



## Hormigón Preparado Mediante Materiales Reciclados de la Construcción

### Prepared Concrete Made by Recycled Construction Materials

Luis Contreras | [iD](#) Universidad Técnica de Ambato (Ecuador)  
Gabriela Peñafiel | [iD](#) Universidad Técnica de Ambato (Ecuador)  
Bernarda Abril | [iD](#) Universidad Técnica de Ambato (Ecuador)  
Wladimir Ramírez | [iD](#) Universidad Técnica de Ambato (Ecuador)

#### ARTICLE HISTORY

Received: 16/11/2023  
Accepted: 07/02/2023

#### PALABRAS CLAVE

Hormigón, hormigón reciclado, agregado grueso, resistencia a la compresión.

#### KEY WORDS

Concrete, recycled concrete, coarse aggregate, resistance to compression.

#### RESUMEN

En esta investigación se llevó a cabo el análisis de la resistencia a la compresión del hormigón tradicional, comparado con la resistencia de hormigones preparados mediante materiales reciclados de la construcción, en su mayoría hormigones provenientes de derrocamientos, residuos de veredas y bordillos, para lo cual se utilizaron dosificaciones sustituyendo al agregado grueso en porcentajes de 25%, 50%, 75% y 100%. Con la sustitución del 25% se obtuvo una resistencia a la compresión de 244,97 kg/cm<sup>2</sup>, al aumentar el porcentaje de sustitución en 50%, 75% y 100%, se observó una disminución en la resistencia (220 kg/cm<sup>2</sup>) en comparación con la de 25%. Se concluyó que los ensayos realizados demostraron resultados satisfactorios, lo cual nos permite evidenciar que el material reciclado proveniente de derrocamientos estructurales sí puede ser considerado para la fabricación de nuevos hormigones. Sin embargo, las características de este material deben ser previamente evaluadas.

#### ABSTRACT

This study covers the resistance to compression analysis of traditional concrete compared to the resistance parameters of concrete prepared using recycled construction materials such as: concrete from building demolitions, sidewalk debris and curbs; substituting the coarse aggregate in percentages of 25%, 50%, 75% and 100%. With a substitution of 25%, a resistance to compression of 244.97 kg/cm<sup>2</sup> was achieved, increasing the substitution percentage by 50%, 75%, and 100%, it showed a decrease in resistance (220 kg/cm<sup>2</sup>) in comparison to the 25% of substitution. It was concluded that the tests performed, revealed relevant results, allowing us to determine that recycled material from construction waste might be considered for manufacturing new concrete. However, the features of this material must be previously evaluated.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha notado un incremento significativo en las tendencias hacia la sostenibilidad, no solamente por la innovación tecnológica que vivimos, sino también por la limitación de los recursos, lo cual genera problemas en el ámbito de la construcción [1]-[3], sector que juega un papel fundamental en el desarrollo de la sociedad y está directamente relacionado con el incremento en la calidad de vida de la sociedad moderna [4]-[6].

Tanto el consumo de recursos naturales como la producción de los residuos de la industria de la construcción han aumentado significativamente en los últimos años [7]-[9]. El actual proceso de «construcción-demolición» impone una importante presión sobre los recursos naturales con especial énfasis en los agregados naturales y da como resultado innumerables cantidades de residuos provenientes de este proceso en específico, con un im-

pacto muy negativo para el medio ambiente [10]-[12].

Debido a la actual situación económica y crisis ambiental que vivimos, las exigencias de un desarrollo más sostenible en la industria de la construcción requieren un enfoque diferente a la tecnología del hormigón [13]-[14]. El uso de agregados reciclados para producir hormigón parece ser una solución de alto potencial, ya que no solo permite resolver problemas relacionados con el almacenamiento; transporte y vertido de materiales de construcción y residuos de demolición, sino que contribuye a un entorno potencialmente más sostenible dándole un valor agregado a estos residuos reduciendo el consumo de agregados naturales [15]-[16].

En países de un alto desarrollo técnico-tecnológico la gestión de materiales de desecho representa un desafío constante, por lo que se han implementado procesos de reciclaje utilizando cadenas de valor, aportando con esto no solamente a la conservación ambiental, sino también a la gestión económica de los recursos [17]-[19].

