

Impacto del concreto de Residuos de Construcción y Demolición en la seguridad y durabilidad de viviendas de dos pisos

Impact of Construction and Demolition Waste Concrete on the Safety and Durability of Two-Story Houses

J.S. Maldonado-Bernal¹ J.N. Garcia-Solano¹ E.A. Lozano-Pérez¹

¹ Universidad Santo Tomás, Villavicencio, Colombia

Resumen

Introducción: la industria de la construcción enfrenta un desafío significativo al utilizar residuos de construcción y demolición (RCD) como agregado grueso en el concreto estructural. La incorporación de estos materiales reciclados puede impactar la seguridad y durabilidad de las estructuras, lo que plantea la necesidad de investigar su viabilidad en mezclas de concreto.

Objetivo: el objetivo de este estudio es evaluar la seguridad y durabilidad del concreto modificado con RCD mediante un análisis estructural comparativo. Se busca establecer la relación entre índices de resistencia a la compresión y porcentajes de acero en función de diferentes proporciones de RCD en la mezcla.

Métodos: se realizaron pruebas de compresión basadas en un diseño de mezcla de concreto convencional según el método ACI-6318. Se variaron las proporciones de agua/cemento (w/c) y se sustituyó parcialmente el agregado grueso ($3/4''$) con RCD en porcentajes del 5%, 10% y 15%. Se utilizaron diferentes tipos de ladrillos recolectados (#4, estructurales y de paver) y se evaluaron un total de 102 especímenes a los 7, 14 y 28 días después del desmoldeo.

Resultados: los resultados indican una relación efectiva que cumple con los requisitos mínimos de la Normativa Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10 - Título B). La comparación de un modelo de vivienda de dos pisos demuestra que el uso de ladrillo tipo #4 en porcentajes inferiores al 10% ofrece beneficios significativos en términos de seguridad estructural y durabilidad.

Conclusión: se concluye que el uso de residuos de construcción y demolición como agregado en el concreto puede ser una estrategia efectiva para mejorar la sostenibilidad en la construcción, sin comprometer la seguridad ni la durabilidad de las estructuras, especialmente cuando se utilizan ladrillos adecuados en proporciones controladas.

Abstract

Introduction: the construction industry faces a significant challenge in using construction and demolition waste (CDW) as coarse aggregate in structural concrete. The incorporation of these recycled materials can impact the safety and durability of structures, highlighting the need to investigate their viability in concrete mixtures.

Objective: the objective of this study is to evaluate the safety and durability of concrete modified with CDW through a comparative structural analysis. The aim is to establish the relationship between compressive strength indices and steel percentages based on different proportions of CDW in the mix.

Methods: compression tests were conducted based on a conventional concrete mix design according to the ACI-6318 method. Variations in the water/cement (w/c) ratio were made, and the coarse aggregate ($3/4''$) was partially replaced with CDW in percentages of 5%, 10%, and 15%. Different types of collected bricks (#4, structural, and paver) were used, resulting in a total of 102 specimens evaluated at 7, 14, and 28 days post-molding.

Results: the results indicate an effective relationship that meets the minimum requirements of the Colombian Seismic Resistant Construction Rule (NSR-10 - Title B). The comparison of a two-story house model shows that using #4 brick type at percentages below 10% provides significant benefits in terms of structural safety and durability.

Conclusion: it is concluded that the use of construction and demolition waste as aggregate in concrete can be an effective strategy to enhance sustainability in construction without compromising the safety or durability of structures, especially when appropriate bricks are used in controlled proportions.

Palabras clave: residuos de construcción y demolición (RCD), resistencia a la compresión, agregado y ensayo a compresión.

Keywords: construction and demolition waste (CDW), compressive strength, aggregate and compression test.

¿Cómo citar?

Maldonado-Bernal, J.S., Garcia-Solano, J.N., Lozano-Pérez, E.A. Impacto del concreto de Residuos de Construcción y Demolición en la seguridad y durabilidad de viviendas de dos pisos. Ingeniería y Competitividad, 2024, 26(2) e-20413762.

<https://doi.org/10.25100/iyc.v26i3.13762>

Recibido: 17-01-24

Aceptado: 12-07-24

Correspondencia:

joseppemaldonado@ustavillavo.edu.co

Este trabajo está bajo licencia bajo una Licencia internacional Creative Commons Atribución-No comercial-CompartirIgual4.0.

Conflicto de intereses: ninguno declarado



OPEN  ACCESS

¿Por qué se realizó?:

Este estudio proporciona una evaluación de las metodologías más utilizadas para evaluar el potencial de generación de energía eólica en varias regiones geográficas. La investigación se centró en identificar y analizar las condiciones técnicas, ambientales, legales, administrativas y logísticas necesarias para la implementación exitosa de proyectos de energía eólica. Debido a la alta intermitencia inherente a la energía eólica, es crucial realizar investigaciones preliminares para comprender la viabilidad técnica y económica, así como el potencial energético, de dichos proyectos en áreas específicas. Este enfoque ayuda a reducir la incertidumbre y optimizar la planificación y ejecución de proyectos de energía eólica, contribuyendo así al desarrollo sostenible y la transición energética global.

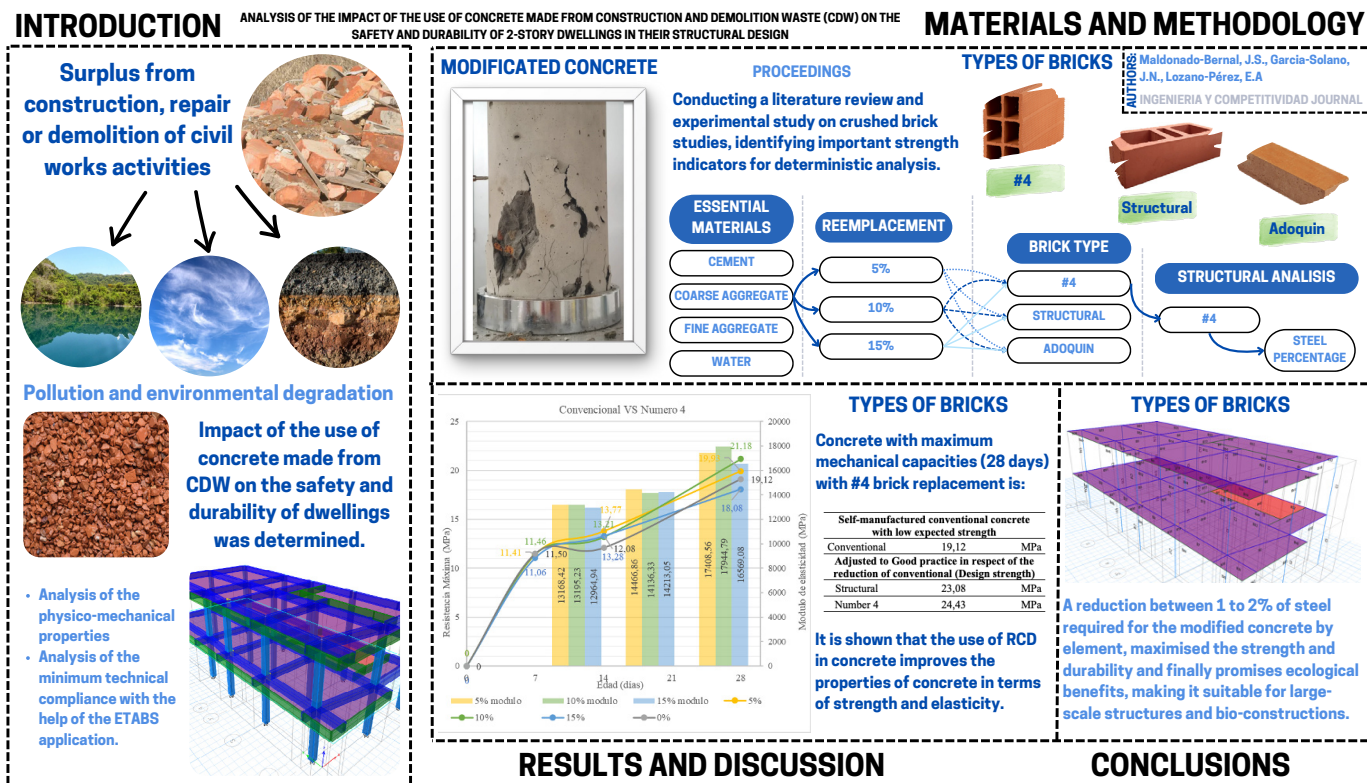
¿Cuáles fueron los resultados más relevantes?

