

LIBRO DE COMUNICACIONES DEL
I INTERNATIONAL CONGRESS ON MATERIALS
FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION (MatConS)

Francisco Agrela Sainz
Gloria María Cuenca Moyano
Mónica López Alonso
María Martín Morales
(coords.)



Libro de comunicaciones del I International Congress on Materials for Sustainable Construction (MatConS) – Córdoba: UCOPress. Editorial Universidad de Córdoba, 2024

21 x 29,7 cm, 68 pp. il. color

THEMA: AKP, RNU

Francisco Agrela Sainz, Gloria María Cuenca Moyano, Mónica López Alonso, María Martín Morales (eds.)

LIBRO DE COMUNICACIONES DEL I INTERNATIONAL CONGRESS ON MATERIALS FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION (MATCONS)

© de los textos: sus autores

© Edita: UCOPress. Editorial Universidad de Córdoba, 2024

Campus de Rabanales. Ctra. Nacional IV, Km 396 · 14071 Córdoba (España)

Tlf. +34 957 212 165

<https://ucopress.uco.es> · ucopress@uco.es

eISBN: 978-84-9927-839-1



Esta editorial es miembro de la UNE, lo que garantiza la difusión y comercialización de sus publicaciones a nivel nacional e internacional.

LIBRO DE COMUNICACIONES DEL
I INTERNATIONAL CONGRESS ON MATERIALS
FOR SUSTAINABLE CONSTRUCTION (MatConS)

Celebrado en el Salón de Grados de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos,
Canales y Puertos de la Universidad de Granada el 28 de junio de 2024.

COMITÉ ORGANIZADOR

Francisco Agrela Sainz, *Universidad de Córdoba*
Gloria María Cuenca Moyano, *Universidad de Granada*
Mónica López Alonso, *Universidad de Granada*
María Martín Morales, *Universidad de Granada*

COMITÉ CIENTÍFICO

Francisco Agrela Sainz, *Universidad de Córdoba*
Manuel Cabrera Montenegro, *Universidad de Córdoba*
Gloria María Cuenca Moyano, *Universidad de Granada*
Manuel Cruz Yusta, *Universidad de Córdoba*
Javier Estévez Gualda, *Universidad de Córdoba*
Mónica López Alonso, *Universidad de Granada*
María Martín Morales, *Universidad de Granada*
Jaime Martín Pascual, *Universidad de Granada*
María José Martínez-Echevarría Romero, *Universidad de Granada*
Julia Rosales García, *Universidad de Córdoba*

PRÓLOGO

La humanidad ha aprendido a las circunstancias adversas, y en los últimos años, hemos comprobado como el cambio climático está provocando impactos muy relevantes. Es por ello, que en los últimos años, y en relación a los cambios tan significativos que estamos viviendo, se ha entendido claramente el hecho de que no podemos hacer una explotación de recursos sin control y de manera específica. Debemos ir hacia una economía circular, en la cual se reciclen y reutilicen residuos y subproductos para un segundo o posterior uso, produciendo una reducción en el consumo de recursos naturales, lo cual se produce, a día de hoy, de una manera exacerbada, implicando una significativa reducción de la cantidad de residuos y subproductos aprovechables, que son trasladados a vertederos.

Es por ello, que la construcción debe encaminarse hacia una sostenibilidad de manera creciente cada día y, en consecuencia, se deben aplicar nuevas técnicas y conocimientos para conseguir avances significativos en esta línea.

El primer Congreso de Materiales para la Construcción Sostenible celebrado en junio de 2024 en la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Granada, ha puesto en evidencia el interés y la motivación de muchos investigadores y estudiantes de Master y doctorado en la búsqueda de nuevos materiales y técnicas de procesamiento, así como su aplicación a escala reducida o real, para contribuir a una economía circular desde el mundo de la construcción, lo cual se va a traducir en que tengamos un mundo amigable con el medio ambiente cada día.

Para mí ha sido un honor participar en el comité científico y organizador del primer este primer Congreso de Materiales para la Construcción Sostenible, gracias al cual, numerosos investigadores, y de manera especial alumnos del Máster de Materiales Avanzados para la Construcción Sostenible T+ConS, han demostrado que tienen un conocimiento amplio en relación a las disciplinas relacionadas con la construcción sostenible, tanto el conocimiento técnico de los materiales, las técnicas de valorización de residuos y sus productos, las tecnologías para determinar el ciclo de vida y los costes ambientales en relación al uso de materiales convencionales, los cuales demandan más recursos naturales y producen una mayor huella de carbono.

Espero que sigamos avanzando en este camino, y el año 2025, en el cual se celebrará el segundo Congreso de Materiales para la Construcción Sostenible en Córdoba, siga habiendo tanta motivación, y sea un encuentro tan satisfactorio y lleno de agradables encuentros y aprendizajes, y de esta manera, podamos seguir favoreciendo el desarrollo de una construcción más sostenible y amigable con el medio ambiente cada día.

Mi agradecimiento en especial a Mónica López Alonso, la directora del Máster en la Universidad de Granada, a María Martín Morales, la coordinadora principal de este congreso, y a Gloria Cuenca Moyano, la secretaria del congreso, y a Julia Rosales, investigadora incansable y colaboradora extraordinaria, todas ellas han puesto mucha ilusión y un gran trabajo por llegar a cabo todas las tareas de este congreso. También quiero agradecer todo el apoyo del resto del comité científico que ha participado, así como el alumnado del Máster T+ConS, los estudiantes de doctorado y otros investigadores que han asistido aportando nuevas investigaciones y conocimientos, favoreciendo un clima idóneo para un congreso, que acaba de estrenar su primera edición.

Gracias a todos y os esperamos en Córdoba 2025.

Francisco Agrela Sainz
Catedrático de la Universidad de Córdoba
Director del Máster Interuniversitario en Tecnologías Avanzadas para la Construcción Sostenible

Patras, Grecia, 26 de julio de 2024

ÍNDICE

Optimizing mortar properties for sustainable construction: evaluating eucalyptus biomass bottom ash replacement and carbonation effects. Ahmed, Leena; Lozano, Belén; Agrela, Francisco; Cabrera, Manuel	7
Development of lightweight high absorbency geopolymer using metakaolin and silicate sludge. Anas A. Alrawashdeh; María Martín-Morales; Montserrat Zamorano; Mazen Alshaaer	9
Development of cement composites reinforced with vegetable fibers: a 40-year. Arvizu-Montes, Armando; Martínez-Echevarría, María José	11
Mejora de las propiedades mecánicas de la tapia a través de criterios de idoneidad. Blanca-Hoyos, Álvaro; Puertas, Esther; Gallego, Rafael	13
Comportamiento del hormigón autocompactante a partir de una nueva adición ecohíbrida basada en la mezcla simultanea de áridos reciclados mezclados con cenizas de fondo de biomasa. Cabrera, Manuel; Moreno, Santiago; Agrela Francisco; Rodríguez, Reinier; Díaz, José Luis	15
Aplicación del ACV para la comparativa ambiental de distintas variantes de cemento ecológico. Cappa Vargas, Pablo Miguel; Ruiz Hernández, Luz Marina	17
Estudio de la durabilidad en hormigones estructurales con incorporación de residuos de construcción y demolición (RCD). Castillo Barrios, Omar de Jesús; López Alonso, Mónica	19
Evaluación de los impactos ambientales y la valorización de residuos en la industria metalúrgica: fundición gris. Castro Rincón, María Gabriela; Rosales García, Julia; Agrela Sainz, Francisco	21
Ensayos no destructivos en la construcción sostenible. Castro, Ricardo; Puertas, Esther; Gallego, Rafael	26
Incorporación de enzimas ecológicas para el desarrollo de compuestos de tierra como material constructivo. Cervilla-Maldonado, Ana; Martín-Villegas, Francisco; Valverde-Palacios, Ignacio; Fuentes-García, Raquel; Valverde-Espinosa, Ignacio	28
Estudio de las tendencias y nuevos trabajos de investigación aplicados al uso de áridos reciclados en hormigones en España y a nivel Internacional. Pérez Murcia, Cristian Fabian; Agrela Sainz, Francisco; Gómez Escribano, Pablo	30
Alternative activation strategies to produce environmentally friendly one-part alkali-activated materials. Pedro Delgado-Plana; Salvador Bueno-Rodríguez; Luis Pérez-Villarejo; Dolores Eliche-Quesada	32
Full-scale application of recycled concrete for use as low-volume road pavements. Díaz-López, José Luis; Moreno, Santiago; Rosales, Julia; Agrela, Francisco; Rosales, Manuel	34
Physical-mechanical behavior of cement and lime mortars with mixed aggregate of sand and crushed recycled glass. Alducin-Ochoa, Juan Manuel; Flores-Alés, Vicente; Martín-del-Río, Juan Jesús; Corona, Yanet; Torres-González, Marta	36
Soluciones sostenibles con ahorro y hormigón reciclado para vías de baja intensidad. García, Aldiné; Agrela, Sainz Francisco; Cabrera Manuel	38
Numerical modelling of Cross-Laminated Timber (CLT) structures for buildings. Gato Carrión, Martín; Olmos Noguera, José Manuel	40
Evaluación de la idoneidad de materias primas y/o subproductos de la industria para activación alcalina. Gómez, Melina Gabriela; Alrawashdeh, Anas; Cuenca-Moyano, Gloria María; Zamorano, Montserrat; Martín Morales, María	42
Aplicación de filler de concha de mejillón en mezclas bituminosas y materiales base cemento. Ibañez, Yaky; Agrela, Francisco; Díaz, José Luis; Marcobal, José Ramón	44

Viabilidad de uso de escorias de biomasa activadas alcalinamente para fabricación de morteros. Lozano, Belén; Leena, Ahmed; Rosales, Manuel; Rosales Julia; Cabrera, Manuel.....	46
Etiquetas medioambientales como criterio en la adjudicación del Contratos Públicos. Marcos Martínez, Eduardo.....	47
Development of hydraulic binder road formulations from biomass bottom ash and recycled filler for application in soil stabilization. Alruzi, Mohammad; Agrela, Francisco; Díaz-López, José Luis.....	50
Hormigón con árido reciclado mixto y cemento ternario con polvo de ceniza de fondo de biomasa y polvo de árido reciclado mixto. Experiencia a escala real. Moreno Sánchez, Santiago; Rosales García, Manuel; Cabrera Montenegro, Manuel; Agrela Sainz, Francisco; Rosales García, Julia.....	52
Valorization of glass fiber waste as a precursor in alkali-activated systems cured at room temperature – influence of SiO ₂ /Na ₂ O molar ratio. Tashima, Mauro M; Soriano, Lourdes; Giménez, Ester; Monzó, José; Borrachero, María Victoria; Payá, Jordi.....	54
Reciclaje de fibras textiles en la Construcción: Estudio de viabilidad de su incorporación en morteros de revestimiento. Polonio-Broock, Lorenzo; Serrano-Jiménez, Antonio; Valverde-Palacios, Ignacio.....	56
Análisis de corrientes vagabundas. Parra Hermida, Raúl.....	58
Forjado mixto prefabricado con vigas de madera y losa de hormigón para construcción baja en carbono. Lorenzana, Jose A.; Guaita, Manuel; Feijóo, Belén; Vidal, Anxel; Portela, María; Cruz, Carlos; Rescalvo, Francisco J.; Fuentes-García, Yaiza; Gallego, Antolino; Grupo Rodiñas.....	60
Activación alcalina de cenizas de fondo de biomasa en geopolímeros y morteros. Rodríguez Hernández, Reinier; Agrela Sainz, Francisco; Rosales García, Julia.....	62
Cementitious performance of clayey nature powders as an alternative supplementary cementitious material. Rosales, Manuel; Rosales, Julia; Díaz, José Luis; Agrela, Francisco; Rodríguez, Reinier.....	64
Propuesta de aplicación de materiales sostenibles para la rehabilitación de un edificio de la Universidad de Córdoba. Yahari, Aldo; Agrela, Francisco; López-Aguilar, Martín.....	66

Optimizing Mortar Properties for Sustainable Construction: Evaluating Eucalyptus Biomass Bottom Ash Replacement and Carbonation Effects

Ahmed, Leena ⁽¹⁾*; Lozano, Belén ⁽¹⁾; Agrela, Francisco ⁽¹⁾; Cabrera, Manuel ⁽²⁾**

(1) Construction Engineering, University of Córdoba, Universidad de Córdoba *z32ahahl@uco.es

(2) Mechanics of Continuous Media and Theory of Structures, University of Cordoba, **manuel.cabrera@uco.es

Abstract

Biomass utilisation as a renewable energy source presents a complex environmental issue. Whilst it offers waste management and potential carbon neutrality, the residual ash from combustion poses a significant challenge. However, various studies suggest possibilities for repurposing this waste as a building material. This research analyses the feasibility of repurposing the bottom ash of eucalyptus biomass as a replacement at different percentages for sand in mortars. The carbonation technique is introduced to evaluate its effect on the properties of the materials and those of the hardened mortar. The physical, chemical, and environmental properties of both the carbonated and non-carbonated materials are evaluated, alongside the mechanical properties of the hardened specimens. The findings indicate that the utilisation of eucalyptus biomass bottom ash is acceptable for use as a partial sand replacement in mortars, and that the carbonation treatment can have positive effects on the properties of the mortars.

Keywords: Biomass Bottom Ash; Carbonation; Cement-based Material; Circular Economy; Mechanical Properties.

I. Introduction

The current linear economic model that relies on constant extraction of virgin resources leads to environmental degradation and inequitable distribution is fundamentally incompatible with achieving sustainability [1]. The circular economy approach offers a promising alternative for sustainable development [2], [3]. The global rise in renewable energy use [4] indicates a move towards more sustainable practices. Biomass, derived from organic waste products, is a renewable fuel source that captures recent solar energy. However, increased reliance on biomass combustion also generates biomass ash, which poses environmental risks if not managed effectively [5], [6]. This ash is a mix of unburnt material and non-combustible elements that settle at the bottom of furnaces, and it has an earthy texture [5]. Interestingly, research suggests potential applications for biomass bottom ash in construction materials, such as mortar, with promising results, both with and without prior treatment [7], [8]. This research aims to investigate the feasibility of incorporating biomass bottom ash as a partial replacement for sand in mortar fabrication. It will also explore the effect of carbonation on the resulting material, with the goal of optimising its properties and enhancing its mechanical behaviour.

II. Methodology

Eucalyptus biomass bottom ash was incorporated into mortar specimens, replacing 25% and 50% of the sand content. The same replacement percentages were used for specimens cast with carbonated eucalyptus biomass bottom ash. On the other hand, reference specimens were fabricated in order to compare the results.

II.1 Materials

– CEM II/B-L 32.5 N. – Standard natural sand. – Eucalyptus Biomass Ash (Euc. BBA). – Tap water. The Euc. BBA was sieved to a (0-2) mm range to fit the granulometric gaps of sand stipulated by the regulations (EN 196-1). Euc. BBA has a lower density and higher water absorption compared to the natural sand. Interestingly, carbonation seems to have a densifying effect on Euc. BBA while reducing its water absorption.

Table 1: Particle density and water absorption

Material	Density	Water absorption %
Standard sand	2.55	0.15
Euc. BBA	2.04	10
Carb. Euc. BBA	2.34	3

II.2

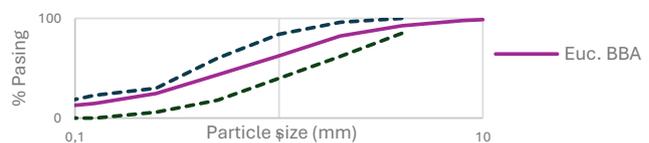


Figure 1: Particle size distribution

Carbonation Treatment

Static carbonation setup was employed to capture CO₂ particles within the eucalyptus biomass bottom ash. The ash was placed in the carbonation chamber for 6 days at a CO₂ concentration of 15%, a relative humidity of 65%, and a temperature of 21 °C.

II.3 Mix Composition

A reference mortar was made and specimens with 25% and 50% sand replacement were prepared. Then, mortar specimens with carbonated material were also made with the same sand replacement levels (Table 2).

II.4 Experimental Methods

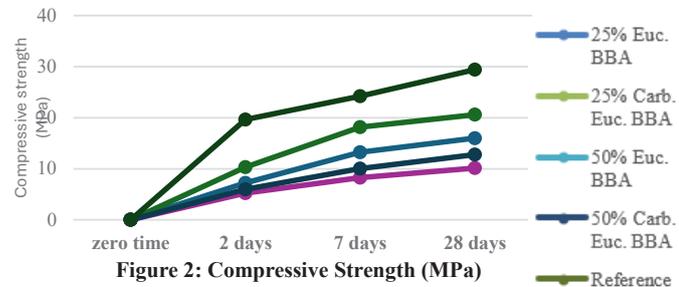
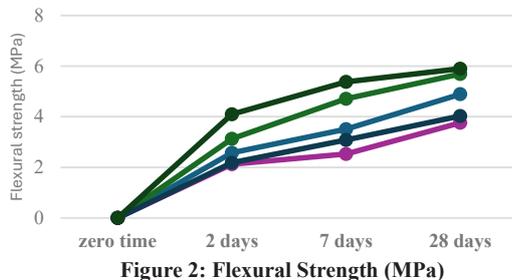
A series of tests were conducted to assess the suitability of eucalyptus biomass bottom ash as a partial sand replacement in mortars. These tests evaluated both the material properties of the ash itself and the performance of the mortar specimens. Physical properties like granulometry, particle density, and water absorption were measured. Chemical tests analysed the water-soluble sulphate, acid-soluble sulphate, organic matter content, and overall chemical composition using X-ray fluorescence (XRF). Finally, an environmental leaching test assessed potential environmental impact. Once the mortar specimens were manufactured, they underwent mechanical testing at different curing ages to determine their consistency when fresh, as well as their flexural strength, compressive strength, dimensional stability, and water absorption after hardening.

Table 2: Mortar Composition

	Reference	25% Euc. BBA	50% Euc. BBA	25% Carb. Euc. BBA	50% Carb. Euc. BBA
Cement (g)	450	450	450	450	450
Sand (g)	1350	1,012.5	675	1,012.5	675
Euc. BBA (g)	-	270	540	309.44	618.88
Water (g)	225	225	225	225	225
Absorption Water (g)	-	27.1	54.3	0.54 + 20*	1.07 + 40*

*The mix appeared to require additional water for better workability.

III. Results and Discussion



The results of the compressive and flexural strengths tests show that, overall, replacing 25% of the sand with eucalyptus biomass bottom ash resulted in higher strengths compared to a 50% replacement. Carbonation treatment of the material in both replacement levels led to improved flexural and compressive strengths compared to the non-carbonated material. The enhancement in compressive strength was 42% at the early age of 2 days and 29% at 28 days. Meanwhile, flexural strength improved by 21% at 2 days and 16% at 28 days, which was only 3.5% lower than the reference mortar result. Interestingly, the improvement in the carbonated material with a 50% replacement increased with age, from a 14% improvement at 2 days to a 26% improvement at 28 days. Similarly, flexural strength improved from 2% at 2 days to 7% at 28 days.

III. Conclusion

Replacing 25% sand with eucalyptus biomass ash offers the best overall strength improvement for both compressive and flexural strengths compared to a 50% replacement. Carbonation treatment significantly strengthens both types of the mixes, regardless of the replacement ratio. The 25% replacement with carbonation shows impressive early and long-term strength gains, coming very close to the reference mortar in flexural strength even at 28 days.

References

- [1] N. Millar, E. McLaughlin, and T. Börger, 'The Circular Economy: Swings and Roundabouts?', *Ecological Economics*, vol. 158, pp. 11–19, Apr. 2019, doi: 10.1016/J.ECOLECON.2018.12.012.
- [2] Stahel, W. *Nature* 531, 435–438 (2016). Circular economy. <https://doi.org/10.1038/531435a>.
- [3] A. P. M. Velenturf and P. Purnell, 'Principles for a sustainable circular economy', *Sustain Prod Consum*, vol. 27, pp. 1437–1457, Jul. 2021, doi: 10.1016/J.SPC.2021.02.018.
- [4] Consejo Europeo, '¿Cómo se produce y se vende la electricidad de la UE?', Consejo de la Unión Europea.
- [5] D. José Luis Díaz López and F. Agrela Sainz Dra Julia Rosales García, 'Aplicación de residuos, subproductos industriales y nanomateriales para la estabilización y ejecución de capas estructurales de carreteras application of waste, industrial by-products and nanomaterials for the stabilisation and execution of structural road layers', Córdoba, 2024. [Online]. Available: <https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/>
- [6] F. Agrela, M. Cabrera, M. M. Morales, M. Zamorano, and M. Alshaar, 'Biomass fly ash and biomass bottom ash', *New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete*, pp. 23–58, Jan. 2019, doi: 10.1016/B978-0-08-102480-5.00002-6.
- [7] M. G. Beltrán, A. Barbudo, F. Agrela, J. R. Jiménez, and J. De Brito, 'Mechanical performance of bedding mortars made with olive biomass bottom ash', *Constr Build Mater*, vol. 112, pp. 699–707, Jun. 2016, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2016.02.065.
- [8] J. Rosales, M. Cabrera, M. G. Beltrán, M. López, and F. Agrela, 'Effects of treatments on biomass bottom ash applied to the manufacture of cement mortars', *J Clean Prod*, vol. 154, pp. 424–435, Jun. 2017, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2017.04.024.

Development of lightweight high absorbency geopolymer using metakaolin and silicate sludge

Alrawashdeh, Anas A. ⁽¹⁾; Martín Morales, María ⁽²⁾; Zamorano, Montserrat ⁽¹⁾; Alshaer, Mazen ^(3,4)

(1) Department of Civil Engineering, University of Granada, 18071 Granada, Spain. anasrawashdeh@correo.ugr.es, zamorano@ugr.es

(2) Department of Building Construction, University of Granada, 18071 Granada, Spain. mariam@ugr.es

(3) Department of Physics, College of Science and Humanities in Al-Kharj, Prince Sattam Bin Abdulaziz University, Al-Kharj 11942, Saudi Arabia.

(4) Department Mechanics of Materials and Constructions, Vrije Universiteit Brussels (VUB), Pleinlaan 2, 1050 Brussels, Belgium. mazen.alshaer@vub.be

Abstract

Current research is focused on maximizing geopolymer potential as a substitute for traditional concrete. This study examines and reports the mechanical and physical properties of a newly developed lightweight and highly absorbent geopolymer. The study involved replacing 15% of metakaolin with silicate sludge at 10M of NaOH and a water-to-solid ratio of 1. The mixture was cured for 4 hours at 60°C. The results showed that the compressive strength decreased by 10.2% from 31.5 MPa to 28.3 MPa, and the density decreased from 1.7 g/cm³ to 1.3 g/cm³. However, the strength-to-density ratio, also known as "specific strength," was higher when using the waste material, measuring 21,769 N.m/Kg compared to 18,529 N.m/Kg for the control mix. Additionally, the water absorption rate was around 30%.

Keywords: Geopolymer, Silicate sludge, Compressive strength, Lightweight, Water absorption.

I. Introduction

Geopolymers are inorganic polymers synthesized by reacting materials containing a high aluminosilicate content, typically sourced from natural resources such as kaolin clay or industrial by-products, with an alkaline solution (Davidovits 1994; Provis 2018). This process results in the formation of a rigid and highly durable matrix. Geopolymers are known for being environmentally friendly, requiring low energy, and producing minimal carbon dioxide emissions. They have attracted interest for their potential to utilize waste resources and address environmental issues (Almutairi et al. 2021). However, direct practical replacement of traditional materials with geopolymers is not yet a viable proposition in the construction sector, prompting an investigation into alternative applications for these materials (Danish et al. 2022). For example, lightweight geopolymers can be produced in various ways to create porous materials, including adding fillers, using additives, or through thermal, mechanical, and chemical methods. These materials have applications in fire resistance, insulation, and water treatment (Novais et al., 2020). For that, in this research, metakaolin was partially replaced with 15% silicate sludge (SL) to produce a lightweight geopolymer with a density of around 1.3 g/cm³.

II. Methodology and materials

The metakaolin (Mk) was derived from the calcination of pure kaolin at 750 degrees Celsius for 3 hours, resulting in a particle size of less than 75µm. The SL is an industrial by-product crushed and then sieved to achieve particles with a size not exceeding 75µm. For the alkaline solution, 10 moles of sodium hydroxide pellets were dissolved in distilled water and then mixed with a commercial sodium silicate solution. The oxide and chemical composition of SL was determined using X-Ray Fluorescence (XRF) testing, and the results are presented in Table 1. Additionally, XRD analysis revealed that the crystalline phases primarily consist of quartz, calcite, dolomite, and albite.

The sample preparation process was as follows: MK and LS were initially mixed in a dry state for 2 minutes. Then, an alkaline solution was added and mixed for 3 minutes at low speed. After that, the geopolymer mixture was poured into 20 × 20 × 10 mm³ moulds and cured in the oven for four hours at 60°C. The samples were then removed from the moulds and cut into four pieces with a size of 20 × 20 mm³ then placed in a closed environment for 7 days before testing. Initially, the absorption of each specimen was measured before testing their compressive strength.

Table 3: Chemical composition Silicate sludge by mass%

Component (wt%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	LOI
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
	44.3	14.8	4	3.3	3.6	2.8	0.6	0.6	0.12	1.4	24

III. Results and discussion

Based on the results obtained from the XRF, the SL material is rich in silica and aluminium oxide, which are usually needed for geopolymerization. However, the XRD showed that a large portion of these components exist in crystalline form with almost no amorphous phase. Mk is known for its amorphous phase with high alumina-silicate content.

The compressive strength of the control mix was 31.5 MPa, while the specimens containing 15% of SL replacing Mk demonstrated lower strength, with a decrease of 10.2% to 28.3 MPa. The absorption of the control specimens was around 5%, but for the SL ones it was around 30%, which is considered high. The reduction in strength can be attributed to the very low reactivity of SL, as it could work as a filler and not a precursor. Moreover, the small SL particles have the ability to trap water, which increases the water content within the geopolymer structure, thus leading to higher porosity. However, the higher porosity tends to reduce the mechanical strength of the material, as it contains more voids and less solid material to support the load. Introducing SL particles can also disrupt the continuity of the geopolymer matrix, resulting in the formation of micro-cracks and voids that further facilitate water absorption. From the aforementioned results it is possible to elucidate the rationale behind the reduction in density from 1.7 g/cm³ to 1.3 g/cm³ when substituting Mk with 15 % of SL.

IV. Conclusion

The study investigated the production of a lightweight, highly absorbent geopolymer by partially replacing metakaolin with silicate sludge. The results showed that replacing 15% of metakaolin with silicate sludge decreased the strength of the mixture but still maintained high strength at 28.3 MPa, with a low density of around 1.3 g/cm³, as the specific strength was higher using the SL as a partial replacement with Mk, measuring 21,769 N.m/Kg compared to 18,529 N.m/Kg for the control mix and an absorption rate of 30%. Importantly, this lightweight geopolymer with high performance was produced using waste materials and without any chemical additives or treatment, making it environmentally friendly and sustainable. These findings suggest that the developed geopolymer bodes well for potential applications in water treatment or evaporative cooling, given its high absorbency with high strength retention (Aouan et al. 2023; Emdadi et al. 2017).

V. References

- Almutairi, A. L., B. A. Tayeh, A. Adesina, H. F. Isleem, and A. M. Zeyad. 2021. "Potential Applications of Geopolymer Concrete in Construction: A Review." *Case Studies in Construction Materials* 15. doi: 10.1016/j.cscm.2021.e00733.
- Aouan, Badr, Saliha Alehyen, Mouhcine Fadil, Marouane El Alouani, Hamid Saufi, El Hassania El Herradi, Fadoua El Makhoukhi, and M'hamed Taibi. 2023. "Development and Optimization of Geopolymer Adsorbent for Water Treatment: Application of Mixture Design Approach." *Journal of Environmental Management* 338:117853. doi: 10.1016/J.JENVMAN.2023.117853.
- Danish, Aamar, Togay Ozbakkaloglu, Mohammad Ali Mosaberpanah, Muhammad Usama Salim, Muhammed Bayram, Jung Heum Yeon, and Komael Jafar. 2022. "Sustainability Benefits and Commercialization Challenges and Strategies of Geopolymer Concrete: A Review." *Journal of Building Engineering* 58:105005. doi: 10.1016/J.JOBE.2022.105005.
- Davidovits, Joseph. 1994. *Properties of Geopolymer Cements*.
- Emdadi, Zeynab, Nilofar Asim, Mohamad Hassan Amin, Mohd Ambar Yarmo, Ali Maleki, Mojtaba Azizi, and Kamaruzzaman Sopian. 2017. "Development of Green Geopolymer Using Agricultural and Industrialwaste Materials with High Water Absorbency." *Applied Sciences (Switzerland)* 7(5). doi: 10.3390/app7050514.
- Novais, Rui M., Robert C. Pullar, and João A. Labrincha. 2020. "Geopolymer Foams: An Overview of Recent Advancements." *Progress in Materials Science* 109:100621. doi: 10.1016/J.PMATSCI.2019.100621.
- Provis, John L. 2018. "Alkali-Activated Materials." *Cement and Concrete Research* 114:40–48.

Development of cement composites reinforced with vegetable fibers: a 40-year bibliometric analysis

Arvizu-Montes, Armando ^(*); Martínez-Echevarría, María José
Department of Construction Engineering and Projects of Engineering, University of Granada.

*Corresponding author: aarvizu@ugr.es

Abstract

Vegetable fibers in cement composites have seen increased utilization due to their low environmental impact, high tensile strength, and other beneficial properties, turning them into a feasible sustainable alternative in construction materials. This study uses data from the Scopus database to perform a bibliometric analysis, revealing the progress in this field over the past 40 years and highlighting the research trends followed by the scholars worldwide, by recognizing the most considered sources of publications as well as the most recurrent keywords in those papers. The analysis aims to suggest future directions for researchers and provide an overview of this scientific topic.

Keywords: bibliometric analysis; vegetable fibers; cement composites.

I. Introduction

In recent years, there has been an increasing interest in developing sustainable materials within the building sector, mainly driven by the environmental situation and the ecological impact from the construction industry (Ding, 2008). In this line, an extensive studied alternative has been the inclusion of vegetable fibers (VF) as a reinforcement for cement-based materials (Arduany et al., 2015), exhibiting promising results, mostly in terms of mechanical properties. Nonetheless, this scientific topic has been considered already in the past few decades, constantly progressing and providing new outcomes that enhance and augment the knowledge within the literature. The present study conducts a bibliometric analysis considering the information obtained from the Scopus database, delimiting the publications from 1983 to 2024, highlighting the research tendency, the most productive journals and the topics pursued by the scholars revealed by the main keywords.

II. Methodology

Bibliometric analysis applies quantitative techniques to explore publications from diverse sources (Donthu et al., 2021), offering academics and effective tool to construct an initial perspective of a research field. A crucial step to carry out the analysis is the selection of the database. According to Chadegani et al. (Chadegani et al., 2013), Scopus includes more journals and has a larger number of publications, in comparison with other literature collections. Therefore, after filtering and cleaning the dataset obtained from Scopus, a total of 240 documents were considered for the present study. The software selected to run the analysis was the open-source tool Bibliometrix R-package, developed by Aria and Cuccurullo, which provide features for scientometric analysis and data visualization (Aria & Cuccurullo, 2017). Figure 1 represents the methodology as a flow chart.

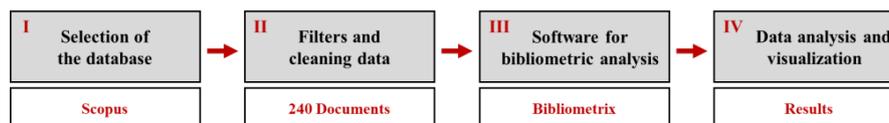


Figure 1. Considered procedure to perform the bibliometric analysis.

III. Results and Discussions

III.1 Yearly trend of publications

Seeking to determine the progress of publications of VF in cement composites over the past 40 years, Figure 2 shows the annual distribution of documents, demonstrating a gradual increase in papers during the last decade, excluding 2022, presenting a drop in the growth (35 document) that overcame in the next year (42 documents). Finally, considering that the analysis was performed at the beginning of 2024 and there were already eight documents, it is expected that the rise of publications continues to grow with the same tendency it has shown.

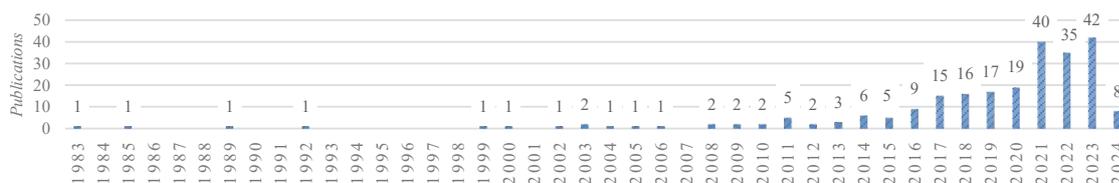


Figure 2. Number of publications per year spanning 1983 to 2024.

III.2 Most relevant journals

The analysis gathered 121 sources from the 240 documents considered. However, to conduct a more precise assessment, the journals with 10 or more publications were included. Figure 3 represents the top 10 sources in terms of number of documents and indicates their corresponding Impact factor and CiteScore. The chart shows an evident superiority occurrence from *Construction and Building Materials*, representing 14% of the papers.

