

## ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON MEZCLAS DE MARMOLINA, CATALIZADOR GASTADO Y CEMENTO PORTLAND

Patricia Cobas<sup>1</sup>, Paola Vargas<sup>2</sup>, Lourdes Soriano<sup>3</sup>, Ana María Macián<sup>4</sup>, Maria Victoria Borrachero<sup>5</sup>, Jordi Payá<sup>6</sup>, Jose Maria Monzó<sup>7</sup>

Grupo de Investigación en Química de los Materiales, Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón, Universitat Politècnica de València, España. <sup>1</sup>patocobas94@gmail.com, <sup>2</sup>avellaned@gmail.com, <sup>3</sup>lousomar@upvnet.upv.es, <sup>4</sup>anmabe5@upvnet.upv.es, <sup>5</sup>vborrachero@cst.upv.es, <sup>6</sup>jjpaya@cst.upv.es, <sup>7</sup>jmonzo@cst.upv.es

**Palabras clave:** cementos LC3, residuos, FCC

### Resumen

La estabilización de suelos, se lleva a cabo, habitualmente, con adición de porcentajes bajos de cemento Portland. La huella de carbono del cemento portland es elevada, por lo que se están estudiando alternativas en las que se utilice un conglomerante más amigable medioambientalmente. Una de estas alternativas son los cementos LC3 (Limestone calcined clay cement), cuyo contenido en clínker es menor. Se han preparado probetas de 4x4x4 cm con un único tipo de suelo dolomítico estabilizado con un 8% en masa de un conglomerante tipo LC3, donde la arcilla calcinada se ha sustituido por un residuo de catalizador gastado de craqueo catalítico (FCC) que ha sido estudiado ampliamente en investigaciones anteriores con buenos resultados, y con un cemento portland de tipo CEM I- 52.5 R (CP). Para completar la dosificación se utilizó marmolina, un residuo obtenido en el corte del mármol. Las probetas han sido curadas en cámara húmeda y en ambiente de laboratorio, y ensayadas mecánicamente a los 7 y 28 días de curado. Así mismo se ha evaluado la absorción de agua y la reducción de la resistencia a compresión con el tiempo de inmersión en agua. En lo que a resistencia a compresión se refiere los cementos LC3 presentan un buen comportamiento mecánico, con valores superiores a los necesarios para un suelo estabilizado. Hay que tener en cuenta que el cemento LC3 preparado es más amigable medioambientalmente ya que su contenido en clínker sería aproximadamente un 50% (en masa) inferior al del cemento portland y adicionalmente contendría un 50% de materiales residuales. El comportamiento frente a la absorción por capilaridad y por inmersión del suelo con LC3 es ligeramente peor que para la estabilización con CP, aunque los valores obtenidos muestran la aplicabilidad de este cemento alternativo con residuos.

### 1 INTRODUCCIÓN

La Agenda 2030 para el desarrollo sostenible incluye 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS) (PNUD, sf). El ODS 13, acción por el clima, nos urge a reducir la emisión de gases de efecto invernadero para, así, mitigar el cambio climático. Aunque el cemento portland hoy en día es difícilmente reemplazable, para ciertos usos podría ser sustituido por otros conglomerantes con una huella de carbono menor (Mellado et al., 2014).

La tierra es un material de construcción ampliamente utilizado, fundamentalmente en zonas rurales, donde es abundante, y es de bajo coste económico, de bajo impacto medioambiental (Minke, 2005) y presenta, en general, buenas propiedades para su uso en construcción. La construcción con tierra comprimida/compactada combina la fuerza ejercida para compactar la tierra con las propiedades aglutinantes de un conglomerante. En el pasado se ha utilizado distintos tipos de estabilizantes, obtenidos de residuos animales como la orina y el estiércol (Minke, 2005), y también de residuos vegetales como savias de plantas aceitosas (Houben; Guillaud, 1994), así como derivados del sisal. En tiempos más recientes, los más utilizados son los productos minerales, como la cal, el bitumen y el cemento portland (Minke, 2005). El cemento portland se puede utilizar en pequeñas cantidades como estabilizante en las construcciones con tierra (Van Damme; Houbenc, 2018) preferiblemente en suelos con un bajo contenido en arcilla, si bien cuando aumenta el contenido en arcilla, es necesario utilizar mezclas más ricas en cemento (Minke, 2005). La producción de cemento está considerada como una actividad contaminante y de gran impacto ambiental; se estima que la producción de cemento portland es responsable de aproximadamente el 6-7% de las emisiones totales