El estudio determinó que si bien la energía eólica tiene un potencial significativo para la generación de electricidad sostenible, su implementación exitosa depende de varios factores. Estos factores incluyen la disponibilidad de condiciones eólicas favorables; la minimización de restricciones ambientales y aeronáuticas; condiciones óptimas del sitio; y un sólido apoyo económico y logístico. El análisis bibliométrico reveló una tendencia creciente en la investigación sobre energía eólica, con contribuciones notables de países como Estados Unidos, China, Turquía e Irán. Además, se identificó la importancia de integrar múltiples fuentes de energía renovable para mitigar los problemas de intermitencia asociados con la energía eólica. Este enfoque permite una evaluación más precisa y una planificación más eficiente de los proyectos de energía eólica, optimizando su viabilidad técnica y económica.

¿Qué aportan estos resultados?

Los resultados proporcionan información crucial sobre las condiciones y metodologías óptimas para la implementación de proyectos de energía eólica. Destacan la necesidad de estudios preliminares para evaluar la idoneidad del sitio y los beneficios potenciales de la integración de la energía eólica con otras fuentes renovables. Los hallazgos del estudio ayudarán a orientar a los responsables de las políticas, investigadores e inversores en la toma de decisiones para el desarrollo e inversión en proyectos de energía eólica. Además, el análisis bibliométrico ofrece una visión detallada de las tendencias de investigación actuales, enriqueciendo la base de conocimiento global y facilitando futuros estudios en el campo.

Graphical Abstract



Introducción

De acuerdo con (1), los CDW, tal como se definen en el Decreto 1713 de 2002: restos de construcción, renovación, reparación o demolición de obras de ingeniería civil o actividades relacionadas; este material representa una fuente de contaminación y deterioro ambiental que influye negativamente en los cuerpos de agua, el aire o el suelo. Por lo tanto, existe un gran interés en implementar diseños modificados que reduzcan el impacto ecológico a través de la reutilización para promover la construcción sostenible y de esta manera asegurar la eficiencia económica a través de conceptos técnicos evaluados (2) y (3). Según el Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) 3874 de 2016 y la Superintendencia de Servicios Públicos (SSPD), en Colombia se tendrán 13,8 millones de toneladas de RCD anuales para el año 2035, ya que Bogotá genera actualmente alrededor de 14.027.000 m³ de RCD al año (4) debido a demoliciones masivas. Por lo tanto, es necesario reutilizar los materiales como alternativas técnicas, económicas, sociales y ambientales viables (5), (6), considerando las investigaciones realizadas sobre estos materiales donde se prueban y se concluye que cumplen con las regulaciones locales (2), (7).

Por las razones anteriores, a nivel nacional se ha propuesto la gestión de los RCD tal y como lo han expresado la ONU y el PNUD, haciendo hincapié en la necesidad de incorporar políticas para la gestión de los RCD en las futuras viviendas con la ayuda de las normativas internacionales para minimizar el consumo de energía, agua y recursos no renovables; desde menos horas de máquina para el material de extracción, disminuir el desequilibrio ecológico y mitigar las amenazas a los ecosistemas (8). Estos materiales han sido capaces de soportar cargas vivas, muertas y sísmicas (9), (10), (11), aunque los elementos estructurales para estos casos de hormigón modificado deben ser revisados en todas sus características que aseguren una mezcla óptima para la estabilidad de las estructuras con hormigón (12). Estas características que influyen incluyen la geometría (área de la sección transversal), el contenido de aire, la resistencia a la flexión, la resistencia a la compresión, la durabilidad y el sistema estructural (13).

Uno de los principales problemas que impactan en el déficit en la gestión de los RCD es especificado por (14), quienes señalan que en Colombia, el interés de las entidades públicas en la gestión de estos residuos se ha incrementado debido a la falta de una metodología consolidada para la reutilización de escombros en elementos de concreto (15) o el tratamiento masivo. Al ser un material reciclado, está influenciado por la dureza (16), la porosidad (12) y la permeabilidad (3%), que producen diferentes relaciones w/c, por lo que esto también afecta la trabajabilidad (15), (12), ya que una relación óptima evita obstáculos debido a las variaciones de calidad de los RCD en función de su tipo y origen (17), mejorando así las características internas y externas de los elementos de hormigón (15). Además, el uso de arcilla contrarresta los daños debidos a las variaciones de temperatura y aumenta la resistencia a la compresión hasta en un 45% (18). Otro factor importante para la seguridad del modelo de marco es el acero necesario para regular la tensión cuando el hormigón está sometido a fuerzas axiales (19). El RCD reduce los costos materiales (20) y teóricamente en proyectos de vivienda para familias de bajos ingresos (21), ya que no requiere extracción de material, pero sí de transporte, clasificación y selección (tamaño del agregado grueso) (8), (22).

La investigación para determinar el impacto del uso de concreto fabricado con RCD en la seguridad y durabilidad de las casas de dos pisos en su diseño estructural, también incluye un análisis de las propiedades físico-mecánicas que brindan los bloques de arcilla del tipo #4, adoquines y ladrillos estructurales, ya que estos tienen especificaciones según (23) (24), (25), (26), (12) respectivamente. Todo lo anterior para analizar el comportamiento verificando el cumplimiento de los estándares técnicos y regulatorios mínimos utilizando la aplicación ETABS; empleado como software de análisis estructural para elementos finitos enfocado en el comportamiento de la construcción. Este software permite una verificación estructural y un diseño para garantizar la estabilidad, la seguridad y la durabilidad de un edificio (21). Dado que el objeto de estudio es una casa "verde" construida con hormigón modificado utilizando ladrillo triturado para un modelo habitacional de dos pisos, se establecieron parámetros de acuerdo con la NSR-10 (19).

Metodología

La investigación se centra en evaluar el impacto del uso de RCD en la seguridad y durabilidad de una casa de dos plantas como medida para la reintegración del ladrillo triturado y la optimización de la vivienda. Por lo tanto, se realizó un estudio experimental basado en una revisión de la literatura de estudios con ladrillo triturado, en el que se utilizaron indicadores de resistencia de importancia para el análisis determinístico para estimar las ventajas obtenidas por las estructuras con diseños de concreto modificado, como el logro de resistencias superiores a 21 MPa.

Para comenzar, se definieron las especificaciones de los materiales que componen el diseño de la mezcla, seguido de un análisis comparativo de las propiedades potenciadas por el hormigón modificado. En consecuencia, se seleccionó una casa para el análisis de los elementos del modelo, que se modeló de acuerdo con las dimensiones reales. Se realizó la comparación entre el hormigón convencional y el modificado en cuanto al porcentaje de armadura requerida por elemento, luego de analizar la conformidad técnica del sistema estructural (pórticos) mediante ETABS. En él se definió la constante de seguridad y los detalles de la durabilidad estructural para la presentación final de resultados y conclusiones sobre los beneficios de incluir la tecnología de hormigón sumergido CDW.

Resultados

De acuerdo con los resultados del desarrollo experimental, así como el análisis determinístico del modelo en ETABS, se determinó el impacto generado por el uso de ladrillo triturado debido a que tiene una alta dureza y permeabilidad. Los tipos de ladrillo que varían en funcionalidad en con relación a características como el tamaño, los agujeros, el tipo de arcilla y la cocción, se utilizan para determinar qué composición ofrece las mayores ventajas de resistencia para el sistema estructural requerido.

