativa (Gravedad especifica) saturada superficialmente seca	*2,45*
Densidad relativa aparente (Gravedad especifica)	*2,76*
Densidad en condición seca al horno (kg/m³)	*2274*
Densidad en condición saturada superficialmente seca (kg/m³)	*2448*
Densidad Aparente (kg/m³)	*2755*
Absorción (%)	*7,66*

3.3 Resistencia a la compresión

Se presentan los datos de resistencia a la compresión de diseños de mezclas con residuos de yeso y drywall del ambiente no convencional de pinturas y acabados (Tabla 3).

Tabla 3. Datos compresión mecánica diseño de mezcla con yeso residual.

No. de muestra	1	2	3	4
Resistencia Real (MPa)	0,63	0,54	1,87	0,43
Resistencia promedio (MPa)		0,87		

En la tabla 4, según informe de laboratorio No. 5091 se evidencian propiedades mecánicas de bloques con Residuos de Construcción y Demolición de patio de prácticas del Centro de formación CDHC que van alineados a las normas técnicas colombianas en cuanto a los materiales de construcción.

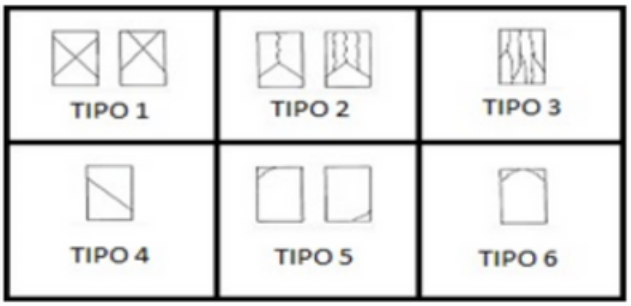

Figura 9. Tipo de falla
Fuente: LEACCEM

Tabla 4. Datos compresión mecánica diseño de mezcla con RCD del patio de prácticas del Centro de formación CDHC

Cilindro	Peso (kg)	Densidad (kg/m³)	Diámetro promedio (mm)	Altura promedio (mm)	Área (mm²)
(1 C1.6)	34,656	2077,25	102,37	202,70	8230,69
(2 C1.6)	34,353	2074,91	101,79	203,45	8137,69
(3 C1.6)	35,215	2060,97	102,51	207,03	8253,22

Cilindro	Fuerza (kN)	Resistencia a compresión (MPa)	Tipo de Falla
(1 C1.6)	85,00	10,33	3
(2 C1.6)	79,00	9,71	2
(3 C1.6)	84,00	10,18	2

3.4 Separación y uso de materiales

En 30 días se separaron 1.764 kg de grueso y 1.764 kg de finos en el patio de prácticas del centro de formación. Estos se usaron para la generación de bloques de concreto, así como para la obtención de cilindros de fallo en la determinación de resistencias de material.

4. CONCLUSIONES Y/O DISCUSIONES

El proyecto demuestra que es posible reducir la cantidad de residuos sólidos generados en la construcción mediante la elaboración de materiales no convencionales a partir de RCD, disminuyendo el uso de materiales convencionales hasta en un 64%.

La metodología propuesta puede ser replicada en otros centros de formación y en la industria de la construcción en general, con la finalidad de contribuir y desarrollar prácticas más sostenibles y convergentes con el medio ambiente.

La elaboración de materiales no convencionales a partir de RCD puede contribuir a la sostenibilidad del medio ambiente y a la reducción de los costos de producción en la construcción. Además, se puede fomentar la economía circular al darle un nuevo uso a los residuos de construcción y demolición.

En el caso de residuos de yeso, estos pueden implementarse en procesos decorativos y otros procesos en la construcción de tipo no estructural, debido a su baja resistencia y alta maleabilidad en el momento de uso. En promedio estos presentaron resistencia de 0,9 MPa no cumpliendo con los estándares establecidos en las NTC como en el caso de concretos, bloques y adoquines.

En cuanto a los resultados granulométricos se evidencia que cumplen tanto los agregados finos como los gruesos, teniendo en cuenta que para el caso de agregados finos se presenta retención en malla No.200 mayor a un 99% y para agregados gruesos se presentaron retenciones de 99% en malla No.4 lo cual cumple para los agregados residuales usados en diseños experimentales, esto según **NTC 77:2018 Método de ensayo para análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos** y consideraciones de **NTC 174-18** en esta se determinan los requisitos de gradación y calidad para agregados gruesos y finos y la cual permite el uso de agregados reciclados según última actualización.