de CO<sub>2</sub> (Shi; Fernández Jiménez; Palomo, 2011) y del 12-15 % de la energía total consumida por las actividades industriales en todo el mundo (Menchaca-Ballinas; Escalante-García, 2019). La producción de una tonelada de cemento portland supone por una parte el consumo de materias primas no renovables como la caliza y la arcilla, así como una elevada cantidad de combustible. Todo ello hace que las emisiones de dióxido de carbono sean muy significativas, estando cifradas, aproximadamente, en 900 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de clínker (Imbabi; Carrigan; McKenna, 2012). También se han utilizado para estabilizar suelos cementos de activación alcalina (CAA) o geopolímeros (Cosa et al., 2020; Payá et al., 2020). Para preparar este tipo de materiales es necesaria la concurrencia de un precursor de naturaleza silicoaluminosa y de un activador de elevada alcalinidad. La mezcla de ambos desencadena una reacción química como consecuencia del ataque alcalino del activador al precursor, que produce un geo polímero con propiedades conglomerantes (Glukhowsky, 1981; Glukhowsky; Pakhomov, 1978).

Otra alternativa son los cementos ternarios, como los LC3 (*limestone calcined clay cement*). Están compuestos por una mezcla de clínker, arcilla calcinada y caliza. La utilización de estos cementos consigue una reducción del contenido en clínker, y, por tanto, paralelamente la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> (Scrivener et al., 2018; Sharma et al., 2021). Como estrategia en la reducción de CO<sub>2</sub> representa aproximadamente un 35%, de emisiones directas de la industria cementera (Biol, 2018).

En esta investigación se ha fabricado un cemento LC3, donde la arcilla calcinada ha sido sustituida por un residuo de la industria petroquímica de origen silicoaluminoso, el catalizador gastado de craqueo catalítico (FCC) y la caliza usada es de origen residual procedente del corte del mármol (marmolina, MR). En estos cementos se produce la reacción puzolánica entre la alúmina y sílice del FCC con la portlandita liberada en la hidratación del cemento, y adicionalmente la alúmina del FCC y/o del cemento reaccionan con el carbonato de la marmolina para producir sustancias tipo carboaluminatos cálcicos hidratados. A estas dos reacciones químicas se une el efecto físico con el rellenado de poros por la caliza, creando efectos sinérgicos entre los tres componentes primarios. Este hecho permite una menor presencia de clínker en la mezcla, hasta un 50% menos, consiguiendo una microestructura más fina y menos interconectada que da lugar a un excelente rendimiento mecánico y de durabilidad de los sistemas fabricados con LC3 (Sharma et al., 2021; Zunino; Scrivener, 2022).

## 2 OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es estudiar la estabilización de un suelo dolomítico utilizando un cemento portland convencional y un cemento LC3, obtenido a partir de residuos, comparando las propiedades mecánicas y la absorción de agua de los suelos estabilizados con estos dos conglomerantes

## 3 MATERIAL y METODOLOGÍA

El suelo utilizado fue suministrado por la empresa Pavasal, se trata de un suelo cuya composición mayoritaria es la dolomita, que fue caracterizado mediante termogravimetría en investigaciones previas (Cosa et al., 2020) (DL) obtenido por machaqueo. Previo a su uso, la muestra de suelo se homogeneiza mediante un cuarteo y posteriormente se tamiza por 4mm, para retirar el material más grueso. La composición granulométrica es la siguiente (% en masa que pasa): 2mm = 73.6%; 1.15mm = 59.3%; 0.40mm = 39.3%; 0.16mm = 31.4%; 0.08mm = 26.9%

El cemento portland (CP) fue del tipo CEM I-52,5R suministrado por Cementval (Valencia, España). El cemento LC3 se ha preparado mezclando un 50% de cemento portland tipo CEM I- 52.5R, un 30% de FCC y un 20% MR, teniendo en cuenta los buenos resultados obtenidos en investigaciones previas. Todos los porcentajes son en masa. Los dos últimos residuos, el FCC y la MR fueron sometidos a un proceso de molienda en molino de bolas durante 20 minutos. Luego se procedió al homogenizado de los tres materiales para así obtener el

cemento LC3. En la figura 1 se muestran las curvas de distribución granulométrica de los dos cementos