Los ladrillos estructurales y adoquines se seleccionaron utilizando un tamiz correspondiente a un tamaño de 19 mm, cumpliendo con la especificación normal dada por la NSR-10, que requiere un tamaño mayor que el estándar (27). La tabla 1 presenta las relaciones w/c utilizadas para mezclas de hormigón que superan una resistencia de 21 MPa (27), teniendo en cuenta que para cada una de las tres mezclas siguientes mantuvieron una cantidad de agua (200 kg con una densidad de 1000 kg/m³), cemento (432,10 kg con una densidad de 2940 kg/m³) y arena (776,74 kg con una densidad de 2701 kg/m³) (28). Paralelamente, la relación agua/cemento/arena fue de 0,463/1000/1,798, requiriendo solo la variación del peso de la grava y el ladrillo.

Tabla 1. Relación W/C con diferentes dosis (5, 10 y 15%)

5% de reposición de áridos gruesos			10% de reemplazo de agregados gruesos			15% de reemplazo de agregados gruesos		
Agregado	Grava	Ladrillo	Agregado	Grava	Ladrillo	Agregado	Grava	Ladrillo
Masa (kg)	901.88	47.47	Masa (kg)	854.41	94.93	Masa (kg)	806.94	142.40
Densidad (kg/m ³)	2597	-	Densidad (kg/m ³)	2597	-	Densidad (kg/m ³)	2597	-
Proporción	2.087	-	Proporción	1.977	-	Proporción	1.867	-

En la forma en que se excluyeron los datos obtenidos del hormigón con ladrillo "Paver", por presentar resistencias inferiores a las esperadas y no ser útiles para el análisis, por lo tanto, la verificación del modelo se redujo a las resistencias de los ladrillos "Número 4" y "Estructural". Estos

especímenes fallidos, con una edad de curado (29) y un diámetro de 18 cm (medido después del curado), proporcionaron valores de carga máxima de interés y se utilizaron posteriormente para el cálculo de la resistencia máxima (Ecuación 1) y el módulo de elasticidad (Ecuación 2) derivado de (30):

Ecuación 1. Resistencia máxima

$$F'_c = \frac{P \text{ max.}}{A}$$

Ecuación 2. Módulo de elasticidad

$$E_c = 3900 * \sqrt{F'_c}$$

Para una mejor ilustración, las figuras 1 y 2 muestran los datos calculados y corregidos con la desviación porcentual que se menciona a continuación con respecto a 21 MPa: Resistencia a la compresión de hasta 28 días con respecto a diferentes dosis

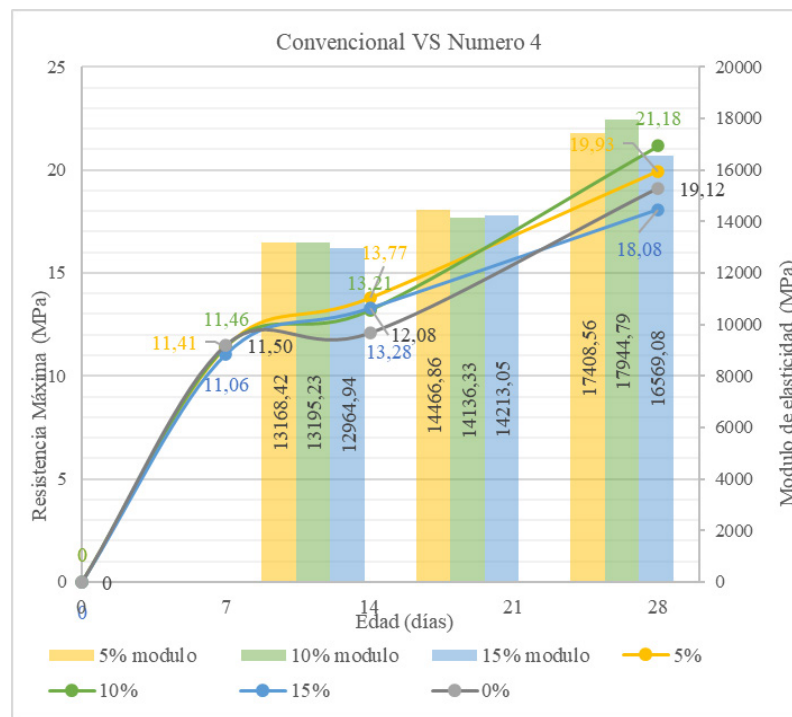


Figura 1. Curva de resistencia y módulo de elasticidad entre hormigón convencional y ladrillo modificado #4.

Nota: Este gráfico muestra las capacidades del concreto modificado con ladrillo #4 a las edades de 7, 14 y 28 días en comparación con el concreto convencional. Como gráfica secundaria, se expresan los valores de elasticidad adquiridos por cada hormigón.

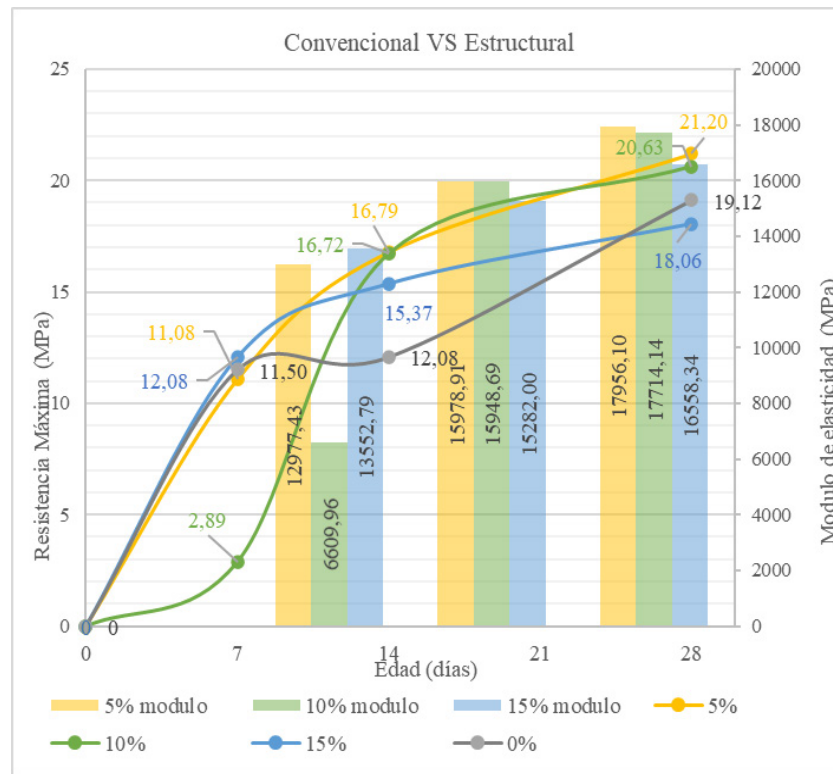


Figura 2. Curvas de resistencia y módulo de elasticidad entre hormigón convencional y estructural modificado con ladrillo

Nota: Este gráfico muestra las capacidades del hormigón modificado con ladrillo estructural a las edades de 7, 14 y 28 días en comparación con el hormigón convencional. Al igual que el gráfico anterior, el secundario se refiere a la elasticidad adquirida por cada hormigón. Estos son datos promediados de 3 especímenes por cada porcentaje de CDW reemplazado.

El aumento de la capacidad, tanto de compresión como del módulo de elasticidad, en comparación con los hormigones convencionales, permitió seleccionar la resistencia máxima para el modelo en ETABS a partir de los datos no promediados, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Resistencia máxima (f'_c).