En el Ecuador, el manejo de los residuos provenientes de la construcción o derrocamientos generalmente no cuenta con una correcta gestión, la falta de control por parte de las entidades, así como la carencia de espacios físicos estratégicos donde se pueda depositar el material residual, sumado a la falta de cultura de reciclaje, conlleva a que la mayoría de estos materiales sean depositados en quebradas o lugares inapropiados que generan contaminación y riesgos ecológicos [20]-[22].

Acorde con la literatura, en el Ecuador los escombros están conformados en un promedio de 45% por residuos de hormigón, bloque, ladrillo, asfalto, gravas, arenas, un ~25% está compuesto por residuos de maderas y tablas, dejando el restante correspondiente a materiales como vidrios, asbestos, tuberías, etc. [23]-[24]. Por tal motivo, se observa que existe un nicho de mercado para un reciclaje y establecimiento de una cadena de valor potencial, utilizando materiales que son desechos de las construcciones [25].

Este estudio se enfoca en el análisis de la resistencia a compresión que se obtiene del hormigón preparado con materiales reciclados de la construcción, con la finalidad de comprobar si cumple con los requisitos técnicos para su uso e implementación.

## 2. MÉTODO

Esta investigación es de tipo exploratorio descriptivo, donde se analiza y recolecta datos experimentales, los cuales permitirán evaluar la viabilidad del uso e implementación de hormigones preparados a partir de materiales reciclados de la construcción. Se fabricaron cilindros de hormigón simple (HS) a base de cemento, arena,

ripió y agua, con una dosificación específica para que las muestras alcancen una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>, de acuerdo a la norma ASTM C31.

Para la elaboración del hormigón, se procedió a la recolección de los agregados grueso, fino y cemento, además del material reciclado proveniente de cilindros ensayados, bordillos, veredas entre otros. Posteriormente, se desarrollaron ensayos de laboratorio para determinar las propiedades mecánicas de cada componente con la finalidad de comprobar su calidad y establecer si cumplen con las normas establecidas para la elaboración del hormigón.

Para el cálculo de la dosificación del hormigón se empleó el método de la densidad óptima desarrollado por la Universidad Central del Ecuador, en el cual son necesarios los resultados obtenidos de los siguientes ensayos de laboratorio (ver Tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6).

Para las probetas de hormigón con material reciclado (HR), en lugar de agregado grueso se colocó hormigón triturado considerando una dosificación al peso, al momento de diseñar las probetas se fue trabajando con proporciones de 25, 50, 75 y 100%, aplicando una regla de tres simple a la dosificación del hormigón simple (HS) de 210 kg/cm<sup>2</sup>, considerando que ambos materiales (HS y HR) tienen densidades similares.

Se tomaron como materiales de estudio a los residuos provenientes de cilindros de hormigón ensayado, los cuales fueron analizados en laboratorio para determinar sus propiedades físicas. Las tablas 1 y 2 muestran la dosificación tanto para el hormigón simple como para el hormigón reciclado en diferentes proporciones.

Se determinó un 2% de cantidad de pasta en la mezcla, la cantidad de pasta permite llenar los vacíos que dejan los áridos, añadiéndose una cantidad extra para cubrir todas las partículas de agregado presente, además proporciona trabajabilidad y plasticidad al hormigón y el asentamiento requerido (ver Tabla 7).

$$\begin{aligned}
 CP \% &= POV + 2\% + 8\% \text{ (POV)} \\
 CP \% &= 29,47\% + 2\% + 8\% \text{ (29,47\%)} \\
 CP \% &= 33,82\% \\
 CP &= \frac{CP\%}{100} \times 1000 \text{ dm}^3 \\
 CP &= \frac{33,82\%}{100} \times 1000 \text{ dm}^3 \\
 CP &= 338,22 \text{ dm}^3 \qquad (1)
 \end{aligned}$$

Según el cálculo anterior, se identifica que la cantidad de pasta calculada es de 338,22 dm<sup>3</sup> (ver Tablas 8 y 9).

