

Microestructura de morteros de albañilería fabricados con poliamida reciclada

Microstructure of masonry mortar with recycled polyamide

Miguel-Ángel Salas¹, Matthieu Horgnies², Jesús Gadea¹, Verónica Calderón¹

¹ Universidad de Burgos (España)

² Lafarge Centre de Recherche (France)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8195>

1. INTRODUCCIÓN

En un intento por reducir la gran cantidad de subproductos residuales y la cantidad de polímeros y plásticos en vertederos sin un uso adecuado, se plantean numerosas políticas orientadas al reciclaje y reutilización de este tipo de materiales. Aunque no existen muchas estadísticas detalladas que indiquen la cantidad de residuos de poliamida generados en la industria en general, la cantidad estimada es de alrededor del 20% del total de los desechos de polímero, lo que significa unas 200.000 toneladas de residuos al año [1]. Esto conduce a buscar una solución que de salida al empleo y la valorización de este residuo.

Por otro lado, a pesar de que existen numerosos estudios previos con la influencia que producen los residuos de poliméricos y plásticos en conglomerantes, como morteros [2], hormigones [3], betún [4] y yeso [5], es muy escasa la inclusión de poliamida en polvo [6].

Por esta razón, se han realizado algunas investigaciones previas sobre la caracterización de morteros reciclados y ensayos de durabilidad de estos materiales. Este estudio implica un trabajo innovador y contribuye a avanzar en este interesante tema.

Con la intención de analizar de forma más profunda estos productos, se han analizado a fondo la microestructura y la matriz, ya que las propiedades a nivel microscópico siempre influyen y determinan una correlación con el comportamiento macroscópico.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo se centra en determinar las variaciones de microestructura producidas por este residuo en la porosidad y permeabilidad, los

parámetros principales en la aplicación de estos morteros reciclados de albañilería o revestimiento.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El cemento utilizado es un cemento Portland tipo CEM I 42,5 R con una densidad de 3065 kg/m³, según la norma EN 197-1. [7]

Se emplea arena de río, tamizada entre 0 y 2 mm con una densidad de 2600 kg/m³, según EN 13139. [8]

El residuo de polvo de poliamida se obtiene a partir de materia prima residual generada en un proceso industrial de sinterización por láser. Su tamaño granulométrico es inferior a 1 mm, con una densidad real de 1070 kg/m³.

Preparación de muestras

La producción de morteros se lleva a cabo de acuerdo con las normas europeas actuales, sustituyendo porcentajes en volumen de 25%, 50%, 75% y 100% de arena convencional por residuos de poliamida en polvo. Se utiliza una relación 1/3 de cemento/agregado, considerando el agregado como la suma de la arena y el polímero. Además, se fabrican muestras de referencia con arena para contrastar las propiedades finales.

La cantidad de agua a añadir a cada mezcla será la cantidad necesaria para obtener morteros de consistencia plástica que obtengan un valor de escurrimiento de 175 ± 10 mm en la mesa de sacudidas siguiendo el procedimiento indicado en la norma EN 1015-3 [9]. Todos los morteros obtenidos tienen una resistencia a la compresión superior a 7 MPa para ser utilizados como materiales de albañilería.

Caracterización de muestras

La microscopía electrónica de barrido se realiza mediante un microscopio electrónico de barrido de alta resolución (SEM FEG Quanta 400 de FEI Company, EE.UU.). Las muestras fracturadas se analizaron en modo ambiental utilizando una presión de 3,2 Pa (para limitar la deshidratación).

Se utiliza la tomografía axial computarizada (TAC) para la obtención cuantitativa de tamaños de poro macroporosos de más de 170 μ m. El aparato consta de un sistema de rayos X con un tubo de Yxlon de 225 Kv/30mA y una cabina metálica de acero-plomo-acero, de modo que funciona con una radiación máxima de 225Kv/30mA dentro de la cabina.

La estructura microporosa del material se determina por técnica de porosimetría de intrusión de mercurio (MIP) (Autopore IV de Micromeritics, EE.UU.). El intervalo de presión del porosímetro abarca desde el sub ambiente hasta 400 MPa, cubriendo el intervalo de diámetro de poro de aproximadamente 360 μ m a 3 nm. Las muestras se secan en un horno a 45°C durante la noche antes de ser ensayadas.

La estructura de poro se ha asociado con la permeabilidad al vapor de agua de las mezclas. La norma específica que para encontrar el valor de permeabilidad, primero es necesario calcular la permeancia, que es el flujo de vapor de agua que pasa a través de una unidad de área en condiciones de equilibrio para cada unidad de diferencia de presión de vapor en ambos lados del mortero. [10] A continuación, se calcula la permeabilidad teniendo en cuenta el grosor de la muestra de ensayo.

3. RESULTADOS

La microscopía electrónica de barrido (SEM) muestra una buena compatibilidad entre la microestructura de las partículas de residuo de poliamida y la pasta de cemento. También se ha observado que el polímero se encuentra bien dispersado de manera homogénea en la matriz de mortero, con buena adhesión que conecta la pasta de cemento con las partículas de polvo [11].