Los residuos de construcción provenientes del patio de prácticas del Centro de formación CDHC se clasificaron en arenas mezcladas con cemento y triturado, proveniente de prácticas de construcción convencional y morteros de prácticas para análisis de concretos, los cuales presentaron bajo diseño de mezcla propuesto una Resistencia promedio de 10,1MPa, teniendo en cuenta NTC 4076 Unidades (bloques y adrillos) de concreto, para mampostería no estructural interior y chapas de concreto, según su apartado 4.2 resistencia a la compresión para un promedio de 3 unidades se garantizarían resistencias mínimas de 6MPa y en el caso de ensayo individual resistencias mínimas de 5MPa, así mismo, según NTC 4026 Unidades (bloques y ladrillos) de concreto, para mampostería estructural, según numeral 4.2 resistencia a la compresión en ensayos con promedio de 3 unidades la resistencia mínima para clase Alta es de 13MPa y para clase baja 8 MPa y en el caso de ensayos individuales para clase Alta es de 11MPa y clase Baja 7MPa , lo cual demuestra que el diseño elaborado cumple con parámetros de resistencia a la compresión.

Es posible mejorar el diseño final con el uso de otros materiales o la disminución de los RCD. En conclusión, la elaboración de elementos no convencionales a partir de RCD es una práctica viable y sostenible para la industria de la construcción.

Agradecimientos.

Queremos agradecer a DIOS por integrar un equipo de trabajo y las condiciones necesarias para la ejecución del proyecto de investigación que da lugar al artículo. Así mismo, agradecemos al grupo de semilleristas que con tesón y perseverancia hicieron posible la investigación y al coordinador José Fernando Rangel quien con su gestión y apoyo administrativo hizo posible la gestación del proyecto.

Referentes Bibliográficos.

Adilson C.et al. (2022) Análisis del efecto de la incorporación de residuos de construcción y demolición sobre el comportamiento ambiental y mecánico de mezclas terrestres. *Construction and Building Materials*, 330, páginas 127244.

Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2023). Guía regional con los procesos técnicos y jurídicos RCD 2023. https://www.metropol.gov.co:443/Paginas/Noticias/nueva-guia-rcd-2023-area-metropolitana.aspx

Bogas J et al. (2023) Mechanical performance and shrinkage of compressed earth blocks stabilised with thermoactivated recycled cement. *Journal of Building Engineering*, 79, páginas 107892

Afanador Charris, B. M. et al. (2020). *Implementación de materiales y técnicas alternativas para la construcción de edificaciones sostenibles en Colombia*. [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio UCC. https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/2cffa39d-e985-4ffb-8ac9-ea0927d1cdb0/content

D. Li, J. Mills, T. Benn, X. Ma, R. Gravina, Y. Zhuge. Review of the performance of high-strength rubberized concrete and its potential structural applications. Advances in *Civil Engineering Materials*., 5 (1) (2016), pp. 149-166

Departamento Nacional de Planeación (DANE), (2022). *Guía Nacional para la adecuada separación de residuos sólidos.*

Economista. "La generación mundial de residuos casi se duplicará para 2050", *The Economist, economist.com 2018.*

Fabbri, A., et al. (2022). Testing and Characterisation of Earth-based Building Materials and Elements. Springer. ISBN 978-3-030-83296-4. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83297-1

Glinka, M., Vedoya, D., Pilar, C. (2006). Estrategias de reciclaje y reutilización de residuos sólidos de construcción y demolición. Repositorio Universidad Nacional del Nordeste.

Granda, C. (2023, agosto 3). Impacto ambiental en la construcción—2025. Leaf. https://leaflatam.com/impacto-ambiental-en-la-construccion/

Guillén de Romero, J., Calle García, J., Gavidia, A., & Vélez Santana, A. G. (2020). Desarrollo sostenible: Desde la mirada de preservación del medio ambiente colombiano. Revista de ciencias sociales, 26(4), 293-307.

