

ESTUDIO DE LA MICROESTRUCTURA DE HORMIGONES CONFECCIONADOS CON FILLER CUARCÍTICO Y CALIZO MEDIANTE TÉCNICAS PETROGRÁFICAS

Gabriela Coelho dos Santos¹, Marcos Panei², Anahí López³

¹LEMIT-CICPBA, 52 121 y 122 s/n, 2214831141, gabrielacoelho.lemmit@gmail.com

²LEMIT-CICPBA, 52 121 y 122s/n, 2214831141, marcos_panei@hotmail.com

³LEMIT-CICPBA, 52 121 y 122s/n, 2214831141, colores@lemmit.gov.ar

RESUMEN

Para comprobar la efectividad de un filler cuarcítico, generado originalmente como pasivo ambiental y por necesidad actual de la sostenibilidad de los materiales constructivos en el desarrollo de hormigones “eco-eficientes” fueron analizados, mediante microscopia, hormigones con diferentes contenidos de filler cuarcítico (FQ) en reemplazo de volumen del convencional filler calizo (FC). El objetivo principal es identificar variaciones de la matriz cementícea e interfase pasta-agregado a medida que se incrementa el contenido de FQ. Este material proviene de canteras de piedra Mar del Plata obtenido como un residuo de lavado de arena de trituración cuarcítica, y no está disponible actualmente en el mercado del hormigón. En las secciones delgadas se identificaron partículas angulosas-subangulosas del FQ compuesto por cuarzo, y en menor proporción caolinita e illita, y partículas subredondeadas de calcita pertenecientes al FC. En la matriz cementícea se observaron cambios de coloración y de la textura a medida que aumentó el contenido de FQ. El nivel de análisis alcanzado no mostró diferencias significativas en la porosidad de las pastas.

Palabras claves: residuo cuarcítico, hormigón eco-eficiente, matriz cementícea, petrografía.

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de cemento ha crecido rápidamente en los últimos años y, después del uso de la tierra y los combustibles fósiles, es la tercera fuente más grande de emisiones antropogénicas de CO₂. A escala global la producción de cemento pórtland produce alrededor del 5 % de las emisiones antropogénicas de CO₂ y el 7 % del uso de combustibles industriales [1, 2]. El total del CO₂ emitido por la industria del cemento es la suma del CO₂ emitido durante el proceso de calcinación (materia prima) y el CO₂ asociado con el uso de energía [1]. Las posibilidades de reducir las emisiones de CO₂ durante la calcinación a través del reemplazo parcial de las materias primas tradicionales por escoria de alto horno o cenizas volantes de clase C (con un mayor contenido de calcio), con un nivel de reemplazo de alrededor del 10 %, es limitada [3]. Así mismo, reemplazar la piedra caliza un 10 %, puede llegar a reducir 25 % del total de CO₂ emitido por la industria del cemento [4].

Los datos aportados por la literatura, el mercado, e investigaciones de laboratorio, indican que el potencial para disminuir las emisiones de la cadena producción de hormigón es muy alto y requerirá cambios en la formulación y procesamiento del hormigón, como

también en la producción de agregados, cemento y adiciones, y de esta manera obtendríamos lo que se denomina un hormigón “eco-eficiente” [5].

En Argentina, una opción habitual es reemplazar al cemento por filler calizo, el cual es una adición mineral sin actividad puzolánica. Por otro lado, existen pasivos ambientales generados por la explotación de canteras en la producción de agregados graníticos y cuarcíticos que pueden ser útiles en la producción de filler cuarcítico [6]. En Provincia de Buenos Aires, en la localidad de Batán (partido de general Pueyrredón) se explotan rocas cuarcíticas, conocidas comercialmente como piedra Mar del Plata [7]. Estas rocas pertenecen a la unidad geológica denominada Formación Balcarce [8], constituida principalmente por espesos estratos de arenitas cuarzosas (“cuarcitas”), intercalados con lentes de arcilla caolinítica–illítica de poco espesor [8, 9]. Por lo tanto, durante el lavado de la arena de trituración cuarcítica producida en cantera, se genera un pasivo ambiental fino, constituido por partículas de cuarzo y arcilla, esta última proviene de la trituración de los pequeños lentes arcillosos que intercalan con las cuarcitas [10].

Este material de desecho o descarte fue utilizado como filler cuarcítico en un trabajo previo, para comprobar su potencial uso en la elaboración de hormigones autocompactantes, en donde se elaboraron cuatro mezclas con distintos porcentajes del filler cuarcítico (FQ) y filler calizo (FC) [6]. El objetivo del presente trabajo analizar los cuatro hormigones confeccionados en el trabajo mencionado [6] e identificar mediante petrografía, variaciones en la matriz cementícea: cambios en la porosidad, coloración, y en la distribución y modo de agregación de materiales adicionados (FQ y FC). Para ello, se realizaron secciones delegadas de los cuatro hormigones a ser estudiados mediante la norma de petrografía de hormigón endurecido, ASTM C 856 [11]. También fue necesario el análisis con microscopio petrográfico (MP) y electrónico de barrido (MEB) de los materiales adicionados (FQ y FC) para identificar su presencia en la pasta cementícea de los hormigones aquí analizados (con MP), considerando que la composición y la morfología de partículas influyen en la microestructura de la matriz cementícea [12].