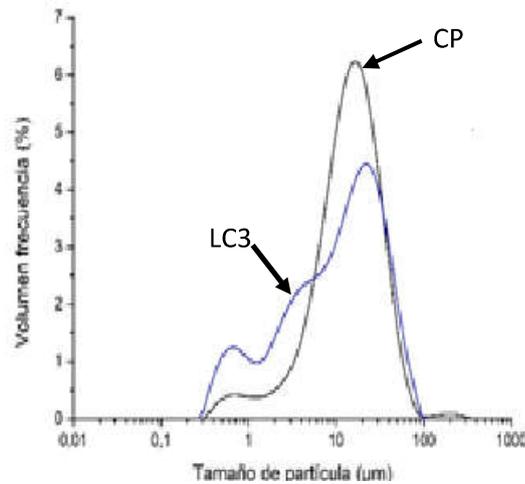


Figura 1: Curva de distribución granulométrica del CP y LC3

La composición química de los materiales antes mencionados obtenida por fluorescencia de rayos X se muestran en la tabla 1

Tabla 1. Composición química obtenida mediante fluorescencia de rayos X

Oxido (%)	CP	FCC	MR	DL
SiO <sub>2</sub>	19.90	46.04	-	14.84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.79	47.48	0.21	3.75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.79	0.58	0.15	1.89
CaO	63.02	0.01	53.67	32.10
MgO	2.32	0.17	1.29	13.61
Na <sub>2</sub> O	0.16	0.30	-	-
K <sub>2</sub> O	0.96	0.02	0.21	1.02
SO <sub>3</sub>	3.37	0.02	0.04	0.02
TiO <sub>2</sub>	-	1.18	-	0.24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	0.01	0.01	0.03
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0.04	-	-
LOI	2.40	0.49	43.57	38.04

El proceso de amasado para el suelo sin estabilizar fue el siguiente: se mezclaron 1200g de suelo seco durante un minuto, después se añadió 96g de agua (8% de la masa sólida) y se amasó durante dos minutos más. El amasado del suelo estabilizado con CP y con LC3 se realizó de la siguiente forma: se mezcló 1200g de suelo durante un minuto, se añadió 96g de cemento (8% en peso del suelo) y se mezcló durante un minuto más, finalmente se añadió 103.7g de agua (8% de la masa sólida) y se amasó durante dos minutos más. En ambos casos para seleccionar las dosificaciones se tuvieron en cuenta los resultados obtenidos en investigaciones previas (Cosa et al, 2020). El procedimiento de mezcla se llevó a cabo con una mezcladora de mortero de acuerdo con la normativa UNE EN 196-1 (2018), usando la velocidad más baja (140±5 rpm para la rotación de la pala y 62±5 rpm para el movimiento planetario).

El suelo se compactó usando el molde que aparece en la figura 2a. Para preparar las probetas cúbicas de 40 mm de lado, se procedió a compactar el material en tres tongadas, usando una maza tipo Army de 1.5 kg. La energía aplicada fue la misma que la del ensayo miniproctor (2632 J/cm<sup>3</sup>) (ASTM STP479, 1970). Se utilizó una maza (figura 2b) de 1.5 kg, la cual fue lanzada desde 20 cm de altura un total de 19 veces, en cada una de las tres tongadas (UNE

103501,1994). Las probetas cúbicas se guardaron con un film plástico, para evitar la evaporación del agua de la mezcla. Dichas probetas se curaron durante 7 y 28 días a 22°C en una cámara húmeda con una humedad superior al 97%. Posteriormente se retiró el film plástico y se dejaron secar al ambiente de laboratorio. Las probetas para ensayo de resistencia a compresión (5 especímenes por cada tiempo de curado) se dejaron secar durante 2 días, mientras que las probetas para los ensayos de absorción (3 especímenes para cada dosificación) se dejaron secar al ambiente hasta peso constante. Una vez realizados los ensayos de absorción las probetas fueron sumergidas en agua durante 72 horas determinándose posteriormente la resistencia a compresión.