Hormigón con capacidades mecánicas máximas						
Tipo de ladrillo	Edad	Reemplazo	f'_c	und	E	und
Estructural	28	5%	21,20	Mpa	17956,10	Mpa
Número 4	28	10%	22,55	Mpa	18519,67	Mpa

Nota: El tipo de ladrillo estructural (Structural brick type (5%) con 28 días de edad) ofrece mejores índices de resistencia y elasticidad entre los datos promediados, mientras que el ladrillo número 4 fue más ventajoso en términos de resistencia sin promediar.

Simultáneamente, el valor de resistencia máxima esperado (21 MPa) y el valor de resistencia máxima del hormigón fabricado convencionalmente muestran una diferencia del 9% (1,88 MPa) debido a factores ambientales influyentes (31) y (20), como la variación de temperatura, la lluvia

ácida y los agentes microbianos (32). Por lo tanto, se agregó el porcentaje diferencial de concreto convencional a los hormigones modificados para el análisis determinístico. (tabla 3)

Tabla 3. Fuerza de diseño

Hormigón convencional de fabricación propia con baja resistencia esperada		
Convencional	19,12	Mpa
Ajustado a las buenas prácticas en cuanto a la reducción de convencional (Resistencia de diseño)		
Estructural	23,08	Mpa
Número 4	24,43	Mpa

El impacto del hormigón modificado sobre los elementos estructurales de las viviendas verdes al ser una bioconstrucción, cuantifica el efecto positivo de incorporar el CDW en un 10%, prometiendo ventajas en mecánica (33) Comportamiento para la adaptación a estructuras a gran escala con beneficios ecológicos. Por lo tanto, el diseño numérico adaptó las características mostradas en tabla 4.

Tabla 4. Descripción del Proyecto: Características de una casa de campo en el pueblo de Vanguardia-Villavicencio

Tipo de casa	Casa Modelo	Carcasa modificada
Tipo Uso del edificio		Grupo I
Materiales de la estructura principal	Hormigón armado	Hormigón modificado
Materiales para techos		Placa ligera
Número de niveles de construcción		Dos (2)
Sistema de resistencia sísmica	Marcos de hormigón armado	Pórticos de hormigón modificado CDW

A partir del desglose, se verificó el área mínima de las columnas mediante la norma NSR-10 sección C.21.6.1.1, con una altura de 30 cm y una base de 30 cm, validadas por superar el mínimo exigido. Las dimensiones de la columna para el modelo ETABS son una base de 35 cm y una altura de 35 cm, con una cubierta de 4 cm (lo que resulta en una altura efectiva de 31 cm). Además, los marcos adaptados para cada piso cumplen con las disposiciones de la NSR-10, aunque es importante aclarar que los elementos de la Cáscara fueron discretizados. Además, se adoptó la configuración estructural (columnas, vigas y losas livianas) para el entrepiso de techo que se muestra en figura 3, figura 4.

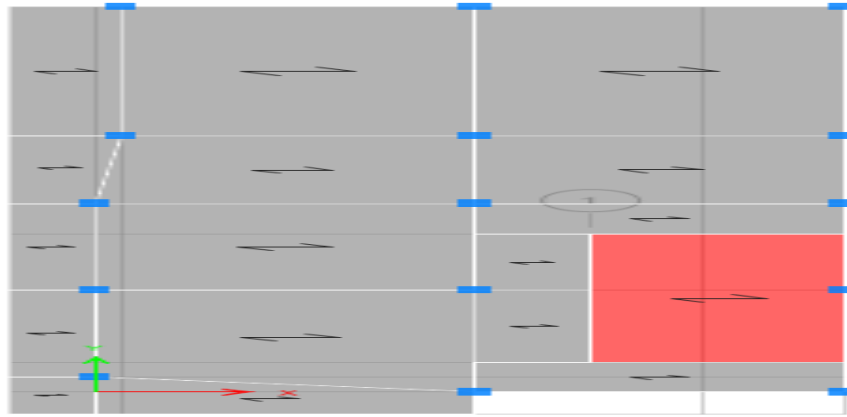


Figura 3. Planta entreplanta N+3.73

Nota: La figura anterior muestra el sistema estructural en planta de la entreplanta con una distribución uniforme de las columnas.

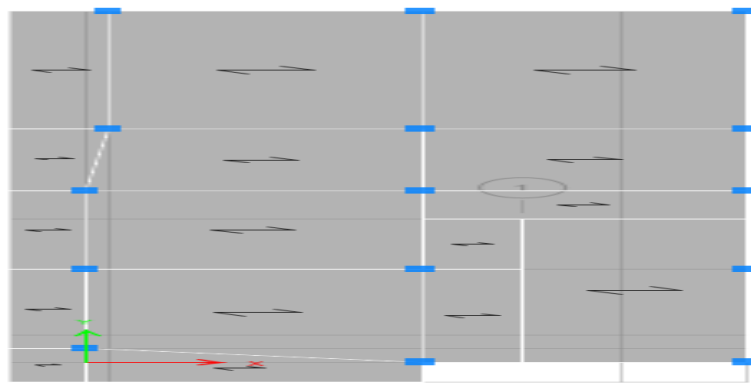


Figura 4. Planta entreplanta N+7.51

Nota: La figura anterior muestra el sistema estructural plano del techo con una distribución uniforme de las columnas.

Otras especificaciones requeridas para el hormigón convencional, el hormigón modificado y el acero de refuerzo para el modelo numérico (realizado en el software ETABS), calculando el módulo de elasticidad (E_c) según la resistencia a la compresión (f'_c) para los hormigones, dieron como resultado que el hormigón convencional tuviera una E_c de 17.872,05 MPa y el hormigón modificado una E_c de 19.276,85 MPa. Además, la capacidad normal de acero E_s se tomó en 200.000 MPa. Antes de examinar el modelo, se asignaron al modelo las cargas incrementadas y las combinaciones de cargas especificadas por la NSR-10 en el Título B, ya que influyen en la verificación del soporte estructural con base a una distribución uniforme de las columnas, ya que todas son del mismo tamaño (30x30 cm). (figura 5)

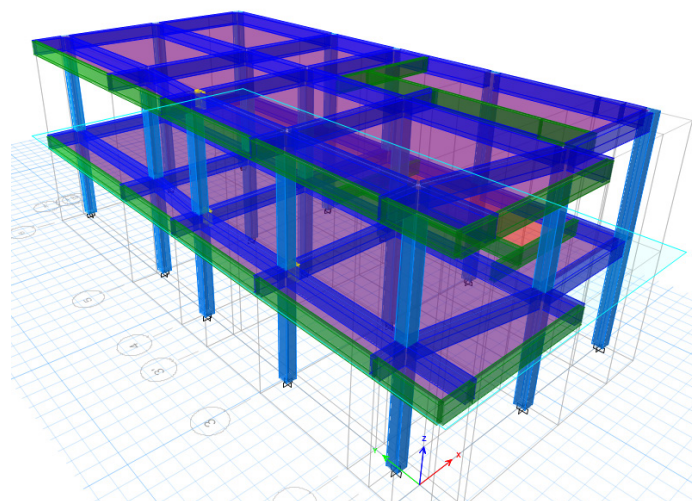


Figura 5. Vista 3D del modelo matemático

Nota: la estructura modelada es igual tanto geoméricamente como en su distribución de cargas.

Además, se identifican las etiquetas de cada elemento como se muestra en la figura 6 con el fin de detallar los elementos que requieren más o menos acero.

