

ESTUDIO DE LA RESISTENCIA A PENETRACIÓN SUPERFICIAL EN PROBETAS DE MORTERO DE CEMENTO EN SUS TRES ESTADOS PRINCIPALES

A. Payán de Tejada Alonso, A. Martínez Gordon, D. Andrade Díaz, M. I. Prieto Barrio

ETSEM - UPM, Madrid, España

RESUMEN

La dureza superficial es una característica esencial en los morteros de cemento que representa la resistencia a la penetración superficial, al rayado o a la abrasión, además de estar relacionada directamente con la resistencia a compresión, propiedad esencial para la caracterización de este material ampliamente utilizado en obra.

La resistencia a los ataques mecánicos afecta a la durabilidad de los edificios, lo que redundará en un impacto a largo plazo aumentando su vida útil de las unidades de obra realizadas con este material. Un mejor desempeño del mortero en esta característica puede favorecer la consecución de unidades de obra más duraderas, pudiendo reducir la huella de carbono embebido que estos elementos cementicios albergan y que supone un verdadero reto para el sector.

En este trabajo inicial se presentan los resultados extraídos de los ensayos de resistencia a la penetración Shore D realizados sobre veintiocho probetas de mortero, de las cuales catorce se han elaborado utilizando CEM I y el resto con CEM II, dos tipologías ampliamente utilizadas. Todas ellas han sido sometidas a procesos de secado en horno para adquirir su peso seco y procesos de saturación para recopilar su peso saturado, además del ya existente a temperatura ambiente.

Con estos datos y otros complementarios, se ha podido estudiar y cuantificar las variaciones de resistencia dependiendo de la tipología de conglomerante utilizado y del estado en el que se encuentra la probeta (seca, ambiente y saturada).

Los estudios preliminares en las probetas de CEM I muestran porcentajes de reducción de estas en torno al 4% al aumentar el contenido de agua en el estado saturado, mientras que en estado seco el aumento es de un 7%.

Por otra parte, las probetas elaboradas con CEM II muestran porcentajes similares en estado seco, en torno a un 7% de aumento, mientras que la reducción de resistencia es más acusada, rondando un 6%.

En definitiva, se ha estudiado la variabilidad del parámetro de resistencia a la penetración superficial de los dos tipos de cemento más utilizados hasta los últimos años en el sector de la edificación. Además, se ha analizado la relación entre la cantidad de agua que se encuentra en las probetas y la resistencia medida en los tres estados en los que se han realizado los ensayos a las probetas.

PALABRAS CLAVE: mortero, resistencia a la penetración superficial, durabilidad, saturado, relación agua - resistencia.

1. INTRODUCCIÓN

El sector del cemento se enfrenta en los próximos años a uno de los retos más importantes y complejos tras la publicación en el año 2024 de la nueva Directiva 2024/1275 [1].

En ella, no solo se vuelve a incidir en la necesidad de reducción de emisiones de efecto invernadero (GEI) producidas por los edificios en su fase de uso, sino que también incluye un nuevo concepto que cambiará el sector de la construcción. El Potencial de Calentamiento Global (PCG) es un indicador que incorpora las fases no operativas del edificio en el cálculo de GEI. Por lo tanto, los materiales con los que un edificio es construido, su obtención, transporte y energía de fabricación, contabilizarán en este cálculo a partir de su entrada en normativa nacional. Su límite de transposición a los países miembros se ha fijado antes de junio de 2026 por lo que todos los sectores de fabricación de materiales de construcción deben mejorar sus procesos de obtención de materia prima y fabricación para no gravar demasiado los futuros edificios.

Este cambio de paradigma ha hecho que uno de los sectores de fabricación de materiales de construcción más extendido, el del cemento, necesite mejorar sus procesos y productos para seguir siendo el líder en su uso en el sector de la edificación.