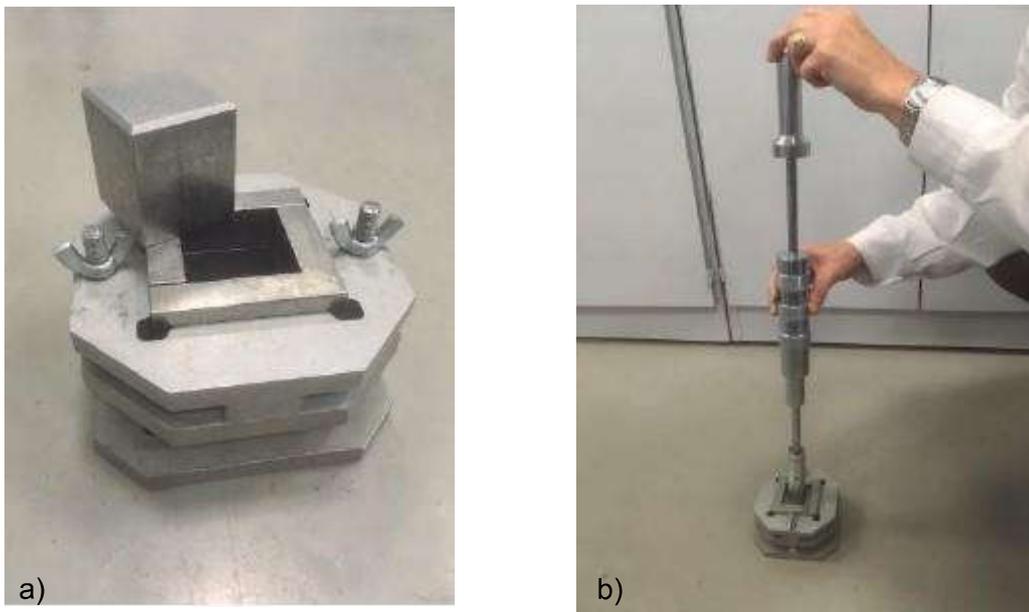


Figura 2. Elementos para la elaboración de las probetas de suelo compactado: a) Molde; b) Proceso de compactación con la maza

El ensayo a compresión simple se llevó a cabo en una máquina universal INSTRON modelo 3382, con una velocidad de desplazamiento de 1 mm/min. El ensayo de absorción se llevó a cabo de acuerdo con UNE 41410 (2008), que consistió en sumergir 5 mm la probeta dejando que el agua ascienda por capilaridad, estudiando incremento de masa con el tiempo. Las probetas sometidas a inmersión en agua, se dejaron bajo agua durante 2 horas, de acuerdo con la norma NTC 5324 (2004), una vez cumplido el tiempo de inmersión se secaron con papel y se ensayaron a compresión. Fuera de normativa se obtuvieron también datos de resistencia a compresión después de una inmersión bajo agua de 72 horas.

#### 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 3 se representa la resistencia a compresión simple ( $R_c$ ) del suelo compactado con los dos tipos de conglomerantes estudiados, CP y LC3, y también de suelo sin estabilizar. Los resultados ponen de manifiesto en primer lugar que, la utilización de un 8% (en masa) de ambos conglomerantes, como cabía esperar, incrementan de forma considerable la resistencia a compresión del suelo sin estabilizar, que fue de 3.3 MPa a 7 días de curado. Así a los 7 días de curado la  $R_c$  aumentó desde los 3.3 hasta los 20.3 MPa (un 615%) para el suelo estabilizado con CP y hasta los 15.6 MPa (un 472%) para el suelo estabilizado con LC3. A 28 días las resistencias a compresión superan los 24 MPa para el CP y los 20 MPa para la estabilización con el cemento LC3. No se disponen de datos del suelo sin estabilizar para este tiempo de curado, sin embargo cabe esperar que al no llevar estabilizante la resistencia sea muy parecida a la obtenida a los 7 días de curado, que como se ha indicado fue de 3.3 MPa. Para comparar el comportamiento del CP y el LC3 se definió un Índice de Actividad como el cociente entre la  $R_c$  del suelo estabilizado con LC3 y la  $R_c$  del suelo estabilizado con CP

multiplicado por cien. Este índice se calculó para 7 y para 28 días de curado. Los índices obtenidos fueron 76.8% y 83% para 7 y 28 días de curado respectivamente. Si se recuerda la composición de ambos cementos (ver apartado 3. Material y metodología) el LC3 se preparó a partir del cemento CP, tomando un 50% (en masa) de éste y añadiendo un 30 % (en masa) de FCC y un 20% (en masa) de MR, estos dos últimos, materiales residuales. Así los Índices de Actividad obtenidos fueron favorables (superiores al 50%), ya que pusieron de manifiesto la reactividad del FCC y MR, siendo este índice mayor a los 28 días de curado.