**Tabla 1.**

*Ensayos de laboratorio de los componentes del concreto*

ENSAYOS	AGREGADO	AGREGADO	CEMENTO
	GRUESO	FINO	
Análisis granulométrico	x	x	-
Densidad aparente suelta	x	x	-
Densidad aparente compactada	x	x	-
Densidad real	-	-	x
Capacidad de absorción	x	x	-

**Tabla 3.**

*Ensayos de densidad aparente suelta de los agregados*

DENSIDAD APARENTE SUELTA DE LOS AGREGADOS			
Norma: NTE INEN 858-2010			
Agregado fino		Agregado grueso	
Peso unitario promedio (kg/dm <sup>3</sup> ):	1,47	Peso unitario promedio (kg/dm <sup>3</sup> ):	1,33

**Tabla 5.**

*Ensayos de densidad real y capacidad de absorción de los agregados*

DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS			
Norma: NTE INEN 856 y NTE INEN 857			
Agregado fino		Agregado grueso	
Densidad real (gr/cm <sup>3</sup> ):	2,61	Densidad real (gr/cm <sup>3</sup> ):	2,63
Capacidad de absorción promedio (%):	1,96	Capacidad de absorción promedio (%):	2,61

**Tabla 7.**

*Cantidad de pasta según asentamiento*

Asentamiento en cm	Cantidad de pasta en %
0-3	POV + 2% + 3% (POV)
3-6	POV + 2% + 6% (POV)
<b>6-9</b>	<b>POV + 2% + 8% (POV)</b>
9-12	POV + 2% + 11% (POV)
12-15	POV + 2% + 13% (POV)

**Tabla 2.**

*Ensayos de análisis granulométrico de los agregados*

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS			
Norma: NTE INEN 696			
Agregado fino		Agregado grueso	
Módulo de finura:	Límites establecidos en la norma:	Tamaño nominal máximo:	Tamaño nominal máximo de la norma:
2,93%	2,30% - 3,10%	1 ½" (38 mm)	50 mm
Criterio de aceptación:	ACEPTABLE	Criterio de aceptación:	ACEPTABLE

**Tabla 4.**

*Ensayos de densidad aparente compactada de los agregados*

DENSIDAD APARENTE COMPACTADA DE LOS AGREGADOS			
Norma: NTE INEN 858-2010			
Agregado fino		Agregado grueso	
Peso unitario promedio (kg/dm <sup>3</sup> ):	1,60	Peso unitario promedio (kg/dm <sup>3</sup> ):	1,43

**Tabla 6.**

*Ensayos de densidad real del cemento*

DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	
Norma: NTE INEN 156	
Densidad real promedio (gr/cm <sup>3</sup> ):	2,81

**Tabla 8.**

*Dosificación al peso para HS (f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>)*

DOSIFICACIÓN AL PESO PARA HORMIGÓN SIMPLE			
f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup>			
MATERIAL	SIMBOLOGÍA	DOSIF. PESO	PESO (kg)
Agua	W	0,58	8,31
Cemento	C	1	14,4
Arena	A	1,72	20,64
Ripio	R	3,08	36,96

**Tabla 9.**

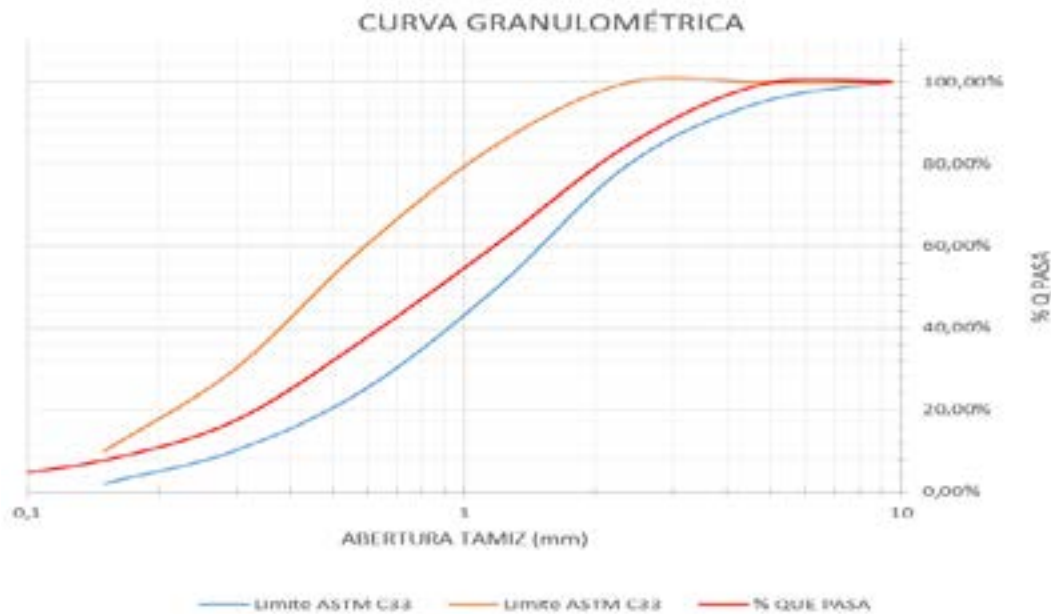
*Dosificación al peso para HR (f'c=210 kg/cm<sup>2</sup>), en diferentes proporciones*