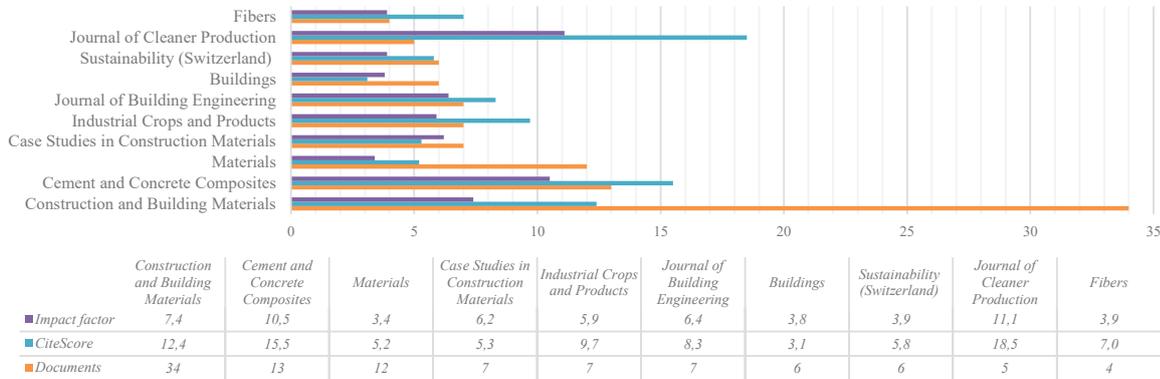


Figure 3. Top ten journals in terms of publications, including Impact Factor and CiteScore.

III.3 Keywords co-occurrence

Keywords are essential elements in a literature review as they provide insights into a specific scientific field. Hence, Figure 4 illustrates the co-occurrence of author keywords, usually written next to the abstract. An emphasis on “mechanical properties” and “durability” can be observed, shedding light on the concerns pursued by the scholars. The graph also provides guidance for new authors in identifying previous publications within the field and selecting appropriate keywords for their own work.

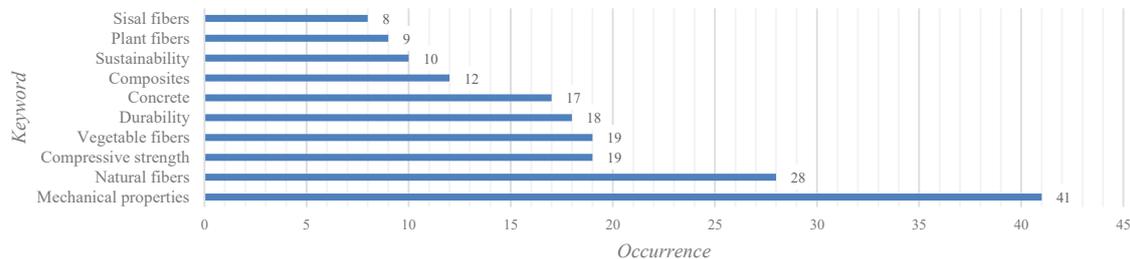


Figure 4. Top ten author keywords in terms of co-occurrence

IV. Conclusions

VF in cement composites have been studied by a scientometric analysis, using the Scopus database and Bibliometrix, demonstrating a gradual increase in the number of publications during the last 10 years. The journal *Construction and Building Materials* exhibited the highest number of publications in the field, while the keyword co-occurrence highlighted “mechanical properties” as the main pursued concern by the researchers. Finally, further analysis and parameters should be considered to broaden the perspective of this scientific topic.

References

Ardanuy, M., Claramunt, J., & Toledo Filho, R. D. (2015). Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research. *Construction and Building Materials*, 79, 115–128. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.035>

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959–975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>

Chadegani, A. A., Salehi, H., Yunus, M. M., Farhadi, H., Fooladi, M., Farhadi, M., & Ebrahim, N. A. (2013). A Comparison between Two Main Academic Literature Collections: Web of Science and Scopus Databases. *Asian Social Science*, 9(5), p18. <https://doi.org/10.5539/ass.v9n5p18>

Ding, G. K. C. (2008). Sustainable construction—The role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management*, 86(3), 451–464. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.025>

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>

Mejora de las propiedades mecánicas de la tapia a través de criterios de idoneidad

Blanca-Hoyos, Álvaro I ⁽¹⁾; Puertas, Esther ⁽¹⁾; Gallego, Rafael ⁽¹⁾

(1)Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica, Universidad de Granada,
e-mail : abhoyos@ugr.es; epuertas@ugr.es; gallego@ugr.es .

Resumen

Actualmente existe un renovado interés en las construcciones de tierra como alternativa sostenible en la industria de la construcción, destacando la tapia entre todas las técnicas de construcción con tierra, no solo por sus beneficios ecológicos, si no también por sus valores sociales y culturales dado que es una técnica muy utilizada en la arquitectura patrimonial mundial. Sin embargo, estas estructuras presentan dificultades en alcanzar los requerimientos actuales tanto de resistencia como de durabilidad. Además, la falta de estándares constructivos y de control en la puesta en obra obstaculizan su desarrollo. Para revertir este problema, se han estudiado durante décadas criterios de idoneidad basados en envolventes granulométricas con el objetivo de optimizar el uso de suelos locales, determinando su idoneidad para su uso en tapia. Una revisión sistemática fue llevada a cabo para analizar este y otros criterios propuestos como predictores de la resistencia a compresión basados en los resultados de trabajos previos. Los resultados mostraron que la curva granulométrica de un suelo no es suficiente para determinar la idoneidad de un suelo para su uso en la construcción de estructuras de tapia.

Palabras clave: Unstabilized Rammed Earth; Suitability Criteria; Sustainability; Architectural Heritage

I. Introducción

La tierra es un material que ha sido usado por la humanidad para la construcción de sus edificaciones desde su origen. Esto se debe fundamentalmente por la facilidad de obtención de este material, habitualmente conformado por arcilla, grava, arena y limos, y por la escasez de recursos necesarios para su uso en construcción. Prueba de ello es que el 40% de las construcciones habitadas por la población mundial está construida con tierra (UN-HABITAT, 2009) y que, de todo el patrimonio arquitectónico catalogado como tal por la UNESCO, el 17% está conformado por este material mediante diferentes técnicas (GANDREAU et al, 2012). De entre todas las técnicas de construcción con tierra, la que destaca por encima de todas es la tapia, consistente en el apisonamiento manual mediante un pisón de la tierra en tongadas dispuestas en un encofrado de madera (ÁVILA et al, 2021). Pese al creciente interés de la tapia como alternativa sostenible en la industria de la construcción por su valor social, cultural y por su escaso consumo energético, la falta de estándares constructivos y la dificultad de llevar el control de ejecución de la puesta en obra de este material desincentivan su uso. El objetivo de este trabajo es determinar mediante la revisión de los resultados obtenidos en trabajos previos si se puede definir la idoneidad de un suelo para su uso en tapia a partir de su curva granulométrica u otros criterios de idoneidad propuestos en este trabajo.

II. Metodología

A continuación, se describen los criterios de idoneidad que evaluados como predictores de la resistencia a compresión de la tapia no estabilizada (URE por sus siglas en inglés). Para ello, se recogieron los resultados obtenidos en trabajos previos en los que se hubieran realizado campañas de probetas de tapia no estabilizadas.

II.1 Curvas Granulométricas.

Este criterio está presente tanto en la mayoría de las publicaciones sobre tapia no estabilizada y también en los escasos estándares existentes. Se establecen una curva granulométrica como límite inferior y otra como límite superior, determinándose así una envolvente fuera de la cual se consideraría que un suelo no es óptimo para su uso en la construcción de tapia. Las cuatro envolventes más usadas en las publicaciones (HOUBEN et al, 1994; MOPT, 1992; SAZS, 2001) fueron usadas para clasificar los suelos utilizados en trabajos previos, determinándose cinco categorías en función del número de envolventes que satisfacía cada suelo (desde 0 a 4 envolventes satisfechas).

II.2 Porcentaje de materiales.

La distribución porcentual tanto de grava, arena como de finos (suma de arcilla y limos) fue evaluada como predictor de la resistencia a compresión, utilizándose para ello un diagrama ternario con el que comparar los suelos de estudio y la resistencia que se obtuvo con ellos.

II.3 Relación áridos gruesos-finos.

Finalmente, se comparó la relación entre el porcentaje de áridos finos respecto al de áridos gruesos con la finalidad de determinar si la resistencia a compresión de la tapia se ve afectada debido a que uno de los dos tipos de áridos esté más presente en la mezcla.

III. Resultados

En la figura 1 se representa la resistencia a compresión de las muestras de tapia no estabilizada en función de los criterios de idoneidad especificadas en el apartado anterior.

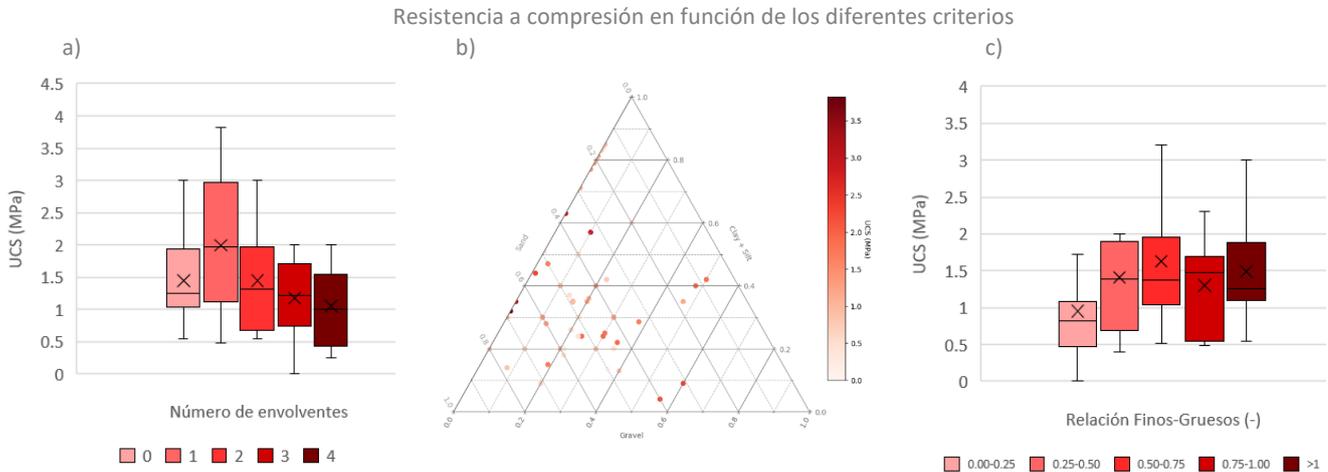


Figura 1. Resistencia a compresión en función de: a) el número de envolventes satisfechas, b) porcentaje de grava, arena y finos; c)

IV. Discusión y conclusión

En la figura 1 se aprecia que las envolventes granulométricas no fueron suficientes para predecir o estimar si un suelo es óptimo para su uso en tapia no estabilizada en lo que a resistencia a compresión se refiere, que por otra parte es el aspecto más evaluado en las publicaciones sobre tapia. Suelos que no cumplen ninguna de las principales envolventes granulométricas más comunes tienen resistencias a compresión parecidas a aquellas que cumplen con una o dos de dichas envolventes y resultados superiores a aquellos suelos que cumplirían con todas ellas. La distribución porcentual de grava, arena y finos tampoco presentaron una tendencia clara respecto al valor de UCS, aunque si se puede apreciar en el diagrama ternario que aquellos suelos con menor porcentaje de grava fueron los que obtuvieron mejor resultado a compresión. Por último, los suelos que presentaron un menor porcentaje de áridos finos respecto a áridos gruesos presentaron menores valores de resistencia a compresión, pero no fue posible establecer una tendencia para los valores más altos de áridos finos por la falta de suelos con esta composición en los trabajos previos. En conclusión, la curva granulométrica de un suelo no es criterio suficiente para definir la idoneidad de un suelo respecto a su resistencia a compresión, siendo necesario explorar otras alternativas. El porcentaje de grava, ya sea respecto al total o respecto a la cantidad de arcilla y finos del suelo afecta negativamente a la resistencia a compresión cuando la cantidad de grava es elevada, siendo necesario profundizar en que ocurre cuando la presencia de otros componentes como la arcilla y los finos de un suelo es mayoritaria para obtener tendencias más claras y poder discernir que criterios pueden determinar la idoneidad de un suelo para la construcción de estructuras de tapia.

Referencias

- ÁVILA, Fernando; PUERTAS, Esther; GALLEGO, Rafael (2021). Characterization of the mechanical and physical properties of unstabilized rammed earth: A review, *Construction and Building Materials*, vol.270,
- GANDREAU, David; DELBOY, Leticia (2012). *UNESCO World heritage inventory of earthen architecture*.
- HOUBEN, Hugo; GUILLARD, Hubert (1994). *Earth construction: A comprehensive guide*. London, Intermediate Tecnology publications.
- MOPT (1992). *Bases para el diseño y construcción con tapial*. Madrid. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica
- SAZS (2001). *Standard Code of Practice for Rammed Earth Structures*.
- UN-HABITAT. (2009). *Planning sustainable cities: global report on human settlements.s.l.*: Routledge.

Comportamiento del hormigón autocompactante a partir de una nueva adición ecohíbrida basada en la mezcla simultánea de áridos reciclados mezclados con cenizas de fondo de biomasa

Cabrera, Manuel ⁽¹⁾; Moreno, Santiago ⁽²⁾; Agrela Francisco ⁽²⁾; Rodríguez, Reinier ⁽²⁾; Diaz, José Luis ⁽²⁾

(1) *Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras, Universidad de Córdoba, Manuel.cabrera@uco.es*

(2) *Ingeniería de la Construcción, Universidad de Córdoba,*

Resumen

Este estudio presenta la viabilidad de la producción de hormigón autocompactante utilizando una nueva adición mineral activa compuesta por una mezcla pulverizada de cenizas de biomasa de olivo y áridos reciclados mezclados.

Los resultados se compararon con la adición mineral activa convencional, que incluía humo de sílice, cenizas volantes de carbón y escoria de alto horno, para validar su eficacia. Los resultados confirman la viabilidad de incorporar esta nueva adición sostenible, ya que mejora tanto las propiedades en fresco del hormigón, cruciales para el hormigón autocompactante, como la resistencia última alcanzada.

Palabras clave: hormigón autocompactante; áridos reciclados pulverizados; cenizas de fondo de biomasa; sostenibilidad. No superior a cinco palabras.

I. Introducción

Uno de los avances más significativos en la industria de la construcción ha sido el desarrollo del hormigón autocompactante (HAC), también llamado hormigón de altas prestaciones por algunos autores. Este tipo de hormigón se caracteriza por su excelente deformabilidad y resistencia a la segregación. Es un tipo de hormigón fluido que no necesita ser vibrado ni compactado durante el proceso de vertido (Okamura, 1997). Aunque fue desarrollado para eliminar la necesidad de vibración y compactación, el HAC es un tipo reciente de hormigón que ofrece una mayor resistencia a la compresión y una mejor durabilidad en comparación con el hormigón tradicional (Persson, 2001). Esto se debe principalmente a la inclusión de partículas finas, superplastificantes y modificadores de viscosidad en su mezcla (Mebrouki et al. 2009).

Cada vez más industrias dedicadas a la fabricación de hormigón buscan aplicar tecnologías más eficientes optimizando los recursos disponibles. En los últimos años, se han utilizado residuos industriales de diversos tipos, tras un exhaustivo estudio de sus propiedades, para producir hormigones más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente (Cabrera et al, 2021).

Numerosos estudios sobre residuos industriales se focalizan en el uso de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (González-Taboada et al. 2017; Pereira-de-Oliveira et al. 2014; Kou y Poon 2009).

Sin embargo, otros residuos industriales no han sido muy estudiados en la fabricación de HAC, como es el caso de las cenizas procedentes de la combustión de biomasa, principalmente las cenizas de fondo de biomasa (BBA)

En este contexto, esta investigación tiene como objetivo estudiar el comportamiento mecánico de hormigones reciclados autocompactantes que incorporan árido reciclado y BBA pulverizadas y mezcladas en sustitución de árido natural y cemento. Los resultados obtenidos pueden ser muy significativos, tanto desde el punto de vista de la ciencia, que actualmente no cuenta con mucha literatura, como para su uso práctico debido a la reducción de residuos, reducción del consumo de áridos naturales y beneficios medioambientales en su aplicación en este tipo de hormigón reciclado.

II. Materiales

Cemento: El cemento utilizado para la fabricación de HAC fue CEM I 42.5R de Cementos Portland Valderrivas.

Áridos naturales: Los áridos naturales fueron suministrados por Áridos Troyano S.L. Estos áridos son calizos, con una composición mínima de carbonato cálcico del 65%. Se utilizaron dos fracciones: arena con una granulometría de 0/4 mm y grava con una granulometría de 4/12 mm.

Filler calizo: Se trata de un carbonato cálcico molido fino (<40 µm) específicamente recomendado para la fabricación de HAC.

Humo de sílice (SF), Cenizas volantes de carbón (CFA) y Escoria de alto horno (GGBFS).

Adición ecohíbrida: cenizas de fondo de biomasa pulverizadas y árido reciclado mixto La adición ecohíbrida (EcHy) fue desarrollada por Rosales et al. 2022, a partir de una mezcla de 76% de áridos reciclados mixtos (ARM) y 24% de cenizas de fondo de biomasa de olivo (BBA), ambos pulverizados.

III. Métodos experimentales y resultados

III.1 Dosificación del hormigón autocompactante.

Tabla 1. Dosificaciones empleadas

Nomenclatura	Descripción	CEM	Filler	Arena	Árido	SF	CFA	GGBFS	EcHy	Aditivo	Agua	a/p (en masa)	a/p (en volumen)
M1	Control	450	50	1120	580	0	0	0	0	5	216	0.43	1.32
M2	10% SF	405	50	1110	570	45	0	0	0	5	216	0.43	1.27
M3	15% CFA	382.5	50	1130	585	0	67.5	0	0	5	216	0.43	1.26
M4	15% GGBFS	382.5	50	1130	585	0	0	67.5	0	5	216	0.43	1.28
M5	15% EcHy	382.5	50	1125	570	0	0	0	67.5	5	241.5	0.48	1.40

III.2 Propiedades del HAC fresco

Tabla 2. Ensayos de consistencia del HAC

Requisitos de conformidad	Mezclas	Consistencia		Caja en L
		t ₅₀₀ (s)	D (mm)	H ₂ /H ₁
		2s - 8s	550-850 mm	0.75 - 1.00
M1	Control	3	775	0,85
M2	10% SF	2	810	0,85
M3	15% CFA	2	638	0,76
M4	15% GGBFS	3	720	0,9
M5	15% EcHy	3	730	0,76

III.3 Propiedades del HAC endurecido

Tabla 3. Resultado de resistencia a compresión y tracción

Mezclas	Resistencia a compresión (MPa)			Tracción Indirecta (MPa)			
	7d	28d	91d	7d	28d	91d	
M1	Control	46,90	59,53	60,63	3,36	3,97	5,3
M2	10% SF	42,40	52,04	62,41	3,08	3,54	3,89
M3	15% CFA	35,27	43,09	43,83	3,21	3,96	4,66
M4	15% GGBFS	44,36	58,80	66,92	3,83	4,31	4,97
M5	15% EcHy	38,42	42,34	47,17	2,53	2,74	2,90

IV. Conclusiones

Basándonos en los resultados obtenidos, presentamos las siguientes conclusiones específicas:

- El uso de la adición ecohíbrida implica un ligero aumento de la relación agua-cemento, si no se modifica el contenido de aditivo, para mantener las características de un HAC.
- La adición de eco-híbrido permite alcanzar a 28 días resistencias similares a las de la mezcla desarrollada con cenizas volantes, material ampliamente utilizado en la fabricación de hormigón.
- Los valores de resistencia, tanto a compresión como a tracción indirecta, aumentan de forma constante de 7 a 91 días, mostrando el carácter puzolánico de la adición eco-híbrida.

Por lo tanto, la adición ecohíbrida se presenta como un material alternativo para la fabricación de hormigones autocompactantes, permitiendo unas características similares a las obtenidas con adiciones ampliamente utilizadas.

Referencias

- Cabrera, M., Martínez-Echevarría, M. J., López-Alonso, M., Agrela, F., & Rosales, J. (2021). Self-compacting recycled concrete using biomass bottom ash. *Materials*, 14(20), 6084.
- González-Taboada, I.; González-Fontebao, B.; Martínez-Abella, F.; Seara-Paz, S. Análisis del comportamiento reológico de hormigones autocompactantes elaborados con áridos reciclados. *Construcción Construir. Madre*. 2017, 157, 18-25.
- Kou, Carolina del Sur; Poon, CS Propiedades del hormigón autocompactante preparado con áridos de hormigón reciclados gruesos y finos. *Cem. Concr. Compos.* 2009, 31, 622-627.
- Okamura, H. Self-compacting high-performance concrete. *Concr. Int.* 1997, 19, 50-54.
- Mebrouki, A.; Belas, N.; Bendani, K.; Bouhamou, N. Una formulación de pasta de cemento autocompactante mediante diseño de mezcla. *J. Aplica. Ciencia*. 2009, 9, 4127-4136.
- Pereira-de-Oliveira, LA; Nepomuceno, MCS; Castro-Gomes, JP; Vila, MDFC Propiedades de permeabilidad del hormigón autocompactante con áridos gruesos reciclados. *Construcción Construir. Madre*. 2014, 51, 113-120.
- Persson, B. Una comparación entre las propiedades mecánicas del hormigón autocompactante y las propiedades correspondientes del hormigón normal. *Cem. Concr. Res.* 2001, 31, 193-198.
- Rosales, M.; Rosales, J.; Agrela, F.; de Rojas, M.S.; Cabrera, M. Design of a new eco-hybrid cement for concrete pavement, made with processed mixed recycled aggregates and olive biomass bottom ash as supplementary cement materials. *Construction and Building Materials* 2022, 358, 129417.

ACV para la comparativa ambiental de distintas variantes de cemento ecológico.

Cappa Vargas, Pablo Miguel (1); Ruiz Hernández, Luz Marina (2)

(1) Universidad de Granada, pcappav@correo.ugr.es

(2) Departamento de Ingeniería civil, Universidad de Granada, luzmrui@ugr.es

Resumen

Los materiales de construcción de última generación, que son considerados como ecológicos o sostenibles, ayudan a reducir el impacto ambiental de este sector. Debido a que el cemento procede de un sector industrial responsable de la emisión de grandes contaminantes durante su fase de fabricación, se procede a realizar un estudio de sus impactos. Para analizarlo se recurre al Análisis del Ciclo de Vida (ACV), una herramienta muy versátil que se emplea en la valoración y evaluación de un producto o servicio, gracias a la cuantificación de los impactos ambientales. Además, la aplicación del Análisis del Ciclo de Vida a cualquier producto facilita la toma de decisiones ambientales a las empresas fabricantes. Con el Software GaBi se estudian dos gamas de cemento y se intentan reducir los impactos. Con este software se determinó al cemento de tipo puzolánico como el cemento más sostenible de los cuatro cementos que se estudian a continuación.

Palabras clave: análisis del ciclo de vida, declaración ambiental del producto, cemento ecológico y software GaBi.

I. Introducción

El Análisis del Ciclo de Vida (ACV) es una herramienta con la capacidad de valorar y evaluar los impactos sobre el medio ambiente, que tienen lugar durante todo el ciclo de vida de un producto o proceso. Trata de cualificar, cuantificar y valorar todos los flujos de entradas (como la materia y la energía empleadas) y las salidas (como los productos, subproductos, emisiones de gases y contaminantes del agua o suelo) para después evaluar los impactos potenciales sobre el medio ambiente (CARDIM DE CARVALHO, 2001). En la actualidad, su aplicación se rige principalmente por las normativas UNE-EN ISO 14040:2006 y UNE-EN ISO 14044:2006 (IHOBE, 2009).

II. Objetivos y alcance

El objetivo general es descubrir mediante un ACV los impactos ambientales que pueden darse durante la fabricación del cemento. Para realizarlo se recurre al Software GaBi y se comparan dos gamas de cemento, una considerada más ecológica o sostenible que la otra. El alcance de este estudio será realizar un ACV “de la cuna a la puerta”, centrándose exclusivamente en el proceso de fabricación.

III. Materiales y métodos

Se han estudiado dos cementos, CEM A y CEM B (puzolánico y considerado como más sostenible respecto al CEM A), y también se han hecho dos propuestas para reducir los impactos ambientales. Estas propuestas elevan el contenido en puzolana (CEM C) o se aplica exclusivamente energía renovable (CEM D), siempre bajo la normativa de especificaciones del cemento UNE-EN 197-1 (SANJUÁN; ARGIZ, 2012). Se establece la unidad funcional de una tonelada de cemento para compararlo con otros estudios. El contenido de los cuatro cementos mencionados aparece en la Tabla 1. Este ACV se centra en los aspectos más relevantes del proceso de fabricación, tales como el consumo de materias primas, energía y los residuos eliminados. Las cantidades de energía y residuos fueron obtenidas de las Declaraciones Ambientales de Producto (DAPs) (AENOR, 2023), donde los datos proceden de una media entre veinticinco cementeras españolas. A partir de los datos del CEM B se han establecido las cantidades de energía de los cementos propuestos reflejadas en la Tabla 2.

Tabla 1. Especificaciones de los cementos analizados.

	Especificaciones/contenido de los cementos				Cantidad fabricada (Kg)
	% clinker a partir de caliza	% caliza triturada	% puzolana	% yeso	
CEM A	70	25	-	5	1000
CEM B	55	-	40	5	1000
CEM C	45	-	50	5	1000
CEM D	45	-	50	5	1000

III.1 Software GaBi

Ambos procesos de fabricación del cemento se introducen en el Software GaBi, con el que se obtienen los resultados de los impactos ambientales asociados a dichos procesos de fabricación. Este software permite hacer el ACV en prácticamente todos los sectores industriales, ya que integra la metodología de la ISO 14040 e ISO 14044 del ACV (SPHERA, 2021). Los impactos que se analizan a continuación se rigen por la normativa UNE-EN 15804:2012 + A2:2020 sobre los impactos ambientales de un producto de la construcción.

Tabla 2: Fuentes de energía utilizadas en la elaboración de los cementos.

Fuentes de energía utilizadas							
	Fotovoltaica (MJ)	Eólica (MJ)	Hidráulica (MJ)	Energía no renovable (MJ)	Térmica de carbón (MJ)	Térmica de biomasa (MJ)	Térmica de gas natural (MJ)
CEM A	558,17	-	-	7100,00	328,85	237,15	-
CEM B	443,43	-	-	5393,00	223,10	160,90	-
CEM C	362,81	-	-	4264,80	-	131,64	182,54
CEM D	1542,53	1542,53	1542,53	-	-	131,64	182,54

IV. Resultados del ACV de CEM A y CEM B

Sobre el impacto *GWP-total*, que indica la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), de ambos cementos se determinaron 709 kg de CO₂ eq./ton del CEM A y 535 kg de CO₂eq./ton del CEM B. Y en cuanto a los demás resultados, se ha demostrado que efectivamente se puede considerar al CEM B como sostenible con respecto al CEM A al reducir aproximadamente sus impactos un 25%. Esta reducción es debida a la sustitución de parte de la caliza empleada en el proceso de fabricación por puzolana.

V. Resultados del ACV de CEM C y CEM D (cementos propuestos)

Del impacto *GWP-total* del CEM C, que aumentaba el contenido de puzolana, resultaron 430 kg de CO₂ eq./ton. El CEM D, fabricado a partir del CEM C y exclusivamente con energía renovable, consigue reducir el impacto *GWP-total* a 40,9 kg de CO₂ eq./ton. Ambas propuestas reducen claramente sus impactos ambientales, pero el CEM D aumenta drásticamente el impacto *ADP-minerals and metals* (potencial de agotamiento de los recursos abióticos para los recursos no fósiles) que se debe al elevado uso de minerales y metales requeridos para la obtención de la excesiva cantidad de energía fotovoltaica y eólica. La Figura 1 resume los impactos ambientales de todos los cementos estudiados y los compara entre ellos mismos.

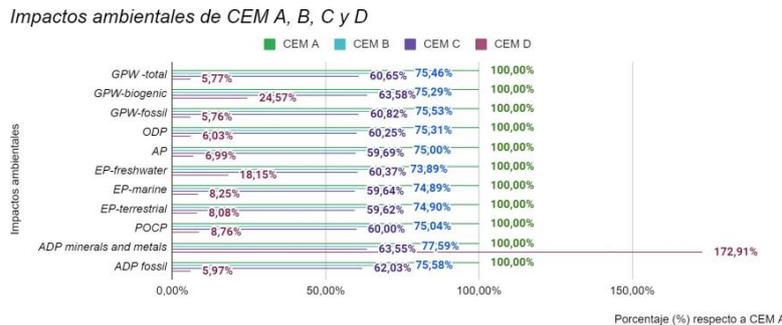


Figura 3. Comparación de los impactos ambientales entre los cementos analizados.

VI. Conclusiones

En este estudio queda demostrada la capacidad que tiene el ACV junto con el Software GaBi para conseguir datos de impactos ambientales asociados a un producto durante su fabricación. Se obtuvieron resultados cercanos a otros estudios y DAPs sobre el impacto *GWP-total*, observándose una reducción significativa de las emisiones de GEI al sustituir parte de la caliza por puzolana. El cemento con menor impacto sería el CEM C al reducir considerablemente sus impactos ambientales al compararlo con el CEM A. No sería tan sostenible el CEM D al elevar drásticamente el impacto *ADP-minerals and metals* también respecto al CEM A.

Referencias

AENOR (2023). Declaración Ambiental del Producto. *Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA)*.

CARDIM DE CARVALHO, A. (2001). *Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento-Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento*. Universitat Politècnica de Catalunya.

IHOBE (2009). Análisis de ciclo de vida y huella de carbono. Dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto. *IHOBE S.A. Sociedad Pública de Gestión Ambiental*.

SANJUÁN, M.; ARGIZ, C. (2012). Nota técnica: La nueva norma europea de especificaciones de cementos comunes UNE-EN 197-1:2011. *Materiales de Construcción*. Vol. 62, 307, 425-430.

Estudio de la durabilidad en hormigones estructurales con incorporación de residuos de construcción y demolición (primera fase)

Castillo Barrios, Omar de Jesús ⁽¹⁾, López Alonso, Mónica ⁽¹⁾

(1) Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería., Universidad de Granada, 18010, Granada, España.
omarcastillo@correo.ugr.es, mlopeza@ugr.es.

Resumen.

La investigación se centró en evaluar la durabilidad de hormigones estructurales con incorporación de RCD, específicamente en aquellos contextos donde se supera el 20% de sustitución en peso del árido grueso, esta inquietud surgió debido a que Código Estructural requiere estudios específicos para tales casos; el material de reemplazo proviene de la demolición de elementos de hormigón. Los objetivos incluyeron la evaluación física de los áridos empleados y estudio de resistencias mecánicas de hormigones con sustitución superior al 20%. La metodología implementada abarcó la revisión del estado del arte, determinación de los ensayos a realizar, diseño de mezclas, caracterización de áridos, preparación de probetas y ejecución de los ensayos propuestos. Los resultados obtenidos demuestran la viabilidad del uso de RCD en porcentajes superiores al reglamentario, proporcionando así datos que puedan influir en la revisión y mejora de la normativa actual. Además, este estudio contribuye al avance de la construcción sostenible, incentivando la aceptación de estas prácticas y el desarrollo de nuevas tecnologías y materiales en la industria de la construcción.

Palabras clave: Residuos de construcción y demolición (RCD), áridos reciclados, ensayos mecánicos, durabilidad.

I. OBJETIVOS

Evaluar las propiedades mecánicas en hormigones estructurales con incorporación de residuos de construcción y demolición (RCD) provenientes de estructuras de hormigón.

II. METODOLOGÍA

Para la logar los objetivos planteados, se diseñó una metodología de trabajo basada en diferentes fases, la cual se encuentra detallada en la Fig. 1.

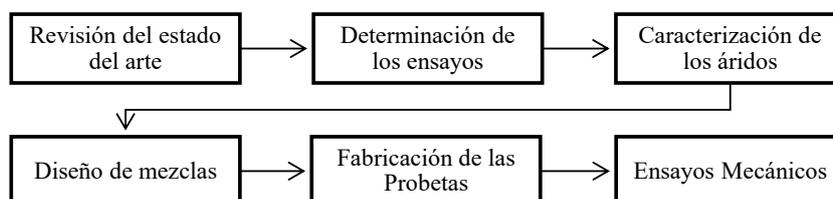


Figura 1. Metodología empleada en la investigación.

III. MÉTODOS

III.1. Ensayos realizados a los áridos.

Granulometría de las partículas. Método del tamizado (UNE-EN 933-1-2012); Determinación de la densidad de partículas y la absorción de agua (UNE-EN 1097-6-2014); Determinación de la resistencia a la fragmentación (UNE-EN 1097-2-2021).

III.2. Ensayos realizados a los hormigones estudiados (Estado fresco y endurecido).

Asentamiento (UNE-EN 12350-2-2020); Densidad en estado fresco (UNE-EN 12350-6-2020); Resistencia a compresión de probetas (UNE-EN 12390-3:2020); Resistencia a flexión de probetas (UNE-EN 12390-5:2020).