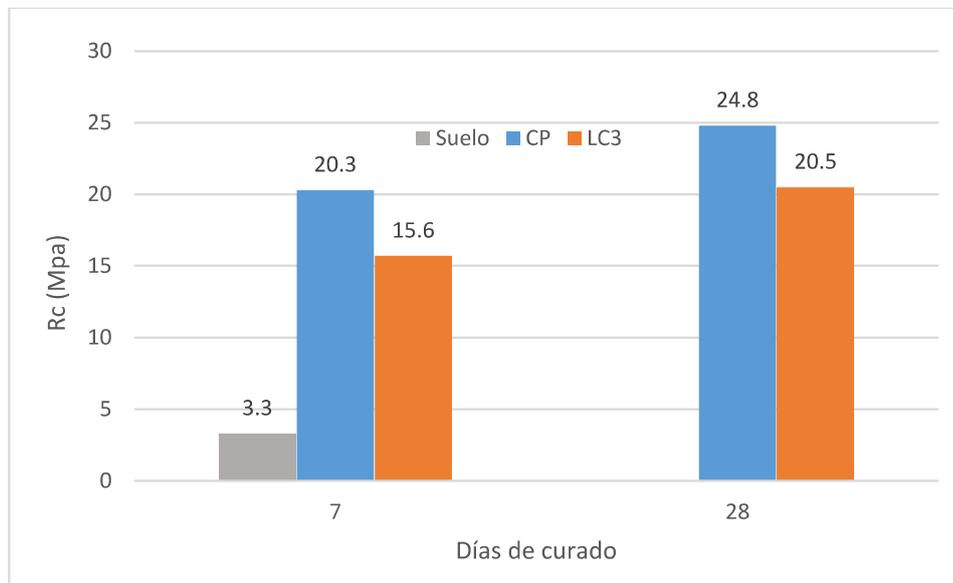


Figura 3. Variación de la resistencia a compresión con el tiempo de curado y el tipo de conglomerante

El ensayo de absorción y el ensayo de resistencia al agua se llevaron a cabo sobre las probetas previamente secadas al ambiente hasta peso constante. La absorción por capilaridad, a los 10 minutos, dio como resultado un incremento de masa de  $2.47 \pm 0.62\%$  para LC3 y  $1.66 \pm 0.39\%$  para CP y los coeficientes de absorción fueron de  $88 \pm 22$  y  $61 \pm 14 \text{ g/m}^2 \times \text{s}^{1/2}$ , respectivamente. Se ve por tanto que la absorción por capilaridad es superior para el suelo compactado con LC3 como agente estabilizante, lo que está de acuerdo con la menor resistencia mecánica: el menor contenido en hidratos produce un material más poroso y con mayor conectividad entre los poros. El incremento en porosidad hace que aumente un 44% el coeficiente de absorción al cambiar CP por LC3, y este comportamiento no es tan efectivo si se compara con el de evolución de resistencia mecánica (cuyo índice de actividad superaba el 80%).

Tras la inmersión de las probetas durante 2 horas en agua, el incremento de masa fue de  $4.11 \pm 0.12\%$  para el suelo con LC3 y  $3.39 \pm 0.46\%$  para el suelo con CP. Tras esta inmersión, su resistencia mecánica fue de 16.7 MPa para LC3 y 18.2 MPa para CP. Comparado con los materiales curados a 28 días en cámara más dos días de secado, se ha producido solamente un 18.6% de reducción para LC3, mientras que fue superior (26.6%) para CP. Estos resultados muestran la efectiva estabilización del suelo con el uso de este cemento LC3 basado en residuos, y que los hidratos, formados por la reacción puzolánica y la formación de carboaluminatos, que cementan las partículas de suelo, son bastante estables en ambiente húmedo.