DOSIFICACIÓN AL PESO PARA HORMIGÓN RECICLADO					
f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup>					
PROPORCIÓN (%)	PESO (kg)	Agua (W)	Cemento (C)	Arena (A)	Hormigón triturado (HT)
25	8,31	14,4	20,64	9,24	
50	8,31	14,4	20,64	18,48	
75	8,31	14,4	20,64	27,72	
100	8,31	14,4	20,64	36,96	

**Tabla 10.**

*Análisis granulométrico del agregado fino*

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AGREGADO FINO							
PESO MUESTRA (gr):		884			PÉRDIDA DE MUESTRA (%):		0,03
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% que pasa	Límites ASTM % que pasa	
3/8	9,5	0	0	0,00%	100,00%	100	
#4	4,76	7,0	7	0,79%	99,21%	95-100	
#8	2,38	128,5	135,5	15,33%	84,67%	80-100	
#16	1,19	213,4	348,9	39,48%	60,52%	50-85	
#30	0,59	205,9	554,8	62,78%	37,22%	25-60	
#50	0,297	176,4	731,2	82,74%	17,26%	10-30	
#100	0,149	84,2	815,4	92,27%	7,73%	2-10	
#200	0,075	40,7	856,1	96,88%	3,12%	-	
bandeja		27,6	883,7	100,00%	0,00%	-	
MÓDULO DE FINURA				2,93%			



### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, tabla 10 y curva, se detallan los resultados de los ensayos de granulometría a los agregados fino y grueso (ver Tabla 10 y Curva).

#### INTERPRETACIÓN DE LA CURVA

Después de realizado el respectivo ensayo granulométrico se obtuvo un módulo de finura de 2,9, el cual se encuentra dentro de los límites de 2,3-3,1 tabla 11 y curva, establecidos en nuestro medio, considerándose recomendable para la elaboración del hormigón (ver Tabla 11 y Curva).

#### INTERPRETACIÓN DE LA CURVA

Los resultados obtenidos en el ensayo granulométrico del

agregado grueso son óptimos para la elaboración del hormigón, cuyo tamaño nominal máximo es de 3/4" (19,05 mm) encontrándose dentro del rango establecido en la norma.

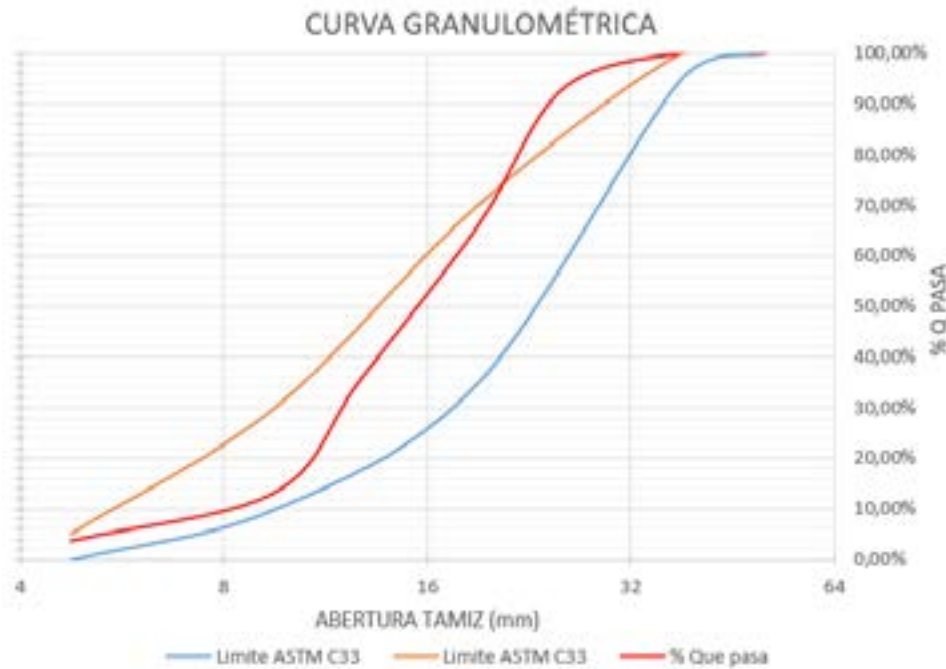
Los resultados presentados se dividen en dos grupos. El primer grupo (G1) corresponde a las propiedades del hormigón endurecido a los 14 días de edad, y el segundo (G2) corresponde a las mismas propiedades que el grupo anterior, pero a los 28 días de edad, una vez que el hormigón alcanza su máxima resistencia. En las tablas 12 y 13 se indican estos valores (ver Tablas 12 y 13).