En datos, atendiendo a la última estadística del cemento elaborada por el Ministerio de Industria y Turismo de España, se produjeron durante el año 2024 más de 18 millones de toneladas, una menos que en el año 2025 [2]. Esto indica que su uso sigue creciendo, en este caso hasta un 6,24%.

Si bien este dato es importante, el realmente clave, en términos de GEI, es la producción de clinker necesario para producir la cantidad total de cemento enunciada anteriormente. Según la anterior estadística, el uso de clinker representaba el 82,89% del cemento producido total en 2024. En 2025, la producción de cemento aumentaba, pero se reduce en el caso del clinker, consecuencia del camino de adaptación del sector a las exigencias de reducción de emisiones a lo largo de todo el ciclo de vida. En 2025 se produjeron 500 toneladas menos de clinker, suponiendo un 7% menos que en 2024 respecto a la producción de cemento del mismo año.

En el mundo académico, ya existen diversos estudios que sustituyen parcialmente el clinker para dar paso a un producto más respetuoso y con similares prestaciones que el cemento referencia CEM I. P. Song et al estudiaron la sustitución por minipartículas minerales entre un 10% y un 40% logrando casi un 40% de reducción de emisiones [3]. Otros estudios revelan que la sustitución de un 50% de clinker por LC3, Limestone Calcined Clay Cement, puede llevar a reducciones similares al anterior caso [4]-[8]. También se han estudiado Cementos Portland Calizos (PLCs) como solución alternativa, en sustituciones inferiores a las realizadas con LC3, concretamente, hasta un 15% [8], [9]. Por último, también son de destacar otros productos basados en SCMs (Supplementary Cementitious Materials). Con ellos, algunos autores han llegado a sustituir completamente el clinker en la fabricación de cemento ahorrando un 50% de las emisiones de CO₂ asociadas [10]-[12].

Sin embargo, estos compuestos no están integrados plenamente en el sector. En parte por la normativa española que, pese a haber incluido la posibilidad de sustitución de árido para reducir las emisiones producidas por los productos cementicios, su porcentaje del 20% es conservador en comparación con los estudios desarrollados [13]. Por ello, la reducción de clinker en la fabricación se

debe principalmente al uso de cementos comerciales tradicionales con menor cantidad como son el CEM II, CEM III, CEM IV o CEM V.

Según la norma UNE EN 197-1:2011, y teniendo como referencia el tipo de cemento CEM I (95%-100% de clinker en su composición) la reducción de clinker en CEM II es de un 18% de promedio [14]. En el caso del CEM III la reducción se engloba entre un 5% y 64% de clinker, lo que supone una reducción de más de un 60% de promedio. El uso de CEM IV (cemento puzolánico), cuya cantidad de clinker es superior al anterior, implica que la cantidad de clinker se encuentra entre un 45% y un 89%, reduciendo un mínimo de un 6% con respecto al cemento referencia. Por último, la reducción de clinker en CEM V se encuentra entre un 31% y un 80%. En la Tabla 1 se pueden ver los porcentajes de clinker de cada uno de los tipos de cemento común enunciados en la norma y sus reducciones de clinker con respecto a CEM I.

Tabla 1. Contenido de clinker según tipo de cemento

Tipo de cemento	Contenido de clinker (%)	Reducción respecto a CEM I (%)
CEM I	95 – 100	-
CEM II	65 – 94	1 – 35
CEM III	5 – 64	34 – 95
CEM IV	45 – 89	6 – 55
CEM V	20 – 64	31 - 80

Para todos ellos, además de reducir su proporción de clinker en su composición, sería recomendable aumentar sus propiedades directamente relacionadas con la durabilidad, haciendo que el cálculo de su análisis de ciclo de vida sea más favorable.