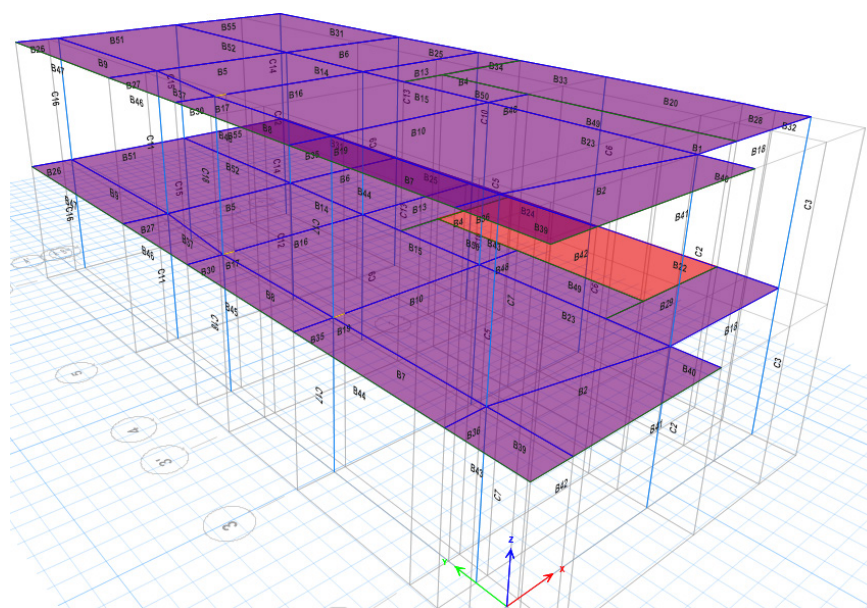


Figura 6. Identificación de las etiquetas de cada elemento del modelo - Vista 3D

En términos comparativos entre las ventajas o desventajas producidas por el hormigón modificado con respecto a la armadura requerida y el hormigón convencional por elemento, se identificaron ventajas a partir del concepto de compresión, ya que este análisis se realizó mediante la sustitución del agregado grueso y el examen de la resistencia del sistema estructural. La reducción de agregado grueso y la inclusión de RCD en la mezcla redujeron efectivamente el porcentaje de refuerzo requerido, dicha comparación visual fue posible a través de las secciones longitudinales y transversales generadas por el software, considerando los ejes mostrados en el plano con una elevación de N+3.73m en Figura 7 y la planta con una cota de N+7,51m en Figura 8.

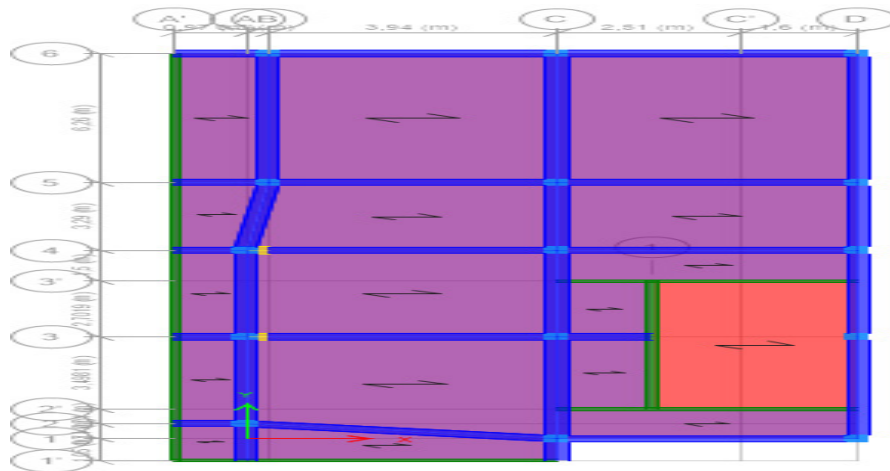


Figura 7. Planta general con caracterización de ejes en cota N+3,73m

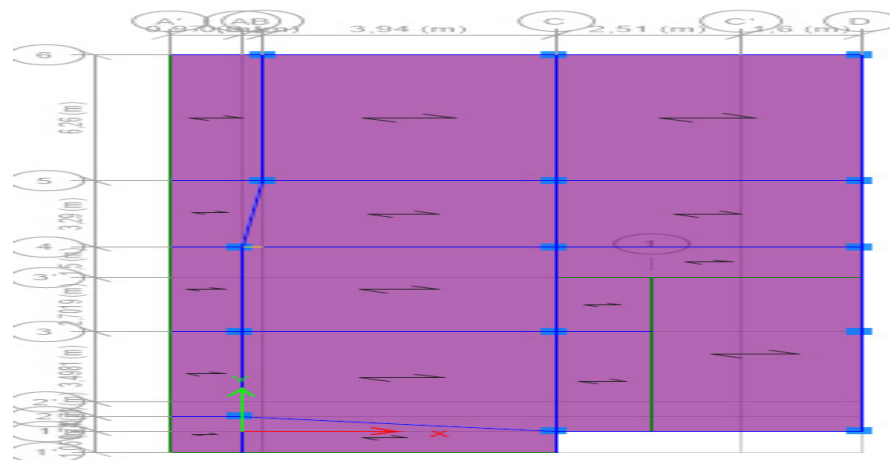


Figura 8. Planta general con caracterización de ejes a cota N+7,51m

A partir de la comparación cuántica tabulada, el porcentaje promedio de acero requerido para el entrepiso y el techo se presenta en las tablas 5 y 6. Estas tablas se organizaron por refuerzos del extremo superior izquierdo (EIS-LU), refuerzos del extremo inferior central (CB) y refuerzos del extremo superior derecho (EDS-RU). Dado que los elementos en cada eje y elevación tenían acero en las mismas posiciones, estos valores se tomaron y promediaron con respecto a todos los elementos de acuerdo con su posición, altura y eje del acero.

Tabla 5. Porcentajes de la cantidad del modelo con convencional y modificado (ejes transversales).

Eje	Elevación	Convencional			Modificado		
		LU	CB	RU	LU	CB	RU
1'	N+3.73	0,35%	0,31%	0,35%	0,35%	0,30%	0,34%
	N+7.51	0,30%	0,30%	0,33%	0,30%	0,29%	0,33%
1	N+3.73	0,71%	0,58%	0,91%	0,72%	0,57%	0,92%
	N+7.51	0,59%	0,49%	0,52%	0,59%	0,49%	0,52%
2	N+3.73	0,30%	0,30%	0,42%	0,29%	0,29%	0,41%
	N+7.51	0,30%	0,30%	0,40%	0,29%	0,29%	0,39%
2'	N+3.73	0,21%	0,67%	0,18%	0,00%	0,00%	0,00%
	N+7.51	-	-	-	-	-	-
3	N+3.73	0,49%	0,30%	0,56%	0,49%	0,29%	0,56%
	N+7.51	0,29%	0,30%	0,46%	0,29%	0,29%	0,45%
3'	N+3.73	0,18%	0,64%	0,18%	0,19%	0,63%	0,17%
	N+7.51	0,18%	0,54%	0,00%	0,17%	0,53%	0,00%
4	N+3.73	0,45%	0,34%	0,55%	0,42%	0,34%	0,38%
	N+7.51	0,33%	0,30%	0,32%	0,33%	0,29%	0,31%
5	N+3.73	0,49%	0,32%	0,53%	0,39%	0,32%	0,54%
	N+7.51	0,34%	0,30%	0,39%	0,34%	0,29%	0,38%
6	N+3.73	0,61%	0,56%	0,75%	0,67%	0,56%	0,74%
	N+7.51	0,45%	0,32%	0,40%	0,44%	0,32%	0,40%

Ejes longitudinales al modelo

Tabla 6. Cantidades porcentuales del modelo con convencional y modificado (ejes longitudinales)

Eje	Elevación	Convencional			Modificado		
		LU	CB	RU	LU	CB	RU
A'	N+3.73	0,40%	0,33%	0,39%	0,39%	0,32%	0,39%
	N+7.51	0,35%	0,32%	0,36%	0,34%	0,32%	0,36%
Un	N+3.73	0,53%	0,30%	0,51%	0,53%	0,29%	0,51%
	N+7.51	0,42%	0,30%	0,42%	0,34%	0,29%	0,38%
B	N+3.73	0,75%	0,47%	0,68%	0,74%	0,47%	0,69%
	N+7.51	0,60%	0,48%	0,37%	0,60%	0,47%	0,36%
C	N+3.73	0,70%	0,46%	0,71%	0,72%	0,46%	0,71%
	N+7.51	0,54%	0,44%	0,53%	0,53%	0,43%	0,53%
D	N+3.73	0,73%	0,50%	0,71%	0,73%	0,49%	0,71%
	N+7.51	0,39%	0,37%	0,40%	0,39%	0,37%	0,40%

En cuanto a las comparaciones del porcentaje de refuerzo requerido por nivel, se observó una reducción de uno a dos por ciento en el porcentaje requerido por elemento. Sin embargo, es importante destacar que al promediar la información se evidencia una reducción global significativa por nivel con un impacto positivo.