Para una dosificación de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , la muestra de hormigón elaborada con 25% de residuos de concreto como agregado grueso, alcanzó una resistencia a compresión de  $244,97 \text{ kg/cm}^2$ , superando la resistencia a la compresión planificada inicialmente, y clasificándose como un hormigón estructural. Para los porcentajes de 50, 75 y 100%, la resistencia a compresión fue de 220,27, 218,07 y

**Tabla 11.**

Análisis granulométrico del agregado grueso

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO – AGREGADO GRUESO							
NORMA NTE - INEN 696 (ASTM C 136)							
PESO MUESTRA (gr):		5000		PÉRDIDA DE MUESTRA (%):		0,39	
Tamiz	Abertura (mm)	Retenido parcial (gr)	Retenido acumulado (gr)	% Retenido acumulado	% que pasa	Límites ASTM % que pasa	
2"	50,8	0	0	0,00%	100,00%	100	
1 ½"	38,1	0	0	0,00%	100,00%	95-100	
1"	25,4	709	709	7,10%	92,90%	-	
¾"	19,05	2685	3394	34,01%	65,99%	35-70	
½"	12,7	3074	6468	64,81%	35,19%	-	
⅜"	9,53	2188	8656	86,73%	13,27%	10-30	
#4	4,75	961	9617	96,36%	3,64%	0-5	
BANDEJA			363	9980	100,00%	0,00%	-
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:					¾"		



217,07 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015) indica en el capítulo NEC-SE-HM, que la resistencia mínima a la compresión debe ser de 21 MPa o 214,14 kg/cm<sup>2</sup>. En tal virtud, todos los hormigones que fueron elaborados, se pueden considerar como material estructural, según los datos obtenidos.

En las figuras 1 y 2 se indican las curvas de resistencia versus el porcentaje de HR del G1 y G2. Es evidente que la resistencia a la compresión del hormigón es inversamente proporcional al porcentaje de HR en reemplazo del agregado grueso tradicional. En G2, hay un decremento significativo de la resistencia entre el 25% y 50% de HR, mientras que para los demás porcentajes no se presenta mayor variación (ver Figuras 1 y 2).

**TIPO DE FALLA**

Las fallas promedio que se presentaron en las probetas son fracturas combinadas de esfuerzo de corte y compresión, es decir, se producen concentraciones de esfuerzos en puntos sobresalientes de las caras de aplicación de carga. Este tipo de falla corresponde a cilindros con poca o casi nula porosidad.

**4. CONCLUSIONES**

Se estableció la idoneidad de los parámetros para la elaboración del hormigón mediante la granulometría de agregados finos y gruesos bajo normas. Una vez que se determinó la resistencia a la compresión del hormigón

**Tabla 12.**

Ensayo a compresión del hormigón reciclado a los 14 días de edad

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN RECICLADO ENDURECIDO (G1)					
f'c:	210 kg/cm <sup>2</sup>	Edad:	14 días		
PROPORCIÓN (%)	PROPIEDADES				
	Diámetro promedio (cm)	Resistencia media (kg/cm <sup>2</sup> )	Densidad media en estado fresco (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad media en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	
25	15,2	177,87	2326,83	2265,59	
50	15,2	174,31	2296,21	2198,24	
75	15,1	170,83	2246,06	2227,45	
100	15,2	169,86	2314,58	2228,86	