En esta propiedad influyen varias características de los productos cementicios. Una de ellas, es la dureza superficial, que incluye la resistencia del material a la penetración, al rayado o a la abrasión. A través de diversos indicadores, varios autores han estudiado la dureza superficial del cemento anteriormente. Chu et al obtuvo resultados de la dureza Vickers y su relación inversa con otras propiedades como la relación agua/cemento, la concentración de sulfatos o la intensidad de corriente [15]. Aye et al sometió a probetas de cemento Portland a ciclos de secado y enfriamiento e inmersiones en soluciones Na_2SO_4 y MgSO_4 para después medir esta propiedad. Los resultados demostraron que la aplicación de sulfato de sodio disminuye la dureza superficial mientras que el sulfato de magnesio ocasiona un aumento [16]. García et al evaluaron diversas sustituciones con cuarzo para mejorar la dureza, además de estudiar diversas relaciones agua-cemento. Sus resultados exhibieron como mejor solución la sustitución de entre un 30%-40% y una relación agua/aglomerante de 0,2 aumentando la dureza de las probetas [17]. Con el mismo objetivo de mejora de esta propiedad, en el estudio de Pan et al se trataron superficialmente las probetas con fluorosilicato de magnesio, silicato sódico

(waterglass), fluorosilicato de sodio y una combinación de silicato sódico y fluorosilicato de sodio. El fluorosilicato de magnesio y el silicato sódico aumentaron la dureza superficial con una escasa influencia en la resistencia a compresión [18]. Zhao et al lograron un incremento de la dureza a través de la optimización de la relación del compuesto Mg/PO_4 [19]. Otros estudios se centraron en la resistencia al rayado [20], o lograron una mejora de hasta un 27% de la dureza a través de la conducción del proceso de hidratación del cemento [21].

En este trabajo, se estudia la dureza superficial a través de ensayos de resistencia a penetración con un durómetro Shore D mediante proceso de indentación sobre veintiocho probetas de CEM I como referencia y CEM II en los estados seco, ambiente y saturado.

2. DESARROLLO / METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Se elaboraron probetas de mortero de cemento utilizando como aglomerante de la mezcla los dos tipos mencionados anteriormente: CEM I y CEM II/B-S.

Se expone la composición de estos cementos según la norma UNE EN 197-1:2011 en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición de los cementos utilizados

Tipo de cemento	Contenido de clínker (%)	Otros componentes (%)
CEM I	95 – 100	-
CEM II/B-S	65 – 79	21 – 35 (Escoria de alto horno)

Para todas ellas, la dosificación en peso fue 1:3:0,63 comprendiendo por cada amasada 450g de cemento, 1.350g de arena y 283,5g de agua. La mayor cantidad de agua se justifica para una mayor trabajabilidad de las probetas como ya se hiciera en otros trabajos similares [22].

2.2. Procedimiento

Primeramente, la fabricación de las amasadas se realizó con amasada planetaria, modelo CIB-701 de la marca Ibertest, con capacidad para 3 litros, siendo los tiempos empleados los estipulados en la norma UNE EN 196-1:2018 [23].

Tras realizar las amasadas, se vertieron sobre moldes de acero triples de dimensiones interiores normalizadas para cada una de las probetas, 40x40x160mm.

A continuación, se dejaron reposar las probetas en estado fresco durante 24h a temperatura ambiente (20°C) antes de su desmolde. Posteriormente, se curaron las probetas debidamente identificadas en cámara húmeda durante 28 días.

Se extrajeron de cámara húmeda todas las probetas y se dejaron reposar a temperatura ambiente diez días antes de iniciar el proceso de medición de resistencia a penetración.

Transcurridos estos diez días se realizaron las mediciones en estado ambiente (RP_{amb}) de todas las probetas para, después, introducirlas en estufa para su secado hasta masa constante. Se consideró, tal y como se indica en la norma UNE EN 1015-10:2000 [24], que se alcanza la masa constante cuando, en mediciones consecutivas cada dos horas, existe una diferencia entre pesadas menor del 0,2%.