Finalmente, para la evaluación de la seguridad y durabilidad del sistema estructural, se manejaron datos de los últimos tres ejemplares (expuestos a la intemperie) que fallaron. Estos fueron analizados por su resistencia, la cual incrementó y mantuvo una composición que, si bien no cumplía con el curado según la normatividad para estos últimos ejemplares, demostró durabilidad frente a factores extremos como evitar procesos de curado, exposición a altas temperaturas y lluvias de más de 56 días (tabla 7). Se demostró que los ejemplares no sufrieron un desgaste superior al uno por ciento. Teniendo en cuenta esto, se reconoce simultáneamente que dichos factores ambientales pueden generar patologías tanto internas como externas en el concreto o cambiar químicamente las condiciones del material (32). Sin embargo, con la inclusión de CDW, no se observaron cambios significativos en cuanto a la durabilidad.

Tabla 7. Especímenes expuestos a la intemperie.

Expuesto a la intemperie								
Edad en el momento del fracaso (días)	% de reemplazo	Diámetro (m)			Área del cilindro (m ²)	Carga máx. (kN)	Fuerza máx. (MPa)	Resistencia máx. calculada (N/mm ²)
Hormigón con ladrillo estructural								
Afuera								
28	5%	0,151	0,151	0,151	0,018	395,98	22,18	22,11
Curado								
28	5%	0,151	0,151	0,151	0,018	399,98	22,63	22,34
Hormigón con Ladrillo Número 4								
Afuera								
28	10%	0,150	0,149	0,151	0,018	390,48	16,80	22,10
Curado								
28	10%	0,150	0,148	0,149	0,017	394,42	17,14	22,64
Hormigón convencional								
Afuera								
28	0%	0,149	0,159	0,149	0,018	345,14	19,34	19,05
Curado								
28	0%	0,151	0,151	0,152	0,018	348,63	19,73	19,38

Discusión de los resultados

Los resultados de esta investigación son únicos y no se han realizado antes, mientras que en varias investigaciones solo se relacionaron las características del hormigón que ofrecen buenos indicadores de resistencia (46) y otras incluyeron el hormigón modificado en el análisis estructural (15) pero ninguna se enfocó en los efectos positivos en cuanto a variables dependientes del hormigón en la vivienda, debido a la adaptación de RCD que efectivamente logra superar valores mínimos de resistencia, Pero lo que no se había tenido en cuenta es la funcionalidad que realmente ofrece la vivienda al utilizar hormigón modificado y las variables que intervienen; disminución del porcentaje de reducción, que es una variable dependiente de la resistencia del hormigón, para la capacidad de resistencia sísmica, durabilidad y uso para vivienda verde (47, 48, 49), tanto es así, que este análisis se realizó utilizando la aplicación ETABS y permite determinar la eficiencia del uso del ladrillo triturado sumergido en la mezcla de concreto (50, 51).

Conclusiones

Los resultados indican que la casa de dos pisos analizada logra seguridad y durabilidad utilizando ladrillo triturado dentro de la composición de concreto modificado con CDW, contribuyendo a su resistencia ya que supera el umbral de resistencia de 21 MPa (34). Por lo tanto, se pueden hacer las siguientes afirmaciones sobre su efectividad. En primer lugar, sus propiedades adquieren ventajas físico-mecánicas en los ensayos de compresión (fuerzas axiales) (35), debido a la reducción de agregados gruesos y a la utilización de CDW (36), de manera que aumenta su resistencia máxima, también aumenta la seguridad del sistema estructural. En segundo lugar, es viable incluir este material en proyectos de gran envergadura (37) bajo el concepto de reducir los porcentajes cuánticos requeridos. Por último, el modelo ETABS, con dimensiones, cargas y combinaciones estandarizadas, muestra que los esfuerzos internos generados por las cargas últimas son soportados efectivamente por el hormigón modificado.

Además, el impacto del uso de RCD en la seguridad y durabilidad de una vivienda, especialmente en su sistema estructural, así como la función y los índices del hormigón con la relación p/c del hormigón utilizado convencionalmente (38), es de interés para la mayoría de los proyectos arquitectónicos (39). Esto se debe a que requiere una menor cantidad de agregado, lo que reduce los costos y las repercusiones ambientales, como la contaminación de las fuentes de agua superficial, el aire, el suelo y el paisaje (40), (41). Además, se observa un aumento de la resistencia a la compresión en hormigones con edades superiores a 28 días.

De hecho, si corregimos los errores en la preparación, se obtienen valores superiores a los 21 MPa, lo que supone una diferencia significativa en cuanto a la seguridad de la vivienda. Aunque es posible que no reduzca el área de acero, disminuye efectivamente el porcentaje de refuerzo requerido. Por lo tanto, se recomienda verificar las reducciones en el área de acero solo cuando los valores de resistencia superen los 29 MPa. También hay que tener en cuenta que según la capacidad del hormigón ($f'c$), la elasticidad varía, por lo que también se pueden ver beneficios en la elasticidad de los elementos que superan estos índices de seguridad.

Recogiendo todas estas observaciones, la mezcla con las mejores condiciones viene dada por el CDW categorizado como ladrillo #4 al 10% a una edad de 28 días, con una resistencia máxima a la compresión ($f'c$. Max.) de 22,55 MPa. Esto asegura, de acuerdo con la NSR-10 y sus parámetros mínimos, un buen comportamiento frente a movimientos sísmicos y la capacidad de soportar cargas de diseño (42), ya que supera los estándares de calidad (43). Si bien en edades más tempranas solo cumple con los requisitos para casas de 1 y 2 pisos, es necesario adaptarse a edades mayores a 28 días para cumplir con los requisitos mínimos de la normatividad colombiana (23).

Finalmente, para concluir el análisis del modelo estructural de una casa de dos pisos en cuanto a la seguridad de la estructura verde y sus especificaciones con hormigón modificado, garantiza la misma seguridad y el beneficio de reducir el porcentaje de armadura por elemento de hormigón (44), por lo que se considera que el número de barras de refuerzo puede reducirse solo cuando el $f'c$ supera los 8 MPa; de lo contrario, el porcentaje relativamente utilizable será bajo. La durabilidad del hormigón modificado expuesto a condiciones ambientales y la vulnerabilidad de los cilindros demostraron que la consistencia en el tiempo no sufrió desgaste ni cambios de resistencia debido a su exposición a factores ambientales nocivos durante 56 días. Cuando se exponían a los elementos, mantenían una resistencia óptima para los edificios.

Un último punto adicional: la durabilidad es un factor significativo para las estructuras, y al no ser un factor sencillo de calcular, se convierte en una variable dependiente, por lo que el análisis de durabilidad arrojó composiciones de hormigón con recubrimiento y permeabilidad adecuados (45), sin desgaste y con resistencia superior a 21 MPa a pesar de los efectos externos. Esto indica una durabilidad efectiva en ambientes agresivos debido a la mayor porosidad que ofrece el árido CDW.