**Tabla 13.**

Ensayo a compresión del hormigón reciclado a los 28 días de edad

PROPIEDADES DEL HORMIGÓN RECICLADO ENDURECIDO (G2)					
f'c:	210 kg/cm <sup>2</sup>	Edad:	28 días		
PROPORCIÓN (%)	PROPIEDADES				
	Diámetro promedio (cm)	Resistencia media (kg/cm <sup>2</sup> )	Densidad media en estado fresco (kg/m <sup>3</sup> )	Densidad media en estado endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	
25	15,23	244,97	2243,5	2213,01	
50	15,07	220,27	2337,03	2262,25	
75	15,1	218,07	2320,52	2227,45	
100	15,1	217,07	2301,91	2184,02	

210 kg/cm<sup>2</sup> utilizando hormigón reciclado como agregado grueso en los porcentajes de 25%, 50%, 75% y 100% se comprobó que con la sustitución de 25% se logró una resistencia en promedio de 244,97 kg/cm<sup>2</sup>, al aumentar el porcentaje de sustitución en 50%, 75%, y 100% se observó una disminución en la resistencia, sin embargo, se puede establecer que este hormigón es capaz de ser utilizado como un concreto estructural, debido a que cumple con los requisitos mínimos especificados en la norma NEC-2015.

Para determinar la dosificación al peso para fabricar el HR, se asumió que los residuos de concreto poseen las mismas propiedades físicas que un ripio tradicional. La fórmula obtenida permitió que se cumplan los objetivos de resistencia, lo que significa que el material proveniente de derrocamientos estructurales sí puede ser utilizado para la fabricación de nuevos hormigones. Sin embargo, las características de este material deben ser evaluadas previamente.

A criterio de este estudio, el porcentaje apropiado para trabajar con HR debe encontrarse hasta el 50%. Más allá de ese valor las resistencias obtenidas por el concreto podrían no cumplir objetivos establecidos.

## 5. REFERENCIAS

- [1] J. G. Mendoza Cantos y M. G. Vanga Arvelo, «Realidad y expectativa sobre la construcción sostenible en Ecuador», *Rev. San Gregor.*, n.º 43, pp. 197-209, 2020.
- [2] L. Rodríguez-Potes et al., «Arquitectura y urbanismo sostenible en Colombia. Una mirada al marco reglamentario», *Bitácora Urbano Territ.*, vol. 28, n.º 3, pp. 19-26, 2018.
- [3] M. Clapers Vivares, *Un nuevo paradigma para la construcción sostenible: la economía azul*, tesis, UPC, Barcelona, 2018, Accessed: nov. 15, 2022. [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/124118>.
- [4] S. Rodríguez Escanciano, «Sostenibilidad laboral en el sector de la construcción: la estabilidad en el empleo como premisa», *Temas laborales, Rev. andaluza Trab. y Bienestar Soc.* ISSN 0213-0750, n.º 152, pp. 13-52, 2020, Accessed: nov. 15, 2022. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7464722&info=resumen&idioma=SPA>.
- [5] A. M. Yagual-Velástegui et al., «La contribución del sector de la construcción sobre el producto interno bruto (PIB) en Ecuador», *Rev. Lasallista Investig.*, vol. 15, n.º 2, pp. 286-299, dec. 2018.
- [6] I. Pacheco, «Romance and assonance in the German