IV. RESUMEN DE LA DOSIFICACIÓN EMPLEADA

Tabla 1. Dosificación en kg/m³ hormigones estudiados

Componentes	HC	Sustitución de árido grueso en peso			
		20% AGRH	40% AGRH	60% AGRH	80% AGRH
Agua (A)	245.00	245.00	245.00	245.00	245.00
Cemento (C)	490.00	490.00	490.00	490.00	490.00
Arena (AFN)	890.31	890.31	890.31	890.31	890.31
Grava (AGN)	884.68	707.75	530.81	353.87	176.94
Árido reciclado (AGRH)	-	150.30	300.59	450.89	601.19
Retardante (SR)	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45
Total (kg/m ³):	2,512.45	2,485.81	2,459.17	2,432.53	2,405.89
Agua de Absorción (kg):	-	8.16	16.32	24.49	32.65

La designación empleada corresponde a un HA - 35 / F / 16 / XC4 + XD3 para la mezcla control HC, mientras que para aquellos que presentan sustitución parcial de árido grueso la designación es HRA - 35 / F / 16 / XC4 + XD3. En la fase de diseño mezclas se contempló el cálculo del agua de absorción, mientras que en el proceso de elaboración del hormigón con sustitución de áridos también se consideró un mezclado preliminar a fin de propiciar el ingreso del agua en los poros del material reciclado (Tejas & Pasla, 2023).

V. RESULTADOS Y CONCLUSIONES PRELIMINARES

V.1. Propiedades de los áridos empleados. Granulometría, densidad, absorción y desgaste de los Ángeles

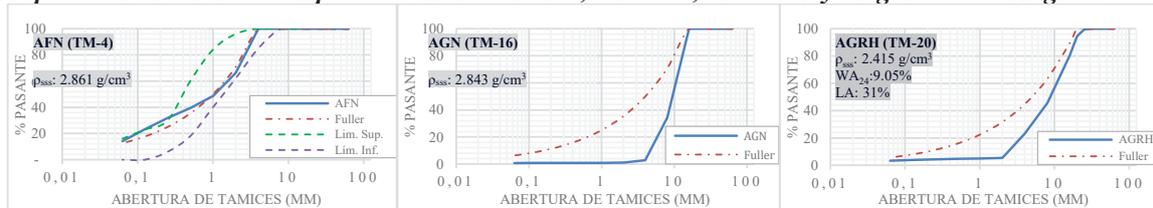


Figura 2. Resultados ensayos físicos AFN.

Figura 3. Resultados ensayos físicos AGN.

Figura 4. Resultados ensayos físicos AGRH.

V.2. Ensayos en estado fresco y de resistencias mecánicas

Los asentamientos obtenidos oscilaron entre 160 y 210 mm (rango fluido) dentro de lo esperado. La densidad en estado fresco fue de 2512.33 kg/m³ (HC) a 2299.33 kg/m³ (80% AGRH), variación producto de la diferencia de densidades de los áridos. Los resultados mostrados corresponden sólo al análisis de resistencias mecánicas a las edades ensayadas y con los porcentajes de sustitución seleccionados (En una próxima edición se espera mostrar los resultados completos de esta investigación). Como era de esperarse, a medida que aumenta el porcentaje de sustitución de la fracción gruesa los valores obtenidos bajan (Ortolan et al., 2023), obteniendo que la mezcla control tiene un mejor comportamiento antes cargas (Zaid et al., 2023); sin embargo, tal disminución se encuentra por encima de la resistencia de diseño (35 MPa), lo cual es un buen indicador de las sustituciones realizadas.

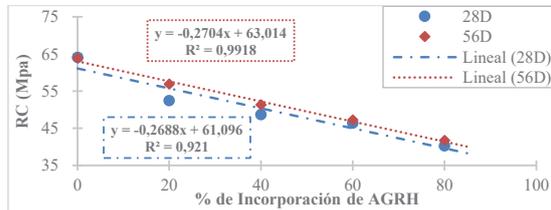


Figura 5. Resistencia a la compresión.

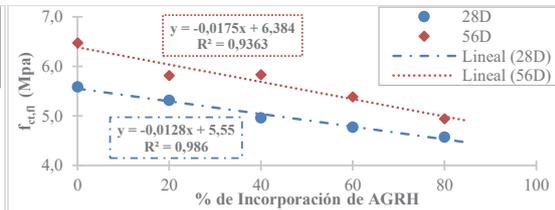


Figura 6. resistencia a la flexión.

Todas las rupturas resultaron ser satisfactorias: para el caso del ensayo de resistencia a la compresión (Rc) las cuatro caras expuestas se rompieron aproximadamente igual, con poco daño en las caras que están en contacto con los platos (forma de reloj de arena), mientras que para el caso del ensayo de resistencia a la flexión (f_{ct,fl}), la falla se dio aproximadamente a la mitad de cada probeta, mostrando ruptura de los áridos en los casos HC, 20% AGRH y 40% AGRH (no presentó fallo aparente en la interfase árido – pasta), mientras que para porcentajes superiores (60% AGRH y 80% EGRH), ya empezaba a observarse desprendimiento del árido (puntos donde se identificó fallo en la interfase árido – pasta).

Tomando en cuenta solo las propiedades mecánicas ensayadas, en principio puede concluirse que sí resulta viable emplear al menos una sustitución de 40% en peso de la fracción gruesa por árido reciclado de hormigón, sin que este afecte las resistencias planteadas en el diseño inicial. Se espera confirmar y argumentar mejor esta hipótesis apenas se tengan los resultados de los ensayos de durabilidad con su correspondiente análisis.

Referencias

- Ortolan, T. L. P., Borges, P. M., Silvestro, L., da Silva, S. R., Possan, E., & Andrade, J. J. de O. (2023). Durability of concrete incorporating recycled coarse aggregates: carbonation and service life prediction under chloride-induced corrosion. *Construction and Building Materials*, 404, 133267. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.133267>
 - Tejas, S., & Pasla, D. (2023). Assessment of mechanical and durability properties of composite cement-based recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 387, 131620. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.131620>
 - Zaid, O., Althoey, F., García, R. M., de Prado-Gil, J., Alsulamy, S., & Abuhussain, M. A. (2023). A study on the strength and durability characteristics of fiber-reinforced recycled aggregate concrete modified with supplementary cementitious material. *Heliyon*, 9(9), e19978. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2023.E19978>

Evaluación de los impactos ambientales y la valorización de residuos en la industria metalúrgica: fundición gris

Castro Rincón, María Gabriela ⁽¹⁾; Rosales García, Julia ⁽¹⁾ Agrela Sainz, Francisco ⁽¹⁾

(1) Departamento de Ingeniería Rural, Universidad de Córdoba, 14071, Córdoba, España
z32carim@uco.es (MG. Castro), jrosales@uco.es (J. Rosales), irlagsaf@uco.es (F. Agrela),

Resumen

La fundición gris, un proceso clave en la industria metalúrgica, genera un impacto ambiental considerable. Este trabajo evalúa los impactos en un caso de estudio real y propone estrategias para reducir emisiones y valorizar residuos. Se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica comprendiendo el proceso actual de producción, identificando impactos y desafíos. Se continuó con una evaluación de técnicas recopilando datos de la empresa para realizar su análisis de ciclo de vida identificando los impactos ambientales. Se sigue con las estrategias sostenibles centrándose en reducir las emisiones de gases y el impacto en el calentamiento global y por último la valorización de residuos llegando a una economía circular con los residuos que genera el proceso evaluado, todo esto llegando a una línea de sostenibilidad en la industria de fundición gris. Los resultados demuestran mediante el análisis de ciclo de vida la posibilidad de generar un impacto significativo en la industria metalúrgica reduciendo las emisiones de CO₂ y avanzando hacia una fundición gris más sostenible, que contribuye a la protección del medio ambiente, la promoción de una economía circular y la mejora de la calidad de vida.

Palabras claves: Impacto ambiental, valorización de residuos, análisis de ciclo de vida, fundición gris, huella de carbono, sostenibilidad.

I. Introducción

La industria metalúrgica, un proceso fundamental para el progreso humano, ha impulsado desde la creación de herramientas hasta el desarrollo de infraestructuras modernas, convirtiéndose en un sector clave para el crecimiento económico. En este ámbito, la fundición gris, una aleación de hierro y carbono con propiedades como la resistencia a la compresión, tracción y desgaste, juega un papel crucial. Sin embargo, este proceso no está exento de desafíos. La emisión de gases, según la Agencia Internacional de Energía (2023), representa el 7% de las emisiones globales de CO₂, mientras que la generación de residuos, según el Programa de las Naciones Unidas (2021), alcanza los 2.300 millones de toneladas a nivel mundial. Estas problemáticas ponen de manifiesto el impacto ambiental de la industria metalúrgica, un desafío que el siglo XXI enfrenta con urgencia, ya que afecta directamente la polución del aire, el agua y el suelo.

II. Materiales y metodología

II.1 Evaluación de Impactos.

Fundiciones Blanco S.A., una empresa metalúrgica colombiana, consciente de su impacto ambiental, se unió a este estudio para evaluarlo y proponer estrategias de mitigación. Su proceso de producción, compuesto por diez pasos, se resume en tres operaciones fundamentales: el horno cubilote, donde se funde el hierro a 1500°C, los moldes de arena que dan forma al metal líquido solidificándolo, y el acabado que perfecciona la pieza final. Para evaluar el impacto ambiental, se utilizó el software SimaPro y el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), analizando el ciclo completo del proceso de fundición gris, desde la elaboración de las piezas hasta su fin de vida útil. El inventario reveló que la materia prima (chatarra, carbón coque, piedra caliza, caolín, varillas, ladrillos refractarios, arena arcillosa, listones de madera y leña) se transporta a la fábrica y, con agua y electricidad, se funden 5 toneladas de hierro fundido cada ocho días por mes. Los resultados del ACV expusieron que el transporte de la materia prima a la fábrica es el proceso con mayor impacto en las emisiones de gases (49,2% del total), mientras que el factor con mayor impacto general es el calentamiento global (0,371 Kg CO₂ eq), con gases emitidos directamente a la atmósfera durante la producción. En cuanto a los residuos sólidos, se generan 10 toneladas mensuales que se envían al vertedero, contaminando el agua y el suelo con sus vertidos y la acumulación de metales pesados y residuos.

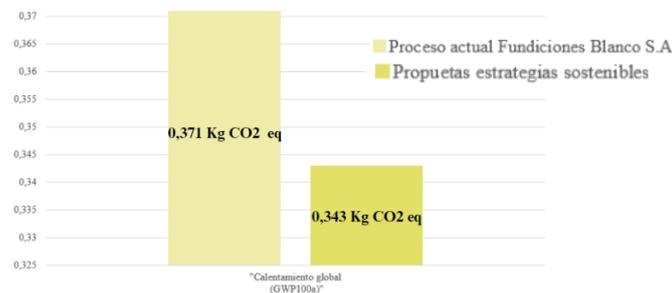
II.2 Propuesta: Estrategias sostenibles.

En respuesta a los impactos ambientales identificados mediante el ACV en Fundiciones Blanco S.A. se han implementado estrategias para mitigar las emisiones de gases y la generación de residuos sólidos, avanzando hacia un modelo de economía circular. Para reducir las emisiones de gases, se acortará la distancia de transporte de la materia prima, disminuyendo así el consumo de combustible y las emisiones asociadas. Además, se sustituirá el 50% del carbón coque (combustión) por residuos sólidos urbanos (RSU) y el 50% de la piedra caliza (impurezas) por residuos de mármol, aprovechando estos residuos como materiales dándole un segundo uso y evitando su disposición en vertederos. En cuanto a la gestión de residuos sólidos, se implementará un enfoque de reducción en la fuente, minimizando la generación de residuos desde el inicio del proceso. Los residuos generados serán reutilizados en la medida de lo posible, como la arena de molde, y aquellos que no puedan ser reutilizados se reciclarán para convertirlos en nuevos productos o materia prima. Finalmente, los residuos que no puedan ser ni reutilizados ni reciclados se valorizarán energéticamente

para la generación de energía como las escorias en hornos industriales o en la producción de cemento, estrategias que se basan en el documento "Análisis del Ciclo de Vida de una Fundición de Hierro" realizado por (Caicedo, 2021).

III. Resultados

Se pusieron a pruebas las estrategias logrando resultados positivos en la reducción de emisiones de gases, según lo demuestra el ACV realizado nuevamente en el software SimaPro, se logró disminuir un 7,5 % las emisiones, pasando de 0,371 Kg CO₂ eq a 0,343 Kg CO₂ eq en el impacto del calentamiento global (Fig 1). Con el tratamiento de los residuos sólidos se generaron beneficios económicos, sociales y ambientales. La empresa ha logrado una economía circular, optimizando procesos, reduciendo costos y creando nuevos empleos. Además, se ha impulsado la innovación en el proceso de fundición gris y se ha fortalecido la imagen corporativa al posicionar a la empresa como un referente en materia de sostenibilidad.



IV. Conclusiones

La industria de la fundición gris, si bien ha sido fundamental para el progreso humano, enfrenta un desafío crucial: la sostenibilidad. Reducir las emisiones de gases y valorizar los residuos son claves para un futuro más verde. En este trabajo, se ha demostrado que la implementación de prácticas sostenibles en la industria de la fundición gris es posible y puede generar beneficios económicos, sociales y ambientales. Fundiciones Blanco S.A. se posiciona como un ejemplo a seguir, demostrando que la industria puede ser un agente de cambio positivo en la lucha contra el cambio climático y la protección del medio ambiente. Se espera que esta investigación inspire a otras organizaciones a adoptar prácticas sostenibles y contribuir al desarrollo sostenible de la industria de la fundición gris.

V. Referencias

Agencia Internacional de Energía (AIE). (2023). Perspectivas de las emisiones de CO₂ 2023. *Informe*. Agencia Internacional de la Energía.
 CAICEDO, D; SANDOVAL, J; STRINGFELLOW, A; COLMENARES, R (2021). An evaluation of final disposal alternatives for municipal solid waste through life cycle assessment: A case of study in Colombia
 Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2021). Perspectiva mundial sobre los residuos de metales y plásticos. *Informe*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Ensayos no destructivos en la construcción sostenible

Castro, Ricardo ⁽¹⁾; Puertas, Esther ⁽¹⁾; Gallego, Rafael ⁽¹⁾

(1) Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería hidráulica, Universidad de Granada, e-mail: racastros@ugr.es epuertas@ugr.es ; gallego@ugr.es.

Resumen Los ensayos no destructivos (END) desempeñan un papel crucial en la evaluación de materiales de construcción sostenibles. Estos métodos permiten evaluar propiedades y detectar defectos sin dañar los materiales, lo que es esencial para garantizar la calidad y la durabilidad en proyectos de construcción. En este artículo, se hace brevemente una revisión del auge en sus publicaciones en un periodo de 20 años hasta la actualidad y se describen algunos de los métodos END más utilizados, señalando sus fundamentos, aplicaciones, ventajas y limitaciones.

Palabras clave: non-destructive testing; END; Buildings Materials; Ultrasonic Pulse Velocity; Sustainability

I. Introducción.

Los ensayos no destructivos son técnicas utilizadas en la construcción para evaluar la integridad y calidad de los materiales de una estructura sin dañarlos. Tienen un efecto fundamental en la calidad de obras nuevas, así como en la evaluación de la integridad de estructuras existentes. Según (Świt et al., 2023) evaluar con precisión el estado de una estructura incluye la localización, el inventario y la medición de grietas y defectos estructurales. Utilizar técnicas no destructivas, reduce costos de reparación al identificar problemas sin dañar la estructura original, evitando reparaciones posteriores, demoliciones innecesarias y conservando los materiales existentes, lo cual reduce el saldo económico y ambiental al minimizar la explotación y procesamiento de materiales y por tanto el consumo energético. Además, estas técnicas son más rápidas y eficientes que las técnicas tradicionales destructivas, acelerando el proceso constructivo y reduciendo los importes asociados a la verificación de la calidad de la obra nueva. Las técnicas no destructivas han tenido un notable auge en la industria de la construcción, esto se evidencia en la normalización de diferentes ensayos y en su investigación. La figura 1.a, muestra la evolución del número de publicaciones sobre ensayos no destructivos en las bases de datos Web of Science y Scopus. La figura 1.b, muestra los ensayos más frecuentes. la figura 2 muestra los criterios de búsqueda utilizados en ambas bases de datos.

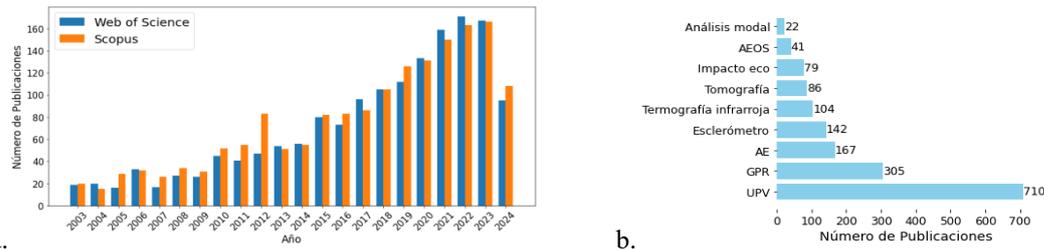


Figura 1. a) Evolución en los últimos 20 años de las publicaciones sobre END en materiales de construcción. Fuente: Bases de datos Scopus y Web of Science. b) Publicaciones por END en los últimos 20 años. Fuente: Scopus.

Consulta.	WOS	Scopus
"non-destructive testing" or "NDT" AND "concrete" or "hormigón" or "building materials" and 2024:2023 (Publication Years) and Article or Review Article (Document Types) and English (Languages) and Engineering or Materials Science or Construction Building Technology (Research Areas)	1592	1683

Figura 2. Criterios de búsqueda usados en las bases de datos Scopus y Web of Science (wos).

II. Métodos de ensayo no destructivo

Se caracterizan por ser ensayos no invasivos y no destructivos que permiten determinar módulos dinámicos del material o información sobre su deterioro, homogeneidad o desarrollo de propiedades mecánicas a partir de correlaciones previas.

II.1 Método de la velocidad de pulso ultrasónico (UPV).

Mide la velocidad de propagación de ondas acústicas entre un palpador emisor y un receptor a través de un material. La velocidad se calcula conociendo la distancia entre palpadores y el tiempo de vuelo de la señal. La técnica sirve para evaluar la homogeneidad del material, detectar grietas y vacíos, y estimar la resistencia a compresión (MALHOTRA & CARINO, 2004). Es rápida y fácil de aplicar, sin embargo, su precisión se puede afectar por humedad, variabilidad en el material, presencia de agregados o porosidades y la atenuación de la señal a mayores distancias, además requiere acceso a dos superficies del material, lo que no siempre es posible. La calidad del acoplamiento de palpadores con la superficie es crucial, por lo que se usan geles, grasas o plastilinas para mejorar el contacto, que pueden alterar el tiempo de vuelo si no se considera su efecto. Para estimar propiedades mecánicas debe correlacionarse con ensayos mecánicos. Esta estandarizado por la norma UNE-EN 12504-4, que establece métodos de medición directos para palpadores

enfrentados, semidirectos cuando no están enfrentados e indirectos para palpadores acoplados en la misma superficie (Asociación Española de Normalización, 2022, p. 10).

II.2 Método del georradar (GPR).

Usa ondas electromagnéticas de alta frecuencia (100 MHz a 2600 MHz) para inspeccionar el interior de materiales. Funciona por el reflejo de las ondas emitidas en interfaces de materiales con diferentes propiedades dieléctricas (AMER-YAHIA y MAJIDZADEH, 2012). Permite identificar heterogeneidades internas como agregados, vacíos y aceros. Se destaca la rapidez de resultados y la amplia cobertura superficial. Tiene limitada profundidad de penetración en materiales densos o con alta conductividad eléctrica, baja resolución para detalles finos y requiere buen acoplamiento con la superficie y alta capacidad técnica tanto en personal como en software de procesamiento de datos. Su uso está normalizado por la norma UNE-EN 302066 V2.2.

II.3 Método de emisión acústica (AE).

Detecta y monitorea ondas acústicas, elásticas y transitorias, con sensores piezoeléctricos. Las ondas se generan al liberarse energía dentro del material en defectos activos, microfisuras y fisuras, tras la excitación estática o dinámica (ZAKI et al, 2015). Se utiliza en la detección de la formación y propagación de grietas y fisuras, el desprendimiento de agregados y la corrosión de refuerzos, permitiendo la evaluación global de la integridad de estructuras. Sus ventajas son la detección en tiempo real y la sensibilidad ya que puede detectar defectos antes de su desarrollo visible. El ruido puede interferir con la detección de la señal original y la superposición de señales de diferentes fuentes exige personal experimentado para su interpretación. Es una técnica costosa por la especialización de equipos y personal, además del número de sensores necesarios para garantizar buena cobertura. La norma ASTM E976 da directrices para la detección de fuentes de emisión acústica a través de sensores piezoeléctricos.

II.4 Método del martillo de rebote (esclerómetro).

Estima la resistencia a compresión del hormigón a partir de su dureza superficial. El rebote del martillo es proporcional a la dureza del material. Con una escala graduada que mide esta distancia, se establece el índice de rebote, el cual se correlaciona con la resistencia a compresión. Es un método sencillo y rápido de resultados inmediatos con un equipo portátil ligero, sin embargo, no arroja información sobre el estado interno, es sensible a las texturas, la humedad y la suciedad superficial, que pueden alterar las medidas, además requiere calibración previa con material y condiciones ambientales de referencia. Su aplicación está normalizado por la norma UNE-EN 12504-2:2022.

III. Conclusiones

Los END son esenciales en la construcción sostenible. Pueden ser complementarios entre ellos y sirven en la toma de decisiones informadas, reduciendo costos y garantizando la seguridad estructural. Se espera que los END sigan desempeñando un papel fundamental en la creación de un entorno construido más sostenible, reduciendo el gasto energético al prolongar la vida útil de las construcciones, evitando la mayor explotación de materiales e integrándose con nuevas estrategias de evaluación global y monitorización estructural.

Referencias

- AMER-YAHIA, C., & MAJIDZADEH, T. (2012). Inspection of insulated concrete form walls with ground penetrating radar. *Construction and Building Materials*, 26(1), 448-458.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (2019). *Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens* (ASTM C215-14). ASTM.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. (2022). *Ensayos de hormigón en estructuras. Parte 4: Determinación de la velocidad de los impulsos ultrasónicos* (UNE-EN 12504-4). AENOR.
- MALHOTRA, V. M., CARINO, N. J. (2004). *Nondestructive testing of concrete (2ª ed.)* London: CRC PRESS.
- ŚWIT, G., KRAMPIKOWSKA, A., & TWORZEWSKI, P. (2023). Non-Destructive Testing Methods for In Situ Crack Measurements and Morphology Analysis with a Focus on a Novel Approach to the Use of the Acoustic Emission Method. *Materials*, 16(23). <https://doi.org/10.3390/ma16237440>
- ZAKI, A., CHAI, H. K., AGGELIS, D. G., & ALVER, N. (2015). Non-destructive evaluation for corrosion monitoring in concrete: A review and capability of acoustic emission technique. *Sensors*, 15(8), 19069-19101.

Incorporación de enzimas ecológicas para el desarrollo de compuestos de tierra como material constructivo

Cervilla-Maldonado, Ana ⁽¹⁾; Martín-Villegas, Francisco ⁽²⁾; Valverde-Palacios, Ignacio ⁽³⁾; Fuentes-García, Raquel ⁽⁴⁾ y Valverde-Espinosa, Ignacio ⁽⁵⁾

Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Granada,

(1) anaecervilla@correo.ugr.es, (2) fracimartin@correo.ugr.es, (3) nachoval@ugr.es, (4) rfuentes@ugr.es y (5) valverde@ugr.es

Resumen

Esta investigación presenta la viabilidad de los materiales de construcción de base biológica mediante la incorporación de un residuo de la agricultura: las enzimas ecológicas de la caña de azúcar. Además, compara las enzimas con otros conglomerantes, como la cal y el cemento.

Este material innovador de base biológica está compuesto por tierra de la Formación Alhambra y la adición de arcilla y enzimas ecológicas procedentes de la caña de azúcar.

Las propiedades físico-mecánicas del material, incluyendo la compresión uniaxial y la deformación longitudinal, se evaluaron de acuerdo con la Norma Europea EN ISO 17892-7:2019 para dosificaciones específicas de residuos. Los valores medios de resistencia a compresión obtenidos se situaron entre 1,9 MPa y 2,3 MPa. La comparación de estos valores con los de los bloques de tierra comprimida y los bloques de adobe revela que se encuentran dentro del rango de valores de resistencia a compresión (Aenor, 2008).

Palabras clave: agricultural residue, earth construction, projected earth technique

I. Introducción

El desarrollo de los materiales de construcción convencionales contribuye a la contaminación debido a su proceso de extracción y transformación. Por otro lado, el uso de materiales tradicionales, como la tierra, representa una menor dependencia de los recursos energéticos no renovables, una rápida biodegradabilidad y un buen comportamiento mecánico. Además, debido a que estos materiales pueden extraerse, procesarse y reutilizarse con un menor consumo de energía, constituyen una ventaja en términos ecológicos y económicos.

Este estudio se centra en el análisis de la viabilidad de un material innovador compuesto por tierra de la Formación Alhambra aditivada con enzimas ecológicas procedentes de la caña de azúcar y arcilla, así como su comparación con otras dosificaciones en las que se emplean cales y/o cementos.

II. Materiales y métodos

El material base en esta investigación es la tierra procedente de la alteración del conglomerado Alhambra. En la zona nororiental de Granada, en las cercanías de El Fargue, se encuentran áreas idóneas y de fácil acceso para la extracción de tierra con las características necesarias para esta investigación. Junto con la tierra, se emplean otros materiales como las enzimas, la arcilla, la cal y el cemento; para así crear las distintas dosificaciones con el fin de realizar lo diversos ensayos.



Figura 1. Proceso de conformación de probetas de tierra.

Se elaboraron muestras de referencia cilíndricas de 100x120 mm constituidas solamente por tierra, y otras mezcladas con aditivos específicos, según el proceso definido para el ensayo de compactación en la norma UNE 103500:1994. Cabe destacar que todas las muestras parten de una base de 2.500g de tierra y una humedad óptima del 8,5%, según estudios de referencia (Fuentes-García, 2010; Ortega-Ruiz, 2017; Valverde-Palacios et al., 2022). Adicionalmente, a

éstas se añadieron distintos porcentajes de arcilla y enzimas ecológicas (4%, 6%, 8 % de arcilla + 7,5 ml de enzimas); de cal (2%, 4%, 6%, 8% y 10%); y de cal y cemento (8% cal + 1% y 2% de cemento).

Para la conformación de probetas (Figura 1) hay que mezclar la tierra con los porcentajes definidos para cada dosificación, así como con la cantidad de agua del 8,5% del peso de la tierra. Una vez esté todo mezclado de manera homogénea, se procede a realizar la compactación en tres tongadas. Tras cada vertido, se compacta el material con 25 golpes de maza (Figura 1b). Por último, se desmolda la probeta de tierra y se deja secar al aire durante aproximadamente un mes hasta peso constante.

III. Resultados experimentales

Los resultados obtenidos con relación a la resistencia a compresión alcanzan su mayor valor en el caso de las probetas con dosificaciones de un 4% de arcillas y 7,5 ml de enzimas ecológicas, con un valor medio de 2,3 MPa. Según se puede observar en la tabla 1, estos aditivos aumentan la resistencia a compresión en torno a un 21%, si lo comparamos con las probetas de referencia con solo tierra.

Por otro lado, las probetas adicionadas con un 8% de cal y un 0.5% de cemento alcanzan la resistencia media de las probetas de sólo tierra (1,9 MPa); mientras que las probetas con un 8% de cal se quedan por debajo de este valor de referencia. En la rotura, existe un comportamiento lineal al inicio de la deformación hasta alcanzar los puntos de máxima tensión de cada probeta, momento en el que comienza a mostrar cierta plasticidad hasta alcanzar su estado límite último.

Tabla 1. Resultados medios de resistencia de las probetas ensayadas.

Dosificaciones de las probetas	Resistencia a la compresión (MPa)
Tierra	1,9
Tierra-A4%-E	2,3
T-C8%	1,3
T-C8%- B1%	1,9

IV. Conclusiones

El análisis presentado trata de la viabilidad de los materiales conformados con tierra de la Formación Alhambra con enzimas, arcilla, cal y cemento. El objetivo es utilizar estos materiales tradicionales mejorados, biodegradables y respetuosos con el medio ambiente en la Arquitectura actual.

Teniendo en cuenta los ensayos realizados, se puede concluir que las enzimas ecológicas constituyen un material que confiere propiedades óptimas a la tierra para la puesta en obra, alcanzado valores de resistencia a compresión mayores que las probetas de referencia. También cabe destacar que estas probetas presentaban unas deformaciones mayores, al no contener adiciones de cal o cemento, en comparación con otras adiciones estudiadas. En el futuro, se estudiará el potencial de este material para su uso en el sistema de tierra proyectada, así como para la conservación y/o rehabilitación de obras de tierra.

Referencias

Aenor, A. E. (2008). UNE 41410 Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques.

Fuentes-García, R. (2010). Construcciones de tierra. El tapial. Nuevo sistema para construcción y restauración mediante la técnica de " tierra proyectada" [PhD Thesis]. Universidad de Granada.

Ortega-Ruiz, V. (2017). Caracterización de la compactación de suelos edáficos de la formación alhambra utilizando un estabilizador de enzimas ecológicas en sustitución de la cal.

UNE EN ISO 17892-7:2019 Geotechnical investigation and testing. Laboratory testing of soil. Unconfined compression test.

UNE 103500:1994 Geotechnic. Compactation test. Standard Proctor. (1994).

Valverde-Palacios, I., Fuentes-García, R., Cervilla-Maldonado, A., & Valverde-Espinosa, I. (2022). Earth as a Sustainable Construction Material. Characterization of Different Mixtures and Implementation Using the Projected Earth System. En *New Technologies in Building and Construction: Towards Sustainable Development* (pp. 299-320). Springer.

Estudio de las tendencias y nuevos trabajos de investigación aplicados al uso de áridos reciclados en hormigones en España y a nivel internacional

Pérez Murcia, Cristian Fabian ⁽¹⁾, Agrela Sainz, Francisco ⁽²⁾; Gomez Escribano, Pablo ⁽³⁾

(1) Departamento, Universidad de Córdoba, cristian_perez97@hotmail.com (estudiante)

(2) Departamento, Universidad de Córdoba, irlagsaf@uco.es (Profesor Titular)

(3) ANEFHOP, pgomez@anefhop.com (Delegado ANEFHOP)

Resumen

Este documento revisa artículos científicos sobre fabricación de hormigón con áridos reciclados, proporcionando un archivo base con resúmenes y opiniones de investigaciones en España e internacionales. Se analiza el impacto y las tendencias tecnológicas de estas técnicas, enfocándose en optimizar materiales para reducir el impacto ambiental y reutilizar residuos de demolición y construcción. Se revisan documentos de diversas bases de datos y fuentes bibliográficas, abarcando definiciones clave sobre áridos reciclados, materiales comunes, herramientas tecnológicas y tipos de hormigones adecuados. Se compara la funcionalidad de las propuestas investigativas, destacando métodos y materiales utilizados en España y otros países para reducir la contaminación en hormigones reciclados. Finalmente, se evalúa la percepción del uso de hormigones con áridos reciclados en España mediante encuestas a plantas de hormigón asociadas a ANEFHOP, recopilando datos sobre fabricación, uso y prestaciones requeridas.

Palabras clave: Áridos reciclados, hormigones, RCD, impacto ambiental.

I. Introducción y antecedentes.

La aplicación de áridos reciclados de granulometría gruesa en la fabricación de hormigones ha sido estudiada desde hace más de 30 años viendo la viabilidad de su uso en numerosas investigaciones. Recientemente, Fiol y col. (2023) estudiaron las posibilidades de fabricar hormigones autocompactantes con áridos gruesos reciclados, procedentes de prefabricados de hormigón, y estudiaron la durabilidad de estos hormigones en ensayos relacionados con el medio marino. Este artículo analiza experimentalmente las propiedades de un hormigón autocompactante con distintos porcentajes de áridos reciclados, diseñado para ambientes marinos. Se enfoca en su durabilidad frente a agentes químicos como cloruros y agua marina. Utilizando pruebas experimentales y modelos matemáticos, se estudian la resistencia, el comportamiento mecánico y la absorción de cloruros. Los resultados muestran que, aunque las mezclas con más áridos reciclados presentan mayor porosidad y absorción de agua, su resistencia a compresión mejora con mayor contenido de cemento. Finalmente, se concluye que estos hormigones pueden tener una vida útil superior a 100 años, siendo adecuados para entornos industriales y marinos.

Plaza y col. (2021), estudiaron reducir la huella de CO₂ utilizando áridos reciclados en hormigón. Evaluaron mezclas con diferentes porcentajes de áridos reciclados (25%, 50%, 75%, 100%) y su impacto en propiedades físicas y mecánicas. Los resultados muestran beneficios ambientales y variaciones en densidad, resistencia y ecoeficiencia del hormigón reciclado. Por otro lado, Dutt y Singh (2023) evaluaron el uso de áridos reciclados de RCD en combinación con escorias de acero en mezclas de hormigón. Estos investigadores trataron de optimizar las propiedades mecánicas y de durabilidad, manteniendo relaciones agua/cemento adecuadas. Realizaron 70 mezclas con diferentes porcentajes de áridos reciclados y escorias de acero, evaluando resistencia a compresión. Los resultados mostraron que la incorporación de escoria de acería mejoraba la resistencia del hormigón, mientras que un aumento en el porcentaje de áridos reciclados conllevaba una disminución en la resistencia.