En este momento, se procedieron a realizar las mediciones de resistencia en las probetas en estado seco (RP_{sec}). Tras este paso, se efectúa la inmersión de las probetas en balsa de agua hasta alcanzar el peso saturado, considerado este cuando dos pesadas consecutivas cada 15 minutos no superan una diferencia del 0,2%.

Una vez saturadas, se realizó la última de las mediciones de resistencia en cada una de las probetas, en esta ocasión, en estado saturado (RP_{sat}).

Todos los ensayos de resistencia a penetración superficial se realizaron con un durómetro digital Shore D KATSU con indentador. Sus características principales son:

- Resolución de 0,5 HD.
- Carrera de funcionamiento del indentador: 0-2,5 mm
- Diámetro de la punta del cono plano: 0,1 mm

Debido al conocimiento sobre las limitaciones de este tipo de dispositivos para la resistencia a penetración por la heterogeneidad del material, se realizaron tres mediciones en cada probeta y se calculó su promedio. Además, se eliminaron todas aquellas probetas en las que, uno de los valores en alguno de los estados (ambiente, seco o saturado), superase tres veces la desviación estándar.

2.3. Filtrado de datos

Atendiendo al criterio establecido en el apartado de Desarrollo/ Metodología, se eliminaron 6 probetas de los resultados finales de resistencia a penetración superficial por superar sus valores las tres desviaciones estándar. Todos ellos, se produjeron en el estado seco. Este criterio no se aplicó a los datos de los pesajes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Pesos

Se calcularon las densidades aparentes de cada probeta, resultando diferencias de un 5,21% en el caso de las probetas de CEM I y de un 6% en el segundo caso. En la Figura 1, se muestran todos los pesos en los estados ambiente, seco y saturado de las probetas elaboradas con CEM I.

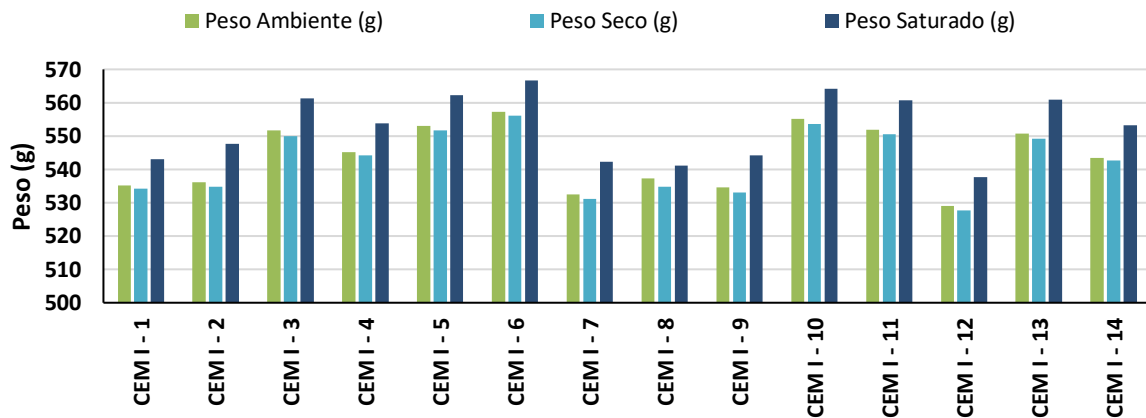


Figura 1. Pesos en estado ambiente, seco y saturado de probetas CEM I

Las diferencias entre el peso ambiente y el peso seco son muy pequeñas siendo, aproximadamente, de en torno a un 0,25% en todas las probetas. Sin embargo, sí que se observa diferencias más notorias, aunque contenidas, entre el estado ambiente y el saturado con incrementos en peso de más de un 2%.

En la Figura 2, se muestran todos los pesos en los estados ambiente, seco y saturado de las probetas elaboradas con CEM II.

