

Mejora de la resistividad eléctrica de morteros de cemento mediante nanotecnología

Improvement of electrical resistivity of cement mortars with nanotechnology

Carmen Manteca Martínez^{*, a}, Benjamín Santos Varela^b

^aIngeniero Químico, Centro Tecnológico CTC, Santander, España

^bIngeniero Industrial, Centro Tecnológico CTC, Santander, España

RESUMEN

La difusión o permeabilidad de iones o gases a través de la matriz de cemento es clave en la degradación del hormigón armado en aplicaciones marinas. El retraso en la difusión de iones ha sido un enfoque importante para extender la vida útil de este tipo de materiales. La adición de nanopartículas a la pasta de cemento tiene importantes implicaciones para la hidratación y la microestructura de las pastas llegando a reducir la porosidad y mejorar las propiedades mecánicas. En este estudio se han empleado diferentes nanopartículas para reducir la porosidad de morteros evaluando esa mejora mediante medidas de resistividad eléctrica.

ABSTRACT

The diffusion or permeability of ions or gases through the cement matrix is key in the degradation of reinforced concrete for marine applications. The delay in ion diffusion has been an important approach to extend the life of this type of materials. The addition of nanoparticles to the cement paste has important implications for the hydration and microstructure, reducing porosity and improving mechanical properties. In this study, different nanoparticles have been used to reduce the porosity of mortars evaluating this improvement by means of electrical resistivity measurements.

PALABRAS CLAVE: nanopartículas, mortero, resistividad.

KEYWORDS: nanoparticles, mortar, resistivity.

1. Introducción

Las actuales tendencias del mercado hacia productos más duraderos, más sostenibles, más económicos y versátiles, fuerza al sector de la construcción a actualizarse, al igual que ocurre en otros sectores tecnológicos más punteros, como la automoción o la aeronáutica fomentando la investigación e innovación como factores de mejora. En ese sentido, la nanotecnología abre un extenso campo de

posibilidades para la producción de materiales para el sector de la construcción con características mejoradas y nuevas funcionalidades nunca antes concebidas. Aunque los expertos auguran grandes resultados de la maduración de estos nuevos materiales nanoestructurados, es cierto que, a día de hoy solamente una proporción muy limitada de nanomateriales han llegado a

probarse en entornos reales, principalmente en recubrimientos, cemento y hormigón o materiales de aislamiento, utilizando nanopartículas (NPs) de sílice, plata, óxidos de aluminio o titanio, etc [1,2].

El objetivo del trabajo es mejorar la matriz cementicia para obtener hormigones menos porosos que impidan o dificulten el paso de agentes agresivos para su uso en obras marítimas o portuarias. Para el desarrollo del trabajo se han empleado tres nanomateriales: nanosílice, nanoarcilla y óxido de grafeno.

2. Experimental

2.1 Materiales

Los materiales empleados para la preparación de las muestras de mortero nanoaditivadas fueron los siguientes: cemento Portland (CEM), escoria de alto horno (E), arena normalizada, nanopartículas de sílice en líquido (NSL), nanopartículas de sílice en polvo (NSP), nanoarcillas (NA), óxido de grafeno (GO), aditivo superplastificante (SP) y agua desionizada.

2.2 Preparación de muestras

Las muestras se prepararon siguiendo la norma UNE EN 196-1. Se ha empleado una amasadora planetaria de morteros y un homogeneizador para dispersar las nanopartículas en el agua de amasado. Se han preparado un total de 20 muestras. Las muestras control se denominaron M0 y M1, siendo M0 como indica la norma y M1 sustituyendo un 40% del cemento por escoria de alto horno. El resto de muestras (M2-M20) se prepararon empleando esa relación de cemento y escoria como conglomerante. La relación agua/conglomerante fue de 0.45. En la figura 1 se muestran las etapas del proceso de preparación de probetas.

Se realizaron medidas de fluidez para conocer el punto óptimo del superplastificante sin modificar la relación a/c y obtener unas mezclas de mortero fluidas para posteriormente poder fabricar un mortero trabajable. Estas medidas se basaron en el ensayo de cono de Marsh. Se emplearon adiciones de superplastificantes desde 0.6% a 1.2% spc.