En este estudio, se trata de realizar encuestas a distintas plantas de hormigones preparados en el ámbito nacional español, con la colaboración de la Asociación Anefhop, para evidenciar las posibilidades la situación real de uso de áridos reciclados en la fabricación de hormigones.

II. Análisis de la percepción del uso de Hormigones con áridos reciclados en España

Para este estudio, se diseñó una encuesta dirigida a plantas productoras de hormigón en España, para recopilar información sobre el uso de áridos reciclados en empresas asociadas a ANEFHOP (Asociación Nacional Española de Fabricantes de Hormigón Preparado). A continuación, se presentan las preguntas y respuestas obtenidas:

● **Pregunta N°1. Relativa a la localización de las plantas**

Las respuestas de la encuesta se clasificaron por comunidades autónomas, dado que varias empresas tienen plantas en distintas regiones. Se obtuvieron 55 respuestas en total. La Comunidad Valenciana tuvo la mayor participación con el 20% de las encuestas, mientras que Navarra y Extremadura tuvieron la menor participación, con el 2% cada una (**Fig.1**).

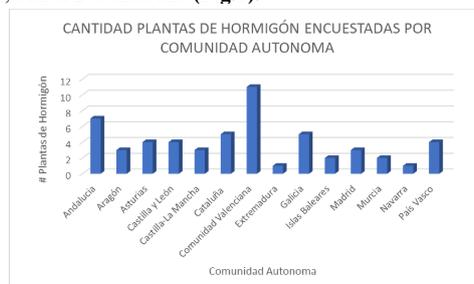


Figura 1. Cantidad de plantas encuestadas por comunidad autónoma

● **Pregunta N°2. Relativa a la fabricación de hormigones con áridos reciclados**

Esta pregunta busca identificar cuántas plantas fabrican hormigón con áridos reciclados. La (Fig.2) muestra el porcentaje de plantas que los utilizan. Los resultados indican que la mayoría de las plantas no incluye áridos reciclados en sus procesos de fabricación, debido a la poca disponibilidad de estos áridos o al desconocimiento de su correcto uso. La mayoría de las comunidades autónomas fabrican este tipo de hormigones, las comunidades autónomas con el mayor número de plantas que fabrican hormigón con áridos reciclados son la Comunidad Valenciana y el País Vasco (Fig.3).



Figura 2. Porcentaje de plantas encuestadas que fabrican hormigón con áridos reciclados

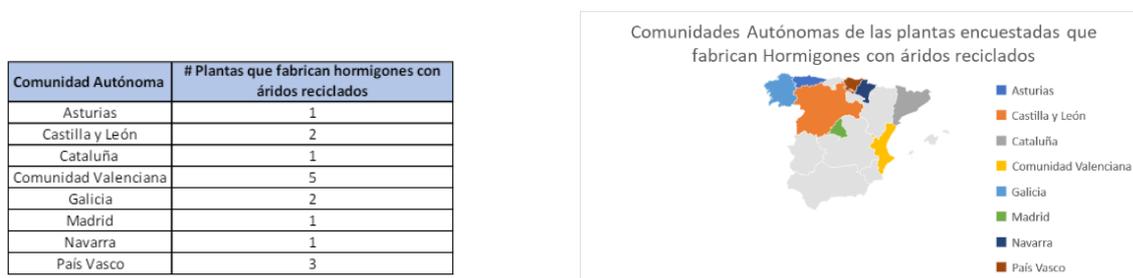


Figura 3. Ubicación de las plantas encuestadas que fabrican hormigones con áridos reciclados

En la Comunidad Valenciana, se recopilaron 11 respuestas en total, de las cuales solo 5 plantas fabrican hormigón con áridos reciclados, lo que representa el 50% de las plantas encuestadas. En el País Vasco, de las 4 plantas encuestadas, 3 fabrican hormigón con áridos reciclados, representando el 75% de las plantas encuestadas. Esto muestra un avance significativo en el uso de áridos reciclados. La comunidad vasca participa en proyectos nacionales y europeos, como el proyecto Icerberg, que fomenta la reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD). Además, entidades públicas como IHOBE promueven la construcción y rehabilitación sostenible de edificios.

● **Pregunta N°3. Razones por las que no fabrican hormigones con áridos reciclados**

Se presenta la (Tabla.1) que muestra las razones por las cuales no se utiliza hormigón con áridos reciclados en las plantas de hormigón. Las primeras tres respuestas fueron opciones predefinidas en la encuesta, mientras que las demás reflejan las opiniones de los encuestados sobre otras razones. La tabla muestra que, en su mayoría, las empresas no utilizan áridos reciclados porque no se les solicita este tipo de materiales y no disponen de fuentes cercanas para abastecerse. Otras razones incluyen el desconocimiento y la poca confianza en estos productos.

● **Preguntas N°4 y N° 5. Porcentaje de reemplazo de áridos reciclados en la mezcla de hormigón, y plantas que fabrican hormigones con más 20% de áridos reciclados**

En respuesta a esta pregunta, se proporcionaron dos opciones: "inferior al 20%" y "superior al 20%". Los resultados indican que todas las plantas que utilizan áridos reciclados en la mezcla de hormigón reemplazan menos del 20% del total de áridos. En base a las respuestas y los resultados de la encuesta, se concluye que ninguna de las plantas encuestadas fabrica hormigón con más del 20% de áridos reciclados. Esto se debe a la falta de confianza en estos materiales, lo que lleva a una actitud conservadora en su uso. Las plantas siguen las recomendaciones de normativas como el código estructural, que sugiere un límite del 20% de reemplazo de áridos reciclados en la mezcla total. A la segunda pregunta no se obtuvo información.

Razón por la cual no se utilizan áridos reciclados	Cantidad Respuestas
No disponibilidad de árido reciclado	21
No se solicita este tipo de materiales	20
No disponibilidad de tolvas en la planta	5
Dificultades técnicas para fabricarlo	3
Encarece el producto final	2
Desconocimiento del uso	2
Competencia con el árido de cantera	2
No hay confianza para fabricarlo	2

Tabla 1. Razones para no utilizar los hormigones con áridos reciclados

● **Pregunta N°6. Mercado CE en los áridos reciclados que emplean**

La finalidad de esta pregunta es obtener información adicional sobre el uso de áridos reciclados en las plantas de hormigón y verificar cuáles adquieren áridos reciclados con marcado CE. El marcado CE es una certificación obligatoria en la Unión Europea que indica que el

producto cumple con los requisitos esenciales de seguridad y normativa técnica establecidos por la legislación comunitaria. Alrededor del 30% de las plantas que producen hormigón con áridos reciclados utilizan áridos con marcado CE. De las 5 plantas que disponen de esta certificación, se encuentran en el País Vasco, Castilla y León, Cataluña y la Comunidad Valenciana. Esto resalta la adopción de prácticas que cumplen con los requisitos de seguridad y normativa técnica de la Unión Europea en estas regiones (Fig.4).

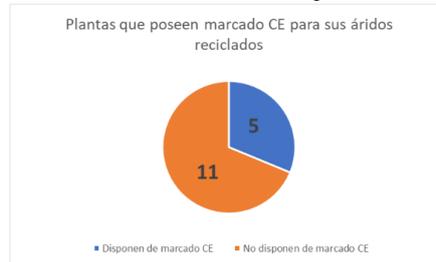


Figura 4. Plantas que poseen marcado CE en sus áridos reciclados

• **Pregunta N°7. Conocimiento sobre la regulación sobre el uso de hormigones con áridos reciclados**

En España, el código estructural es la referencia nacional sobre el uso de áridos reciclados en hormigones. Esta pregunta se realizó para saber si las plantas conocen este documento y si también conocen otra legislación aplicable en sus comunidades sobre el uso de áridos reciclados en hormigones (Fig.5). La inmensa mayoría de las plantas encuestadas están familiarizadas con el código estructural. Esto puede justificar que, en todos los casos, se utilice un porcentaje de sustitución de árido reciclado inferior al 20%, conforme a las limitaciones del código estructural para la producción de hormigones con función estructural.

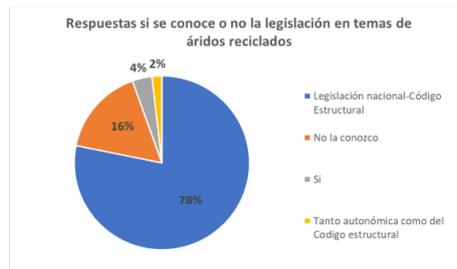


Figura 5. Porcentaje de plantas que conoce la legislación sobre el uso de áridos reciclados

• **Pregunta N°8. Porcentaje de hormigones reciclados que fabrican las plantas**

Esta pregunta se formuló para determinar si existen empresas que se dediquen principalmente a la producción de hormigones con áridos reciclados (Fig.6). La mayoría de las plantas no dedican más del 20% de su actividad comercial a la fabricación de hormigones con áridos reciclados. Destaca una empresa que dedica entre el 60% y el 80% de su actividad a esta producción, lo que sugiere una gran experiencia en el tema. Esta empresa está ubicada en el País Vasco, una comunidad con un avanzado desarrollo en el uso de hormigones con áridos reciclados, muy superior al alcanzado en otras comunidades. Este avance se refuerza con la implementación de nuevas guías y acciones para la reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD) a través de organizaciones públicas como IHOBE, la sociedad pública ambiental del País Vasco.

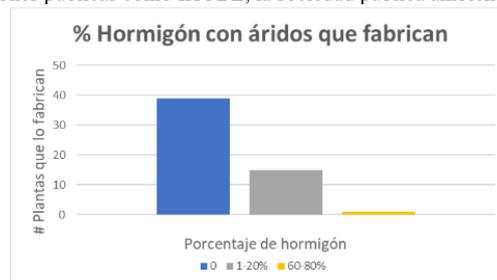


Figura 6. Porcentaje de hormigón con áridos reciclados que fabrican las plantas

• **Pregunta N°9. Tipologías de cemento usadas por las plantas**

Esta pregunta busca determinar los tipos de cemento más utilizados por las plantas para la producción de hormigones, considerando las tipologías comúnmente empleadas en España (Fig.7). El cemento más utilizado por todas las plantas es el CEM II, clasificado como cemento Portland con adiciones según el código estructural. Este tipo de cemento ofrece buena resistencia a los sulfatos y es ideal para entornos con agresividad moderada, como puentes, muelles y carreteras. Además, genera calor durante la hidratación, lo que aumenta su resistencia y contribuye a prolongar la vida útil de las estructuras. Según la norma UNE-EN 197-1, el CEM II es ampliamente empleado en hormigones y morteros en general.

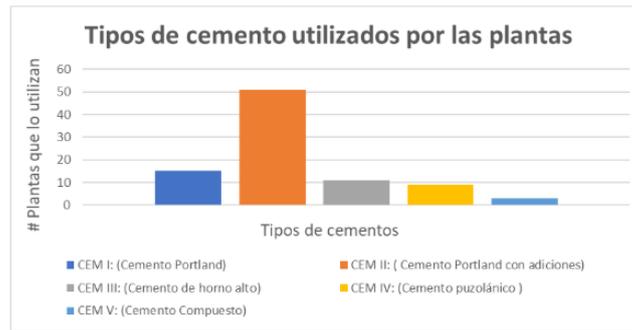


Figura 7. Tipos de cementos utilizados por las plantas

• **Pregunta N°10. Tipologías de hormigones con áridos reciclados que fabrican**

En esta pregunta se incluyeron diversas tipologías de hormigones para que las plantas pudieran indicar cuáles fabrican en mayor medida. La mayoría de las empresas se dedican principalmente a la fabricación de hormigones en masa y no estructurales utilizando áridos reciclados. Esto puede atribuirse a que los hormigones estructurales deben cumplir con requisitos más rigurosos, lo que a veces desincentiva su fabricación con áridos reciclados. Además, es importante considerar que son los constructores quienes solicitan hormigones a las plantas, dependiendo del tipo de proyecto y del hormigón reciclado requerido (Fig.8).

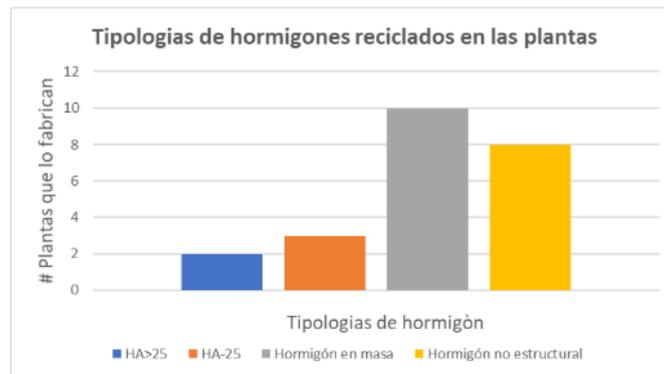


Figura 8. Tipos de hormigones reciclados en las plantas

• **Pregunta N°11. Usos y resistencias para la fabricación de hormigones con áridos reciclados.**

Para esta pregunta, se ofrecieron opciones de uso para los hormigones en construcción civil, carreteras, residenciales y otros, así como diferentes tipos comunes de hormigones como armados, en masa, autocompactantes y ligeros, con rangos de resistencia específicos (Fig.9). Según los resultados obtenidos, los usos más frecuentes para los hormigones con áridos reciclados son en aplicaciones residenciales y en construcción civil. Predominantemente, se solicitan hormigones en masa y armados con resistencias inferiores a 25 MPa. Además, los hormigones autocompactantes y ligeros se utilizan principalmente en aplicaciones residenciales.

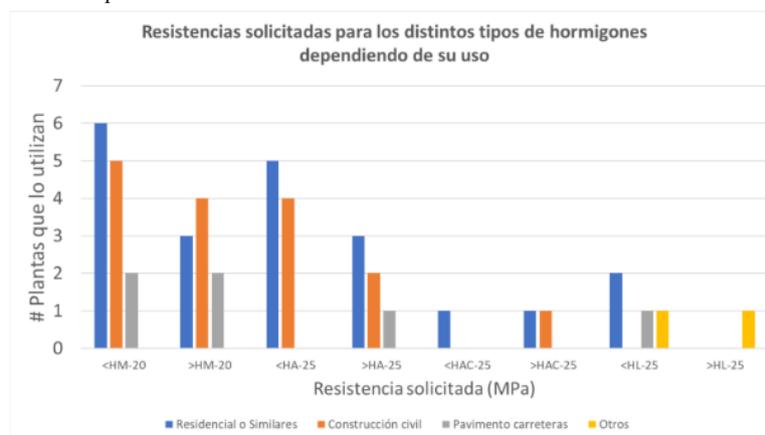


Figura 9. Usos y resistencias de los hormigones solicitados a las plantas

• **Pregunta N°12. Otros tipos de materiales reciclados que utilizan en sus procesos**

La mayoría de las plantas encuestadas no incorporan materiales reciclados en sus procesos de fabricación, y las que lo hacen son escasas en número. Entre los materiales reciclados más utilizados por las plantas, se destaca el vidrio. Además, en el caso de las plantas ubicadas en el País Vasco, se utiliza árido siderúrgico, que es un material obtenido como residuo de la fabricación del acero (Fig.10).

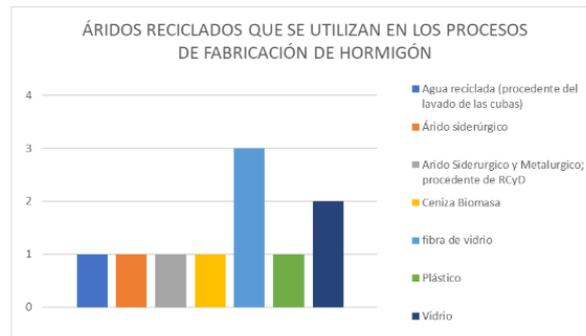


Figura 10. Áridos reciclados que más utilizan las plantas en la fabricación de hormigones

● **Pregunta N°13. Posibles avances que tendrían este tipo de hormigones**

Esta es una pregunta de libre elección, para que las plantas contestaran cuales podrían ser los posibles usos que podrían tener los hormigones con materiales reciclados (Tabla.2).

RESPUESTAS
Muchos avances por los cambios que se preveen en los cementos (con menos Clinker y más adiciones)
Su utilización legal en hormigones de limpieza y no estructurales
No le veo utilidad, hasta que la administración no lo contemple en sus proyectos
Util solo para hormigones no estructurales unicamente
Mayor calidad de los áridos implicaría mayor consumo
En mi opinión, considero que la reutilización de hormigón devuelto, el cual se recupera la parte del árido, no generando así residuo, y pudiendo reutilizar el mismo, ayudaría mucho a controlar las densidades propias del árido recuperado, dado que obtener unas densidades propias de árido reciclado depende de la composición heterogénea que lo forma.
Hormigones con grandes densidades para aplicación específicas: acústicas, bloques para diques, disipación de rayos x.
No les veo futuro. Son áridos muy contaminados
Economía circular
Por supuesto empleo de áridos reciclados para algunos hormigones
Reducción de la huella de carbono, reutilización de residuos como materia prima
Estamos en el inicio, pero sera muy rapida
Que se agilicen y se simplifiquen las leyes de Residuos y la Normativa para que se facilite la economía circular en estos casos.
Minimizar huella de carbono
Se impondran por legislación
Muy difícil, la mayor parte de las plantas no disponemos de capacidad de añadir más tolvas para árido reciclado.
Incrementar su porcentaje de uso tal y como es posible en el resto de países de la UE
Algunos, en cementos, en áridos y quizá en producción de energía.

Tabla 2. Respuestas de las plantas de hormigón

III. Conclusiones

Como conclusión final se puede señalar que el uso de áridos reciclados en fabricación de hormigones en plantas de hormigón preparado es reducido y se debe impulsar desde las administraciones y con cambios normativos el uso de áridos reciclado tanto de hormigón como mixto en España

Referencias

Fiol, F., Revilla-Cuesta, V., Thomas, C., & Manso, J. M. (2023). Self-compacting concrete containing coarse recycled precast-concrete aggregate and its durability in marine-environmentrelated tests. *Construction and Building Materials*, 377. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.13108>

Plaza, P., Sáez del Bosque, I. F., Frías, M., Sánchez de Rojas, M. I., & Medina, C. (2021). Use of recycled coarse and fine aggregates in structural eco-concretes. Physical and mechanical properties and CO2 emissions. *Construction and Building Materials*, 285. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122926>

Dutt Sharma, R., & Singh, N. (2023). Optimizing the compressive strength behavior of iron slag and recycled aggregate concretes. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.093>

Ali, B., Farooq, M. A., El Ouni, M. H., Azab, M., & Elhag, A. B. (2022). The combined effect of coir and superplasticizer on the fresh, mechanical, and long-term durability properties of recycled aggregate concrete. *Journal of Building Engineering*, 59. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105009>

Alternative activation strategies to produce environmentally friendly one-part alkali-activated materials

Pedro Delgado-Plana^{1,2*}, Salvador Bueno-Rodríguez^{1,2}, Luis Pérez-Villarejo^{1,2}, Dolores Eliche-Quesada^{1,2}

(1) Department of Chemical, Environmental, and Materials Engineering, Higher Polytechnic School of Jaén, University of Jaén, Campus Las Lagunillas s/n, 23071 Jaén, Spain

(2) Centre for Advanced Studies in Earth Sciences, Energy and Environment (CEACTEMA), University of Jaén, Campus Las Lagunillas, s/n, 23071 Jaén, Spain

*Corresponding author e-mail address: pdplana@ujaen.es

Abstract

Alkali-activated materials (AAMs), or geopolymers, are seen as eco-friendly substitutes for Portland cement but still present environmental challenges due to commercial chemical activators. This study explores using residual-derived solid-state activators to process silicomanganese slags (SiMnS) and spent oil filtering earth (SOFE) into one-part AAMs with a reduced environmental impact. Four alternative activators were evaluated: biomass bottom ash (BBA) and biomass fly ash (BFA) for silicomanganese slags, and waste glass (WG) and spent diatomaceous earth (SDE) for spent filter earth. Results confirmed that this alternative activation method is technically viable and produces materials with enhanced properties. SiMnS activated with BFA achieved a strength of 25.8 MPa, while SOFE activated with WG reached 35.8 MPa.

Keywords: silicomanganese slag, spent oil filtering earths, one-part alternative activation, geopolymers, alkali-activated materials.

I. Introduction

Portland cement is responsible for approximately 6 to 8% of CO₂ emissions from fossil fuel sources (Andrew 2018). Reducing its use could strategically cut greenhouse gas emissions. Alkali-activated materials or geopolymers present a viable alternative, potentially reducing emissions by up to 50%. These materials are produced through an alkali activation process using a raw material (ideally of residual origin) rich in aluminosilicates and a chemical activator usually formed by aqueous solution of sodium or potassium hydroxides and silicates. However, the use of commercial chemical activators remains a significant concern due to their contribution to the carbon footprint of these materials (Garces et al. 2021).

Therefore, the use of alternative activators has emerged as a strategic research direction, gaining increasing interest in recent years. This study focuses on two activation strategies based on solid alternative activators for the production of one-part alkali-activated materials. Firstly, solid potassium-based activators (BBA and BFA) were used, capable of creating an alkali environment through their addition as powder. Secondly, sodium silicate, a well-known effective activator, was thermochemically synthesized from silicon-rich waste materials (WG and SDE) mixed with sodium hydroxide.

II. Materials and procedure

Silicomanganese slag (SiMnS) are a valueless residue produced during the manufacturing of this alloy. However, with 38% SiO₂, 28% CaO, and 12% Al₂O₃, this by-product can be considered a promising candidate for alkali activation. Spent olive oil filter earth is another intriguing residue, containing 84.3% SiO₂ and 5.9% Al₂O₃ in its composition.

Regarding alternative activators, BFA and BBA were obtained from a biomass combustion plant. Composition analysis revealed K₂O contents of 61.7% and 28.8%, respectively. Additionally, CaO content in BFA and BBA are, respectively, 28.0 % and 3.2 %. BBA was ground in a planetary mill and both residues were sieved under 0.063 mm. Two sodium silicate-based activators were synthesized by mixing, on one hand, WG (73.9% SiO₂) and, on the other hand, SDE (89% SiO₂) with NaOH to achieve activators with a modulus Ms (mol SiO₂ / mol Na₂O) of 1. An important difference between WG and SDE is CaO content which is 10.6 % and 1.2 %, respectively. The mixtures were heated to 300°C for 3 hours, and the resulting solid was pulverized into powder using a planetary ball mill. The activators obtained were designed as WGA and SDEA.

Based on previous experiences with both residues, silicomanganese slags were activated by adding appropriate amounts of BBA and BFA to ensure a K₂O contribution of 10 g per 100 g of precursor. For the SOFE residue, necessary quantities of WGA and SDEA were added to ensure a Na₂O contribution of 20 g per 100 g of precursor. In all cases, the activator and precursor were dry mixed. Subsequently, the required amount of water for adequate workability was added, mixed thoroughly, and the paste was poured into moulds.

Control samples with commercial activators were prepared for comparison with the previous ones. A KOH solution served as the commercial activator for comparison with BFA and BBA. For comparison with WGA and SDEA, a

solution of NaOH, sodium silicate, and water was prepared, with an equal modulus and Na₂O contribution. SiMnS samples were cured at 80 °C for the first 24 hours and then at ambient temperature until the age of test. SOFE samples were cured at ambient temperature.

III. Results

The samples underwent compressive strength testing after 28 days of curing. The test results are presented in Table 1.

Table 4. Compressive strength at 28 days of curing

Sample	Compressive strength [MPa]
SOFE-SDEA	29.0
SOFE-WGA	35.8
SOFE-COM	23.1
SiMnS-BFA	25.8
SiMnS-BBA	17.7
SiMnS-COM	9.0

Samples activated with alternative activators exhibited superior mechanical properties across all cases. Among potassium-based activators, fly ashes demonstrated higher performance. Regarding activators based on sodium silicate synthesized from waste materials, the use of waste glass led to higher compressive strength. Alternative activated samples are considered to obtain better results, in part, owing to their one-part manufacture, since the use of solid activator provokes a heat releasing during mixing. It might enhance the activation process. SiMnS-BFA specimens surpassed SiMnS-BBA samples presumably due to a lesser presence of inert material. As expected, SOFE-WG samples exhibited better results than SOFE-SDEA, owing to the higher CaO content in WG raw material that contributes to the activation process.

IV. Conclusions

Materials activated with alternative activators exhibited superior mechanical properties across all cases in comparison with “commercially activated” samples. Among potassium-based activators, fly ashes demonstrated superior performance. Additionally, the use of sodium silicate synthesized from silicon-rich waste materials, such as waste glass, resulted in higher compressive strength. These findings indicate that alternative activation of these residues is technically feasible and promotes a circular economy by reusing industrial by-products for sustainable material production.

Acknowledgements

This work has been funded by the project PID2020-115161RB-I00: “Applying the circular economy in the development of new low carbon footprint alkaline activated hydraulic binders for construction solutions” (CongActiva), MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033 FEDER “A way of making Europe”. The authors thank Grupo Ferroatlántica, Aceites Coosur, Grupo Heineken and Energía la Loma for supplying the materials used in this study. Technical and human support provided by CICT of University of Jaén (UJA, MINECO, Junta de Andalucía, FEDER) is gratefully acknowledged.

References

R.M. Andrew, Global CO₂ emissions from cement production, Earth System Science Data. 10 (2018) 195–217, <https://doi.org/10.5194/essd-10-195-2018>

Garces JIT, Dollente IJ, Beltran AB, Tan RR, Promentilla MAB (2021) Life cycle assessment of self-healing geopolymer concrete. Clean Eng Technol 4:100147. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100147>

Full-scale application of recycled concrete for use as low-volume road pavements

Díaz-López, José Luis⁽¹⁾; Moreno, Santiago⁽¹⁾; Rosales, Julia⁽¹⁾; Agrela, Francisco⁽¹⁾; Rosales, Manuel⁽¹⁾

(1) Rural engineering department, University, of Córdoba, 14071, Córdoba, Spain
jl.diaz@uco.es; q12mosas@uco.es; jrosales@uco.es; fagrela@uco.es; mrosales@uco.es

Abstract

The quality of recycled aggregates from construction and demolition waste has been validated in recent years. However, a lack of real-world implementation has been observed, hindering their application beyond the academic field. In the present study, a pavement constructed with different recycled concrete incorporating up to 40% replacement of natural aggregates with recycled aggregates was executed, and the results were compared with those obtained from controlled laboratory studies.

This investigation demonstrated the inevitable reduction in mechanical capacity of concrete manufactured on-site due to the typical variables inherent in real-world production. On the other hand, it was shown that recycled concrete mixtures exhibited consistent behaviour both in laboratory conditions and when produced on a real scale, thus validating the academic results. Additionally, the recycled concrete mixtures displayed mechanical performance that was similar or superior to conventional concrete within the applied replacement range.

Keywords: Recycled Aggregates; Recycled Concrete; Full-scale application; Mechanical Behaviour.

I. Introduction

The use of recycled aggregates from construction and demolition waste (CDW) in concrete production has gained significant attention over the past decade (Thomas et al., 2016; Silva et al., 2018).

Laboratory studies have shown that recycled aggregates can provide mechanical properties comparable to natural aggregates, especially when processed and treated appropriately. Researchers have demonstrated that recycled aggregates can replace up to 50% of natural aggregates without significantly compromising concrete's structural integrity in laboratory studies (Pacheco et al., 2017). Despite these promising laboratory results, practical implementation of recycled concrete in real-world construction remains limited. Challenges include variability in recycled aggregate quality, lack of standardized guidelines, and logistical and economic barriers. Consequently, recycled concrete is often confined to non-structural elements or secondary uses, such as road base layers or landscaping (Aytekin et al., 2022).

The present study aims to bridge this gap by evaluating the performance of recycled concrete in a real-world application through the construction of a pavement using recycled concrete with up to 40% replacement of natural aggregates. For this purpose, an experimental road of approximately 100 m in length was constructed, consisting of three different concrete sections. The result was a concrete pavement type HF-4, equivalent to conventional concrete with a compressive strength of 25 MPa.

II. Materials and concrete dosages

In the present work, the following materials were used: Ordinary Portland cement type CEM II 42.5 N A/L; natural aggregates in three different grain size fractions (sand 0/4 mm, coarse aggregate (CA) 4/12 mm, and CA 12/24 mm); three types of recycled aggregates: mixed Recycled aggregate (MRA) 0/24 mm, MRA 10/32 mm, and recycled concrete aggregate (RCA) 0/24 mm. Additionally, plasticizing admixture Centrament N4 and superplasticizer ViscoCrete-6003 NG were applied, as well as two types of fibers to prevent shrinkage (Sikafiber M-12) and structural fiber to avoid concrete reinforcement (MPH FIBER P-36).

Table 1 shows the physical and chemical properties of the aggregates used. Analyzing the data presented, it can be observed that the processed recycled aggregates had properties similar to natural aggregates, with a higher Los Angeles abrasion coefficient, lower density, and higher water absorption (Cabrera et al., 2021).

Table 2 shows the proportions (kg of material per cubic meter of fresh concrete produced) of each material for the three types of concrete executed both in the laboratory and on-site.

Table 1. Physical and chemical properties of natural and recycled aggregates

UNE-EN Standars	Size particle distribution (%)			Flakiness index (%)	Los Angeles Index (%)	Sand equivalent (%)	Density (kg/m ³)	Water absorption (%)	soluble sulphates (SO ₃) (%)	Organic matter (%)
	0-0.063 mm	0.063-4mm	4-32.5 mm							
	UNE-EN 933-1			UNE-EN 933-3	UNE-EN 1097-2	UNE-EN 933-8	UNE-EN 1097-6		UNE-EN 1744-1	UNE 103204
CA 12/24 mm	0	0	100	4	27	-	2663	-	0.1	0
CA 4/12 mm	0	2	98	5	29	-	2662	-	0.1	0
Sand 0/4 mm	2	92	6	-	-	74	2675	-	0.1	0
MRA 0/24 mm	5	41	54	4	41	59	2322	7.0	0.7	0.6
RCA 0/24 mm	2	31	67	1	32	80	2329	6.7	0.5	0.6
MRA 10/32 mm	1	3	96	4	39	-	2281	7.6	0.5	0.4

Table 2. Recycled concretes dosages (kg/m³)

	CA 12/24 mm	CA 4/12 mm	Sand 0/4 mm	MRA 0/24 mm	RCA 0/24 mm	MRA 10/32 mm	CEM	Water	Water Absorption	Fibers	Admixture
HF-REF	720	460	850	0	0	0	330	155	0	3.6	3.1
HF-MRA 0/24 + MRA 10/32	325	265	810	300	0	250	330	155	33	3.6	3.3
HF-RCA 0/24 + MRA 10/32	325	265	810	0	300	250	330	155	28	3.6	3.3

III. Results and discussion

To evaluate the properties of the manufactured concrete, the flexural tensile strength (EN 12390-5:2020) was determined at 28 and 90 days of curing, and the compressive strength (EN 12390-3:2020) was determined at 7, 28, and 90 days of curing. The results are shown in Figure 1.

Analyzing the data in Figure 1, it can be observed that both flexural and compressive strength decreased by approximately 30% from the concretes executed in the laboratory to those developed on a real scale. These values are consistent and are due to the real and uncontrollable conditions of on-site execution, such as humidity, temperature, transportation time, and variable spreading time. In addition, for both laboratory and full-scale concrete mixtures, compressive strength values obtained in recycled concrete mixtures were higher than those of conventional concrete. This behaviour may be due to the development of residual pozzolanic and hydraulic reactions derived from the fine fraction of the recycled aggregates, which include non-hydrated cement dust from RCA and pozzolanic ceramic material from MRA.

According to the 28-day flexural strength data obtained for the concretes produced on a real scale, it is observed that all present similar values and exceed 4 MPa. This value allows the concretes to be classified as HF-4, according to the Spanish PG-3 standard, which validates their load-bearing capacity as pavement concrete for medium to low traffic intensity roads.

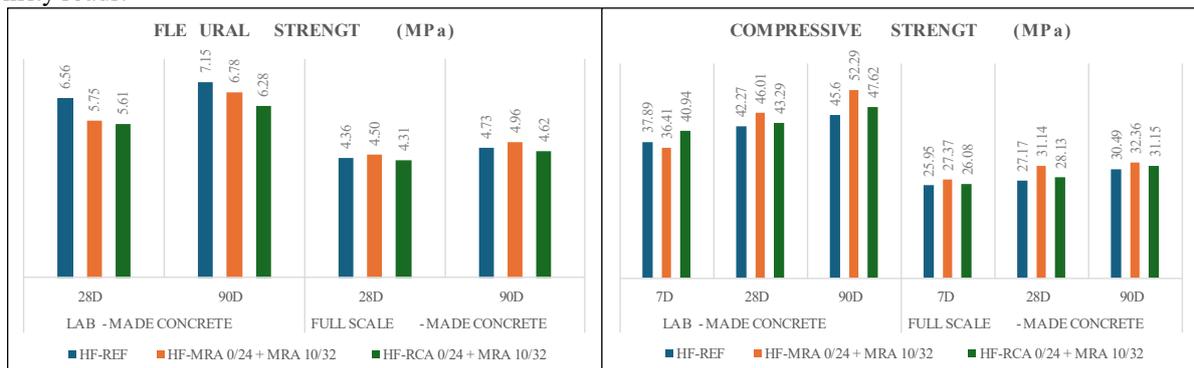


Figure 1. Flexural strength (Left) and Compressive strength (Right) of Lab-made and Full scale-made recycled concrete

IV. Conclusions

The following conclusions can be drawn:

- The application of recycled aggregates up to 40% replacement ratio over natural aggregates allows for the production of full-scale concrete with mechanical properties similar to conventional concrete.
- The decrease in mechanical strength of the concrete produced on full-scale compared to laboratory concrete is not caused by the use of recycled aggregates.