Además, la microestructura de los morteros ha sido examinada en detalle a través de microscopía electrónica de barrido rápido (FESEM). La técnica de mapeo ha demostrado una distribución homogénea de materias primas en todas las muestras (Figura 1).

Por otro lado, mediante tomografía computarizada (TAC) se ha determinado de forma cuantitativa la macroporosidad de estos morteros (poros mayores de 170 μ m). Tanto las secciones transversales como las reconstrucciones tridimensiona-

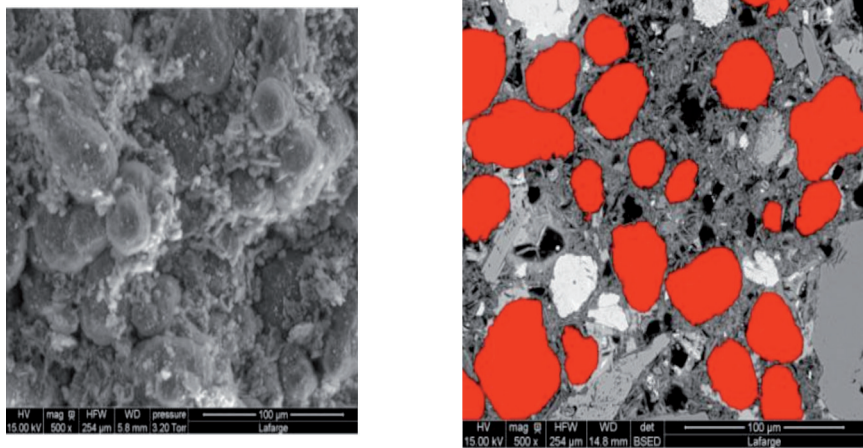


Fig. 1: Derecha: imagen SEM de la muestra 3PA100. Izquierda: Mapeado FSEM de la muestra

les han demostrado una distribución uniforme y homogénea de materias primas y macroporos [12]. La Figura 2 proporciona el porcentaje de macroporos calculados por TAC, obteniendo que la porosidad aumenta de manera proporcional al contenido de poliamida en la composición del mortero.

El tamaño, diámetro y porcentaje de volumen de microporos se ha obtenido por porosimetría de intrusión de mercurio (MIP). El empleo de residuos de polvo de poliamida en lugar de arena produce una influencia compleja sobre las propiedades de la microporosidad. Cuando se reemplaza un 25% de arena por poliamida, la microporosidad disminuye con respecto a las muestras de referencia, mientras que con mayores cantidades de polímero (50%, 75% y 100%), la porosidad aumenta proporcionalmente con el residuo.

Este comportamiento podría deberse a un “envasado” inicial que puede producir una distribución no homogénea que hace que los capilares sean más pequeños y de microporosidad menor [13]. Este efecto desaparece con mayores cantidades de poliamida (Tabla 1). Los resultados confirman un diámetro de poro crítico de 0,123 micras para la mezcla de 3PA25, posiblemente debido a la porosidad inherente de la pasta de cemento. Las muestras 3PA50, 3PA75 y 3PA100 muestran valores mayores de 1 micra.

Mortero	Ø crítico de poro (µm)	Microporosidad MIP (%)
M-3R	0.123	24.6
M-3PA25	1.030	22.6
M-3PA50	1.527	26.9
M-3PA75	2.710	29.9
M-3PA100	3.338	39.1

Tabla 1: Diámetro crítico de poro y microporosidad de morteros

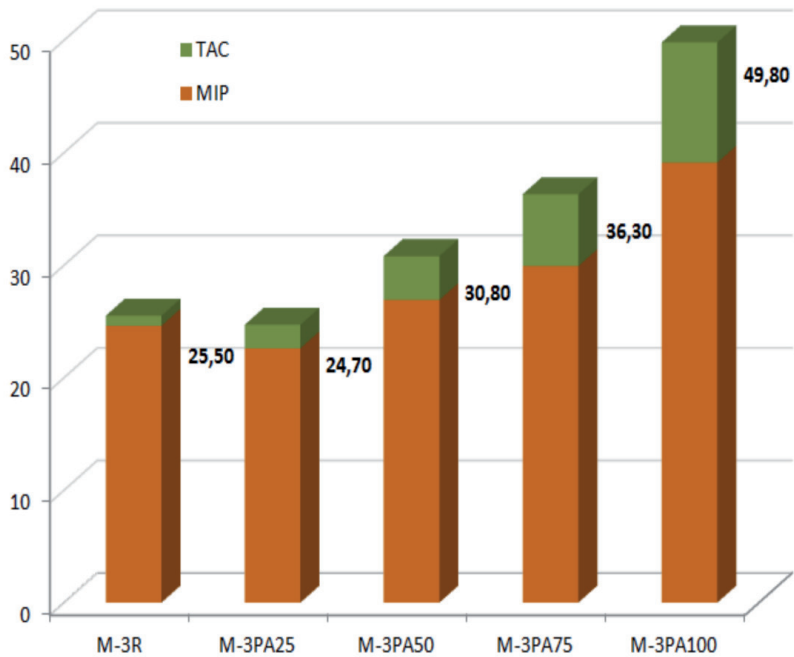


Fig. 3: Microporosidad (MIP) y macroporosidad (TAC) en porcentaje

	Mortero	Macroporosidad TAC (%)
	M-3R	0.9
	M-3PA25	2.1
	M-3PA50	3.9
	M-3PA75	6.4
	M-3PA100	10.7