Referencias

- (1) A. Shafica, "Evaluación del manejo de residuos de construcción y demolición (RCD) en seis proyectos de viviendas de interés prioritario, como contribución a la revisión del panorama de gestión de RCD en la ciudad de Medellín", Medellín, 2014. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.colmayor.edu.co/wp-content/uploads/2019/10/31_alma_cadavidevaluacin_manej.pdf&ved=2ahUKEwjLwMCbmsqHAXWnTTABHbh-AhMQFnoECBIAQ&usg=AOvVaw2MIZZYIMeKbFHhIrl2IQXe
- (2) J. Remolina, "Determinación de parámetros físico-mecánicos y de durabilidad en concreto reciclado con residuos de construcción y demolición (RCD)," (undergraduate thesis), Universidad de la Costa, 2018. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/247&ved=2ahUKEwi76Omam8qHAXXBfTABHf_-NTEQFnoECBYQAQ&usg=AOvVaw2Qz3ei0tPBtUkMjUxXqYx1
- (3) E. Romero, "Residuos de construcción y demolición," España, 2006. (Online). Available: <https://www.uhu.es/emilio.romero/docencia/Residuos%20Construccion.pdf>
- (4) UAESP, Plan de gestión integral de residuos sólidos, U. A. E. de S. P, 2020. https://www.uaesp.gov.co/images/pgirs_tablas/DOCUMENTO%20TECNICO%20SOPORTE%20-%20DTS.pdf
- (5) EMPRESA METRO DE BOGOTÁ S.A., "METRO BOGOTÁ," 2021. (Online). Available: <https://www.metrodebogota.gov.co/?q=noticias/demolicion>. (Accessed: Jul. 29, 2024)
- (6) F. Debieb y S. Kenai, "El uso de ladrillos triturados gruesos y finos como agregado en el hormigón", Construction and Building Materials, vol. 22, no. 5, pp. 886-893, 2008. https://www.researchgate.net/profile/Farid-Debieb/publication/229105942_The_Use_of_Coarse_and_Fine_Crushed_Bricks_as_Aggregate_in_Concrete/links/55cb5d0f08aea2d9bdce2602/The-Use-of-Coarse-and-Fine-Crushed-Bricks-as-Aggregate-in-Concrete
- (7) A. F. Romero Quintero y J. C. Hernández Rico, "Diseño de mezclas de hormigón por el método ACI y efectos de la adición de cenizas volantes de termotasajero en la resistencia a la compresión," Research Work, Universidad Santo Tomás, 2014. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/915/Diseno%20de%20mezclas%20de%20hormigon%20por%20el%20metodo%20a.c.i..pdf?sequence=1>
- (8) M. Carrascal y A. Martelo, «Determinación de la viabilidad técnica y económica para el uso del concreto tipo RCD en la conformación de estructuras de estabilización de taludes (gabiones),» Cartagena, 2020. <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://repositorio.unicartagena.edu.co/e/11227/13511&ved=2ahUKEwiKotbGo8qHAXVjRjABHfyzJRIQFnoECBgQAQ&usg=AOvVaw3Myt5e36TVBQeU2DLmJPBh>
- (9) M. Sánchez, Verificación del cumplimiento de la norma Sismo Resistente NSR-10 vigente en Colombia en la estructura "Dotación cultural filipenses". (undergraduate thesis), Universidad Católica de Colombia, 2018. <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://repository.ucatolica.edu.co/items/1255ebf7-204a-4240-a7fb-3566efe234ce&ved=2ahUKEwiZiqbbo8qHAXU2fTABHcpjDBoQFnoECBcQAQ&usg=AOvVaw0i6QL4ZMc7OJQNKbmo1-L>

- (10) F. S. Klak, H. Saleh y A. S. Tais, "Reciclaje de ladrillos de arcilla triturados como agregado fino en mortero de hormigón y cemento", *Australian Journal of Structural Engineering*, vol. 24, n.º 1, pp. 67-76, 2023. https://www.researchgate.net/profile/Haifa-Saleh/publication/361874249_Recycling_of_crushed_clay_bricks_as_fine_aggregate_in_concrete_and_cement_mortar/links/62de130af3acdd5dc2182b78/Recycling-of-crushed-clay-bricks-as-fine-aggregate-in-concrete-and-cement-mortar.pdf?origin=journalDetail&tp=eyJwYWdlIjoiam91cm5hbERldGFpbCJ9
- (11) C. J. Flores Crispín y E. F. Nieto Cabana, "Análisis comparativo estructural del sistema confinada y aporticado de una vivienda multifamiliar de 5 pisos, San Juan de Lurigancho 2022," 2022. (Online). Available. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/105240/Flores_CCJ-Nieto_CEF%20-%20SD.pdf?sequence=1
- (12) K. Masías Mogollón, "Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso," *Universidad de Piura*, vol. 2, p. 125, 2018. https://docplayer.es/216469580-Facultad-de-ingenieria-y-arquitectura.html#google_vignette
- (13) C. Barragan y M. Trujillo, *Elaboración de guías de laboratorio de estructuras de la Universidad Católica de Colombia*. (undergraduate thesis). Universidad Católica de Colombia, 2018. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://repositorio.ucatolica.edu.co/e/10983/16687&ved=2ahUKewj2oNL7o8qHAXU1mYQIHVrpCXkQFnoECBAAQ&usg=AOvVaw2crF3LpTrD_Kwaqmp8OyvQ
- (14) J. O. Castaño, R. Misle Rodríguez, L. A. Lasso, A. Gómez Cabrera, and M. S. y Ocampo, "Gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá: perspectivas y limitantes," *Tecnura*, vol. 17, no. 38, pp. 121-129, Sep. 2013. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/Tecnura/article/view/6933>
- (15) J. M. Guarín Salinas, "Posibilidades de diseño con el concreto arquitectónico, utilizando agregado grueso de ladrillo triturado reciclado," *Magister dissertation*, Universidad Nacional de Colombia, 2012. https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:p8cfJRcjMkJ:scholar.google.clado.+%5BArt%5D.+Universidad+Nacional+de+Colombia,+2012.&hl=es&as_sdt=0,5
- (16) Z. Duan, A. Singh, J. Xiao y S. Hou, "Uso combinado de polvo reciclado y agregado grueso reciclado derivado de residuos de construcción y demolición en hormigón autocompactante", *Construction and Building Materials*, vol. 254, art. 119323, 2020. (DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119323) <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061820313283>
- (17) A. Aliabdo, A.-E. Abd-Elmoaty y H. Hassan, "Utilización de ladrillos de arcilla triturada en la industria del hormigón" *Alexandria Engineering Journal*, vol. 53, pp. 151-168, 2014. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016813001269>
- (18) W. E. López Enriquez, "Diseño de concreto refractario utilizando residuos de ladrillos de barro cocido," *undergraduate thesis*, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4253/1/Wilmer%20Estiven%20López%20Enriquez.pdf>
- (19) D. L. Acosta Rodríguez, "Análisis estructural con ETABS, aplicando reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10)," *monograph*, Universidad Santo Tomás. <https://repositorio.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2677/2016davidacosta.pdf?sequence=1>