According to the results obtained, the mechanical capacity of the manufactured concrete is validated for use as pavement on low-intensity roads.

References

Aytekin, B., & Mardani-Aghabaglou, A. (2022). Sustainable materials: a review of recycled concrete aggregate utilization as pavement material. *Transportation Research Record*, 2676(3), 468-491.

Cabrera, M., López-Alonso, M., Garach, L., Alegre, J., Ordoñez, J., & Agrela, F. (2021). Feasible use of recycled concrete aggregates with alumina waste in road construction. *Materials*, 14(6), 1466.

Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2017). Reusing ceramic wastes in concrete. *Construction and Building Materials*, 24(5), 832-838.

Silva, R. V., de Brito, J., & Dhir, R. K. (2018). Availability and processing of recycled aggregates within the construction and demolition supply chain: A review. *Journal of Cleaner Production*, 205, 1087-1101.

Thomas, C., Setién, J., Polanco, J. A., Alaejos, P., & Sánchez de Juan, M. (2016). Durability of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 40, 1054-1065.

Physical-mechanical behavior of cement and lime mortars with mixed aggregate of sand and crushed recycled glass

*Alducin-Ochoa, Juan Manuel ⁽¹⁾; Flores-Alés, Vicente ⁽¹⁾; Martín-del-Río, Juan Jesús ⁽¹⁾;
Corona, Yanet ⁽¹⁾; Torres-González, Marta ⁽¹⁾*

(1) Architectural Construction II Department, Universidad de Sevilla, alducin@us.es; vflores@us.es; jjdelrio@us.es; yanetcorona@us.es; mtorres18@us.es

Abstract

Mortars made of mixed cement and lime (mixed mortar) have good mechanical behaviour and improve adhesion to other materials. In this study, mixed mortars have been prepared and characterized with a partial replacement of 25% of the natural aggregate by recycled crushed glass. The physical and mechanical properties have been evaluated and the ultrasonic transmission rates have been determined. The Student's t-test was used to statistically analyse the outcomes. Internal structures and potential mineralogical alterations were analysed by SEM. The characteristics of these mortars were compared with those of reference ones.

The resistance results have revealed an improvement of the mixed mortar with glass compared to the reference mixed mortar of 14% in bending and 10% in compression. Moreover, a decrease in Young's modulus has been shown in mixed mortars with glass in comparison with the reference mixed mortars, although the addition of glass does not imply statistically significant differences.

Keywords: mortar; lime; crushed glass; mechanical properties; Young modulus

I Introduction

An effective approach to achieving a more environmentally balanced construction practice involves incorporating cement conglomerates with various by-products and wastes, thereby allowing the building sector to manage some of its waste output. In addition, it is essential to deepen the projects for the development of alternative binders and new construction products.

Glass, primarily comprised of amorphous silica, serves as an aggregate with chemical properties akin to natural siliceous aggregates, exhibiting notable pozzolanic capacity, particularly in finer particles. The reactivity of glass particles is largely dictated by their chemical composition and structure, with factors such as the (CaO + MgO)/SiO₂ ratio being indicative of reactivity levels, typically enhanced by lower degrees of polymerization (SKIBSTED et al, 2019). Additionally, the presence of calcium hydroxide resulting from conglomerate hydration facilitates reactions similar to those observed in cement. A significant phenomenon observed in the interfacial transition zone (ITZ) between cement paste and aggregate, particularly on the exterior of glass particles, is the precipitation of Ca(OH)₂, prompting pozzolanic reactions that lead to the formation of hydrated calcium silicates (MARAGHECHI et al 2014; RAJABIPOUR et al 2010). This study aims to conduct a comparative analysis of the physical and mechanical properties of cement mortars and cement-lime mortars incorporating crushed glass, relative to reference products made solely with natural aggregate.

II Materials and Methods

The experimental setup involved preparing two types of cement mortars and two types of mixed mortars (cement and lime), all with a 1:3 aggregate-to-binder ratio. Each type included one specimen with 100% sand aggregate (reference mortars) and another with a 25% replacement of sand by crushed glass. The selected replacement percentage is based on previous studies indicating optimal performance without compromising material properties (FLORES-ALÉS et al, 2018). The materials used in the study included CEBASA CEM II/A-L 42.5R cement, YEMACONSA CL 90 S hydrated lime and standardized sand. Additionally, household waste glass was crushed to particles less than 2mm to replace 25% of the sand in the experimental mortars. The specimens were cured under controlled conditions of 95% humidity and a temperature of 20±2°C for 28 days.

The testing methods used in the study included several key evaluations to determine the physical and mechanical properties of the mortars. Apparent density and open porosity were measured using the vacuum method in accordance with UNE-EN 1936 standards. Mechanical resistance was assessed through bending and compression tests, following UNE-EN 196-1:2018 protocols. Mineralogical characterization was conducted using X-ray diffraction with a Bruker-AXS model D8I-A25 diffractometer. The ultrasound transmission speed was measured in three spatial directions using Pundit Lab equipment. Young's modulus was calculated from the density and ultrasonic speed data to assess the elastic deformability of the mortars. Finally, a statistical analysis was performed using the Student's t-test to compare the results of mortars with and without crushed glass, with a significance level set at $\alpha=0.01$ (Table 1).

III Results & Discussion

Here are the results of the study, detailing the impact of incorporating crushed glass into mixed mortars on their physical and mechanical properties:

- **Apparent Density and Porosity:** The results showed that incorporating glass in cement mortars significantly decreased density (2.09 g/cm³ to 2.01 g/cm³) and increased porosity (19.83% to 21.65%), both statistically significant. For mixed mortars, density and porosity changes were minimal and not statistically significant.
 - **Bending Strength:** Reference cement mortars had a bending strength of 5.80 N/mm², which decreased to 4.60 N/mm² with glass addition (statistically significant). In mixed mortars, bending strength slightly increased from 1.26 N/mm² to 1.44 N/mm², though this was not statistically significant.
 - **Compression Strength:** Reference cement mortars had a compression strength of 33.33 N/mm², which decreased to 27.39 N/mm² with glass addition (statistically significant). Mixed mortars saw a slight, non-significant increase from 8.84 N/mm² to 9.78 N/mm².
 - **Ultrasonic Transmission Speed:** The addition of glass reduced the ultrasonic transmission speed, indicating changes in internal structure, which were statistically significant.
 - **The SEM-EDX analysis** revealed that the distribution of elements within the mortars was uniform, with no significant differences between the reference samples and those containing crushed glass. X-ray diffractograms indicated the presence of typical cement hydration products, such as calcium silicate hydrates and portlandite, with no new crystalline phases detected due to the inclusion of glass.
- The study found that the inclusion of crushed glass improved the mechanical performance of mixed mortars more than that of pure cement mortars. The enhancement is attributed to the pozzolanic reactions facilitated by the alkaline activation of the glass particles (QIAO et al, 2022). The mixed mortars with glass demonstrated better performance in terms of bending and compression strength, suggesting that the addition of lime positively impacts the activation of glass particles and the formation of calcium silicate hydrates.

Table 1. Main statistical data. RBM: Ref bastard mortar; BM25: Bastard mortar with 25% replacement. CV: coefficient of variation

	Average	Standard deviation	CV (%)	Average	Standard deviation	CV (%)
	Apparent density (g/cm³)			Open porosity (%)		
RBM	1.94	0.02422	1.25	24.92	1.32994	5.34
BM25	1.92	0.01329	0.69	24.83	0.34661	1.40
	Bending strength (N/mm²)			Compression strength (N/mm²)		
RBM	1.26	0.27569	21.88	8.84	0.49149	5.56
BM25	1.44	0.23828	16.53	9.78	0.28704	2.94
	Ultrasonic transmission speed (m/s)			Young's Modulus (MPa)		
RBM	2790.97	169.975	6.09	15.16	1.8237	12.03
BM25	2751.67	151.578	5.51	14.58	1.5938	10.93

IV Conclusions

Incorporating 25% recycled crushed glass into mixed mortars significantly enhances their mechanical properties without compromising their structural integrity. The study supports the potential of using recycled materials in construction to achieve both environmental and technical benefits. It emphasizes the need for further development of standards and interdisciplinary collaboration to promote the use of 'green concrete' in the construction industry. The results indicate that mixed mortars with glass are a viable option for sustainable construction, offering improved performance and contributing to waste reduction and resource conservation.

V Acknowledgement

Project 'PID2020-115843RB-I00' of the Spanish Ministry of Science and CITIUS at the University of Seville.

References

- FLORES-ALÉS, V., JIMÉNEZ-BAYARRI, V., PÉREZ-FARGALLO, A. (2018). Influencia de la incorporación de vidrio triturado en las propiedades y el comportamiento a alta temperatura de morteros de cemento, *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.* 57: 257–265.
- QIAO, Q. LI, H., LI, A., LI, G. (2022). Performance of waste glass powder as a pozzolanic material in blended cement mortar, *Constr. Build. Mater.* 324: 126531.
- MARAGHECHI, H., MARAGHECHI, M., RAJABIPOUR, F., PANTANO, C.G. (2014). Pozzolanic reactivity of recycled glass powder at elevated temperatures: Reaction stoichiometry, reaction products and effect of alkali activation, *Cem. Concr. Compos.* 53: 105–114.
- RAJABIPOUR, F., MARAGHECHI, H., FISCHER, G. (2010). Investigating the Alkali-Silica Reaction of Recycled Glass Aggregates in Concrete Materials, *J. Mat. Civil Eng.* 22: 1201–1208.
- SKIBSTED, J., SNELLINGS, R. (2019). Reactivity of supplementary cementitious materials (SCMs) in cement blends, *Cem. Concr. Res.* 124: 105799.

Soluciones Sostenibles con Zahorra y Hormigón Reciclado para Vías de Baja Intensidad

García, Aldiné⁽¹⁾; Agrela, Sainz Francisco⁽²⁾; Cabrera Manuel⁽³⁾

(1) – Master Tecnologías avanzadas de materiales para construcción sostenible, universidad de Córdoba

(2) Departamento de Ingeniería Rural, Universidad de Córdoba, 14071, Córdoba, España

(3) Dpto. Mecánica, Universidad de Córdoba, España

aldinegarcia88@gmail.com García, fagrela@uco.es (F. Agrela), manuel.cabrera@uco.es (M. Cabrera)

Resumen

El uso de materiales reciclados en la construcción de infraestructuras viales es crucial para promover la sostenibilidad y reducir el impacto ambiental. Este estudio investiga la aplicación de zahorra reciclada mixta y hormigón de residuos de construcción y demolición (RCD) en la fabricación de soluciones para vías de baja intensidad de tráfico. Se analizaron las propiedades físicas y mecánicas de estos materiales, evaluando su idoneidad y rendimiento comparado con materiales tradicionales. Los resultados mostraron que tanto la zahorra reciclada como el hormigón de RCD cumplen con los estándares de resistencia y durabilidad requeridos para este tipo de vías. Además, se observó una reducción significativa en el coste y en la huella de carbono de las obras realizadas con estos materiales reciclados. Este estudio concluye que la utilización de zahorra y hormigón reciclado de RCD es una alternativa viable y sostenible para la construcción de vías de baja intensidad de tráfico.

Palabras clave: RCD, zahorra mixta, zahorra de hormigón, morteros, procesamiento de materiales.

I. Introducción

El documento proporciona una visión amplia de la industria de la construcción, centrándose en el uso de áridos reciclados y su impacto en el sector. A pesar de los desafíos, como la escasez de suministros y el aumento de precios, la industria de la construcción ha experimentado un crecimiento constante en todas las regiones en 2021. Se destaca la importancia de integrar áridos reciclados en el sector de la construcción, con iniciativas como la Ley de Residuos y la participación de la Asociación Española de Gestores de Residuos de Construcción y Demolición (GERD). También se menciona el papel de las empresas en la gestión y tratamiento de residuos, con un enfoque en la economía circular y la sostenibilidad. Se detallan los procesos de producción y las propiedades de los áridos reciclados, así como su aplicación en la construcción de carreteras y en la elaboración de hormigón reciclado. Además, se presentan los objetivos del estudio, que incluyen el análisis exhaustivo de las propiedades de los áridos reciclados y la elaboración de hormigón con un alto grado de sustitución de áridos naturales. El documento también destaca la importancia de las certificaciones de calidad y gestión de residuos en las empresas proveedoras de áridos naturales y reciclados. En resumen, el documento proporciona una visión integral de la gestión de residuos en la industria de la construcción, destacando la relevancia de los áridos reciclados y su impacto en la economía circular y la sostenibilidad.

II. Materiales

Se describe la procedencia de los áridos que se utilizaron para para realizar las amasadas de este estudio, detallando la función de las empresas que proporcionaron dichos materiales, para posteriormente hacer los ensayos tanto físicos como químicos, mostrando los resultados de resistencias del hormigón a base de áridos naturales y reciclados.

III. Métodos experimentales aplicados al material suelto (Caracterización) y resultados

En este apartado se procede a describir el procedimiento utilizado para determinar las propiedades físicas de los áridos, referenciando las normativas UNE-EN correspondientes, por las cuales se rigen dichos procedimientos.

IV. Resultados

Tabla 1. Resumen de resultados de ensayos de caracterización de áridos naturales y reciclados

Ensayos	Grava	Gravilla	Arena	Zahorra de hormigón	Zahorra Mixta
Granulometría (%)	31,5				99,28
	25	100,00		99,37	95,74
	20	97,29		98,47	89,37
	16	65,58	100,00	93,17	80,66
	12	19,08	97,90		69,52
	10	2,28	76,45		59,89
	8	0,48	43,56		52,96
	6,3	0,25	19,96	99,80	45,90
	5	0,23	6,55	98,86	40,27
	4		2,25	95,99	35,05
	2		0,94	87,54	26,50
	1			79,47	19,98
	0,5			66,35	15,03
	0,25			54,80	10,29
	0,125			47,31	7,67
	0,063			42,05	6,39
Composición (%)	Rc+Ru+Ra			97,48	71,99
	Rc+Ru			97,23	71,43
	Rc			82,19	55,55
	Ra			0,25	0,56
	Rb			2,52	27,70
	X			0,00	0,31
Densidad (g/cm ³)	2,663	2,662	2,675		
Absorción (%)	0,67	0,84	0,58		
Equivalente de arena (%)				80,00	59,00
Los Ángeles (%)				31,68	37,90

Tabla 2. Dosificación de amasada por 1 m³ de cemento.

DOSIFICACIÓN KG/M3														
AMASADAS	ARENA 0-5	GRAVILLA 4-12	GRAVILLA 10-20	ZAHORRA MIXTA	ZAHORRA HORMIGÓN	GRAVA MIXTA 10/32	CEMENTO	AGUA DE AMASADO	AGUA DE ABSORCIÓN	FIBRA BLANCA	FIBRA NEGRA	ADITIVO CENTRAMEN	ADITIVO SP SIKAVISCOCRETE	TOTAL DE ADITIVOS
1) H Control F	900	470	680			340	340	146		600g	4 Kg	2		2
2) H Control SF	900	470	680			340	340	146				2		2
3) H 41 GM 34 GN F	900	300	350			450	340	146	25	600g	5 Kg	2	1,260504202	3,2605042
4) H 23 2H F	700	338,4	489,6	450			350	150	25	600g	6 Kg	2	1,004081633	3,00408163
5) H 23 2MF	700	340	490		460		350	146	19,32	600g	7 Kg	2	1,004081633	3,00408163

V. Conclusiones

El uso de áridos reciclados en hormigones reduce la extracción de recursos naturales y mejora la gestión de residuos, siendo viable con adecuado tratamiento y control. Aunque existen diferencias en propiedades físicas y mecánicas entre áridos de hormigón y mixtos, ambos cumplen con normativas y presentan buena resistencia a compresión. Son aptos para hormigones estructurales y no estructurales, pese a la necesidad de controlar las variaciones dimensionales. La investigación continúa para alcanzar el reemplazo total de los agregados naturales.

Referencias

- “GUÍA ESPAÑOLA DE ÁRIDOS RECICLADOS PROCEDENTES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD).” Accessed: Jul. 05, 2023. [Online]. https://www.btbab.com/wp-content/uploads/documentos/legislacion/Guia_Gerd_2012.pdf.
- AENOR. *Asociación española de Normalización y Certificación.*,” <https://www.aenor.com/conocenos>.
- GECORSA. *GESTIÓN DE RESIDUOS Y ÁRIDOS RECICLADOS.*” <https://www.gecorsa.es/> (accessed Aug. 02, 2023).
- Jorge de Brito y Francisco Agrela, *New Trends in Eco-efficient and Recycled Concrete.* 2019. Accessed: Aug. 22, 2023. [Online].

Numerical modelling of Cross-Laminated Timber (CLT) structures for buildings

Gato Carrión, Martín ⁽¹⁾; Olmos Noguera, José Manuel ⁽²⁾

(1) Departamento de Ingeniería Minera y Civil, Universidad Politécnica de Cartagena, martin.gato@edu.upct.es

(2) Departamento de Ingeniería Minera y Civil, Universidad Politécnica de Cartagena, josemanuel.olmos@upct.es

Abstract

Currently, difficulties are encountered in implementing modelling in structures with two dimension timber elements. Based on the structure of a building constructed with conventional materials (reinforced concrete), the use of concrete has been replaced by cross-laminated timber (clt) panels that provide the necessary load-bearing capacity. By creating the model for this communication, it is understood that this type of structure must have a prior conceptual design that adapts to the typology, which would improve the interior distribution and the adequate transmission of loads in the vertical plane. In addition, there is a clear importance on the joints and their stiffness between panels and with the foundation. As a result, this research shows the possibility of successfully modelling the structure, and allows parametric analysis of its design and behaviour. Consequently, opening the door to incorporate a reliable calculation methodology for this type of material.

Keywords: CLT; Sofistik; timber; sustainable construction; seismic design.

I. Introduction

Nowadays, construction is one of the most natural resources consuming sectors. The use of sustainable materials is therefore of substantial importance. The study carried out develops the calculation and design using CLT (Cross-Laminated Timber) elements, of a building typology for administrative use, which has a ground floor and three upper floors. The CLT element is composed in its structure of wooden strips in different layers, with a minimum of three, the different layers are oriented in perpendicular directions, achieving a resistant behaviour in the different directions. This building typology has gained great importance in recent decades, also materializing in combination with conventional materials such as concrete to reach up to eighty-four meters in height in Vienna with the HoHo tower.

II. Methods

For the generation of the model, the Sofistik program has been used as a fundamental tool (Software for static and design [Sofistik], 2024), which allows the creation of laminated materials to which the properties of wood are applied according to (WALLNER-NOVAK et al., 2014). In addition, to provide greater design flexibility, glulam (GLT) columns and beams have been incorporated. The crucial part for this study has been the application of modified stiffnesses along the joint edges between CLT panels, with the values shown by (MOHAMMAD et al., 2019). The chosen means of connection, and one of the most common in this type of material, is the screw, which allows a certain flexibility of joints. The software used allows the joint to be modelled and reproduced with simplicity by applying the stiffness linearly on edges.

The structure is located in the town of Cluj Napoca, in Romania, where there is a peak acceleration of the ground of $PGA = 0.1 \text{ g}$ as a reference of the earthquake level. In this way, and to check the response to seismic action, two models of identical geometry have been generated: one with semi-rigid joints, and the other with absolute rigidity between panels. The program used simulates the earthquake by means of spectral modal analysis, divided into a modal analysis part, and secondly, by means of the response spectrum (invariable for the different vibration modes), the seismic accelerations for the different modes are calculated. If these accelerations are multiplied by the mobilized mass in each vibration mode, seismic loads can be obtained.

III. Results and discussion

As highlighted in the previous section, results have been generated on maximum stresses in the structure for the earthquake hypothesis and different stiffnesses. The results compared are the stresses on the ground; for the vertical panels of the ground floor the axial stresses (N_x and N_y), as well as the shear in the plane of the panel, N_{xy} (being the most significant stress the axial vertical, N_x); and for the horizontal panels of the first floor, the moment M_x due to bending, and its associated shear stress, V_x . All are shown in Table. 1 below, with negative values for compression and positive values for traction. A generalized increase in stresses in the vertical panels is clearly shown, increasing by 3.65

times the maximum value when the joints are stiffened. Due to this substantial increase, the forces have been redistributed by slightly unloading the slab of the first floor.

	Semi-rigid joints	Absolutly rigid joints	-	Semi-rigid joints	Absolutly rigid joints	+
	Vertical panels of the ground floor			Vertical panels of the ground floor		
Nx (kN/m)	-330.51	-741.9	-224%	52.34	191.11	365%
Ny (kN/m)	-68.95	-123.1	-179%	52.02	127.51	245%
Nxy (kN/m)	-48.08	-70.89	-147%	48.79	115.18	236%
	Horizontal panels of the ground floor			Horizontal panels of the ground floor		
Mx (kN·m/m)	-21.48	-24.82	-116%	9.02	6.75	75%
Vx (kN/m)	-20.78	-20.53	-99%	22.27	20.18	91%
	Ground					
σ_{ground} (kN/m ²)	-79.22	-79.47	-100%			

Table 1. Comparison of the maximum stresses results.

Another aspect to compare are the frequencies of the main vibration mode (the lowest frequency) with its graphical output (Fig 1a) and their representation in the response spectrum (Fig 1b). While by the modal analysis method a main frequency of 2.57 Hz has been found with semi-rigid joints, in the case of rigid joints it rises to 2.7 Hz. If it is represented in the spectrum (Fig. 1b), it can be seen that the seismic action has not increased, since the acceleration, $S_D(T)/g$, remains constant.

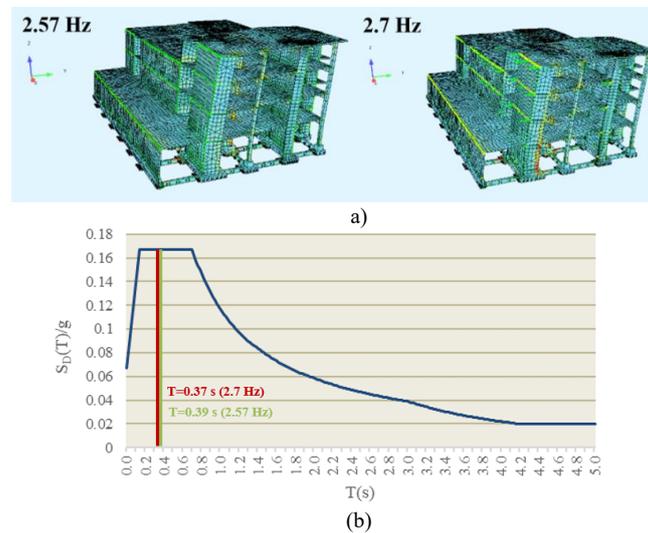


Figure 1. Comparison of the main vibration modes applying various edge stiffnesses. a) Graphical representation of the main vibration modes of the structure for different stiffnesses. b) Response spectrum with the associated periods for different structure stiffnesses

IV. Conclusions

Although the seismic action remains the same, the forces increase significantly in vertical panels, forcing design with more resistant sections, which contravenes environmental and sustainable design goals by requiring a greater amount of material. For this reason, the great importance of properly considering the joints of the panels is highlighted, which lays the basis for the subsequent design results. Also, in this particular case, the main mode of vibration is located in the horizontal part of the spectrum. However, for a different structure with a lower stiffness, i.e., a longer period in its main mode of vibration could show an increase in seismic action ($S_D(T)/g$), if the period were in the negative slope part of the spectrum. It is also considered to mention the great help to the modelling using Sofistik software, allowing the application of stiffness in lines. Since, although there are programs that also allow it such as Dlubal, others would need a discretized addition, such as SAP2000.

References

- MOHAMMAD, M.; NI, C.; MUÑOZ, W. (2019). Connections in cross-laminated timber buildings. En: E. KARACABEYLI & S. GAGNON (Ed.), *Canadian CLT Handbook – Volume 1*. (pp. 219-298). Pointe-Claire: FPIinnovations.
- Software for statics and design (2024) Sofistik 2023. <https://www.sofistik.com/en/>
- WALLNER-NOVAK, M.; KOPPELHUBER, J.; POCK, K. (2014). *Cross-Laminated Timber Structural Design. Basic design and Engineering principles according to Eurocode*. Viena: pro:Holz.

Evaluación de la idoneidad de materias primas y/o subproductos de la industria para activación alcalina

Gómez, Melina Gabriela ⁽¹⁾; Alrawashdeh, Anas ⁽²⁾; Cuenca-Moyano, Gloria María ⁽²⁾; Zamorano, Montserrat ⁽³⁾; Martín Morales, María ⁽²⁾

(1) ETSI Canales, Caminos y Puertos, Universidad de Granada, melinagg@correo.ugr.es

(2) Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Granada, gloriacuenca@ugr.es

(3) Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Granada, zamorano@ugr.es

Resumen

Los sistemas de activación alcalina para la producción de materiales conglomerantes constituyen una alternativa viable y prometedora para la recuperación de residuos o subproductos de diferentes industrias que pueden presentar características de activador, por su alta alcalinidad, o de precursor, por su contenido en sílice y alúmina. En este trabajo, subproductos de diferentes industrias han sido caracterizados química, mineralógica y físicamente, así como su acidez para evaluar su posibilidad de ser utilizados en activación alcalina como precursores o activadores. Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que química y mineralógicamente los materiales son aptos, pero requerirían de materiales secundarios y acondicionamientos físicos previos para conseguir un alto grado de geopolimerización.

Palabras clave: Activación alcalina; Subproductos; Residuos; Economía circular

I. Introducción

La factibilidad de revalorización de residuos y/o subproductos de la industria en sistemas de activación alcalina ya ha sido comprobada. El proceso de geopolimerización implica la reacción química de óxidos de aluminosilicatos (precursor) con polisilicatos alcalinos (activador) a temperaturas inferiores a 100°C (Provis, 2018). El material precursor debe ser principalmente reactivo, para esto debe presentar una fase mayoritaria amorfa, estar compuesto principalmente de sílice y alúmina y una granulometría de tamaño medio de entre 25 y 32 μm (Wongsa et al., 2020) que asegure una superficie específica lo suficientemente grande. El precursor debe diluirse en una solución altamente alcalina, por lo que materiales que arrojen valores de pH mayores a 11 serán elegibles para activación alcalina. Incorporar residuos o subproductos en nuevos sistemas productivos da lugar a la regionalización de los procesos, adaptando el proceso a los materiales disponibles.

El presente trabajo tiene como objetivo conocer la viabilidad de residuos o subproductos provenientes de diferentes industrias para ser usados como activadores alcalinos y/o precursores para la activación alcalina mediante la caracterización química, física y mineralógica de cada uno de ellos.

II. Materiales y Métodos

Los materiales a caracterizar se presentan en la Tabla 1. Constituyen una serie de residuos y/o subproductos de diferentes industrias de España.

Residuo de Vidrio 1 (RV1)	Lodos Silicatados (LS)	Ferimet Celsa (FC)	Cenizas Kronospan (CK)	Residuo de Vidrio 2 (RV2)	Finos Funosa (FF)	Ladrillo Molido (LM)
						

Luego de la revisión bibliográfica, se realizaron los ensayos de caracterización química con fluorescencia de rayos X (XRF), análisis mineralógico mediante difracción de rayos X (XRD), análisis granulométrico mediante norma UNE-EN 933-1:2012 (AENOR, 2012) y medición de acidez usando escala de pH para cada una de las muestras recibidas.

III. Resultados y discusión

A continuación, se muestran los resultados de acuerdo a los análisis desarrollados.

III.1 Composición química, mineralógica y nivel de acidez

Tabla 2: Composición química de óxidos (% por peso) de las muestras.

Muestra	RV1 (%)	LS (%)	FC (%)	CK (%)	RV2 (%)	FF (%)	LM (%)
SiO ₂	64,10	44,31	15,82	45,21	63,81	47,59	50,94
Al ₂ O ₃	1,63	14,82	5,77	10,17	1,16	15,47	17,98
Fe ₂ O ₃	0,39	3,95	28,71	4,77	0,20	3,64	5,95
CaO	10,52	3,65	18,24	21,00	10,10	2,86	14,37
DRX	Sílice cristalina	Sílice cristalina	Calcita/Sílice cristalina	Calcita/ Sílice cristalina	Sílice cristalina	Sílice cristalina	Cuarzo/Sílice cristalina/amorfa .
pH	13	6	6	13	12	6	7

III.2 Granulometría

Tabla 3: tamaños máximos, medios y mínimos de cada muestra.

Muestra	RV1 (µm)	LS (µm)	FC (%µm)	CK (µm)	RV2 (µm)	FF (µm)	LM (µm)
D90	91	401	1774	469	80	447	425
D50	-	102	564	227	-	92	125
D10	-	-	81	68	-	-	-

Los resultados del análisis químico indican que todas las muestras presentan alto contenido de SiO₂ a excepción de FC. Los contenidos de Al₂O₃ siguieron en contenido para todas las muestras a excepción de RV1, RV2 y FC. Esto indica que, LS, CK, FF y LM, de acuerdo a su composición química podrían usarse como precursores directamente. RV1, RV2 y FC requerirían una combinación con otro precursor con alto contenido de alúmina, tal como metacaolín o escorias de alto horno. En relación a la mineralogía, todos presentan sílice cristalina con mayores o menores contenidos de calcita o hierro, por tanto, un tratamiento mecánico (Li et al., 2019) o térmico (Chen et al., 2020) debería ser aplicado al residuo para lograr así una geopolimerización completa. En relación a los niveles de pH, tanto RV1, RV2 como CK presentaron altos valores de acidez por lo que se entiende que también estos materiales son factibles de incorporarse como solución alcalina, incluso en polvo, en sistemas “one part” (Lee & Van Deventer, 2002). Respecto a la granulometría, en la Tabla 3 puede verse que sólo FC y CK presentaron una granulometría completa. La ausencia de tamaños mínimos (D10) o tamaños medios (D50) en la mayoría de los casos son propias del material.

IV. Conclusiones

El presente trabajo aporta un primer conocimiento para la incorporación de residuos en activación alcalina, determinando su factibilidad *a priori*. La totalidad de los materiales son factibles de ser incorporados en sistemas de activación alcalina. El acondicionamiento previo a nivel termal y mecánico son determinantes para lograr una mayor fase amorfa y superficie específica correcta respectivamente. Cada uno de estos materiales presenta sus propias características químicas y físicas por lo que el activador/precursor apropiado y las condiciones de curado para cada una de ellas debe ser estudiada en futuras investigaciones.

Referencias

- LEE, W.K.; VAN DEVENTER J.S. (2002). Structural reorganization of class F fly ash in alkaline silicate solutions. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*. 211: 49 – 66.
- PROVIS, J. (2018). Alkali-activated materials. *Cement and Concrete Research*. 114: 40-48.
- PROVIS, Jhon_L.; VAN DEVENTER, Jannie_SJ (2013). *Alkali activated materials: state-of-the-art report*. Australia: Springer.
- WONGSA, A. ET AL. (2020). Natural fiber reinforced high calcium fly ash geopolymer mortar. *Construction and Building Materials*. 241: 118-143.
- LI, Y. ET AL. (2019). Preparation of red mud-based geopolymer materials from MSWI fly ash and red mud by mechanical activation. *Waste Management*. 83: 202-208.
- CHEN, B. ET AL (2020). Thermal treatment on MSWI bottom ash for the utilization in alkali activated materials. *KnE Engineering*. 5: 25-35.

Aplicación de filler de concha de mejillón en mezclas bituminosas y materiales base cemento

Ibañez, Yaky (1, *); Ágrela, Francisco (2); Díaz, José Luis (2); Marcobal, José Ramón (3)

(1) Máster tecnologías avanzadas de materiales para construcción sostenible. Universidad de Córdoba, España.

(2) Departamento ingeniería rural construcciones civiles y proyectos de ingeniería, Universidad de Córdoba

(3) Departamento Ingeniería del Transporte Universidad Politécnica de Madrid

(*) Correo: z32ibhuy@uco.es

Resumen

El crecimiento de la acuicultura para el 2030 representará el 62% de la población global de recursos marinos, pero esta gran demanda comprende desechos sólidos y componentes disueltos que genera impactos perjudiciales al medio ambiente como eutrofización, toxicidad química y seguridad alimentaria (FAO,2022). El contenido principal de la concha de molusco de manera específica en la concha de mejillón es carbonato cálcico en más del 80%, teniendo algún otro componente con lo cual, si se procesa para conseguir una granulometría pulverulenta tipo filler, podría ser aplicado tanto en materiales base cemento como en mezclas asfálticas sostenibles. Por ello, en esta investigación se pretende profundizar en el conocimiento del uso de las conchas de mejillón como filler en mezclas bituminosas en frío y materiales base cemento, morteros y hormigones, analizando su comportamiento en función al tamaño de partícula y porcentaje de reemplazo. De esta forma, se busca abrir nuevas oportunidades del uso del mejillón en el sector de la construcción, buscando cerrar su ciclo de vida mejorando la sostenibilidad con el medio ambiente.