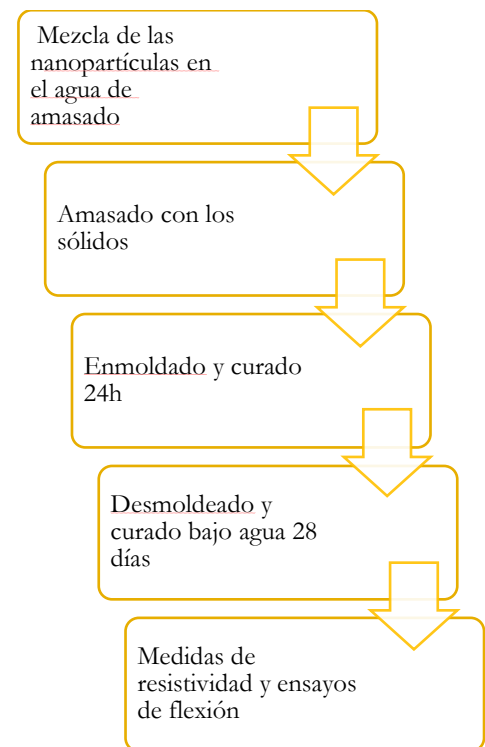


Figura 1. Etapas del proceso de preparación y caracterización de las muestras.

En la tabla 1 se recogen las adiciones usadas. Se usaron adiciones desde 0.05% sobre peso del conglomerante (spc) hasta 9.1% spc.

Tabla 1. Adición (%) de nanocarga

Muestra	NSL	NSP	NA	GO
M2	0.5			0.1
M3	0.5		0.5	
M4	0.5			
M5	1			
M6	2			
M7		0.5		
M8		1		
M9		2		
M10			0.5	
M11			1	
M12			2	
M13				0.05
M14				0.1
M15				0.15
M16	0.9			0.1
M18		3		
M19		2		
M20	9.1			

2.3 Ensayos de caracterización

2.3.1. Ensayos de resistividad eléctrica

Para realizar este ensayo se siguió la norma UNE 83988. Se ha empleado un medidor de resistividad eléctrica, que consiste en comprobar cuánto le cuesta a una carga eléctrica atravesar el hormigón. Cuanto menos poroso es el hormigón presenta una mayor resistividad y, por tanto, mayor es su durabilidad frente a agentes agresivos. Se realizaron medidas de resistividad a los 1, 2, 3, 7, 14, 21 y 28 días de curado de cada probeta fabricada.

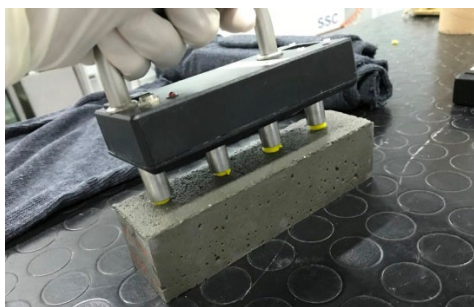


Figura 2. Detalle del ensayo de resistividad eléctrica sobre una probeta de mortero.

2.3.2. Ensayos mecánicos

Se realizaron ensayos de flexión sobre las muestras de mortero nanoaditivado empleando una máquina INSTRON 3369 con célula de carga de 50kN (Figura 3). Se siguió la norma UNE EN 196-1. Las probetas eran de 40 mm x 40 mm x 160 mm.

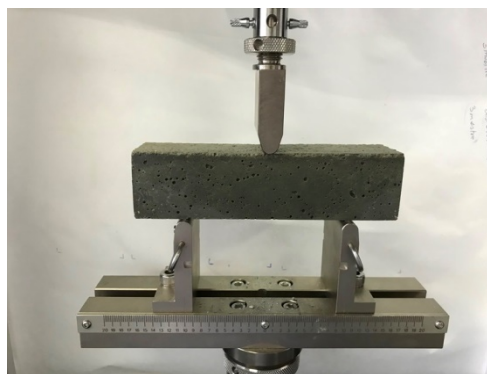


Figura 3. Detalle del ensayo de resistencia a flexión de una probeta de mortero.

3. Resultados y discusión

3.1 Resistividad eléctrica

Los resultados de las medidas de resistividad eléctrica se recogen en la tabla 2. Para tiempos de curado tempranos (7 días) las mejores muestras son la M9, M18 y M19, con un contenido en NSP del 2% y 3% spc, obteniendo un 40% y 43% de mejora respecto de la muestra control M1, respectivamente. Para tiempos largos de curado (28 días), se mantienen los mejores resultados para las muestras anteriores además de la M20, con un contenido de 9.1% spc. El empleo de las nanoarcillas y el óxido de grafeno no muestra unas mejoras tan significativas como el empleo de nanosílice. Se obtienen mejoras de hasta el 8% respecto de la muestra control M1 para las muestras con NA a 28 días de curado. Las muestras con dos nanoaditivos tampoco logran mejoras tan altas como las muestras con nanosílice.