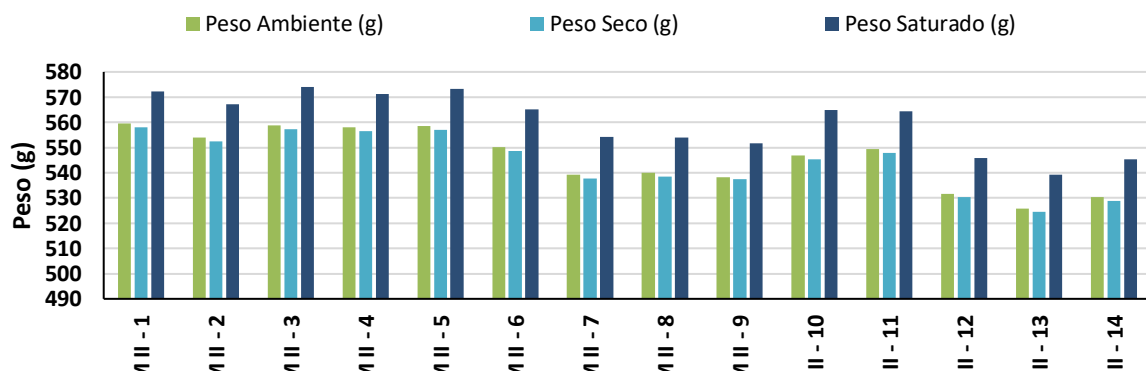


Figura 2. Pesos en estado ambiente, seco y saturado de probetas CEM II

En este caso, las diferencias entre el estado ambiente y el estado seco son muy similares a las obtenidas en las probetas de CEM I. Sin embargo, los valores son más altos en la comparación con los pesos saturados, incrementándose en algunos casos hasta un 3%.

3.2. Resistencia a penetración en estado ambiente, seco y saturado

En la Figura 3 se exponen los resultados de resistencia a penetración para todas las probetas resultantes definitivas, tras eliminarse las tres de CEM I y tres en CEM II por incumplimiento del criterio establecido.

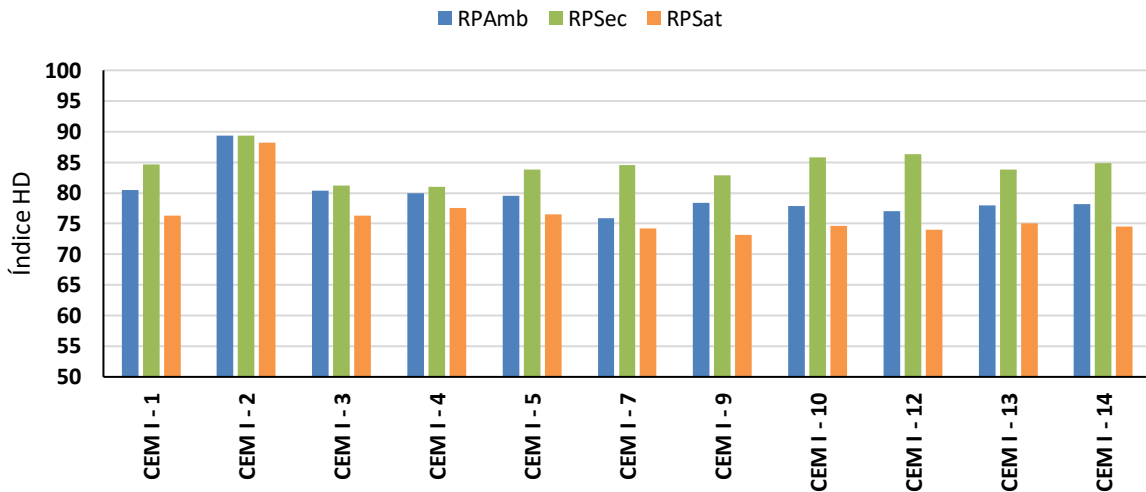


Figura 3. Índice HD en estados ambiente, seco y saturado de probetas CEM I

En todas las probetas se observa un crecimiento del índice HD en las probetas en estado seco con respecto al estado ambiente, superándose el 10% en tres probetas (CEM I – 7: 11,43%; CEM I – 10: 10,28%; y CEM I 12: 12,12%).