Palabras clave: Filler de concha mejillón; Mezclas asfálticas en frío; Morteros; Hormigones; Sostenibilidad.

I. Introducción

Investigadores de diferentes campos de la ciencia, están explorando las formas de aliviar la contaminación causada por el residuo de las conchas marinas. Estas se pueden utilizar en la fabricación de artesanía, alimentos, medicina, catalizadores, agricultura y ganadería (Hadiyanto et al., 2016), materiales biológicos (Zhang et al., 2017), compuestos para el tratamiento de aguas residuales (Pu et al., 2019) debido a sus únicas características de carbonato de calcio.

II. Objetivos

El presente trabajo fin de máster tiene la finalidad de investigar los cambios de rendimiento resultantes al incorporar filler de mejillón traído desde Galicia en materiales base cemento y microaglomerados en frío.

III. Metodología

Se prepararon dos morteros reemplazando parcialmente el 25% de arena convencional y cemento por filler de mejillón. Para hormigones y microaglomerados en frío se hizo una sustitución parcial en 50% y total al 100% del filler convencional por filler de mejillón. Este filler es obtenido mediante el método de cizallamiento por una trituradora de esferas de alta velocidad. La composición química del polvo de mejillón se observó mediante una prueba de fluorescencia, el análisis de la fase física se realizó mediante una prueba de difracción de rayos X. Las propiedades mecánicas sobre la resistencia, durabilidad y comportamiento estructural en morteros y hormigones se analizaron mediante pruebas de flexión, compresión, módulo de elasticidad, flexotracción y retracción a 2, 7, 14 y 28 días. El efecto del filler de mejillón sobre el ligante bituminoso se estudió utilizando el ensayo cántabro evaluando así sus propiedades mecánicas y desempeño ante la resistencia y deformación.

IV. Resultados

Para morteros y hormigones indican: el aumento de la porosidad en las muestras de filler con mejillón afecta las propiedades mecánicas, ya que disminuye en un 20% la resistencia a compresión y un 25% la flexión. En su reemplazo de arena mantiene su resistencia base hasta en un 80%, en cambio como filler los valores solo llegan al 50% de la resistencia de la muestra patrón. Esto se debe a que el filler de mejillón tiene una elevada absorción de agua 111% mayor que la arena natural, añadiendo agua extra para compensar la capacidad de absorción en el amasado, por ello, la distribución heterogénea del agua podría haber debilitado la adherencia de pasta con las partículas. Para hormigones, se obtiene dando resultados favorables con una resistencia a la compresión de 16 y 15 Mpa para adoquines de hormigón convencional y adoquines con residuo de concha, respectivamente, confirmando una viabilidad de valorización de estos residuos como sustituto en la composición del hormigón (Nguyen et al., 2017). Así mismo, para la Universidad de Piura, Perú, (Varhen et al., 2017), evaluó el impacto de usar vieira como reemplazo del árido fino en 5%, 20%, 40% y 60%, utilizando diferentes relaciones de agua cemento de 0.75, 0.55, 0.45, 0.41. Donde se rescató que los niveles de reemplazo dependen de la relación a/c utilizada, a medida que aumenta a relación a/c, se puede utilizar un nivel menor de reemplazo sin afectar las propiedades del hormigón, especialmente las propiedades trabajabilidad en estado fresco. Para mezclas asfálticas el filler de mejillón y el aglutinante asfáltico representan una mezcla física estable, mejorando la consistencia, la dureza y rendimiento. Así mismo, tiene buena resistencia al daño por agua que la muestra patrón.

IV. Discusión

Para todas las probetas fabricadas, ya sea como árido o filler, el reemplazo de mejillón genera una protección pasiva contra la resistencia, haciéndolo un residuo viable para construcciones de uso no estructural. Por otro lado, Peceño en 2017, demuestra que el uso de polvo de mejillón cumple con los estándares mínimos para material como barrera acústica y protección pasiva contra el fuego, por ello, las zonas marítimas que cuenten con este residuo, se abre una viabilidad técnica para su uso en construcción.

Safi et al. estudia el uso de conchas como agregado fino mediante la sustitución del (0%, 10%, 20%, 50% y 100%) de arena en morteros autocompactantes, evaluando sus propiedades frescas y endurecidas. Los resultados obtenidos muestran una fluidez de 210mm, en los morteros que contienen 100% de concha triturada, el cual es un valor aceptable para un mortero sin vibraciones, estable y sin segregación. Así mismo, la resistencia a compresión cuenta con una disminución del 12% en comparación al mortero de referencia, lo cual lo hace apto para la construcción.

En el mundo de los hormigones, las investigaciones sobre el uso de conchas marinas como reemplazo parcial tanto del cemento como de los áridos. Sugieren que, al igual que la piedra caliza, los desechos de conchas marinas podrían ser un material inerte debido al alto contenido de óxido de calcio. Según la revisión (Mo et al., 2018), menciona que las conchas marinas podrían utilizarse como agregado parcial en un nivel de reemplazo de hasta el 20% para lograr una trabajabilidad y resistencia adecuadas del concreto para fines no estructurales.

Su uso como filler en mezclas bituminosas en frío para caminos rurales, es una gran oportunidad de reducir hasta el 100% de la capacidad de los botaderos costeros, ayudando a la sostenibilidad con el medio ambiente.

VI. Conclusión

Desde un punto de vista técnico, se muestra que el uso de filler de mejillón se puede aplicar como filler en diferentes productos de construcción, manteniendo hasta en un 70% la resistencia a compresión de la muestra con materiales convencionales, por ello, es una alternativa viable para usos no estructurales. Sin embargo, se debe analizar que este residuo es económicamente viable para zonas que cuenten con los botaderos locales, como es la parte marítima de España, para así reducir el impacto ambiental.

Referencias

- El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. (2022). In *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461es>
- Hadiyanto, H., Lestari, S. P., Abdullah, A., Widayat, W., & Sutanto, H. (2016). The development of fly ash-supported CaO derived from mollusk shell of *Anadara granosa* and *Paphia undulata* as heterogeneous CaO catalyst in biodiesel synthesis. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 7(3), 297–305. <https://doi.org/10.1007/s40095-016-0212-6>
- Mo, K. H., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., Lee, S. C., Goh, W. I., & Yuen, C. W. (2018). Recycling of seashell waste in concrete: A review. In *Construction and Building Materials* (Vol. 162). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.009>
- Nguyen, D. H., Boutouil, M., Sebaibi, N., Baraud, F., & Leleyter, L. (2017). Durability of pervious concrete using crushed seashells. *Construction and Building Materials*, 135, 137–150. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.219>
- Peceño, B. (2021). Reciclado de residuos de conchas procedentes de la industria acuícola en distintos materiales de construcción: evaluación técnica y ambiental como árido en barreras acústicas y como producto para la protección pasiva contra el fuego. Universidad de Sevilla.
- Pu, L., Xie, Y., Qiu, W., & Li, L. (2019). Thermoplastic foaming mechanism and Pb²⁺ adsorption of poly(vinyl alcohol)/shell powder porous composite. *Polymer Composites*, 40(12), 4658–4668. <https://doi.org/10.1002/pc.25333>
- Safi, B., Saidi, M., Daoui, A., Bellal, A., Mecekak, A., & Toumi, K. (2015). The use of seashells as a fine aggregate (by sand substitution) in self-compacting mortar (SCM). *Construction and Building Materials*, 78, 430–438. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.01.009>
- Varhen, C., Carrillo, S., & Ruiz, G. (2017). Experimental investigation of Peruvian scallop used as fine aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.067>
- Zhang, G., Brion, A., Willemin, A. S., Piet, M. H., Moby, V., Bianchi, A., Mainard, D., Galois, L., Gillet, P., & Rousseau, M. (2017). Nacre, a natural, multi-use, and timely biomaterial for bone graft substitution. In *Journal of Biomedical Materials Research - Part A* (Vol. 105, Issue 2, pp. 662–671). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1002/jbm.a.35939>

Viabilidad de uso de escorias de biomasa activadas alcalinamente para fabricación de morteros

Lozano, Belén ⁽¹⁾; Leena, Ahmed ⁽¹⁾; Rosales M ⁽¹⁾; Rosales Julia ^{(1)*}; Manuel Cabrera ⁽²⁾

⁽¹⁾ Ingeniería de la Construcción, Universidad de Córdoba

* irosales@uco.es

⁽²⁾ Mecánica de los Medios Continuos y Teoría de Estructuras, Universidad de Córdoba, * manuel.cabrera@uco.es

Resumen:

Es de gran interés la reutilización de subproductos industriales. Actualmente, la generación de cenizas de biomasa de olivo procedentes de la combustión de biomasa se acopia en grandes cantidades en España y especialmente en Andalucía, sin tener una viabilidad de uso.

El objetivo principal de este trabajo es sustituir materiales convencionales en morteros, como cemento y áridos, por cenizas de biomasa de olivo, mejorando sus propiedades mediante activación alcalina y promoviendo la gestión sostenible de residuos industriales. En primer lugar, se estudiaron las propiedades físico-químicas de cada uno de los residuos, para posteriormente realizar un estudio de la posibilidad de aplicación de cada residuo en dos fases. Una primera fase, consistió en utilizar las cenizas de fondo de biomasa en sustitución de arena natural o cemento para la fabricación de morteros.

La segunda fase consistió en activar alcalinamente las cenizas de fondo de biomasa, utilizando como activador el hidróxido de sodio y fabricando una pasta activada sin cemento para utilizarla posteriormente en la fabricación de morteros con el objetivo que de aprovechar este residuo y convertirlas como sustitución del cemento Portland.

Los resultados obtenidos indicaron que, dependiendo de las mezclas y tratamientos aplicados, las cenizas de biomasa de olivo pueden ser una alternativa viable y sostenible a los materiales convencionales en la construcción.

Palabras clave: Escorias de biomasa, activación alcalina, morteros, economía circular, sostenibilidad.

I. Introducción

El aumento de la población plantea desafíos globales en la gestión de "residuos", que deberían considerarse "recursos" para fomentar la economía circular y reducir desechos (Zacho et al., 2018). No es ideal enviar demasiados materiales orgánicos a vertederos, ya que producen metano (Encinar & González, 2008) . Además, la demanda de compuestos cementosos aumenta debido a su uso en construcción (Makul et al., 2021). Esta investigación busca sustituir parcialmente la arena y el cemento en la fabricación de mortero, usando escorias de biomasa, lo que también reduciría las emisiones de CO₂. La activación alcalina se presenta como una solución, ya que puede transformar las cenizas de biomasa en aglutinantes (Ossoli et al., 2023), utilizables en la producción de materiales de construcción sostenibles y funcionales, y convertirlas en una alternativa al cemento Portland o como sustitutas de los áridos naturales (Arafa et al., 2021).

II. Metodología

Se realizaron diversas dosificaciones para la fabricación de morteros, sustituyendo la arena y el cemento por escorias de biomasa, con reemplazos del 25% y el 50%. Además, se prepararon dosificaciones de referencia para contrastar los resultados. Asimismo, se estudiaron diferentes mezclas alcalinas, incluyendo una con un 50% de escorias de biomasa de olivo y un 50% de escoria de alto horno, y otra con un 30% de escorias de biomasa de olivo, un 10% de humo de sílice y un 60% de escoria de alto horno. Se fabricaron diversas probetas y se sometieron a ensayos mecánicos de compresión simple y flexión para estudiar su resistencia.

II.1 Materiales

- Escoria de Biomasa Olivo procedente de Puente Genil (bba-ol). – Arena estandarizada. – CEM I 42,5. – CEM II/B-L 32,5. – Humo de sílice (HS). - Escorias de Alto Horno (EHA). – Hidróxido de sodio 8M.

II.2 Morteros

Para estudiar la viabilidad de las escorias de biomasa de olivo, se llevaron a cabo diversos métodos experimentales, sustituyendo parcialmente la arena y el cemento en la fabricación de morteros. Durante el estudio, se prepararon varias mezclas y se moldearon probetas prismáticas de 40 mm x 40 mm x 160 mm. Estas probetas se sometieron a ensayos mecánicos de flexión y compresión, siguiendo la normativa UNE-EN 196-1, en intervalos de 2, 14 y 28 días para evaluar su resistencia.

II.3 Activación alcalina

Se utilizó un sistema de activación alcalina para procesar escoria de biomasa de olivo, humo de sílice y escoria de alto horno, empleando hidróxido de sodio como agente activador. Estos materiales se combinaron y se moldearon en probetas. Las probetas se sometieron a pruebas de resistencia a los 7 y 28 días para evaluar su resistencia mecánica.

III. Resultados y discusión

La tabla 1 muestra los resultados obtenidos a flexión y compresión de las mezclas objeto de estudio a 28 días de curado.

Tabla 2: Resultados resistencia mecánica flexión y compresión a 28 días de curado de diferentes mezclas

Mezcla a 28 días		Flexión (Mpa.)		Compresión (Mpa.)	
Control		5.9		30.39	
25% arena bba ol (cem II)		4.88		20.46	
50% arena bba ol (cem II)		3.81		11.26	
25% cemento bba ol (cem I)		7.03		32.76	
Mezcla Activadas a 28 días		Flexión (Mpa.)		Compresión (Mpa.)	
		Curado T ^a . Ambiente	Curado a 60 ^a C	Curado T ^a . Ambiente	Curado a 60 ^a C
50% bba-ol + 50% EHA		1.002	7.655	8.375	14.25
30% bba-ol + 10% HS + 60 EHA		9.505	7.327	23.75	21.5

En los morteros, al sustituir la arena por bba se observó una disminución en la resistencia a compresión 28 días. Con una sustitución del 25%, la pérdida fue del 41.6%, y con una sustitución del 50%, la resistencia disminuyó un 66%. Por otro lado, al sustituir el cemento, las resistencias obtenidas son comparables a las del grupo de control, lo que sugiere una posible viabilidad de uso.

Se observó que las pastas activadas alcalinamente mostraron mejores resultados cuando fueron curados durante las 24 primeras horas en estufa a 60° C. Las pastas activadas alcalinamente con diferentes procesos de curado mostraron una mejora de las propiedades al curar las primeras 24h cuando se combinó con EHA, sin embargo, el uso de HS y EHA conllevó a resistencias más elevadas sin ser necesario el curado en estufa.

IV. Conclusiones

Este trabajo evalúa el uso de cenizas de fondo de biomasa de olivo como sustituto del cemento y arena en la fabricación de morteros de cemento, así como la viabilidad de realizar mezclas alcalinas para disminuir en la medida de lo posible el uso de cemento.

Se obtuvieron las siguientes conclusiones específicas:

- En morteros la sustitución del 25% y 50% bba-ol por arena provocó un empeoramiento del comportamiento mecánico.
- En morteros la sustitución del 25% bba-ol por cemento aporta resistencias iguales o superiores que un cemento portland común.
- La activación alcalina con aditivos específicos y el curado adecuado puede mejorar significativamente las propiedades mecánicas de los morteros con bba, ofreciendo una alternativa viable y sostenible al uso de cemento Portland.

Por lo tanto, se demuestra que la aplicación del bba como sustituto del cemento en la producción de morteros es factible mediante tratamientos de trituración, así como la activación alcalina.

Referencias:

- Zacho, K. O., Mosgaard, M., & Riisgaard, H. (2018). Capturing uncaptured values—A Danish case study on municipal preparation for reuse and recycling of waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 297-305.
- Encinar, J. M., & González, J. F. (2008). Pyrolysis of synthetic polymers and plastic wastes. Kinetic study. *Fuel processing technology*, 89(7), 678-686.
- Makul, N., Fediuk, R., Amran, M., Zeyad, A. M., de Azevedo, A. R. G., Klyuev, S., ... & Karelina, M. (2021). Capacity to develop recycled aggregate concrete in South East Asia. *Buildings*, 11(6), 234.
- Ossoli, E., Volpintesta, F., Stabile, P., Reggiani, A., Santulli, C., & Paris, E. (2023). Upcycling of composite materials waste into geopolymer-based mortars for applications in the building sector. *Materials Letters*, 333, 133625.
- Arafa, S., Milad, A., Yusoff, N. I. M., Al-Ansari, N., & Yaseen, Z. M. (2021). Investigation into the permeability and strength of pervious geopolymer concrete containing coated biomass aggregate material. *Journal of materials research and technology*, 15, 2075-2087.

Etiquetas medioambientales como criterio en la adjudicación de los Contratos Públicos

Marcos Martínez, Eduardo ⁽¹⁾

(1) *Doctorando en Diritto Giurpublicisti in la Università degli Studi de Roma Tor Vergata (Roma2).
eduardo.marcosmartinez@students.uniroma2.eu*

Resumen

En la actualidad, es esencial considerar el ambiente en el razonamiento jurídico. La legislación ambiental es transversal, afectando diversas áreas sociales y económicas. En la contratación pública, la integración de políticas ambientales ha sido lenta debido a la resistencia legislativa y la tensión entre el interés público y la libre competencia.

Sistemas de evaluación ambiental, como la Evaluación del Ciclo de Vida (LCA) y los certificados de huella de carbono, son cruciales y están normados por ISO 14044:2006 e ISO 14067:2019. Estos sistemas verifican el cumplimiento de criterios ambientales en procesos productivos. La Unión Europea fomenta la contratación sostenible, integrando consideraciones ambientales para promover el desarrollo sostenible. Sin embargo, la implementación enfrenta resistencia y restricciones legales que limitan la incorporación de criterios ambientales en la adjudicación de contratos públicos. Para alinear la contratación pública con políticas ambientales, es esencial que la administración pública incorpore cláusulas ambientales y promueva la sostenibilidad, garantizando así el desarrollo sostenible.

Este trabajo aboga por la inclusión como criterio independiente, de etiquetas ambientales como criterio de adjudicación ante la resistencia ambiental, por parte de sectores tanto, públicos como privados.

Palabras clave: Adjudicación, etiqueta ambiental, objeto contrato, Administración Pública

I. Etiquetas medioambientales como criterio en la adjudicación de Contratos Públicos,

El ambiente produce efectos pluridimensionales, debido a ello, nace su estrecha relación con la esfera personal del ciudadano, quien ostenta un Derecho a un medioambiente: *The human right to a clean, healthy and sustainable environment* (ONU, A/RES/76/300). Sí, en cambio, se conviene relevar, una cualidad que, a nuestro juicio, caracteriza a la legislación del medioambiente: la transversalidad.

Es cierto que, en el ámbito de contratación pública, la incorporación específica de políticas ambientales, se ha visto demorado, debido a una resistencia del legislador a declararse a favor de legislaciones “verdes”. Entre otras múltiples razones, evidenciamos una tensión entre, servicio al interés público, y el principio de libre concurrencia (POLICE et al, 2022). El legislador se encuentra, por tanto, en la necesidad de poner equilibrar principios y derechos, a ocasiones, contrapuestos o distantes, para la consecución del interés general.

Junto al nacimiento de la conciencia ambiental, el Mercado junto a las Instituciones Públicas, han venido desarrollando diferentes sistemas o criterios de evaluación ambiental, cuyo fin último, es garantizar la tutela del ambiente mediante el control de los procesos productivos y de desarrollo técnico, por ejemplo, nos encontramos como criterio, el denominado: Evaluación del Ciclo de Vida (LCA), y junto a este, coexisten certificados para evaluar la huella de carbono.

En el primer método, el procedimiento consiste en la verificación por parte de una entidad oficial o acreditada, examinar, de manera objetiva, un producto o servicio desde, la adquisición de materias primas a los procesos de procesado, distribución, uso y fin de vida, mediante la aplicación de una metodología (en virtud a la normativa ISO 14044:2006), por la cual, tras un examen particular del sujeto pasivo, se emitirá un certificado que la empresa cumple con todos los requisitos. En materia de cálculo y reducción de huella de carbono, el procedimiento es similar, pero el objeto es, la verificación de la cantidad total de emisiones de gases de efecto invernadero, que se generan en cada una de las fases de vida del producto (UNE-EN ISO 14067:2019).

Por tanto, habiendo mencionado lo anterior, la cuestión que se plantea es la siguiente: de qué manera se interrelaciona los certificados verdes con la contratación pública (en aplicación la Ley de Contratos del Sector Públicos LSCP), o, dicho de otra forma, guarda relación alguna que, una empresa, ¿adquiera los certificados para poder acceder a una eventual contratación pública?

Necesario advertir, para responder a la cuestión anteriormente planteada que, la contratación pública, no puede concebirse como una mera herramienta de aprovisionamiento de los poderes públicos (GALLEGO,2017), sino más bien, podemos razonar en términos instrumentales, es decir, instrumentalizar el poder de contratación de la Administración, hacia un estímulo con carácter ambiental, innovativo, el cual, fomente el tejido empresarial desde una visión de sostenibilidad social y ambiental.

En línea con el pensamiento verde, la Unión Europea legisla hacia una contratación sostenible, cuya *ratio* viene plasmada en la Directiva 2014/24/UE, de 26 de febrero, sobre contratación pública, cuando declara: *el artículo 11 del Tratado de Funcionamiento de la Unión europea (TFUE), requiere que las exigencias de la protección del medio ambiente se integren en la definición y en la realización de las políticas y acciones de la Unión, en particular con objeto de fomentar un desarrollo sostenible*. La presente Directiva clarifica de qué modo pueden contribuir los poderes adjudicadores a la protección del medio ambiente y al fomento del desarrollo sostenible, garantizando al mismo tiempo la posibilidad de obtener para sus contratos la mejor relación calidad precio.

Pues bien, el cumplimiento de la legislación ambiental, no puede ser entendida como una cláusula del tipo residual, sino más bien, como mecanismo de aplicación efectiva al mandato ambiental. El mecanismo de implantación, viene desarrollado por artículos de estratégico valor, como la incorporación de consideraciones ambientales como aspecto positivo en los procedimientos de contratación pública (ex.art.28.2 LSCP), o la imposición del objeto y tipo de contrato, junto a una consideración del tipo evaluativa de consideraciones ambientales (ex.art.35.1 LSCP).

Pero no ha sido pacífica esta implementación, ya que, el Tribunal Administrativo Central de Recursos Contractuales se postulaba contrario a la integración de certificados como criterios de adjudicación de los contratos públicos, razonando en términos restrictivos, en tanto cuanto, los certificados eran meros modos de acreditación de la solvencia técnica de las empresas, negando repetidamente la viabilidad de integrar esta clase de certificados como criterios de adjudicación de los contratos públicos. (Tribunal de Cuentas, Informe núm. 1066, de 20 de diciembre de 2014). En línea evolutiva, la jurisprudencia ha cambiado hacia la postura que, uno de los requisitos que ha de cumplir, cualquier criterio de adjudicación para resultar válido, es su vinculación con el objeto del contrato (ex.art.1.3 LCSP), pero esta interpretación auténtica a nuestro juicio, resulta restrictiva, en tanto que, no permite implementar definitivamente, por parte de la Administración Pública, la incorporación de cláusulas ambientales como criterio de adjudicación. (Resolución n.º 786/2019).

Conviene remarcar el sentido europeo, es decir, la Contratación Pública Verde (CPV), cuya naturaleza es instrumental, en concreto: *una herramienta importante para alcanzar los objetivos de política ambiental relacionados con el cambio climático, la utilización de recursos y el consumo y producción sostenible, especialmente dada la importancia de los gastos del sector público europeo en la adquisición de bienes, obras y servicios.* (LIBRO VERDE, COMISIÓN EUROPEA).

El Estado y los poderes públicos, tienen el deber, de acuerdo con el artículo 38 CE, de llevar a cabo una planificación económica como instrumento para asegurar la absoluta puesta en marcha del Estado social y democrático de Derecho también en este ámbito de la economía (GARCÍA LOZANO, 2018).

Habiendo superado el criterio de precio bajo como único parámetro en la evaluación de las ofertas, una visión verde, permitiría a la Administración Pública de nuestro Estado, acercarse a las políticas ambientales de la Unión, junto a la consecución de los fines e intereses públicos, que, en la actualidad, se revela, el ambiente.

En virtud de lo anterior, y realizando una interpretación instrumental de la contratación pública, podemos concluir que, a nuestro juicio, es necesario, la incorporación de cláusulas ambientales en los procedimientos de licitación, en tanto cuanto el ambiente es, tanto un criterio de carácter estratégico a nivel nacional como supranacional, y un Derecho. Tutelar el ambiente es responsabilidad de la Administración Pública, la cual se debe desenvolver como actor principal en la promoción, fomento e implementación de políticas verdes.

Referencias.

- «BOE» núm. 30, de 4 de febrero de 2019. Orden PCI/86/2019, de 31 de enero, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 7 de diciembre de 2018, por el que se aprueba el Plan de Contratación Pública Ecológica de la Administración General del Estado, sus organismos autónomos y las entidades gestoras de la Seguridad Social (2018-2025); «BOE» núm. 121, Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética; «BOE» núm. 142, Ley 9/2022, de 14 de junio, de Calidad de la Arquitectura.
- «DOUE» núm. 83, de 30 de marzo de 2010. Versiones consolidadas del Tratado de la Unión Europea y del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea
- GALLEGO CÓRCOLES, I. (2017). La integración de cláusulas sociales, ambientales y de innovación en la contratación pública, *Documentación Administrativa: Nueva Época*, n.º. 4, pp. 92-113.
- GARCÍA LOZANO, L. M. (2018). *Manual, regulación de los sectores de la economía: la participación de las administraciones públicas en la economía.* Iuris Universal.
- ISO 14044:2006. Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines
- Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014. «BOE» núm. 272.
- Libro Verde sobre contratación pública.
- POLICE, A. (2022). Beni culturali, beni paesaggistici e tutela dell'ambiente. F. Gaetano Scoca; C. Cacciavillani... [et al.]. *Diritto Amministrativo* (pp 591- 606). Giappichelli.
- ONU, A/RES/76/300. The human right to a clean, healthy and sustainable environment: resolution adopted by the General Assembly.
- Tribunal Administrativo Central. Resolución n.º 786/2019.
- Tribunal de Cuentas. Informe número 1066, de 20 de diciembre de 2014.
- UNE-EN ISO 14067:2019. Gases de efecto invernadero. Huella de carbono de productos. Requisitos y directrices para la cuantificación. (ISO 14067:2018).

Development of hydraulic binder road formulations from biomass bottom ash and recycled filler for application in soil stabilization

Alruzi, Mohammad⁽¹⁾; Agrela, Francisco⁽¹⁾; Díaz-López, José Luis⁽¹⁾

(1) Rural engineering department, University, of Córdoba, 14071, Córdoba, Spain
z32momor@uco.es; fagrela@uco.es; jl.diaz@uco.es ;

Abstract

In order to reduce cement dependence in road construction, biomass bottom ash and recycled filler materials were used as components of new sustainable hydraulic road binder (HRB) formulations for soil stabilization. These renewable resources reduce our reliance on conventional and non-renewable resources by manufacturing economical and environmentally beneficial binders.

In this work, four types of HRB are manufactured, applying 15% and 25% biomass bottom ash and recycled filler, and their suitability is evaluated by determining their simple compressive strength.

Once the mechanical properties of the HRB were validated, different mixtures of stabilized soil were made, evaluating the properties of compaction, plasticity and swelling.

The results obtained indicated that the application of recycled materials for the design of new sustainable cement-based materials can improve the properties of soils, promoting a model of circular economy and sustainability.

Keywords: Biomass bottom ash, Recycled filler; Hydraulic Road binder; Waste management

I. Introduction

The construction manufacture is seeking sustainable alternatives to classic materials to reduce environmental effect and elevate resource efficiency (Firoozi et al., 2017). Hydraulic binders, fundamental in road pavement, have historically relied on non-renewable resources like cement and lime, which are significant contributors to carbon emissions. (Waciński et al., 2024).

II. Objective

to upgrade eco-friendly hydraulic binder formulations by using biomass bottom ash and recycled filler for road pavements. The methods applied contain material characterization, mix design optimization, performance estimation, and environmental impact assessment, all aimed at improving mechanical properties and sustainability. Successful implementation will support sustainable construction practices and headings issues related to waste management and resource depletion (Wang et al., 2021; Singh et al., 2024).

III. Methodology and Materials

The soil sample used in this process of study were composed from the Rabanales land scape, ensuring a consistent and representative sample for all tests. The collected soil, referred to as SR (Soil Rabanales), was prepared by air-drying, grinding, and screening through a 2 mm, 6.3mm and 0.42 mesh to obtain a uniform sample for subsequent testing.

Cement Types and Dosage

- CEMENT typeII /42.5 / A-L: This high-strength cement is known for its quick setting and high earlier strength development.
- CEMENT II /32.5 B-L: This moderate-strength cement offers a slower setting time and lower early strength compared to the first type.

Table 1. Composition of HRB

Name of HRB	HRB Components (%)			
	CLINKER	FILLER	RF	BBA
HRB RF	61.5	13.5	25	0
HRB BBA-OL	61.5	13.5	0	25

The study explored two dosages of hydraulic road binders as it is shown in table 1. The formulations included different proportions of recycled filler (RF) and biomass bottom ash (BBA-OL) from olive biomass combustion in the Puente Genil Power Plant. The soil was mixed with the new sustainable HRB in different percentages to evaluate the improvements in geotechnical properties. the mixtures were as follows:

- SR + 2% HRB-RF: Soil Rabanales with 2% hydraulic road binder incorporating recycled filler.
- SR + 3% HRB-RF: Soil Rabanales with 3% hydraulic road binder incorporating recycled filler.
- SR + 2% HRB-BBA-OL: Soil Rabanales with 2% hydraulic road binder incorporating biomass bottom ash.

- SR + 3% HRB-BBA-OL: Soil Rabanales with 3% hydraulic road binder incorporating biomass bottom ash.

IV. Result and Discussion

Before assessing improvements of geotechnical properties of soils, it is necessary to analyse the strength properties of HRB. For this purpose, table 2 shows the results of unconfined compressive strength (U.C.S) results at 7 and 28 days for mortars made with 1350 g of standard sand, 450 g of HRB and 225 g of water (according to EN 196-1). According to the results shown in table 2 the HRB are of strength class E3 (EN 13282-1), sufficient for soil stabilisation tasks.

Table 2. Unconfined Compressive Strength (MPa) of Hydraulic Road Binders (HRB)

	7 d U.C. S	28 d U.C. S
HRB RF	17.63	24.56
HRB BBA-OL	16.51	23.54

The Atterberg limits tests showed in table 3 that adding RF and BBA-OL improving the plasticity characteristics of the soil-cement mixtures. The lowering in the plasticity index (PI) marked better workability and stability, which are important for road pavement applications. Modified Proctor compaction tests determined the optimal moisture content (OMC) and maximum dry density (MDD) for binder formulation. The results displayed those mixtures with higher HRB content in demand slightly more water for most favorable compaction. All mixtures carried out effective compaction, essential for the structural integrity of road pavements.

Table 3. Atterberg Limits and Proctor Test Results

Denomination	Limits atterberg			Modified Proctor compaction	
	Liquid limits	Plastic limits	Plastic index	Optimum Moisture content (%)	Maximum Dry Density (ton/m ³)
SR+3% CEM II B/L 32.5	23.486	22.509	0.977	11.0	1.871
SR + 2% HRB-RF	23.645	21.935	1.710	12.5	1.875
SR + 3% HRB-RF	16.946	14.375	2.571	12.6	1.852
SR + 2% HRB-BBA-OL	24.550	21.718	2.832	12.0	1.902
SR + 3% HRB-BBA-OL	23.497	21.922	1.575	11.3	1.805

V. Conclusion

The study developed hydraulic binder formulations using biomass bottom ash (BBA-OL) and recycled filler (RF) with soil from the Rabanales area (SR) for road pavement. These formulations showed improved plasticity, effective compaction. The findings highlight the potential of these eco-friendly binders as sustainable alternatives to conventional materials, promoting better waste management and resource conservative.