- (20) M. A. Calle Delgado, "Influencia de la granulometría y el tipo de cemento en la contracción por secado de morteros estructurales," 2018 <https://pirhua.udep.edu.pe/item/0f26551d-33c1-4445-87b5-64b0c1bf2675>
- (21) L. Berredjem, N. Arabi y L. Molez, "Propiedades mecánicas y de durabilidad del hormigón a base de áridos gruesos y finos reciclados producidos a partir de hormigón demolido", Construction and Building Materials, vol. 246, art. 118421, 2020. <https://hal.science/hal-02490854/file/Berredjem%20et%20al-20202Mechanical%20and%20durability%20properties%20of%20concrete%20based%20on%20recycled%20coarse.pdf>
- (22) J. Nobre, M. Bravo, J. de Brito y G. Duarte, "Rendimiento de durabilidad del hormigón proyectado de mezcla seca producido con agregados de concreto reciclado grueso", Journal of Building Engineering, vol. 29, artículo 101135, 2020. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710219317334>
- (23) O. F. Jimenez y L. A. Jiron, "Análisis Sísmico de Vivienda Multifamiliar de 5 Pisos, Empleando Concreto con Ladrillo Recocho Triturado, Santa Teresa de Vitarte, Ate, 2019," Degree Theses, Universidad César Vallejo, Lima, 2019. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/48966>
- (24) Ladrillera Santafé, "Bloque #4," Ladrillera Santafé S. A., 2017. (Online). Available: https://assets.website-files.com/5e5004d54227fd8b0ec4803a/5ec2b0cc7c1f28e6c1c8a870_Ficha%20_%20Bloque%20%234.pdf.
- (25) San Benito S.A.S, "Ladrillo adoquín rectangular", 2023. (En línea). Disponible: <https://ladrillerasanbenito.com/catalogo/ladrillo-adoquin-rectangular/>.
- (26) San Benito S.A.S, "Ladrillo estructural", 2023. (En línea). Disponible: <https://ladrillerasanbenito.com/catalogo/ladrillo-estructural-65x12x24/>. (Consultado: 11-jun-2024).
- (27) R. Matallana, El concreto fundamentos y nuevas tecnologías. Constructora Conconcreto, Corona, 2019. <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://conconcreto.com/wp-content/uploads/2023/02/EL-CONCRETO-Fundamentos-y-nuevas-tecnologias..pdf&ved=2ahUKEwivmurSqcqHAXUnTTABHTiKCE8QFnoECBQQAQ&usq=AOvVaw3EcbPz-ZXnXzvmTGuPGOJq>
- (28) D. Sánchez, Tecnología del concreto y del mortero, Bogotá: Biblioteca de la construcción, Quinta edición 2001. (Online). Available in: <https://books.google.com.co/books?id=EWq-QPJhsRAC&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- (29) H. Sarta-Forero y J. Silva-Rodríguez, "Análisis comparativo entre el concreto simple y el concreto con adición de fibra de acero al 4% y 6%," 2017. (Online). Available in: <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/5f59a07b-e03e-40de-aa22-2d284a675b84>
- (30) J. Segura Franco, Estructuras en concreto, 7ª ed. (Online). Available in: <https://www.yumpu.com/es/document/view/62782881/estructuras-en-concreto-jorge-segura-franco-7ed-pdf>.
- (31) A. Bran Bedoya, "Propuesta para el manejo integral de los residuos de la construcción y la demolición: caso de aplicación Medellín, Antioquia," 2011. <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/entities/publication/384f33e0-2a23-462a-9d17-47f3a016dc71>

- (32) I. C. Rivera Devia, "Autocuración del concreto a partir de la encapsulación del Bacillus Subtilis en un biopolímero de almidón," 2015. <https://repository.udca.edu.co/entities/publication/87410668-003f-4da5-a072-c5b04b98bd7b>
- (33) G. Bai, C. Zhu, C. Liu, y B. Liu, "Una evaluación de las características del agregado reciclado y las propiedades mecánicas del concreto del agregado reciclado", Construction and Building Materials, vol. 240, art. 117978, 2020. (DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117978) <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061819334312>
- (34) W. Jiménez y A. López, "Análisis mecánico de la utilización de concreto reciclado como agregado grueso en un concreto de alto desempeño (6000 psi ó 42 MPa)," Trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia, 2017. (Online). Available in: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/cbfb96f-9147-4872-81c0-e44ab38ed4bf/content>
- (35) Á. V. P. Rojas, "Uso de triturado de ladrillo reciclado como agregado grueso en la elaboración de concreto," Ingenium, vol. 13, no. 26, pp. 116-125, 2012. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5038429.pdf>
- (36) "¡No me saque la piedra! Verifique primero la NTC 174," YouTube, 2021. (Online). Available in: https://www.youtube.com/watch?v=NLS5lvZ_esc.
- (37) I. Mendoza and S. Chávez, "Residuos de construcción y demolición como agregado de concreto hidráulico nuevo," Revista de Ingeniería Civil, vol. 1, no. 2, pp. 9-14, 2017. https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Civil/vol1num2/Revista_de_Ingenieria_Civil_V1_N2_4.pdf#page=16
- (38) "Especificaciones para hormigones con áridos reciclados" Materiales y Estructuras, vol. 27, págs. 557-559, 1994. (En línea). Disponible: <https://doi.org/10.1007/BF02473217>.
- (39) J. M. Susunaga-Monroy, "Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario," Research Work, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Industrial, Bogotá, Colombia, 2014. <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1727/1/I%25C3%2593N%2520SOSTENIBLE,%2520UNA%2520ALTERNATIVA%2520PARA%2520LA%2520EDIFICACI%25C3%2593N%2520DE%2520VIENDAS%2520DE%2520INTERES%2520SOCIAL%2520Y%2520PRIORITARIO.pdf>
- (40) Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, "Resolución No. 0472 'Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición - RDC y se dictan otras disposiciones,' Resolución No. 0472: 11," 2017. (Online). Available: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/10/resolucion-0472-de-2017.pdf>.
- (41) K. Kapoor, S. P. Singh y B. Singh, "Durabilidad del hormigón autocompactante hecho con agregados de hormigón reciclados y aditivos minerales", Construction and Building Materials, vol. 128, pp. 67-76, 2016. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061816316385>
- (42) J. Carrillo, S. M. Alcocer, and W. Aperador, "Propiedades mecánicas del concreto para viviendas de bajo costo," Ingeniería, Investigación y Tecnología, vol. 14, no. 2, pp. 286-298, 2013. <https://>

www.scielo.org.mx/pdf/iit/v14n2/v14n2a12.pdf

- (43) ICONTEC, "MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO, Norma NTC 396:2024, Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto", 2024. <https://tienda.icontec.org/gp-ntc-metodo-de-ensayo-para-determinar-el-asentamiento-del-concreto-ntc396-2024.html>
- (44) J. M. Aid Civil Matt, "Concepto de cuantía y cuantía balanceada en una viga de concreto reforzado," YouTube, 2019. (Link: https://www.youtube.com/watch?v=W1Hc_WSndTE)
- (45) ACI 201, «Guía para la Durabilidad del Hormigón,» 1997.ACI 201,Guía de Buenas Prácticas en el Uso de Agregados Reciclados en Concreto, 2021. (En línea). Disponible en:<https://www.inti.gob.ar/publicaciones/descargac/218>.
- (46) J. A. M. Macías, F. M. V. Coox, A. N. B. Ponce, W. E. R. Párraga, y M. S. G. Alcívar, "Determinación de la resistencia a la compresión de bloques, utilizando para su construcción, una mezcla de cemento, arena y triturados de ladrillos artesanales," Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT, vol. 4, no. 1, pp. 19-24, 2019. ISSN: 2588-0721. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/download/1941/2111>
- (47) F. Villa, "Construcciones verdes," Alarife: Revista de arquitectura, no. 17, p. 41-54, 2009<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3195183.pdf>
- (48) L. E. Arriaga Tafhurt, "Utilización de agregado grueso de concreto reciclado en elementos estructurales de concreto reforzado," 2014. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/118>
- (49) S. P. M. Pérez, D. M. D. Sánchez, E. E. G. Capuñay, and J. A. C. Bustamante, "La influencia de los RCD en reemplazo de los agregados para la elaboración de concreto: una revisión de la literatura," Ecuadorian Science Journal, vol. 5, no. 2, pp. 107-120, 2021. <https://journals.gdeon.org/index.php/esj/article/download/111/124>
- (50) L. J. Maldonado Leal and H. A. Villamil Cortes, "Evaluación del uso de sistemas estructurales aporticados, para zonas de amenaza sísmica alta y baja en Colombia, en un edificio tipo de geometría regular y altura de entrepiso de tres 3 metros," 2016. (Online). Available in: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/54.
- (51) IMCYC, "Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto - método de prueba," in Problemas, causas y soluciones, pp. 67-71, 2008. (Link: <http://www.imcyc.com/ct2008/nov08/PROBLEMAS.pdf>)