La comparativa con las probetas en estado saturado con respecto al estado ambiente está dominada por las reducciones en todas las probetas. En este caso, los porcentajes son inferiores al anterior caso, con una diferencia máxima del 6,60% en CEM I – 9. A continuación, se muestran los resultados de dureza Shore D de las probetas CEM II (Figura 4).

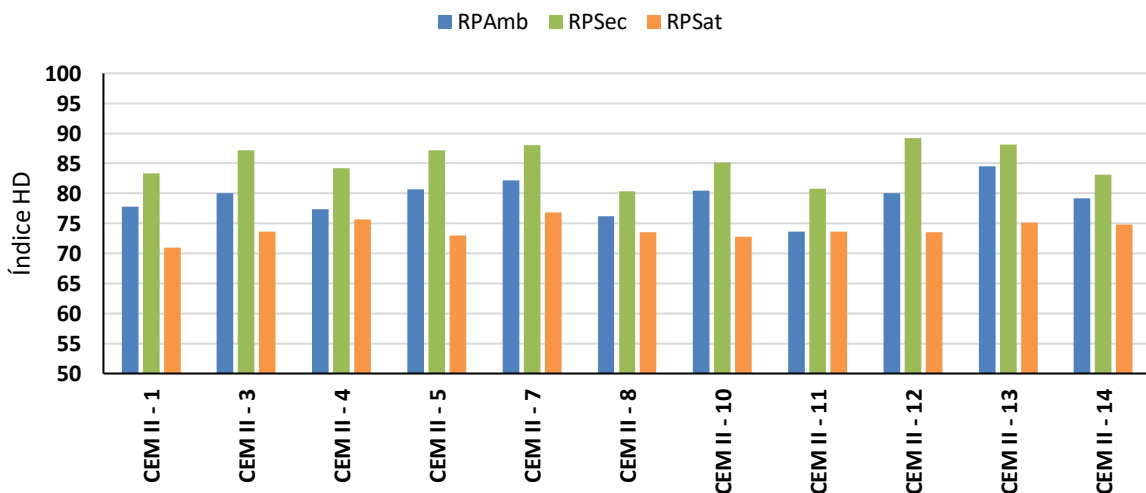


Figura 4. Índice HD en estados ambiente, seco y saturado de probetas CEM II

Se repite de nuevo el comportamiento de las probetas en cuanto a su índice HD para los estados seco (incremento) y saturado (decremento).

En el estado seco, únicamente una probeta supera el 10% de diferencia en el índice HD (CEM II – 12: 11,46%), aunque, comparativamente con las probetas CEM I, su promedio de incremento es superior ascendiendo hasta un 7,44% en CEM II, y siendo un 6,23% en CEM I.

En estado saturado, los decrementos son más pronunciados que en las probetas CEM I llegando a superar el 10% de nuevo (CEM II – 13; 11,05%). En promedio, las probetas CEM II reducen su índice HD prácticamente el doble que las probetas CEM I (CEM I = 3,97%; CEM II – 6,59%).

4. CONCLUSIONES

Los retos medioambientales europeos, junto a los nuevos indicadores de sostenibilidad que tienen en cuenta todo el ciclo de vida útil del edificio, hacen que el sector cementero deba retirar sus productos con más alto valor porcentual de clinker y trabajar en otros más respetuosos con el medio ambiente contando con un menor valor de emisiones de gases de efecto invernadero.

Sin embargo, dichos productos deben mantener propiedades tan importantes para la durabilidad de un edificio como la dureza en cualquiera de sus formas. En este trabajo, se han realizado los ensayos relacionados con la dureza Shore D sobre probetas referencia de mortero, elaboradas con CEM I, uno de los productos más perjudicados por su alto contenido de clinker pese a ser de los más utilizados, y probetas elaboradas con CEM II con un menor contenido y ampliamente utilizado en el sector.