VI. References

- Firoozi, Ali Akbar, et al. "Fundamentals of soil stabilization." *International Journal of Geo-Engineering* 8 (2017): 1-16.
- Singh, Surender, Abhishek Kumar, and T. G. Sitharam. "Experimental study on strength, durability, hydraulic and toxicity characteristics of soil treated with mine tailings based geopolymers for sustainable road subgrade application." *Construction and Building Materials* 414 (2024): 134894.
- Waciński, Witold, et al. "Recycling of Industrial Waste as Soil Binding Additives—Effects on Soil Mechanical and Hydraulic Properties during Its Stabilisation before Road Construction." *Materials* 17.9 (2024): 2000.
- Wang, Sheng-Lin, and Hassan Baaj. "Treatment of weak subgrade materials with cement and hydraulic road binder (HRB)." *Road Materials and Pavement Design* 22.8 (2021): 1756-1779.

o rmigón con árido reciclado mixto y cemento ternario con polvo de ceniza de fondo de biomasa y polvo de árido reciclado mixto. Experiencia a escala real

Moreno Sánchez, Santiago ⁽¹⁾; Rosales García, Manuel ⁽¹⁾; Cabrera Montenegro, Manuel ⁽²⁾; Agrela Sainz, Francisco ⁽¹⁾; Rosales García, Julia ⁽¹⁾

(1) Departamento de Ingeniería Rural, Universidad de Córdoba, 14071, Córdoba, España

(2) Departamento o de Mecánica, Universidad de Córdoba, 14071, Córdoba, España

q12mosas@uco.es (S. Moreno), mrosales@uco.es (M. Rosales), manuel.cabrera@uco.es (M. Cabrera), ir1agsaf@uco.es (F. Agrela), jrosales@uco.es (J. Rosales)

Resumen

Actualmente la sostenibilidad y la gestión responsable de los recursos naturales son prioritarias, para ello es fundamental aprovechar los residuos generados por diversas industrias como recurso para otro uso. En este caso, los residuos generados de la quema de biomasa, y de construcción y demolición, tienen el potencial de convertirse en recursos valiosos para el sector de la construcción. Con el objetivo de desarrollar, implementar, validar y probar a escala piloto un hormigón fabricado con alto porcentaje de estos residuos, se realizaron diversos estudios de caracterización físico-química a los residuos elegidos, tratamiento físico para aumentar su capacidad puzolánica, así como pruebas de las capacidades puzolánicas obtenidas con estos nuevos materiales. Se fabricó un hormigón con 50% de sustitución de árido y un cemento ternario con un 16% de aplicación de polvo de ceniza de fondo de biomasa (p-CFB) y polvo de árido reciclado mixto (p-ARM). Se obtuvieron resultados satisfactorios de resistencia mecánica a escala laboratorio lo que permitió su puesta en práctica a escala real en una losa de hormigón, la cual fue realizada sobre un suelo estabilizado con HRB que contenía un 15% de p-CFB.

Palabras clave: Cenizas de fondo de biomasa, residuos de construcción y demolición, aplicación a escala real, valorización de residuos.

I. Introducción

En el contexto actual, la sostenibilidad y la gestión responsable de los recursos naturales se han convertido en prioridades fundamentales, la reutilización de residuos y subproductos de la industria ha pasado de ser interesante a ser necesario. En este sentido la utilización en hormigones de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición, así como nuevos productos reciclados sustitutorios del cemento son muy significativos. (Agrela et al., 2018; Thomas et al., 2016)

La aplicación en laboratorio de altos porcentajes de sustitución de áridos naturales por áridos reciclados es conocida (Lopez-Uceda et al., 2018), sin embargo, en esta investigación se combina el uso de este tipo de áridos en conjunto con cementos eco-híbridos capaces de reducir también el uso de Clinker y aplicando estos hormigones a escala real. El objetivo principal de esta investigación es proponer un paquete de firme completo con materiales reciclados mediante la estabilización de suelo con HRB fabricado con un 15% de p-CFB y bajo contenido en Clinker y un hormigón de pavimento con cemento ternario fabricado con 8% filler de p-ARM y 8% de p-CFB y alta tasa de árido reciclado mixto (50%) resultando en un paquete de firme con altas tasas de aplicación de residuos.

II. Materiales y Métodos

En el presente trabajo se utilizaron dos tipos cemento: CEM II/A-L (42,5 R) y CEM IV/A (V) (42,5 R), así como dos tipos de materiales sustitutorios del cemento: p-ARM y p-CFB. Se usaron también áridos naturales en tres fracciones granulométricas diferentes y árido reciclado mixto (ARM). En cuanto al uso de aditivos se utilizaron dos tipos de plastificantes, ambos de la firma MAPEI. Además, con el fin de reducir la cantidad de materiales utilizados, se eliminó la presencia de un armazón de acero, sustituyendo este por una combinación de fibras sintéticas como la fibra estructural MPH FIBER P-36 y la fibra Sikafiber M-12 para evitar la retracción del hormigón.

Tabla 4. Dosificaciones de hormigones reciclados (kg/m³)

	AG 12/24 mm	AG 4/12 mm	Arena 0/4 mm	ARM 0/24 mm	ARM 10/32 mm	p- CFB	p- ARM	CE M	Agua	Agua abso.	Fibra	Adit.
HA-25 CONTROL	925	350	625	0	0	0	0	285	165,3	0	3.6	4,25
HA-25+ARM(50%)	883,87	292,9	65,52	364,12	548,26	0	0	310	179,8	54,74	3.6	3,85
HM-20-p-CFB+p-ARM(16%)	925	350	625	0	0	20	20	260	174	0	3.6	4,85
HM-20-p-CFBA+p-ARM(16%) +ARM(50%)	883,87	292,9	65,52	364,12	548,26	20	20	260	174	54,74	3.6	4,25

II.1 Dosificaciones

Se aplicaron dos HRB para estabilizar el suelo, HRB-Control y HRB con 15% de p-CFB (HRBXp-CFB), adicionalmente se fabricaron 4 tipos de hormigones según la dosificación que se muestra en la tabla 1.

II.2 Programa Experimental y Puesta en Obra

Las fases de la investigación se muestran en el siguiente esquema:



III. Resultados y Discusión

Utilizando como referencia la norma EN 12390-5:2020 se realizaron ensayos de resistencia a la flexión y a la compresión de los diferentes hormigones fabricados (tabla 2).

Dado que la aplicación experimental es muy reciente, aun no se han obtenido resultados a largo plazo, aunque los resultados de laboratorio ya arrojan resultados favorables a 1 y 7 días. Analizando los datos disponibles, cabe destacar que a pesar de que las condiciones ambientales de humedad y temperatura son muy variables en la aplicación en obra y se mantuvieron controladas en laboratorio, los resultados no han variado de manera significativa.

Tabla 5. Resistencia a la flexión y a la compresión del hormigón reciclado fabricado en laboratorio (izquierda) y a escala real (derecha).

Resistencias Mecánicas (MPa)	1 Día		7 Día		Resistencias Mecánicas (MPa)	1 Día		7 Día	
	Comp.	Comp.	Comp.	Flex		Comp.	Comp.	Flex.	
A -25 CONTROL	11,3	35,5	4,5		A -25 CONTROL	13,34	21,52	4,53	
A -25+ARM(50%)	10,1	26,9	4,15		A -25+MRA(50%)	11,03	23,67	4,11	
M -20-p-CFB+p-ARM(16%)	7,4	21,5	3,1		M -20-BBA+MRA(16%)	9,71	23,1	3,02	
M -20-p-CFBA+p-ARM(16%) +ARM(50%)	9,1	16,3	2,57		M -20-BBA+MRA(16%) +MRA(50%)	8,54	14,7	1,96	

IV. Conclusiones

Debido a la reciente ejecución del tramo experimental los resultados son muy prematuros, aunque los resultados de laboratorio indican unos buenos resultados en cuanto a la resistencia a la compresión y a la flexión. Si bien las resistencias, tanto con cemento eco-híbrido como con sustitución de árido reciclado, no alcanzan las resistencias del control sí que son similares. Tanto la adecuación del terreno como la estabilización del tramo fueron satisfactorias, así como la puesta en obra del hormigón.

Referencias

- Agrela, F., Beltran, M. G., Cabrera, M., López, M., Rosales, J., & Ayuso, J. (2018). Properties of recycled concrete manufacturing with all-in recycled aggregates and processed biomass bottom ash. *Waste and biomass valorization*, 9, 1247-1259.
- Lopez-Uceda, A., Agrela, F., Cabrera, M., Ayuso, J., & López, M. (2018). Mechanical performance of roller compacted concrete with recycled concrete aggregates. *Road Materials and Pavement Design*, 19(1), 36-55.
- Moreno, S., Rosales, M., Rosales, J., Agrela, F., & Díaz-López, J. L. (2024). Feasibility of Using New Sustainable Mineral Additions for the Manufacture of Eco-Cements. *Materials*, 17(4), 777.
- Thomas, C., Setién, J., Polanco, J. A., Alaejos, P., & Sánchez de Juan, M. (2016). Durability of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 40, 1054-1065.

Valorization of glass fiber waste as a precursor in alkali-activated systems cured at room temperature – influence of SiO₂/Na₂O molar ratio

Tashima, Mauro M.; Soriano, Lourdes; Giménez, Ester; Monzó, José; Borrachero, María Victoria; Payá, Jordi*
 Giquima—Research Group of Building Materials Chemistry, Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón ICITECH, Universitat Politècnica de València, Valencia, Spain

* Corresponding author: jjpaya@cst.upv.es

Abstract

In the last years, several studies have been reported the valorization of waste materials in the production of alkali-activated systems. In most cases, a thermal curing condition is mandatory. This study aims to assess the mechanical and microstructural properties of alkali-activated systems, based on glass fiber waste, cured at room temperature. The compressive strength development and microstructural properties of alkali-activated systems were evaluated based on the SiO₂/Na₂O molar ratio (0.29-0.88) and curing time (up to 360 days).d. The results showed an effective compressive strength development at room temperature, achieving ~100 MPa after 360 curing days for specific mixtures. Moreover, a dense and compact microstructure was formed, and minor crystalline phases, such as Na-P1 and sodalite, could be detected in XRD patterns.

Keywords: waste materials, alkali-activated binders, mechanical and microstructural properties, room temperature.

I. Introduction

Alkali-activated systems emerge as an exciting solution due to the possibility of using agro-industrial waste materials both as precursors and in the production of alkaline activating solutions. Nevertheless, the lack of studies reporting the behaviour of this alternative binder in long-term use and the great variability on the physical and chemical properties of waste materials, mainly derived from agricultural activity, are the main difficulties found for its extended use. Among the industrial wastes, some authors reported the use of steel slags, ceramic wastes and glass wastes in alkali-activated systems. Zhu et al. (2024) assessed the viability of producing low-carbon concrete using alkali-activated waste glass achieving the optimum compressive strength of 91 MPa after 3 curing days at 75 °C with a curing humidity of 35%. Tashima et al. (2012) reported the first use of the vitreous calcium aluminosilicate (VCAS), waste material from the glass fiber manufacturing, as the precursor in alkali-activated system. The results showed an enhanced performance for mortars activated with sodium hydroxide with respect to potassium hydroxide, achieving 77 MPa and 70 MPa, respectively, after 3 days at 65 °C. Tashima et al. (2013) also assessed the viability of using VCAS as a precursor in alkali-activated systems cured at room temperature. Mortars containing a H₂O/Na₂O molar ratio of 11.11 and SiO₂/Na₂O molar ratio of 0.58 were prepared and cured at room temperature. The compressive strength values achieved, after 90 curing days (79 MPa), were similar to those obtained for mortars cured during 3 days at 65 °C.

Taking into account the exposed, this study aims to assess the influence of SiO₂/Na₂O molar ratio (varying from 0.29 to 0.88) with a fixed molar ratio H₂O/Na₂O = 11.11 in alkali-activated systems based on VCAS cured at room temperature. In the paper, it is assessed the mechanical and microstructural developments through different techniques such as TGA, XRD, SEM and compressive strength.

II. Experimental

The vitreous calcium aluminosilicate (VCAS) is a white powder in amorphous state, waste material generated in the glass fiber industry. The VCAS chemical composition is based on mainly 57.90% SiO₂, 12.92% Al₂O₃, 23.51% CaO. Sodium hydroxide with 95% purity and waterglass (8% Na₂O, 28% SiO₂ and 64% H₂O) were combined to produce the alkaline activating solutions. Pastes and mortars were produced using a fixed molar ratio H₂O/Na₂O = 11.11 and SiO₂/Na₂O molar ratios varying in a wide range (0.88, 0.73, 0.58, 0.44, and 0.29) with a mass water/precursor ratio of 0.45. For mortars, a siliceous sand with a specific gravity of 2.68 g.cm⁻³ and fineness modulus of 4.1 (UNE-EN 196-1) was used in a proportion of 1:3 (binder:sand mass ratio). Mechanical strength and microstructural (TGA, SEM, XRD) properties were performed up to 360 curing days.

III. Results and Discussion

In the XRD analysis, it was identified the formation of zeolitic structures such as Na-P1 and sodalite since 28 curing days. In the same way, there was the deviation of the XRD baseline, indicating the formation of amorphous structures such as NASH and CASH gels. After 360 curing days, through SEM, it can be observed some partially reacted VCAS particles embedded in a dense-compact microstructure (Figure 1a). In the TGA curves, it was possible to detect increments on the total mass loss for the different SiO₂/Na₂O molar ratios, which are related to the effective formation of NASH and CASH gels.

All assessed mortars present compressive strength values over than 20 MPa after 28 curing days (Figure 1b). The increment on soluble silica in this initial stage contributes on the enhancement of compressive strength, yielding 43.3 MPa for the mixture prepared with $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O} = 0.88$ molar ratio. In general, the compressive strength results show an effective development achieving values higher than 100 MPa for mixtures with 0.58 and 0.44 $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ molar ratios after 360 curing days. It represents an increment higher than 300% respect to the respective values obtained after 28 curing days.

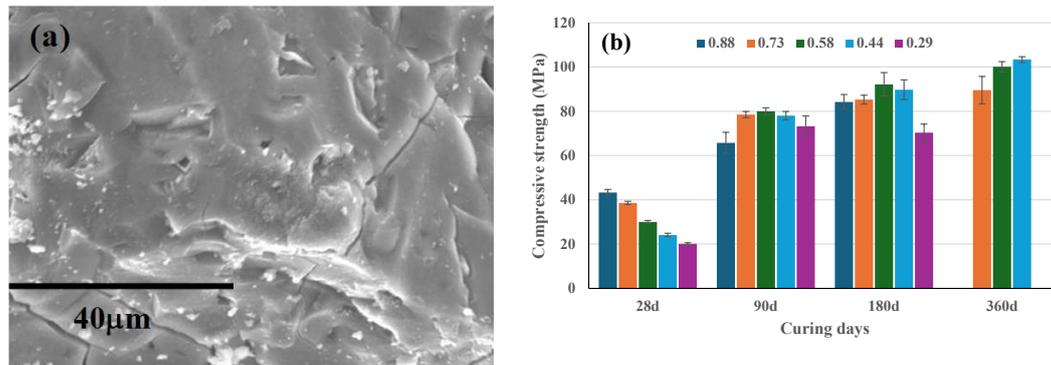


Figure 1. (a) SEM micrograph of 0.44 paste after 360 days; (b) Compressive strength development of alkali-activated mortars based on VCAS with different $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ molar ratios (from 0.88 to 0.29).

Table 1. Total mass loss (from TGA curves) for alkali-activated pastes based on VCAS cured at room temperature for 28, 90 and 360 days.

$\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$	28d	90d	360d
0.88	16.16	18.2	17.33
0.73	15.83	17.58	17.17
0.58	16.00	18.53	18.25
0.44	15.38	18.23	17.66
0.29	15.68	17.36	15.79

IV. Conclusions

This study showed the viability of using VCAS as the precursor in the production of alkali-activated systems cured at room temperature. An effective compressive strength development occurred, yielding values close to 100 MPa after 360 curing days. Moreover, a dense-compact microstructure was formed containing unreacted VCAS particles and amorphous phase with NASH and CASH gels.

V. References

- Zhu, W. et al. (2024). Alkali-activated waste glass as an alternative cement for preparation of potential low carbon concrete. *Ceramics International* 50: 26997-27005.
- Tashima, M.M. et al. (2012). Alkali activation of vitreous calcium aluminosilicate derived from glass fiber waste. *Journal of Sustainable Cement-based Materials* 1(3): 83-93.
- Tashima, M.M. et al. (2013). Novel geopolymeric material cured at room temperature. *Advances in Applied Ceramics* 112(4): 179-183.

Reciclaje de fibras textiles en la Construcción: Estudio de viabilidad de su incorporación en morteros de revestimiento

Polonio-Broock, Lorenzo ⁽¹⁾; Serrano-Jiménez, Antonio ⁽²⁾; Valverde-Palacios, Ignacio ⁽³⁾

(1) Departamento Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Granada, lorenzopolonio@correo.ugr.es

(2) Departamento Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Granada, serranojimenez@ugr.es

(3) Departamento Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Granada, nachoval@ugr.es

Resumen

La Industria Textil es una de las más contaminantes del planeta, siendo la gestión de sus residuos un reto medioambiental prioritario. Esta investigación pretende conectar dicha industria con la Construcción para valorar la posibilidad de emplear textiles reutilizados en morteros de albañilería. El trabajo presenta el diseño, fabricación y caracterización de los morteros de cemento con fibras de poliéster, algodón o acrílico, distinguiendo dos escenarios, añadir textil o sustituir por un porcentaje de cemento. La originalidad en los resultados de los ensayos se centra en comparar el comportamiento de cada familia textil e identificar hallazgos potenciales que supongan ventajas en las propiedades de morteros para revestimiento, favoreciendo su uso en sustitución de mallas de refuerzo. Las implicaciones respecto al tipo de rotura y su comportamiento a flexión arrojan conclusiones favorables, especialmente en las fibras de poliéster, generando un impulso para su reciclaje y el desarrollo de nuevas líneas de investigación.

Palabras clave: Fibras textiles, mortero de cemento, revestimientos continuos, reutilización, estudio de viabilidad técnica.

I. Introducción

La sociedad demanda elementos de construcción más sostenibles, por lo que es esencial encontrar materiales que sean amigables con el medio ambiente y reduzcan los costes de construcción. La industria textil, según Naciones Unidas, es la segunda más contaminante del planeta, produciendo el 10% de las emisiones de dióxido de carbono y el 20% de las aguas residuales [1]. En Europa se desechan 9 millones de toneladas de ropa usada al año, y solo el 10% se reutiliza [2]. La Unión Europea busca alcanzar la neutralidad climática para 2050 mediante el "Pacto Verde", que incluye medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 55% para 2030[3]. Dado que los morteros son ampliamente utilizados en la Construcción y rehabilitación de edificios, se considera útil estudiar las características de los morteros de cemento con adición de fibras textiles para hacerlos más sostenibles. Esta investigación tiene como objetivo principal realizar un estudio de la viabilidad de la utilización de materiales textiles reciclados para reducir el porcentaje de cemento necesario en la Construcción, con aplicación en morteros de cemento para revestimientos, cuya combinación permita decidir dosificaciones específicas para obtener un material trabajable, que incorpore implicaciones positivas en su comportamiento a flexión y que mejore la fragilidad en morteros de cemento para revestir.

II. Metodología

El estudio se organiza según el esquema de la Figura 1, distinguiendo tres familias textiles en la fabricación de probetas, así como realizando dos escenarios distintos de sustitución o adición de fibras al 1, 2 e incluso un intento al 3% del peso del cemento, de modo que tanto en su fabricación como en los ensayos facilitaran información suficiente para entender el comportamiento de estos materiales reciclados en los morteros y puedan ser la base para futuras investigaciones.

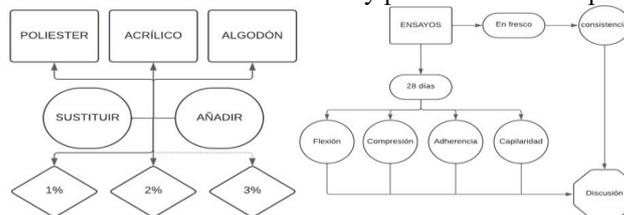


Figura 1. Esquema metodológico seguido para el diseño de la fabricación y el plan de ensayos.

Se emplean 3 familias de fibras textiles de acrílico, poliéster y algodón, cortadas a 2 centímetros de longitud (Figura 2). Esta longitud se ha determinado según el aporte de unas características de armadura favoreciendo a la resistencia a tracción del componente, estando las mismas adheridas al cemento como para que puedan trabajar como elementos de cohesión ante la rotura, pero que a su vez no provocase enredos entre sí en la fabricación para ayudar a conseguir una mezcla homogénea. Una vez preparadas, se ha diseñado un proceso de fabricación de probetas de mortero de cemento para evaluar su consistencia, resistencia a flexión y compresión, capilaridad y adherencia, con el fin de determinar qué características cumple el material y a qué procesos constructivos podría aportar beneficios, descartando aquellos en los que sus prestaciones no sean adecuadas.



Figure 2. Fibras de acrílico, poliéster y algodón recicladas y cortadas para ser incorporadas en probetas de mortero de cemento.

III. Resultados

Los resultados de fabricación y control de las probetas han demostrado que la consistencia de todos los morteros con adición de fibras disminuye su fluidez debido a la absorción del agua por parte del textil, lo que indica que es relevante el ajuste en la dosificación de agua en función del porcentaje de textil añadido para conseguir una trabajabilidad correcta, o la utilización de aditivos fluidificantes, sin que modifique notoriamente sus capacidades mecánicas.

Los ensayos a compresión muestran unos valores superiores a otros morteros de albañilería siendo el poliéster a 2% con añadido el que mayor resistencia soporta, $30,21\text{N/mm}^2$ seguido del acrílico con una resistencia muy similar de $30,11\text{N/mm}^2$ y finalmente el algodón con una caída significativa de la resistencia llegando a soportar $12,37\text{N/mm}^2$.

Respecto a los ensayos de las probetas a flexión a 28 días, habiendo realizado una sustitución de fibras textiles por cantidad de cemento, se ha comprobado una pequeña disminución de resistencia con respecto a la probeta de referencia que presentaba una resistencia máxima de $2,27\text{N/mm}^2$. El acrílico es la fibra que mejor resultado presenta, con una resistencia de $2,01\text{N/mm}^2$, seguida del poliéster ($1,92\text{N/mm}^2$), siendo más desfavorable el algodón con un valor de $1,57\text{N/mm}^2$; todas ellas con una sustitución del 2% de cemento.

Estos ensayos a flexión han demostrado también un buen comportamiento en la incorporación de textiles en lo que se refiere al tipo de deformación y rotura de estos, especialmente en el poliéster. Como se puede observar en la Figura 3, las fibras aportan cierta ductilidad generando una resistencia residual con comportamiento plástico, cuestión remarcable a la hora de utilizarlo en distintos ámbitos constructivos y en morteros de revestimiento sometidos a esfuerzos de flexión.

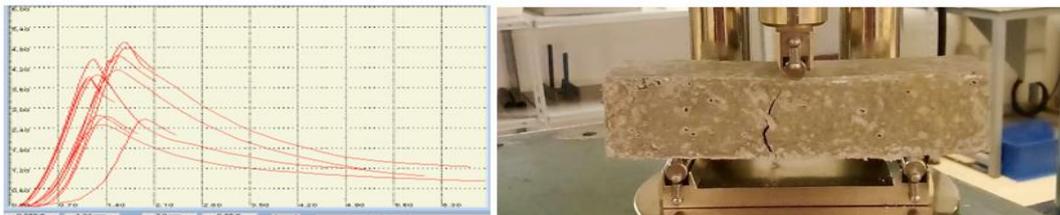


Figure 3. Alargamiento tras rotura de la probeta y capacidad de retención debida a la incorporación de textiles.

En cuanto a la adherencia cabe destacar el poliéster que obtiene una resistencia de $0,32\text{N/mm}^2$ y el acrílico $0,29\text{N/mm}^2$ en el ensayo de tracción directa sobre ladrillo. El alcance de los resultados supone, según la fabricación y los ensayos desarrollados, generar un modo de reciclaje en la Construcción con materiales que producen toneladas de desechos anuales, investigando las propiedades que estos pueden aportar a elementos constructivos y reduciendo el uso de cemento, promoviendo un posible ahorro en materiales de construcción, como mallas de refuerzo, y generando beneficios para esta industria.

IV. Conclusiones

Los ensayos a flexión realizados, con cada familia de textil sustituyendo un 2% del contenido de cemento, han demostrado que el poliéster es el textil más adecuado a emplear en morteros de revestimiento, pues le confiere funciones similares a las mallas de refuerzo, absorbiendo posibles retracciones, así como manteniendo la cohesión y evitando el desprendimiento tras la rotura a flexión. Este estudio abre la posibilidad de reutilizar fibras textiles, especialmente de poliéster o acrílicas, por sus buenas prestaciones a flexión y el alargamiento de su rotura, cumpliendo funciones similares a las mallas metálicas o sintéticas empleadas comúnmente en morteros.

REFERENCIAS

- [1]<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030147971931254X>
- [2]<https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/society/20201208STO93327/el-impacto-de-la-produccion-textil-y-de-los-residuos-en-el-medio-ambiente>
- [3]<https://www.consilium.europa.eu/es/policies/green-deal/>

Análisis de corrientes vagabundas

Raúl Parra Hermida

Departamento de Ingeniería Agraria, Civil, Náutica y Marítima, Universidad de La Laguna, rparrher@ull.edu.es

Resumen

En líneas ferroviarias urbanas tipo LRT (Light Rail Transit, por sus siglas en inglés), con trazados en superficie, los carriles suelen implantarse en plataformas reservadas o compartidas, embebidos generalmente en revestimientos de pavimento rígido y/o verdes (césped natural o artificial). La existencia de canalizaciones metálicas soterradas en entornos urbanos (canalizaciones de servicios) obliga a aislar los carriles debido ya que éstos forman parte del circuito eléctrico de alimentación de los tranvías (circuito de retorno) y pueden generar corrientes vagabundas que afecten a las mencionadas canalizaciones. En el presente artículo se describe cómo se ha realizado un ensayo para medir el valor de las mencionadas corrientes vagabundas en una infraestructura ferroviaria de tipo LRT en funcionamiento, así como los resultados que se han obtenido. A su vez se analiza si los valores obtenidos cumplen con la norma UNE EN 50122-2:2023.

Palabras clave: Tranvía, aislamiento, carriles, corriente de retorno.

I. Introducción

En líneas ferroviarias urbanas tipo LRT (Light Rail Transit, por sus siglas en inglés), con trazados en superficie, los carriles suelen implantarse en plataformas reservadas o compartidas, embebidos generalmente en revestimientos de pavimento rígido y/o verdes (césped natural o artificial). Esto se debe a que en entornos urbanos existe, en muchos casos, la necesidad de transitar sobre la plataforma tranviaria (por ejemplo: cruces con calzadas de vehículos, calles peatonales..., etc.) y la obligación de integrar visual y paisajísticamente la nueva infraestructura. La existencia de canalizaciones metálicas soterradas en entornos urbanos (canalizaciones de servicios) obliga a aislar los carriles debido a que éstos forman parte del circuito eléctrico de alimentación de los tranvías (circuito de retorno). Esta circunstancia puede afectar a las canalizaciones por el efecto de las corrientes vagabundas que pueden transmitirse a través del suelo hasta las citadas canalizaciones metálicas.

II. Objetivos

La norma UNE EN 50122-2:2023 (Aplicaciones ferroviarias. Instalaciones fijas. Seguridad eléctrica, puesta a tierra y circuito de retorno. Parte 2: Medidas de protección contra los efectos de las corrientes vagabundas producidas por los sistemas de tracción de corriente continua) indica expresamente que “la experiencia durante más de tres décadas demuestra que no se producen daños en las vías durante este periodo, si la corriente vagabunda media por longitud no sobrepasa el valor de 2,5 mA/m” para una vía ferroviaria en concreto. En el presente artículo se describe cómo se ha realizado un ensayo para medir el valor de las mencionadas corrientes vagabundas en la infraestructura ferroviaria de tipo LRT de Tenerife, así como los resultados que se han obtenido.

III. Metodología del ensayo

El esquema establecido en la norma UNE EN 50122-2:2023 para realizar estas mediciones es el que se muestra a continuación.

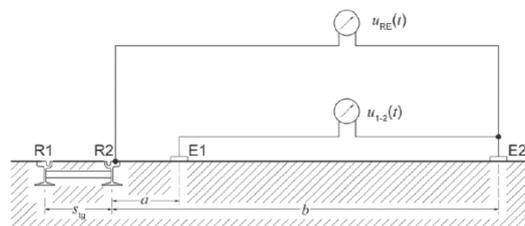


Figura 1. Esquema para la realización de las mediciones del ensayo de campo (UNE EN 50122-2:2023)

En donde:

- R1 y R2 son los raíles de la vía sobre la que se va a realizar la medición
- E1 y E2 son electrodos de sulfato de cobre, denominados de referencia y remoto, respectivamente
- s_{tg} es el ancho de vía
- a es la distancia entre el carril de rodadura exterior y el electrodo de referencia (E1), que se establece en 1 m
- b es la distancia entre el carril de rodadura exterior y el electrodo remoto (E2), que se establece en 80 m
- URE es la medición del potencial del carril exterior que se realizará durante el ensayo
- U1-2 es la medición de la tensión existente entre los electrodos E1 y E2 que se realizará durante el ensayo

Se seleccionaron dos puntos donde se van a realizar las medidas, teniendo en cuenta la disponibilidad de terreno natural junto al carril exterior de la vía en una franja de al menos 80 m de ancho, se realizaron las siguientes operaciones:

- Medida de la resistividad del terreno natural (ρ_e) situado en las inmediaciones de la vía, mediante el método Wenner
- Montaje del conexionado y realización de la medida de la conductividad de los carriles, de acuerdo a lo indicado en el apartado A-4 de la norma UNE EN 50122-2:2023



Figura 2. Localizaciones para realización de ensayos

Los datos, tanto de la tensión en el carril con referencia al electrodo E2 como la del electrodo E1 se recogieron en un data logger, con una frecuencia de dos datos por segundo. Estos datos son tratados informáticamente para ajustar los valores para la tensión entre carril y tierra y eliminar los valores negativos (colocando un cero en su lugar). Posteriormente se realiza la misma operación para la diferencia de potencial entre los electrodos E1 y E2. A partir de los valores obtenidos y las distancias de fijación de los electrodos se determina la conductividad de los carriles para la vía doble. Determinada la conductividad de la vía doble, se ajusta su valor para obtenerlo en siemens/km y se multiplica por el de la tensión para obtener la intensidad de la corriente vagabunda. Con la intensidad calculada, se evalúa su cumplimiento respecto a la norma UNE EN 50122-2:2023

IV. Resultados obtenidos y conclusiones

Los resultados obtenidos de las corrientes vagabundas en la vía doble analizada han sido los siguientes:

- Primer punto de medición: Intensidad de corriente vagabunda = 3,14 mA/m
- Segundo punto de medición: Intensidad de corriente vagabunda = 3,88 mA/m

Ambos valores obtenidos son menores que 5 mA/m, es decir, el valor por cada una de las vías es inferior a 2,5 mA/m. Esta circunstancia corrobora que el grado de aislamiento de las vías estudiadas es tal que permite concluir que se cumple con lo indicado en el apartado 5.2 Criterios para la protección de las vías según UNE EN 50122-2:2023, donde se indica expresamente que “la experiencia durante más de tres décadas demuestra que no se producen daños en las vías durante ese periodo, si la corriente vagabunda media por longitud no sobrepasa el valor de 2,5 mA/m” para cada una de las vías

V. Bibliografía

UNE-EN 50122-2:2023. Aplicaciones ferroviarias. Instalaciones fijas. Seguridad eléctrica, puesta a tierra y circuito de retorno. Parte 2: Medidas de protección contra los efectos de las corrientes vagabundas producidas por los sistemas de tracción de corriente continua.

F. Wenner, A Method of Measuring Earth Resistivity; Bull, National Bureau of Standards, Bull 12(4) 258, p. 478-496; 1915/16.)

Forjado mixto prefabricado con vigas de madera y losa de hormigón para construcción baja en carbono

Lorenzana, Jose A. ⁽¹⁾; Guaita, Manuel ⁽²⁾; Feijóo, Belén⁽³⁾; Vidal, Anxel⁽⁴⁾; Portela, María ⁽⁵⁾; Cruz, Carlos ⁽⁶⁾; Rescalvo, Francisco J. ⁽⁷⁾; Fuentes-García, Yaiza ⁽⁸⁾; Gallego, Antolino ⁽⁹⁾; Grupo Rodiñas ⁽¹⁰⁾

(1) PEMADE, Universidad de Santiago de Compostela, joseantonio.lorenzana@usc.es (investigador)

(2) PEMADE, Universidad de Santiago de Compostela, m.guaita@usc.es (catedrático)

(3) PEMADE, Universidad de Santiago de Compostela, mbelen.feijoo@usc.es (investigadora)

(4) PEMADE, Universidad de Santiago de Compostela, anxel.vidal.sanchez@usc.es (investigador)

(5) PEMADE, Universidad de Santiago de Compostela, maria.portela.barral@usc.es (investigadora)

(6) Física Aplicada, Universidad de Granada, carlos.cruz@ugr.es (doctorando)

(7) Física Aplicada, Universidad de Granada, rescalvo@ugr.es (posdoctoral)

(8) Física Aplicada, Universidad de Granada, yaizafg@ugr.es (doctorando)

(9) Física Aplicada, Universidad de Granada, antolino@ugr.es (catedrático)

(10) Grupo Rodiñas, rodinas@rodinas.com

Resumen

La construcción en madera presenta actualmente un crecimiento del 300% anual, gracias a los productos de madera técnica como vigas laminadas o madera contralaminada (CLT). Este trabajo presenta un producto mixto madera-hormigón de altas prestaciones mecánicas, prefabricado y alta reducción de huella de carbono. La utilización del hormigón junto a la madera de forma solidaria en forjados mixtos prefabricados presenta ventajas frente a sus respectivas soluciones mono-material: i) producto más ligero en comparación con una estructura de hormigón; ii) permite dejar vista la estructura; iii) mejora el comportamiento acústico frente a la solución solo con madera; iv) producto de muy baja o nula huella de carbono; v) producto prefabricado para construcción industrializada.