- Calderón», *Anu. Calderoniano*, vol. 15, pp. 449-470, 2022.
- [7] J. Rocha-Pardo, Elementos de construcción a partir de residuos de construcción y demolición en Bogotá, trabajo de grado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá., 2022.
- [8] L. M. Chica-Osorio, J. M. Beltrán-Montoya, «Caracterización de residuos de demolición y construcción para la identificación de su potencial de reúso», *DYNA*, vol. 85, n.º 206, pp. 338-347, jul. 2018.
- [9] J. Alejandro Delgado-Larrea, A. Wladimir Valle-Benítez y S. Eugenio Delgado-Menoscal, «Plan de mejora del estudio de gestión integral residuos sólidos de construcción Banco del Pacífico», *Polo del Conoc. Rev. científico - Prof.* ISSN-e 2550-682X, vol. 6, n.º 5, 2021, pp. 717-739.
- [10] M. F. Hernández-Zamora, S. Jiménez-Martínez, J. I. Sánchez-Monge, «Materiales alternativos como oportunidad de reducción de impactos ambientales en el sector construcción», *Rev. Tecnol. en Marcha*, vol. 34, n.º 2, pp. 3-10, mar. 2021.
- [11] E. Álvarez Calixto y K. Rincón Carreño, «El impacto ambiental de la gestión de las constructoras», *Formación Estratégica*. <https://formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/14/10> (accessed Nov. 15, 2022).
- [12] M. Vargas, *Investigación sobre el manejo de residuos en construcción entre Europa, América y Colombia*, tesis, Universidad Militar Nueva Granada. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/21255> (accessed Nov. 15, 2022).
- [13] R. Jin, B. Li, A. Elamin, S. Wang, O. Tsioulou, and D. Wanatowski, «Experimental investigation of properties of concrete containing recycled construction wastes», *Int. J. Civ. Eng.*, vol. 16, n.º 11, pp. 1621-1633, apr. 2018.
- [14] P. Sormunen and T. Kärki, «Recycled construction and demolition waste as a possible source of materials for composite manufacturing», *J. Build. Eng.*, vol. 24, p. 100742, jul. 2019.
- [15] W. Ahmad, A. Ahmad, K. A. Ostrowski, F. Aslam, and P. Joyklad, «A scientometric review of waste material utilization in concrete for sustainable construction», *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 15, p. e00683, dec. 2021.
- [16] K. A. González Molina, «Revisión sistemática de la economía circular en la industria del hormigón: efecto económico ambiental», jun. 2021, Accessed: jan. 31, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2915>.
- [17] J. de Brito and R. Kurda, «The past and future of sustainable concrete: a critical review and new strategies on cement-based materials», *J. Clean. Prod.*, vol. 281, p. 123558, Jan. 2021.
- [18] S. K. Kirthika, S. K. Singh, and A. Chourasia, «Alternative fine aggregates in production of sustainable concrete: a review», *J. Clean. Prod.*, vol. 268, p. 122089, Sep. 2020.
- [19] L. Assi, K. Carter, E. (Eddie) Deaver, R. Anay, and P. Ziehl, «Sustainable concrete: Building a greener future», *J. Clean. Prod.*, vol. 198, pp. 1641-1651, oct. 2018.
- [20] K. Vázquez-Calle, V. Guillén-Mena, and F. Quesada-Molina, «Analysis of the embodied energy and CO<sub>2</sub> emissions of ready-mixed concrete: a case study in Cuenca, Ecuador», *Mater.* 2022, vol. 15, n.º 14, p. 4896, jul. 2022.
- [21] C. D. Chicaiza Ortiz, V. P. Navarrete Villa, C. O. Camacho López, and Á. F. Chicaiza Ortiz, «Evaluation of municipal solid waste management system of Quito-Ecuador through life cycle assessment approach», *LALCA Rev. Latino-Americana em Avaliação do Ciclo Vida*, vol. 4, p. e45206, jul. 2020.
- [22] M. C. Meza Rivas, «Análisis económico y financiero en el manejo integral de residuos sólidos en los municipios de la Zona 4 del Ecuador», *M+A, Rev. electrónica Medioambiente*, ISSN-e 1886-3329, vol. 22, n.º 2, pp. 40-59, 2021, Accessed: nov. 15, 2022. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8488496&info=resumen&idioma=ENG>.
- [23] K. F. Haro González, «Evaluación mecánica de bordillos prefabricados elaborados con hormigón que contiene áridos reciclados provenientes de elementos estructurales usados como sustituto parcial del árido natural», 2022, Accessed: jan. 31, 2023. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23241>.
- [24] B. Baque Campozano y L. Torres Cueva, «Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón utilizando como agregados concreto reciclado», tesis, UNESUM, Jipijapa, 2022, Accessed: jan. 31, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4300>.
- [25] M. D. Cabezas, «Hydrogen energy vector: demonstration pilot plant with minimal», *Int. J. Hydrog. Energy*, vol. 39, pp. 18165-18172, 2014.