Los resultados muestran como, en estado ambiente, los índices HD son similares con valores aproximados a 79, pero cuando se acude a sus estados seco y saturado, sus comportamientos difieren. En el caso del estado seco, las probetas de CEM I han demostrado tener menor variabilidad en sus índices. Esto se ha repetido en el estado saturado, por lo que se comprueba que las probetas de CEM II son más susceptibles a incrementar o disminuir su índice de dureza más acusadamente que las probetas de CEM I.

Los valores máximos de decremento medidas en estado seco son de un 12,12% en CEM I y de un 11,46% en CEM II. En estado saturado, estos valores son de un 6,60% en CEM I y de un 11,05% en CEM II constatando una mayor sensibilidad al contenido de agua en relación a su índice de dureza.

Los valores promedio de variabilidad en estado seco son de 1,20 veces superior en CEM II y en estado saturado de hasta un 1,66 veces.

Por último, se debe mencionar que la poca diferencia entre pesos de los estado seco y ambiente no ha derivado en una falta de diferencias en las resistencias a penetración, lo que puede señalar la no dependencia de una propiedad con respecto a la otra.

5. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

GEI	Gases de Efecto Invernadero
HD	Hardness D

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Parlamento Europeo y Comisión Europea, " Directiva (UE) 2024/1275 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de abril de 2024, relativa a la eficiencia energética de los edificios", *Diario Oficial de la Unión Europea*, DOUE-L-2024-80664, Mayo 2024.
- [2] Ministerio de Industria y Turismo, "Estadística del cemento". 2026. <https://industria.gob.es/es-es/estadisticas/Documents/Estadistica-Cemento/principales-resultados/estadisticas-cemento-2026.pdf>
- [3] P. Song, Z. Wang, J. Zhou, Y. Tian, N. Wang, R. Liu y D. Danzeng, " Performance optimization and low-carbon effects of replacing cement clinker with mineral micro-powders in cold, high-altitude regions", *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, vol. 49, 102289, Febrero 2026. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2025.102289>
- [4] L. Wang, S. Mi, J. Zhang y H. Zhou, "Synergistic performance of microwave-activated coal gangue with limestone in low-carbon cement", *Journal of Building Engineering*, vol. 96, 110622, Noviembre 2024. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.110622>
- [5] S. Krishnan, S. K. Kanujia, S. Mithia y S. Bishnoi, "Hydration kinetics and mechanisms of carbonates from stone wastes in ternary blends with calcined clay", *Construction and Building Materials*, vol. 164, pp. 265 – 274, Marzo 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.240>
- [6] H. Wang, P. Hou, Q. Li, S. Adu-Amankwah, H. Chen, N. Xie, P. Zhao, Y. Huang, S. Wang y X. Cheng, "Synergistic effects of supplementary cementitious materials in limestone and calcined clay-replaced slag cement ", *Construction and Building Materials*, vol. 282, 122648, Mayo 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122648>
- [7] Z. Shao y M. Cao, "Hydration mechanism of limestone calcined clay cement containing calcined coal gangue", *Construction and Building Materials*, vol. 438, 136906, Agosto 2024. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136906>
- [8] Y. Dhandapani, M. Santhanam, G. Kaladharan y S. Ramanathan, "Towards ternary binders involving limestone additions — A review", *Cement and Concrete Research*, vol. 143, 106396, Mayo 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106396>
- [9] P.D. Tennis, M. D. A. Thomas y W. J. Weiss, "State-of-the-art report on use of limestone in cements at levels of up to 15", *Portland Cement Association*, pp 1 – 78
- [10] X. Li, A. Wanner, C. Hesse, S. Friesen, y J. Dengler, "Clinker-free cement based on calcined clay, slag, portlandite, anhydrite, and C-S-H seeding: An SCM-based low-carbon cementitious binder approach", *Construction and Building Materials*, vol. 442, 137546, Septiembre 2024. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137546>