Tabla 2. Resultados de resistividad de todas las muestras

	Días/Resistividad ($\Omega.m$)						
	1	2	3	7	14	21	28
M0	16	-	-	37	42	45	47
M1	6	16	21	35	56	72	86
M4	5	16	21	35	58	76	93
M5	8	18	25	39	62	82	102
M6	8	18	24	37	59	81	102
M20	8	-	-	40	79	123	160
M7	7	18	24	41	67	87	106
M8	8	17	23	42	71	94	113
M9	9	16	24	50	90	118	143
M19	8	-	-	49	90	117	137
M18	9	17	24	51	111	154	182
M10	6	17	23	38	53	77	94
M11	5	16	22	36	57	73	90
M12	6	16	23	37	58	75	93
M13	6	15	20	36	54	72	88
M14	6	14	19	35	52	69	87
M15	2	6	7	12	20	27	33
M16	8	17	22	38	63	83	101
M2	6	16	21	36	58	74	87
M3	6	16	21	36	59	76	93

En la figura 4 se observa una gráfica comparativa de las muestras con nanosílice en líquido (NSL). A tiempos de curado tempranos (7 días) apenas se observa mejora en las medidas de resistividad respecto de la muestra control M1, del orden del 13%. En cambio, para edades de 28 días de curado se alcanza una mejora de hasta el 84% para la muestra con un 9%spc de NSL respecto de la muestra control M1.

En la figura 5 se observa una gráfica comparativa de las muestras con nanosílice en polvo (NSP). Las muestras M9 y M19 contienen el mismo % de aditivo, la diferencia está en la forma de incorporar la nanosílice. Para la muestra M19 la nanosílice se mezcló con el resto de sólidos (cemento+escorias). Se obtienen mejoras del 40% respecto de la muestra control M1 para la muestra con un

2%spc y del 43% para la muestra con 3%spc para tiempos de curado de 7 días. Para tiempos de curado de 28 días la muestra con un 3%spc (M18) presenta una mejora del 110% respecto de la muestra control M1.

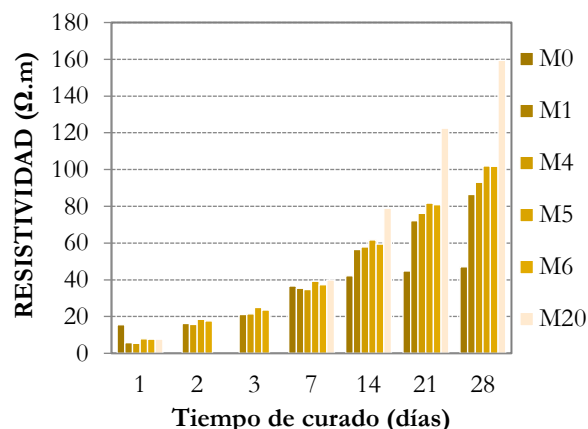


Figura 4. Resistividad eléctrica vs tiempo de curado para las muestras con NSL.

Para la muestra M19 la nanosílice se mezcló con el resto de sólidos (cemento+escorias). Se obtienen mejoras del 40% respecto de la muestra control M1 para la muestra con un 2%spc y del 43% para la muestra con 3%spc para tiempos de curado de 7 días. Para tiempos de curado de 28 días la muestra con un 3%spc (M18) presenta una mejora del 110% respecto de la muestra control M1.

Estas mejoras obtenidas adicionando nanopartículas de sílice se debe a que presentan actividad puzolánica: consiguen reducir los cristales de $Ca(OH)_2$. Esta acción se traduce en un mortero menos poroso y permeable. Además estas nanopartículas actúan como relleno (fillers) de los poros que se generan en la estructura del C-S-H haciendo que la matriz se densifique [3].