Figura 2: Detalle de TAC del mortero 3PA75 y tabla con la macroporosidad de las mezclas

Mortero	Permeabilidad al vapor de agua (kg/m.s.Pa)
M-3R	5.35 E-12
M-3PA25	1.16 E-11
M-3PA50	4.07 E-11
M-3PA75	4.99 E-11
M-3PA100	5.08 E-10

tución del 50%, 75% y 100% son adecuados para permitir la difusión de vapor en las paredes y evitar la condensación del agua (Tabla 2). [15]

4. CONCLUSIONES

Además de los beneficios ambientales implícitos que representa la valorización de cantidades significativas de residuos poliméricos, esta investigación desarrolla la fabricación de morteros ligeros con residuos de polvo de poliamida en polvo con ventajas añadidas.

La porosidad de los morteros aumenta con la cantidad de residuo incorporado de poliamida, obteniendo materiales clasificados como morteros ligeros, con una adecuada distribución de materias primas y poros. Otros experimentos prospectivos se refieren a la influencia del aumento de la porosidad para la capacidad de aislamiento térmico y acústico, y por lo tanto estos compuestos podrían ser adecuados para ser empleados como morteros de mampostería.

La caracterización de la microestructura a través de la microscopía electrónica de barrido confirma una buena cohesión entre la pasta de cemento en la interfase poliamida-cemento.

La permeabilidad al vapor de agua incrementa con la cantidad de residuo polimérico. Esto se considera un factor favorable, para extender el empleo de estos conglomerantes reciclados como morteros de rehabilitación.

PARA SABER MÁS

[1] Plastics—the Facts 2016. An analysis of European latest plastics production, demand and waste data. European Association of Plastics Manufacturers (PlasticsEurope). Brussels. <http://www.plasticseurope.org/Document/plastics---the-facts-2016-15787.aspx?FoIID=2>

[2] C. Junco, J. Gadea, A. Rodríguez, S. Gutiérrez-González, V. Calderón. Durability of lightweight masonry mortars made with white recycled polyurethane foam, *Cement Concrete Composites* 2012, 34:1174-1179. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.07.006>

[3] L. Courard. Evaluation of thermodynamic properties of concrete substrates and cement slurries modified with admixtures, *Materials and Structures* 2002, 35:149-155. doi:10.1007/BF02533583.

[4] B. Singh, L. Kumar, M. Gupta, G.S. Chauhan. Polymer-modified bitumen of recycled LDPE and maleated bitumen. *Journal of Applied Polymer Science* 2013, 127: 67-78. DOI: 10.1002/app.36810.

[5] L. Alameda, V. Calderón, C. Junco, A. Rodríguez, J. Gadea, S. Gutiérrez-González. Characterization of gypsum plasterboard with polyurethane foam waste reinforced with polypropylene fibers. *Materiales de Construcción*, 2016, 66: 324. <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2016.06015>

[6] J. Gadea, M. A.Salas, S. Gutiérrez-González, M. Horgnies, V. Calderón. Recycled polyamide mortars modified with non-ionic surfactant: physical and mechanical strength after durability test. *Materials and Structures*, 2016, 49, 3385-3395. doi:10.1617/s11527-015-0726-z.

[7] EN 197-1. Cement composition, specification and conformity criteria. Part 1: common cements; 1994.

[8] EN 13139. Aggregates for mortar; 2002.

[9] EN 1015-3. Methods of test for mortar for masonry. Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). 1999.

[10] EN 1015-19. Methods of test for mortar for masonry. Part 19. Determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars. 1999.

[11] I. Pochard I, Labbez C, Nonat A, Vija H, Jönsson B. The effect of polycations on early cement paste, *Cement and Concrete Research* 2010, 40:1488-1494. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.06.002>

[12] E. Knapen, D. Van Gemert D. Cement hydration and microstructure formation in the presence of water-soluble polymers. *Cement and Concrete Research* 2009, 39:6-13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.10.003>

[13] L. Cui,J. H. Cahyadi. Permeability pore structure of OPC paste. *Cement Concrete Research* 2001, 31:277-282. [http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00474-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00474-9)

[14] J.L Ruiz-Herrero, D. Velasco Nieto, A. López-Gil, A. Arranz, A. Fernández, A. Lorenzana, S. Merino, J.A. De Saja, M.A Rodríguez-Pérez. Mechanical and thermal performance of concrete and mortar cellular materials containing plastic waste. *Construction and Building Materials* 2016, 104: 298-310. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.005>

[15] S. Caré, F. Derkx. Determination of relevant parameters influencing gas permeability of mortars. *Construction and Building Materials* 2011, 25:1248-1256. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.09.028>