Hafez, A. I., Khedr, M. M., Osman, R. M., Sabry, R., & Mohammed, M. S. (2020). A comparative investigation of the unit cost for the preparation of modified sand and clay bricks from rice husk waste. Journal of Building Engineering, 32, página 101765.

Herrera W., Trejo J., Galindo N (2021). Elaboración de bloques en cemento adicionados con residuos de concreto como alternativa sostenible para la construcción. [Tesis de pregrado, Universidad Cooperativa De Colombia]. Repositorio UCC. https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/314984df-3ee2-471a-982c-f55608150341/content

Lamrani, M., Mansour, M., Laaroussi, N., & Khalfaoui, M. (2019). Thermal study of clay bricks reinforced by three ecological materials in south of Morocco. Energy Procedia, 156, 273-277.

Li'an Zhou, et al.(2021) Influencia del polvo de hormigón reciclado (RCP) y del polvo de ladrillo reciclado (RBP) en las propiedades físicas/mecánicas y la durabilidad del suelo en bruto. Recubrimientos 11(12), páginas 1475.

Limami, H., Manssouri, I., Cherkaoui, K., & Khaldoun, A. (2021). Physicochemical, mechanical and thermal performance of lightweight bricks with recycled date pits waste additives. Journal of Building Engineering, 34, página 101867.

Malaver Jaramillo, N. P., & Ortiz Esguerra, N. F. (2018). Análisis de las edificaciones sustentables como la mejor alternativa económica, social y ambiental para la construcción en Colombia. [Tesis de especialización, Universidad la gran Colombia]. Repositorio UGC. https://repository.ugc.edu.co/server/api/core/bitstreams/a458d7a1-0116-49c9-88dd-3bdb4ad9b1b3/content

Maza-Ignacio, O. T., Jiménez-Quero, V. G., Guerrero-Paz, J., & Montes-García, P. (2020). Recycling untreated sugarcane bagasse ash and industrial wastes for the preparation of resistant, lightweight and ecological fired bricks. Construction and Building Materials, 234, 117314.

Mendoza, I., Chávez, S. (2017). Residuos de construcción y demolición como agregado de concreto hidráulico nuevo. Revista de Ingeniería Civil. 1(2), 9-14.

Osório, L. M. C., & Montoya, J. M. B. (2018). Demolition and construction waste characterization for potential reuse identification. DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, 85(206), 338-347.

Pérez, S. P. M., Sánchez, J. L. D., & Peña, L. E. F. (2021). Elaboración de ladrillos ecológicos en muros no estructurales: una revisión. CULCyT: Cultura Científica y Tecnológica, 18(1).

REBUILD. (2019). 8 nuevos materiales ecológicos en el sector de la construcción. https://www.rebuildexpo.com/materiales-ecologicos-sectorconstruccion/

Robayo-Salazar, R. A., Mejía de Gutiérrez, R., & Mulford-Carvajal, A. J. (2016). Producción de elementos constructivos a partir de residuos de ladrillo activados alcalinamente. Revista Facultad de Ingeniería, 25(43), 21-30.
Sabai, S. M. M., Lichtenberg, J. J. N., Cox, M. G. D. M., Mato, R. R., & Egmond, E. L. C. (2014). Sustainable approach for recycling construction and demolition waste into building material in Tanzania. Journal of Building and Land Development, 17(4), 88-105.

Sajedi, F., & Razak, H. A. (2011). Comparison of different methods for activation of ordinary Portland cement-slag mortars. Construction and Building Materials, 25(1), 30-38.

Susunaga-Monroy, J. M. (2014). Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario. [Tesis de especialización, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio UCaC. https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/d903bd31-57bc-40a7-9332-596ee4b4c807/full

Urrego, G. P et al. (2022). Guía de materiales para la construcción sostenible. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.

Vásquez A, Botero L, Arango C. Fabricación de bloques de tierra comprimida con adición de residuos de construcción y demolición como reemplazo del agregado pétreo convencional. Revista Ingeniería y Ciencia. 11(21), pp. 197–220.

Wagih, A. M., El-Karmoty, H. Z., Ebid, M., & Okba, S. H. (2013). Recycled construction and demolition concrete waste as aggregate for structural concrete. *HBRC journal*, 9(3), 193-200.

World-Counts, "Tons of solid waste generated," The World Counts, theworldcounts.com 2020.