La inmersión durante 72 horas supone una exposición mucho más drástica a la humedad. El incremento de masa tras esta inmersión fue de  $6.15 \pm 0.58\%$  para LC3 y  $5.28 \pm 0.18\%$  para CP. De nuevo el incremento de peso fue mayor para LC3, tal y como ocurría para el ensayo a 2 horas. El aumento de masa ha sido relevante, lo que significa que se han ocupado gran cantidad de poros del suelo compactado y estabilizado. En este caso, la resistencia mecánica a compresión de los cubos fue de  $12.7 \pm 0.8 \text{ MPa}$  para LC3 mientras que para CP se mantuvo en  $18.2 \pm 2.3 \text{ MPa}$ . Se observa una pérdida importante, del 37.9% para el suelo con LC3,

mientras que el suelo con CP se mantuvo prácticamente inalterado. Ello significa que la cantidad y el tipo de hidratos del LC3 es significativamente menor que para los generados por la hidratación del CP. Por tanto, el LC3 ofrece menos estabilidad del suelo.

## 5 CONCLUSIONES

Se puede afirmar que las probetas de suelo estabilizadas con el cemento LC3 presentan un buen comportamiento mecánico, con valores superiores a los necesarios para un suelo estabilizado, que según la norma UNE 41410 (2008), sería para la categoría superior correspondiente a los BTC3 de 5 MPa. Aunque para los suelos estabilizados con CP son algo superiores, hay que tener en cuenta que el cemento LC3 preparado es más amigable medioambientalmente ya que su contenido en clínker sería aproximadamente un 50% (en masa) inferior al CP; y adicionalmente contendría un 50% de materiales residuales (FCC y MR). El comportamiento en cuanto a absorción capilar es un poco peor para LC3, debido probablemente a la mayor porosidad y conectividad de poros por defecto de hidratos generados por LC3. Finalmente, en cuanto a estabilidad por inmersión, a las dos horas se ha mostrado un excelente comportamiento del suelo con LC3, pero a las 72 horas se observa una caída importante de la resistencia, lo que sugiere una cierta falta de cementación entre las partículas de suelo, si bien el tiempo de inmersión contemplado en la normativa es de 2 horas, y en este caso el comportamiento sería el adecuado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM STP479 (1970). Special procedures for testing soil and rock for engineering purposes. USA: ASTM International
- Birol F. (2018). Technology roadmap: low-carbon transition in the cement industry. International Energy Agency, 66
- Cosa, J.; Soriano, L.; Borrachero, M.V.; Payá, J.; Monzó, J. (2020). Stabilization of soil by means alternative alkali activated cement prepared with spent FCC catalyst. *Appl. Ceram. Technol.* 17, 190–196. <https://doi.org/10.1111/ijac.13377>
- Glukhovskiy, V. D. (1981). Slag alkaline fine aggregate concretes. Kiev, USSR
- Glukhovskiy, V. D.; Pakhomov V. A. (1978). Slag-alkaline cements and concretes. Kiev: Budivel'nik Publishers
- Houben, H. ; Guillaud, H. (1994). *Earth Construction*, ITDG Publishing, London, UK, A Comprehensive Guide.
- Imbabi, M. S.; Carrigan, C.; McKenna, S. (2012). Trends and developments in green cement and concrete technology. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 1(2), 194-216. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2013.05.001>
- Mellado, A.; Catalán, C.; Bouzón, N.; Borrachero, M. V., Monzó, J. M.; Payá, J. (2014). Carbon footprint of geopolymetric mortar: study of the contribution of the alkaline activating solution and assessment of an alternative route. *RSC Advances*, 4, 23846.
- Menchaca-Ballinas, L.E.; Escalante-Garcia, J.I. (2019) Low CO<sub>2</sub> emission cements of waste glass activated by CaO and NaOH. *J. Clean. Prod.* 239, 117992; 11p.
- Minke, G. (2005). *Manual de construcción en tierra. La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. Uruguay: Editorial Fin de Siglo
- NTC 5324 (2004). Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones, especificaciones, métodos de ensayo, condiciones de entrega (traducción de la norma francesa XP P 13-901 del año 2001). Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
- Payá J., Monzó J., Roselló J., Borrachero M.V., Font A., Soriano L. (2020) Sustainable Soil-Compacted Blocks Containing Blast Furnace Slag (BFS) Activated with Olive Stone BIOMASS Ash (OBA). *Sustainability* 12, 9824; doi:10.3390/su12239824
- PNUD, (sf). *Objetivos desarrollo sostenible, Agenda 2030 para el desarrollo sostenible*: <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sdgoverview/post-2015-development-agenda.html>