Palabras clave: Mixtos madera-hormigón; construcción industrializada; construcción baja en carbono.

I. Introducción

La Directiva (UE) 2024/1275 sobre la eficiencia energética de los edificios tiene por objeto reducir al máximo las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de energía en el sector de la construcción. Este sector es el responsable del 36% de las emisiones contaminantes de la Unión Europea, quedando claro el rumbo de la sociedad y los diferentes órganos políticos hacia un sector climáticamente neutro a partir de 2050 (Parlamento Europeo). En 2030, todos los edificios nuevos deberán ser climáticamente neutros. Además, este límite se reduce a 2028 para el parque edificatorio de propiedad pública. El hormigón es el material protagonista dentro de este panorama que, siendo la segunda sustancia más utilizada en la Tierra, necesita dejar hueco a materiales beneficiosos al medio ambiente. Este hueco no debe solamente crearse por sustitución, sino por unión de esfuerzos mecánicos.

Por otro lado, el sector de la construcción, necesitado de abordar de inmediato serios retos como la falta de operarios en obra, la disminución y ajuste de los plazos de entrega y la digitalización, ha puesto rumbo a lo que se conoce como construcción industrializada.

La construcción en madera presenta actualmente un crecimiento del 300% anual, gracias a productos de madera técnica como la madera laminada encolada (MLE) o madera contralaminada (CLT). Además, es el único material que captura CO₂ durante su fabricación (Figura 1) (ANGUITA et al, 2023). Por ello, la unión de ambos materiales en elementos mixtos madera-hormigón que mecánicamente trabajen de forma solidaria presenta una serie de ventajas en comparación a las estructuras bien de solo hormigón o solo madera:

- Alta resistencia y confianza estructural (gracias al hormigón)
- Ligero (gracias a la madera)
- Permite dejar vista la estructura
- Producto de huella de carbono cero (gracias a la madera)
- Válido para grandes luces y construcción en altura
- Producto prefabricado para construcción industrializada

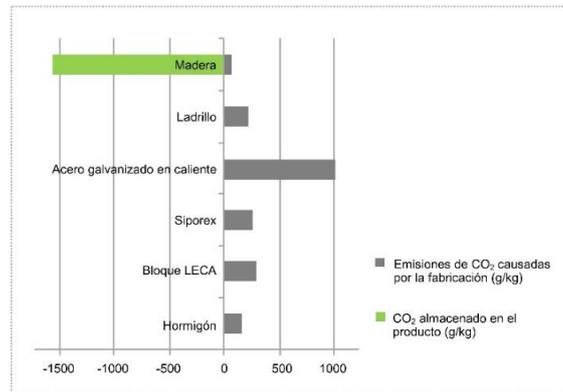


Figura 1. Emisiones de CO₂ causadas por la fabricación de diferentes materiales de la construcción y CO₂ almacenado en el material.

II. Descripción del producto

El producto está compuesto por módulos que pueden variar de 1000 a 2400 mm dependiendo de la necesidad de cálculo y de la puesta en obra (Figura 2-izquierda). En el caso de la madera, se emplean vigas laminadas que pueden ser de abeto, pino, chopo o vigas mixtas combinando especies de madera según cálculo. La madera se encuentra trabajando principalmente a tracción. La conexión que permite transmitir adecuadamente los esfuerzos madera-hormigón se ejecuta mediante conectores metálicos optimizados para alcanzar una alta rigidez y alta resistencia, empleando adhesivos para la adherencia con la madera. Por último, se han estudiado diferentes tipos de hormigón, diferenciando hormigones convencionales y autocompactantes con el fin de alcanzar el punto óptimo de prestaciones mecánicas/coste. Estos elementos se han modelado con elementos finitos (FEM).



Figura 2. Izquierda: Imagen 3D de un módulo mixto madera-hormigón. Derecha: Ejemplo de forjado modular.

III. Conclusiones

Los forjados mixtos madera hormigón permiten reducir las emisiones de CO₂ por m² construido en más de un 60% en comparación con estructuras de hormigón armado. Además, aportan ligereza a la estructura en general y una obra limpia y de plazos de ejecución muy reducidos al tratarse de un producto industrializado.

Como demostrativo, la Junta de Andalucía ha proyectado un bloque de 7 plantas con 40 alojamientos para jóvenes en Granada cuyos forjados estarán contruidos con elementos mixtos madera-hormigón desarrollados dentro del proyecto LIFE Wood for Future.

Referencias

ANGUITA, Gonzalo; GUERRA, Lorena; HUERTA, Dolores (2023). *En madera, otra forma de construir. El material constructivo sostenible del siglo XXI*. FSC España: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

DIRECTIVA (UE) 2024/1275 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO (2024). Eficiencia energética de los edificios. 24 de abril de 2024

Noticias del parlamento europeo. <https://www.europarl.europa.eu/news/es/press-room/20240308IPR19003/eficiencia-energetica-de-los-edificios-nueva-ley-para-descarbonizar-el-sector>. Último acceso: 20/06/2024

Activación alcalina de cenizas de fondo de biomasa en geopolímeros y morteros

Rodríguez Hernández, Reinier ⁽¹⁾; Agrela Sainz, Francisco ⁽¹⁾; Rosales García, Julia ⁽¹⁾

(1) Departamento de Ingeniería Rural, Universidad de Córdoba, 14071, Córdoba, España
r22roher@uco.es (R. Rodríguez), irlagsaf@uco.es (F. Agrela), jrosales@uco.es (J. Rosales)

Resumen

En un mundo enfocado en la sostenibilidad y la gestión responsable de recursos naturales, la utilización de residuos de diferentes industrias es esencial. Los residuos de biomasa, lejos de ser desechos, pueden transformarse en valiosos recursos para la construcción. Esta investigación se centra en el uso de cenizas de fondo de biomasa de olivo de Puente Genil y biomasa forestal de Extremadura, activadas alcalinamente, en la producción de geopolímeros y morteros. Se llevó a cabo la caracterización físico-química de estas cenizas y se evaluaron los efectos de su activación con Hidróxido de Sodio y Silicato de Sodio para su aplicación como material activado en la fabricación de geopolímeros y como sustituto de clinker en morteros con diferentes porcentajes de aplicación en combinación con escoria de alto horno. Los geopolímeros resultantes mostraron excelentes prestaciones mecánicas, especialmente aquellos combinados con cenizas de alto horno. En los morteros, el uso de cenizas activadas mejoró la resistencia a compresión y a flexión en comparación con las cenizas sin activación alcalina.

Palabras claves: Cenizas de fondo de biomasa, activación alcalina, geopolímeros, morteros, propiedades mecánicas.

I. Introducción

Las economías circulares como perspectivas económicas emergentes han adquirido gran importancia en los últimos tiempos. Conceptos como Reducir, Reutilizar y Reciclar están cada vez más presentes en las políticas y métodos a implementar tanto en bloques regionales como en las propias naciones, y es aquí donde los Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por la ONU para 2030 son un factor decisivo, en los que a pesar de los avances alcanzados, aún falta mucho por hacer en materia de lograr las metas propuestas.

Según el Instituto de Ingeniería de España, la biomasa forestal española crece a un ritmo de 25 millones de m³ al año y del total de esta foresta solo se aprovecha un 40%, muy por debajo de la media europea del 61%. De acuerdo a las cifras y políticas a implementar, el uso de biomasa como fuente de generación de energía tiene un potencial de crecimiento significativo. Por otro lado, esta producción genera volúmenes considerables de residuos, que a pesar de ser utilizados por otras industrias como por ejemplo para la producción de fertilizantes, la gran mayoría termina en vertederos sin una correcta valorización y convirtiéndose en un problema medioambiental.

Es sobre esta base que la presente investigación se centra en el uso de cenizas de fondo de biomasa (CFB) de olivo y eucalipto del sur de España, específicamente de Puente Genil y Extremadura respectivamente, y su activación alcalina para la producción de geopolímeros y morteros como sustituciones de cemento.

II. Materiales

Los materiales utilizados en este estudio son Cemento Portland Valderrivas tipo CEM I 42.5 R-SR 3, Arena Normalizada, CFB de Eucalipto-Extremadura (CFB-E), CFB de Olivo-Puente Genil (CFB-PG), Cenizas de Alto Horno (CAH) procedentes de la Carbonera Almería de Lafarge Holcim, y como activadores alcalinos el Hidróxido de Sodio (H) y el Silicato de Sodio (M).

Las CFB fueron caracterizadas para evaluar su composición y propiedades, las cuales se muestran en la Tabla 1. El análisis reveló que presentan altos contenidos de calcio, potasio y sílice, lo que las hace prometedoras como materiales cementicios suplementarios (RAHMANIHANZAKI, 2022). Estas propiedades podrían mejorar la durabilidad y las propiedades mecánicas de los materiales de construcción, además de reducir su huella de carbono (VASSILEV et al, 2013; BELTRÁN et al, 2014). La ligereza y alta absorción de las cenizas también son factores importantes a considerar en su aplicación práctica.

Tabla 1. Caracterización de las CFB

Ensayo / CFB	Componentes Mayoritarios (%)								Dens (g/cm ³)	Abs (%)	Lajas (%)	Sulf. Sol. Agua (%)	Sulf. Sol. Ácido (%)	Eq. Arena (%)	Coef. Friab (%)	Cl. Sol. Agua (g/100g)
	Si	Ca	Al	K	Mg	Fe	Na	Mn								
CFB-E	15,9	21,1	3,1	19,3	2,8	2,5	2,2	0,1	1,926	10,31	4,68	0,0012	0,0017	67,00	20,00	0,0023
CFB-PG	17,1	19,5	3,5	18,8	2,3	2,8	1,5	0,1	2,012	19,56	9,44	0,0006	0,0057	69,83	24,93	0,0025

III. Métodos y Resultados

Tanto para los geopolímeros como para los morteros se consideran dos composiciones de mezcla: una con 100% de CFB y otra conformada con un 66% de CFB y 33% de CAH. Las dosificaciones de las distintas muestras estudiadas se muestran en la Tabla 2, así como los resultados de resistencias a flexión y compresión a los 28 días de amasadas.

Tabla 2. Dosificación de las muestras y Resistencias mecánicas a 28 días

Muestra	Dosificación (g)								Resistencia 28D (MPa)		
	Cemento	Arena	BBA-E	BBA-PG	CAH	Agua	H	MI	Flexión	Compresión	
Geopolímeros	P100E	-	-	300	-	-	18	31	82	-	15,54
	P100PG	-	-	-	300	-	40	31	82	-	21,59
	P66E-CAH	-	-	200	-	100	18	31	82	-	36,76
	P66PG-CAH	-	-	-	200	100	40	31	82	-	48,00
Morteros	M50Ref	225	1350	225	-	260	-	-	-	9,63	10,96
	M50E	225	1350	225	-	210	23	62	-	4,64	13,78
	M50PG	225	1350	-	225	-	210	23	62	4,51	12,23
	M50E-CAH	225	1350	148	-	77	230	23	41	5,81	16,07
	M50PG-CAH	225	1350	-	148	77	230	23	41	6,17	16,98

Inicialmente se habían concebido dos molaridades para la conformación de las mezclas, 14M y 8M, sin embargo, con un primer análisis de las resistencias a compresión de las pastas se decidió desechar la variante de 14M ya que los resultados mostraron resistencias a los 28 días entre 19% y 54% más altas cuando se usó una concentración de 8M, además comenzaron a mostrar evidencia de exceso de sodio a través de eflorescencias. Esto se explica debido a que una mayor molaridad puede aumentar la concentración de reactivos, favoreciendo la formación de enlaces químicos, pero también puede incrementar la viscosidad, dificultando la homogeneización y debilitando la estructura final (GÓMEZ-CASERO et al, 2021).

Las combinaciones que incluyeron CAH fueron las más beneficiosas en términos de resistencia, llegando a alcanzar la muestra P66E-CAH los 48MPa a 28 días, ya que las cenizas volantes aportan sílice y alúmina (REDDY, 2021), mientras que las CFB proporcionan aluminosilicatos, permitiendo una reacción química completa y formando una matriz sólida. Además, las partículas finas y microsferas de las cenizas volantes mejoran la densidad y microestructura del geopolímero, aumentando su resistencia global.

En cuanto a los morteros, la sustitución de un 50% cemento por CFB activadas alcalinamente afecta negativamente la resistencia a flexión cuando se compara con el M50Ref que representa el mortero con sustitución del 50% de CFB sin activar. Por otro lado, la activación de las CFB evidencia en los valores a compresión un aumento de los mismos con respecto al M50Ref, siendo más destacables cuando en la mezcla se incluyen CAH, indicando que la activación desempeña un papel crucial en mejorar las propiedades de resistencia del material, lo que respalda la elección de utilizar activadores en el proceso de formulación de los materiales.

IV. Conclusiones

Los productos con una mezcla de CFB-PG mostraron las resistencias a compresión más altas, destacándose como una opción eficaz en la mejora de las propiedades mecánicas de los materiales de construcción. La inclusión de CAH en el diseño de las mezclas resultó en un aumento significativo de las resistencias de los productos finales. Además, se evidenció que el uso de CFB activadas alcalinamente mejora notablemente las resistencias a compresión en comparación con los morteros elaborados con CFB sin activadores, subrayando la importancia de la activación química para optimizar las propiedades mecánicas.

Referencias

- BELTRÁN, M. G.; AGRELA, F.; BARBUDO, A.; AYUSO, J.; RAMÍREZ, A. (2014) Mechanical and durability properties of concretes manufactured with biomass bottom ash and recycled coarse aggregates. *Construction and Building Materials*, vol. 72, pp. 231–238.
- GÓMEZ-CASERO, M. A.; PÉREZ-VILLAREJO, L.; CASTRO, E.; ELICHE-QUESADA, D. (2021) Effect of steel slag and curing temperature on the improvement in technological properties of biomass bottom ash based alkali-activated materials. *Construction and Building Materials*, vol. 302.
- RAHMANIHANZAKI, M.; HEMMATI, A. (2022) A review of mineral carbonation by alkaline solidwaste. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 121.
- REDDY, K. C.; SUBRAMANIAM, K. V. L. (2021). Investigation on the roles of solution-based alkali and silica in activated low-calcium fly ash and slag blends. *Cement and Concrete Composites*, vol. 123.
- VASSILEV, S. V.; BAXTER, D.; ANDERSEN, L. K.; VASSILEVA, C. G. (2013) An overview of the composition and application of biomass ash. Part 1 and 2. *Fuel*, vol. 105.

Cementitious performance of clayey nature powders as an alternative supplementary cementitious material

Rosales, Manuel⁽¹⁾; Rosales, Julia⁽¹⁾; Díaz, José Luis⁽¹⁾; Agrela, Francisco⁽¹⁾; Rodríguez, Reinier⁽¹⁾

(1) Area of Construction Engineering, University of Cordoba, Cordoba, Spain

Abstract

Different types of clay-derived powders have been studied in this research, which are powder from bricks and ceramic materials from construction and demolition waste, bentonite, untreated clay powder, calcined bentonite and laboratory calcined clay powder. Their cementitious capacity has been studied through the manufacture of mortar specimens subjected to mechanical compression and flexural tests. In addition, the open porosity, hardening density, capillary suction and dimensional changes at early stage of hardener of each of the samples were determined. The five powders were clayey in nature but of different types or with different treatments. The mortar mixtures were compared with two conventional mortars made with CEM I 52.5 and CEM II/A-L 42.5 and a mortar including 75% CEM I 52.5 and 25% addition of mixed recycled aggregate powder. Heat treatments on clays increase their cementitious capacity considerably.

Keywords: Alternative supplementary cementitious material, Clay powders, Mechanical performance, Heat treatment, Mortar mixtures

I. Introduction

It is a primary objective of our society to mitigate CO₂ emissions in order to reverse climate change. A study (Benhelal, Shamsaei et al. 2021), determined that 40% of greenhouse gas emissions are attributed to the four major industries, which are the chemical and petrochemical industries, cement manufacturing, steel industries and power generation plants. Particularly construction, especially cement production, is the field where most CO₂ is emitted into the atmosphere, data derived from the study carried out (Afif, Afif et al. 2022) According to other study (Adesina 2020) the country with the highest cement production, as of 2019, is China, accounting for 56.1% of the world's production. One ton of CO₂ is emitted to produce one ton of cement.

The use of common supplementary cementitious materials is commercially widespread. Fly ash, limestone filler, blast furnace slag, silica fume, etc. are used as additions to cement and, scientific activity develops alternative SCM with wastes. The use of mixed recycled aggregate dust or biomass bottom ash dust was studied (Rosales, Rosales et al. 2022) obtaining mortar mixes reaching 45MPa at 25% cement substitutions with both materials .

The use of powder derived from bricks and ceramics has been studied in the past with positive results. Other study (Lam, Nguyen et al. 2021) went as far as replacing 40% of cement with brick-derived powder, with satisfactory results. Authors (Li, Lin et al. 2020) studied mortars with cement replacement ratios of 5%, 10%, 15% and 20% by brick dust. One quality that cement-based materials acquire when brick and ceramic dust is included is the ability to withstand sulphate attack. The drop in compressive strength of conventional mortar when attacked by sulphates is 12.3% when 20% cement is replaced by brick dust, the drop in mechanical strength is 2.3%. With regard to bentonite, researchers (Mesboua, Benyounes et al. 2021) found that, when bentonite is calcined, magnesium and sodium decrease, increasing the amounts of silica, aluminium and calcium. This practice improves mechanical strength and increases the formation of gels during hardening.

The heat treatment directly affects the cementitious capacity obtained from the clays. A study (Zheng, Liang et al. 2022) determines that by calcining the clays at 900°C the compressive strength of the mortars drops by 10% with respect to the mortar made with clay powder calcined at 800°C.

II. Materials

In the research covered by this article, 6 types of powdered materials of recycled or clayey nature and 2 conventional cements were included. The recycled materials are the mixed recycled aggregate, the ceramic fraction derived from the mixed recycled aggregate, bentonite, calcined bentonite, common clays and common calcined clays. The characterisation of the powders is presented in table 1.

All the materials included in this study comply with standards in terms of chemistry and organic matter content. Chloride content must be less than 0.1%, sulphate (SO₃) content must be less than 4% and oxidisable organic matter content must be less than 5%.

Table 1. Materials characterization

Properties	CEM I 52.5	CEM II/A-L	pMRA	pCeramic	pBentonite	pBentonite900	pClay	pClay900
Real Density (kg/m ³)	3110	3160	2520	2454	2520	2600	2620	2640
Organic matter content (%)	0.32	0.28	0.80	0.29	0.46	0.42	0.42	0.40
Water-soluble sulphate (%SO ₃)	2.784	2.614	0.886	0.448	*	0.029	0.054	0.029
Chloride content (%)	0.034	0.086	0.419	0.035	*	0.097	0.095	0.035

It is noted that the density of the powders is lower than that of cement, so that cement and alternative SCM mixes must be less dense than conventional cements. In clay, when calcined, it shows lower values of sulphates and chlorides, reducing them by half.

III. Experimental methods and results

As this study is at an early stage, mechanical strengths at 7 and 28 days will be shown. The mortar was manufactured in accordance with the UNE EN 196-1 standard. Two moulds of three specimens each were made, for a total of 6 specimens. To obtain the results, 2 specimens were broken for each age, resulting in 2 flexural and 4 compression measurements for each age. The averages of these results are shown below.

The Resilience Index was determined by making 25% substitutions of cement for alternative SCM. It should be noted that an attempt was made to maintain the consistency of the dough with CEM II/a-L 42.5 as a fixed parameter. In order to achieve the right consistency, some mixes had to be hydrated with saturation water, achieving manageable mixes in terms of consistency. Table 2 shows the compression and flexural results, as well as the extra water demand and the consistency of each of the mixes.

Table 2. Mortar dosages and mechanical performance

Mixture No	Mix proportion of the specimen (UNE-EN 196-1)										
	CEM I 52.5	CEM II A/L 42.5	Alternative SCM	Normalized Sand	Water	Saturation Water	Slump (cm)	7 days		28 days	
								$f_{ct,7}$	$f_{ck,7}$	$f_{ct,28}$	$f_{ck,28}$
CEM I 52.5	450	0	0	1350	225	0	16.0	9.277	52.467	10.617	60.174
CEM II/A-L 42.5	0	450	0	1350	225	0	15.4	7.294	47.214	8.761	51.674
pMRA	337.5	0	112.5	1350	225	0	16.8	6.403	30.439	7.597	36.916
pCeramic	337.5	0	112.5	1350	225	0	15.7	6.623	32.241	7.845	38.977
pBentonite	337.5	0	112.5	1350	225	150	12.4	2.392	10.177	2.767	13.324
pBentoniteCalc	337.5	0	112.5	1350	225	0	15.7	6.872	36.206	8.142	43.874
pClay	337.5	0	112.5	1350	225	37.5	15.1	4.913	25.295	5.622	31.014
pClayCalc	337.5	0	112.5	1350	225	0	14.9	7.007	35.975	8.240	43.242

It is observed that the mechanical strengths of Bentonite showed the worst performance, reaching 13 MPa at 28 days, followed by untreated clay powder, reaching 31 MPa at 28 days. These materials, when calcined, were found to increase considerably their mechanical behaviour when hydrated. Calcined bentonite is more than 3 times the strength of uncalcined bentonite. The same is true for clays. Calcined clay has a strength of 12 MPa higher than untreated clay at 28 days. The other clays with the best mechanical behaviour are those that have been subjected to heat treatment, remaining at 84% of the strength provided by a mortar made with CEM II/L 42.5. It should be noted that both pMRA and pCeramic show good results, reaching 72% of the strength of the mortar made with CEM II/A-L. Comparing these two materials with each other, the powder derived from crushing the MRA ceramic fraction shows a higher strength than the powder derived from crushed MRA.

IV. Conclusions

The following conclusions can be drawn from this study:

- Bentonite and uncalcined natural clay require more water than stipulated for a water-cement ratio of 0.5. This results in a lower strength, as well as more pores being retained due to the lower flowability of the fresh mix.
- The calcined materials show a higher strength than the uncalcined materials. pCeramic, due to its origin from heat-treated clay materials, also showed adequate strength.

References

- Adesina, A. (2020). "Recent advances in the concrete industry to reduce its carbon dioxide emissions." *Environmental Challenges* **1**: 100004.
- Afif, M. B., A. B. Afif, H. Apostoleris, K. Gandhi, A. Dadlani, A. A. Ghaferi, J. Torgersen and M. Chiesa (2022). "Ultra-cheap renewable energy as an enabling technology for deep industrial decarbonization via capture and utilization of process CO₂ emissions." *Energies* **15**(14): 5181.
- Benhelal, E., E. Shamsaei and M. I. Rashid (2021). "Challenges against CO₂ abatement strategies in cement industry: A review." *Journal of Environmental Sciences* **104**: 84-101.
- Lam, M. N.-T., D.-T. Nguyen and D.-L. Nguyen (2021). "Potential use of clay brick waste powder and ceramic waste aggregate in mortar." *Construction and Building Materials* **313**: 125516.
- Li, L., Z. Lin, G. Chen and A. Kwan (2020). "Reutilizing clay brick dust as paste substitution to produce environment-friendly durable mortar." *Journal of Cleaner Production* **274**: 122787.
- Mesboua, N., K. Benyoune, S. Kennouche, Y. Ammar, A. Benmounah and H. Kemer (2021). "Calcinated bentonite as supplementary cementitious materials in cement-based mortar." *Journal of Applied Engineering Sciences* **11**(1): 23-32.
- Rosales, M., J. Rosales, F. Agrela, M. S. de Rojas and M. Cabrera (2022). "Design of a new eco-hybrid cement for concrete pavement, made with processed mixed recycled aggregates and olive biomass bottom ash as supplementary cement materials." *Construction and Building Materials* **358**: 129417.
- Zheng, D., X. Liang, H. Cui, W. Tang, W. Liu and D. Zhou (2022). "Study of performances and microstructures of mortar with calcined low-grade clay." *Construction and Building Materials* **327**: 126963.

Propuesta de aplicación de materiales sostenibles para la rehabilitación de un edificio de la Universidad de Córdoba

Yahari, Aldo ⁽¹⁾; Agrela, Francisco ⁽²⁾; López-Aguilar, Martín ⁽²⁾

(1) Máster Universitario en Tecnologías Avanzadas de Materiales para la Construcción Sostenible, Universidad de Córdoba., z32yagua@uco.es

(2) Departamento de Ingeniería Rural, Construcciones Civiles y Proyectos de Ingeniería, Universidad de Córdoba.

Resumen

La Universidad de Córdoba en la actualidad se enmarca como líder en el sector de investigación andaluz en tecnologías de materiales para la construcción sostenible. En sentido, son múltiples las líneas actuales que se llevan adelante en el grupo de ingeniería de la construcción (TEP-227). En el marco de una de estas líneas, se plantea desarrollar una planta de producción de materiales para cemento, enfocado de manera preferente a la producción de LC3 (Limestone Calcined Clay Cement) y para ello se pretende rehabilitar un antiguo edificio y su estructura perteneciente a la universidad, y acondicionarla para este uso. En el proceso, se plantean como objetivos llevar a cabo la rehabilitación utilizando tecnologías sostenibles, para lo cual se recurre a ensayos experimentales, como así también a la consulta de la bibliografía específica del área. En particular, esta búsqueda de materiales sostenibles se centra en los elementos de la envolvente, y los ensayos experimentales en desarrollar una dosificación para un micro hormigón autonivelante elaborado con áridos reciclados. Como resultado, se obtienen las directivas necesarias para la implementación de las soluciones constructivas, así como las principales áreas donde deben realizarse las intervenciones, y la priorización de estas con base a los recursos y oportunidades disponibles.

Palabras clave: Construcción Sostenible, LC3, Micro hormigón autonivelante, áridos reciclados, hormigones reciclados.

I. Introducción

El sector de la construcción es con diferencia el mayor emisor de gases de efecto invernadero a nivel mundial, con un asombroso 37% del total de las emisiones (United Nations Environment Programme, 2023). En este sentido, el grupo de ingeniería de la construcción de la Universidad de Córdoba (TEP-227), lleva múltiples líneas de investigación enfocadas a mejorar la sostenibilidad del sector. En este marco de busca desarrollar una planta de producción de materiales para cemento, enfocado de manera preferente a la producción de LC3 (Limestone Calcined Clay Cement), y para ello se pretende rehabilitar un edificio perteneciente a la universidad, utilizando tecnologías de construcción sostenible. El LC3 es un tipo de cemento ternario que permite una reducción del consumo de clinker, en un orden de hasta el 50% (Martirena & Scrivener, 2016). Además, se desarrolla una dosificación para un micro hormigón autonivelante elaborado con agregados reciclados. Se ponen énfasis en el uso de residuos y subproductos provenientes de áridos reciclados, concha de molusco y cenizas volantes de biomasa de olivo. Se ha demostrado que factible reemplazar los agregados finos naturales por agregados reciclados en el hormigón y obtener propiedades similares (Kaarthik & Maruthachalam, 2021). La concha de molusco contiene principalmente carbonato de calcio, lo que lo convierte en un material con propiedades puzolánicas que puede ser utilizado para reemplazar tanto los áridos, como el cemento, y posee propiedades aislantes (Martínez-García, González-Fonteboa, Carro-López, & Martínez-Abella, 2019). Las cenizas volantes de biomasa al ser usadas en conglomerantes hidráulicos de carretera, mejoran de los suelos (Díaz-López, Cabrera, Agrela, & Rosales, 2023). El trabajo incluye un relevamiento del estado de la edificación, la categorización de las patologías detectas y las áreas a intervenir.

II. Materiales y Métodos

II.1 Relevamiento y estado actual del edificio

Para realizar el análisis y categorización de las patologías, se utilizó una planilla estandarizada que incluye información como el tipo de edificación, la naturaleza de la estructura, la edad de la obra en el momento de la inspección, el ambiente de la obra y las características de las lesiones. La inspección se centró en patologías ubicadas en estructuras y cerramientos, considerando materiales como hormigón, perfiles metálicos, morteros y elementos cerámicos, y excluyendo las instalaciones. Durante la inspección, se han tomado notas y fotografías de las lesiones y fallas encontradas, y se han categorizado según su localización, manifestación, causas, origen y magnitud de la reparación necesaria.

II.2 Selección de materiales sostenibles para la envolvente

Se propone el uso de materiales sostenibles, con preferencia aquellos provenientes de residuos de industrias agrícolas, industriales y del sector de la construcción. La intervención se centra en la solera, paredes y cubierta.

II.3 Desarrollo de micro hormigón autonivelante con áridos reciclados

Para encontrar la dosificación correspondiente a un micro hormigón autonivelante con agregados reciclados, se llevaron a cabo 7 amasadas. Las amasadas M-00, M01 y M06, corresponden a morteros autonivelantes sin agregados reciclados, las M-02, M03, M04 y M05 corresponden a micro hormigones un reemplazo del 20% en peso de la arena por áridos reciclados. El tamaño máximo de los áridos para el caso de las amasadas sin agregados reciclados es de 4mm, por la mezcla corresponde a un mortero, mientras que al agregar áridos reciclados el tamaño máximo sube a 10 mm, por lo

que ya se trata de un micro hormigón. Previo a las amasadas, se realizaron ensayos de caracterización granulométrica, de absorción y de densidades. Para determinar si una dosificación es autonivelante, se utilizó el ensayo del cono en V. Se tomaron probetas para medir las resistencias a compresión simple, flexo tracción y las retracciones en cámara húmeda y seca, para los 1, 7, 15 y 28 días.

III. Resultados

El edificio para rehabilitar cuenta con una superficie total de aproximadamente 4900 m², la zona específica para los laboratorios ocupa alrededor de 220 m². La estructura del edificio es mixta. Se observaron fisuras verticales en la unión de mampostería y pilares, desprendimientos de revoques causados por humedad, corrosión del acero en las cerchas y desprendimientos del cielorraso. La eliminación del amianto en la cubierta actual, dado su riesgo para la salud, requiere la intervención de una empresa especializada. Para la solera se recomienda usar un micro hormigón autonivelante de 5 cm de espesor. Las paredes existentes serán revestidas con polvo de concha de molusco, para aprovechar las propiedades térmicas y acústicas de este material. Para la cubierta se recomienda el uso de un panel ligero autoportante de tres capas, usando fibras de madera para el aislamiento térmico y acústico, y OSB3 para la resistencia exterior. Para la explanada exterior se propone el uso de Hidraulic Road Binder (HRB) con cenizas de biomasa, derivadas de los desechos de la producción de olivo, para mejorar la capacidad portante y la estabilidad volumétrica. Como resultados del desarrollo del micro hormigón autonivelante, se demuestra que la granulometría es crucial. La relación agua/cemento se mantuvo casi constante en 0.77 para mezclas con áridos reciclados (M04-M05) y 0.75 para las sin áridos reciclados (M00-M01). La proporción en peso del cemento y áridos fue ligeramente mayor en las mezclas con áridos reciclados (0.28) comparado con las de referencia (0.25). Se utilizaron aditivos plastificantes y superplastificantes para mejorar las propiedades de auto nivelación. Los ensayos de compresión y flexo tracción no mostraron diferencias significativas entre amasadas. Encapsular los áridos reciclados en cemento aumentó la resistencia en un 20%. No hubo variaciones significativas en la retracción entre las mezclas y las emisiones de CO₂ fueron similares.

IV. Discusión

La propuesta de rehabilitación incluye la utilización de un hormigón autonivelante de 5cm para la solera, revestimientos de polvo de concha de molusco para las paredes, paneles ligeros autoportantes de madera para la cubierta, y el uso de cenizas de biomasa para mejorar el suelo de la explanada exterior. Los ensayos para el desarrollo del micro hormigón autonivelante demostraron que reemplazar un 20% de la arena por agregados reciclados no afectan las propiedades mecánicas, y que es posible alcanzar las propiedades de auto nivelación y auto compactación.

IV. Conclusiones

Los principales problemas del edificio son desprendimientos y corrosión, así como la presencia de amianto en su cubierta. Se recomienda usar un micro hormigón autonivelante para la solera. Las paredes se revestirán con polvo de concha de molusco. La cubierta será reemplazada por paneles de madera y OSB3. La explanada usará HRB con cenizas de biomasa para mejorar el suelo.

Referencias

- DÍAZ-LÓPEZ, J., CABRERA, M., AGRELA, F., & ROSALES, J. (2023). Geotechnical and engineering properties of expansive clayey soil stabilized with biomass ash and nanomaterials for its application in structural road layers. *Geomechanics for Energy and the Environment*, 36(100496).
- KAARTHIC, M., & MARUTHACHALAM, D. (2021). A sustainable approach of characteristic strength of concrete using recycled fine aggregate. *Material Today: Proceedings*, 45, 6377-6380.
- MARTÍNEZ-GARCÍA, C., GONZÁLEZ-FONTEBOA, B., CARRO-LÓPEZ, D., & MARTÍNEZ-ABELLA, F. (2019). Design and properties of cement coating with mussel shell fine aggregate. *Construction and Building Materials*, 215, 494-507.
- MARTIRENA, F., & SCRIVENER, K. (2016). Low carbon cement LC3 in Cuba: Ways to achieve a sustainable growth of cement production in emerging economies. *2nd International Conference on Calcined Clays for Sustainable Concrete*, 318 - 321.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. (2023). *Building Materials and the Climate: Constructing a New Future*. United Nations Environment Programme, & Yale Center for Ecosystems + Architecture.