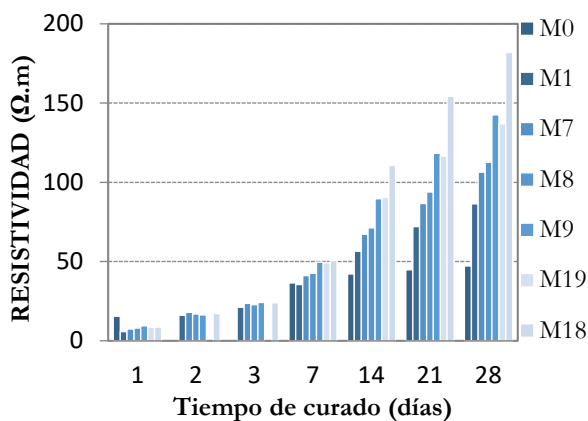


Figura 5. Resistividad eléctrica vs tiempo de curado para las muestras con NSP.

3.2 Resistencia a flexión

Los resultados obtenidos en los ensayos a flexión realizados se muestran en la tabla 3. Las probetas se ensayaron a los 28 días de curado. Los resultados son el promedio de las tres probetas preparadas por muestra.

Tabla 3. Resultados de los ensayos a flexión

Muestra	Carga máxima (N)	Resistencia a flexión (MPa)
M0	4515.9	10.6
M1	4531.2	10.6
M4	4056.9	9.5
M5	3957.1	9.3
M6	4026.7	9.4
M20	4679.2	11.0
M7	4201.6	9.8
M8	4177.0	9.8
M9	3300.8	7.7
M19	4677.8	11.0
M18	4712.7	11.0
M10	3702.5	8.7
M11	3631.9	8.5
M12	3720.6	8.7
M13	4627.0	10.8
M14	4429.3	10.4
M15	2764.6	6.5
M2	3941.0	9.2
M3	3652.8	8.6
M16	4624.6	10.8

Como se observa, el empleo de estas adiciones no muestra una mejora en las resistencias mecánicas a flexión respecto de las muestras control.

4. Conclusiones

A continuación, se detallan las conclusiones más relevantes:

- El empleo de nanosílice mejora significativamente la resistividad del mortero de cemento. A mayor contenido en nanosílice mejores resultados de resistividad.
- El uso de nanoarcilla mejora ligeramente la resistividad, aunque lejos de los porcentajes en que lo hace la nanosílice, mientras que el óxido de grafeno no.
- Con un 3%spc de NSP se obtienen los mejores resultados (110% de mejora respecto de la muestra control con escorias a 28 días de curado).
- A edades tempranas de curado (7 días) las medidas de resistividad son similares para las muestras con un 2%spc NSP, independientemente del proceso de mezclado de las nanopartículas. Se observa el mismo comportamiento si empleamos un 3%spc NSP.
- A edades avanzadas de curado (28 días) se observan diferencias según el contenido y el formato de la nanosílice. Con un 3%spc NSP se obtiene el valor más alto (182 $\Omega.m$), seguido de 9.1%spc NSL (160 $\Omega.m$), de 2%spc NSP (143 $\Omega.m$) y 2%wt. NSP.II (137 $\Omega.m$).
- Los ensayos de resistencia a flexión tras 28 días no muestran una mejora de las propiedades mecánicas respecto de las muestras control.
- La muestra control sin escorias muestra unos valores de resistividad muy elevados tras desmoldar pero a los 7 días se comporta igual que la muestra control con escorias. A edades más avanzadas presenta

resultados notablemente peores que la muestra con escorias.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias al proyecto “Desarrollo y validación de materiales de alta durabilidad para su aplicación en estructuras marítimas y espaldones vulnerables al Cambio Climático (MADAME)” financiado por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (España), de la convocatoria Retos Colaboración 2017 con referencia RTC-2017-6009-5. Se trata de un proyecto en cooperación cuyo consorcio está formado por Dragados, Drace, GalaiControl, Fundación Agustín Betancourt y Fundación Centro Tecnológico de Componentes, siendo el coordinador del proyecto Dragados.

Referencias

- [1] Y. Reches, Nanoparticles as concrete additives: Review and perspectives, *Construction and Building Materials*. 175 (2018) 483–495.
- [2] N.B. Singh, M. Kalra and S.K. Saxena, Nanoscience of Cement and Concrete, *Materials Today: Proceedings*. 4 (2017) 5478–5487.
- [3] J. Alcaraz, Microestructura del Hormigón con adición de nano sílice, Universidad Politécnica de Cartagena, España, 2012.