- [11]J. Yu, T. Lee, J. Kil, J. Oh, y W. Yum, "Recycling of treated cement kiln bypass dust (T-CBPD) as a new type of supplementary cementitious material (SCM) in calcium sulfoaluminate (CSA) cement", *Construction and Building Materials*, vol. 491, 142826, Septiembre 2025. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.142826>
- [12]K. Cui, D. Zhao, Y. Zhao, Y. Zheng, W. Wu, Q. Qin, F. Nie, J. Chang, P. Shen, y C. Poon, "Development of CO₂-induced SCMs for calcium sulfoaluminate cement: Towards enhancing hydration, compressive strength and later stage-ettringite stability", *Cement and Concrete Research*, vol. 201, 108121, Marzo 2026. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2025.108121>
- [13]Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática, "Real Decreto 470/2021, de 29 de junio, por el que se aprueba el Código Estructural", *Boletín Oficial del Estado*, 190, pp. 97664-99452
- [14]AENOR, "UNE-EN 197-1:2011. Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes"
- [15]H. Chu, T. Wang, L. Han, L. Cao, M. Guo, y Y. Liang, "Vickers hardness distribution and prediction model of cement pastes corroded by sulfate under the coexistence of electric field and chloride", *Construction and Building Materials*, vol. 309, 125119, Noviembre 2021. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125119>
- [16]T. Aye, C.T. Oguchi, y Y. Takaya, "Evaluation of sulfate resistance of Portland and high alumina cement mortars using hardness test", *Construction and Building Materials*, vol. 24, pp. 1020–1026, Junio 2010. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.11.016>
- [17]D. García, K. Wang, y R.B. Figueiredo, "The influences of quartz content and water-to-binder ratio on the microstructure and hardness of autoclaved Portland cement pastes ", *Cement and Concrete Composites*, vol. 91, pp. 138-147, Agosto 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.05.010>
- [18]X. Pan, C. Shi, J. Zhang, L. Jia, y L. Chong, "Effect of inorganic surface treatment on surface hardness and carbonation of cement-based materials", *Cement and Concrete Composites*, vol. 90, pp. 218-224, Julio 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.03.026>
- [19]Y. Zhao, B. Lothenbach, Z. Hu, y B. Xu, "Optimizing Mg/PO₄ molar ratio for ultra-high-performance steel fiber-reinforced magnesium potassium phosphate cement-based composite", *Cement and Concrete Research*, vol. 201, 108126, Marzo 2026. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2025.108126>
- [20]F. Liu, B. Wang, X. Li, Z. Chen, y C. Zhou, "Hydration time-dependent evolution of interfacial micromechanical behavior between magnesium potassium phosphate cement and cement concrete", *Cement and Concrete Composites*, vol. 166, 106362, Febrero 2026. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2025.106362>
- [21]X. Zhang, L. Xu, Z. Zhang, Y. Liu, Y. Huang, H. Liang, y G. Ma, "Electric-field effect on ITZ refinement and HD C-(A)-S-H gel formation via electro-thermal field decoupling in cement composites", *Journal of Building Engineering*, vol. 120, 115374, Febrero 2026. <https://doi.org/10.1016/j.job.2026.115374>
- [22]Y.J. Álvarez Mogrovejo, "Evaluación de las propiedades mecánicas de morteros de cemento reforzados con fibras de polipropileno sometidos a temperatura y con diferentes regímenes de enfriamiento", *Trabajo Fin de Máster*, 2023

[23]AENOR, “UNE EN 196-1:2018. Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias”

[24]AENOR, “UNE EN 1015-10:2000. Métodos de ensayo de los morteros para albañilería. Parte 10: Determinación de la densidad aparente en seco del mortero endurecido”