Scrivener, K.; Martirena, F.; Bishnoi, S.; Maity, S. (2018). Calcined clay limestone cements (LC3). *Cement and Concrete Research*, 114 (March 2017), 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.08.017>

Sharma, M.; Bishnoi, S.; Martirena, F.; Scrivener, K. (2021). Limestone calcined clay cement and concrete: A state-of-the-art review. *Cement and Concrete Research*, 149(July), 106564. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106564>

Shi, C.; Fernández Jiménez, A.; Palomo, A. (2011). The pursuit of an alternative to Portland cement. *Cement and Concrete Research* 41, 750-763.

UNE-EN 196-1 (2018). Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias. España: Asociación Española de Normalización y Certificación

UNE 41410 (2008). Bloques de tierra comprimida para muros y tabiques. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo. España: Asociación Española de Normalización y Certificación

UNE 103501 (1994). Geotecnia: ensayo de compactación Proctor modificado. España: Asociación Española de Normalización y Certificación

Van Damme, H.; Houbenc, H. (2018). Earth concrete. Stabilization revisited. *Cem. Concr. Res.* 114, 90–102.

Zunino, F.; Scrivener, K. (2022). Microstructural developments of limestone calcined clay cement (LC3) pastes after long-term (3 years) hydration. *Cement and Concrete Research*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106693>

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España por la financiación del proyecto Alternativas para el desarrollo de cementos LC3 a partir de residuos generados en España PID2021-1258900B-100 y a los Fondos FEDER Los autores también agradecen a las empresas PAVASAL, Cementval y British Petroleum S.A.U por el suministro de las muestras para la preparación de los suelos estabilizados.

## AUTORES

Patricia Cobas, ingeniera civil y estudiante del Master de Ingeniería del Hormigón de la Universitat Politècnica de Valencia (España).

Paola Vargas, ingeniera civil y estudiante de Doctorado de la Universitat Politècnica de Valencia (España).

Lourdes Soriano, licenciada en química, doctora por la Universitat Politècnica de València. Co-autora de 70 comunicaciones en revistas indexadas, 6 capítulos de libro y más de 70 comunicaciones en congresos nacionales e internacionales. Investigadora de ICITECH en temas de materiales de construcción en base cemento y nuevas matrices de activación alcalina. Co-directora de 4 tesis doctorales y 11 tesinas final de máster. ORCID 0000-0002-5749-4609

Ana Macián Es ingeniera química y actualmente técnica de laboratorio en el Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón

M<sup>a</sup> Victoria Borrachero Rosado, Doctora en químicas y Catedrática de Universidad en el área de Ingeniería de la Construcción. Co-autora de más de 120 artículos científicos en revistas indexadas, 6 capítulos de libro. Investigadora en el Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón de la UPV. Co-directora de 9 tesis doctorales Índice h = 35; Researcher ID L-5436-2014; Código Orcid 0000-0002-7873-0658

Jordi Payá, doctor en ciencias químicas (1990), licenciado de grado en ciencias químicas (1986). Catedrático de Universidad en la Universitat Politècnica de València y Director del Grupo de investigación en Química de los Materiales de Construcción (GIQUIMA). Coautor de 190 artículos en revistas de impacto (JCR) y cerca de 250 comunicaciones en congresos. Orcid ID: 0000-0001-7425-5311. Currículum completo en <http://www.upv.es/ficha-personal/jjpaya>.

José María Monzó Balbuena, doctor en químicas (1990). Es coautor de más de 100 publicaciones en revistas indexadas en el JCR. Tiene un índice h de 40. Ha codirigido 14 tesis doctorales. Es Catedrático de la Universidad Politècnica de Valencia desde el año 2002 y miembro del Instituto de Ciencia y Tecnología del Hormigón. Research ID: L-7253-2014. Código Orcid: 0000-0002-3657-3076. Currículum completo en <http://www.upv.es/ficha-personal/jmmonzo>