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio petrográfico de los hormigones se utilizó un microscopio petrográfico (MP) Olympus BH2-UMA del área Ligantes hidráulicos del LEMIT, los cuales se analizaron en secciones delgadas de 2 mm x 4 mm x 30 µm de espesor. Dichos hormigones fueron confeccionados con diferentes proporciones de filler cuarcítico (FQ) y filler calizo (FC) en reemplazo del cemento, e identificados como H25 (25 % FQ + 75 % FC), H50 (50 % FQ + 50 % FC), H75 (75 % FQ + 25 % FC) y H100 (100 % FQ + 0 % FC). La dosificación de las mezclas se muestra en la Tabla 1.

Ambos filleres fueron estudiados con microscopio petrográfico (Olympus BH2-UMA) y con microscopio electrónico de barrido del Museo de La Plata (MEB, marca JOEL, modelo JSM 6360 LV). Para el análisis con MP se realizaron preparados a grano suelto de los polvos de FC y FQ utilizando un líquido de inmersión tipo-F con índice de refracción de 1,518(n_e). Durante el análisis con MEB se trabajó en alto vacío, con pequeñas muestras de polvo de granulometría inferior a 100 µm, las cuales fueron metalizadas previamente en oro (Au).

Para la toma de imágenes con MP de las secciones delgadas de hormigón y de los preparados granos suelto del FQ y FC, se utilizó una cámara digital Infinity 1-3C digital de 13,1 megapíxeles. Las imágenes no fueron intervenidas digitalmente a fin de poder ser comparadas correctamente tanto las imágenes entre los distintos hormigones como las imágenes de ambos filleres.

Tabla 1: Dosificación de las mezclas (kg/m^3). CPF: Cemento pórtland con filler calizo; AF1: agregado fino natural silíceo; AF2: agregado fino de trituración granítico 0-6 mm; AG: agregado grueso de trituración granítico de 12 mm tamaño máximo, superfluidificante (Sp): 0,4-1,5 % en peso de cemento.

Hormigón	Agua	CPF	FQ	FC	Sp	AF1	AF2	AG
H25	184	378	66	167	4,4	527	228	773
H50	184	349	116	111	4,5	527	230	774
H75	187	354	175	55	6,3	532	230	779
H100	176	356	237	0	6,4	538	234	790

En la Figura 1 a y b se destacan las características ópticas-texturales del filler calizo y cuarcítico, observándose que bajo un mismo aumento existen diferencias en el tamaño y morfología de partícula. Las partículas de FC (Figura 1 a) son equidimensionales, sub-redondeadas y de un tamaño muy fino (menores a $10 \mu\text{m}$), aunque se identifican escasas partículas de entre $70 \mu\text{m}$ y $100 \mu\text{m}$; con polarizadores cruzados el FC posee colores de interferencia de tonos pastel de 4to orden y una alta birrefringencia (Tabla de Michel Levy [13]). El FQ (Figura 1 b) conformado por aproximadamente 75% cuarzo y en menor medida de caolinita e illita, posee una distribución de tamaños de partícula más heterogénea que el FC, destacándose granos de cuarzo de $50 \mu\text{m}$ y escasos de hasta $100 \mu\text{m}$, de formas angulosas, equi e inequidimensionales (secciones cuadradas y prismáticas respectivamente); las partículas de arcillas por lo general son de tamaño inferior a los $10 \mu\text{m}$ y poseen colores blanco a gris de primer orden, con muy baja birrefringencia observadas con polarizadores cruzados (Tabla de Michel Levy [13]). La Figura 2 a-d corresponden a imágenes de MEB del FC y FQ. En la Figura 2 a y b se identifica, a distintos aumentos, el modo de agregación y la forma de los granos de filler calizo, los cuales poseen morfología esférica (equidimensional), y son sub-redondeados. En la Figura 2 c y d se observa el modo de agregación del FQ, identificándose a granos de cuarzo anguloso, de morfologías alargadas, planas (inequidimensional) y bordes agudos, destacándose la presencia (en algunos casos) de pequeñas partículas de arcilla adheridas a la superficie; aunque también se identifican a las arcillas como partículas individuales conformadas por caolinita de hábito laminar y desarrollo hexagonal (Figura 2 d) o caolinita más illita que se desarrolla como finas hojas, descamadas en los extremos.

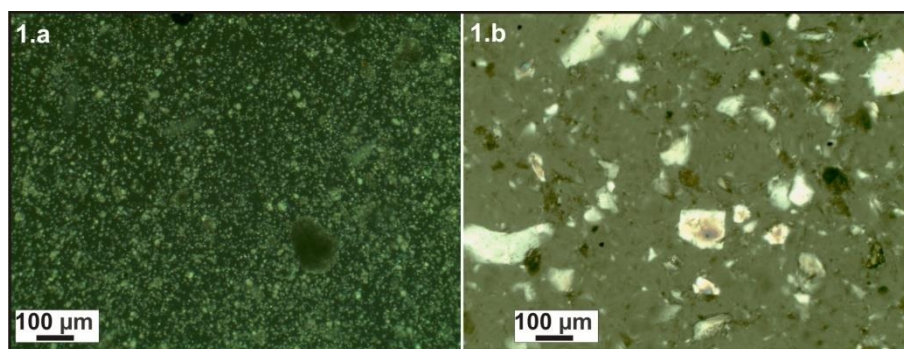


Figura 1: Imágenes tomadas con MOP, polarizadores cruzados; a) Filler calizo (FC) cuyas partículas poseen alto color de interferencia y alta birrefringencia. b) Filler cuarcítico (FQ): partículas de cuarzo y arcillas de bajo color de interferencia y baja birrefringencia [13].

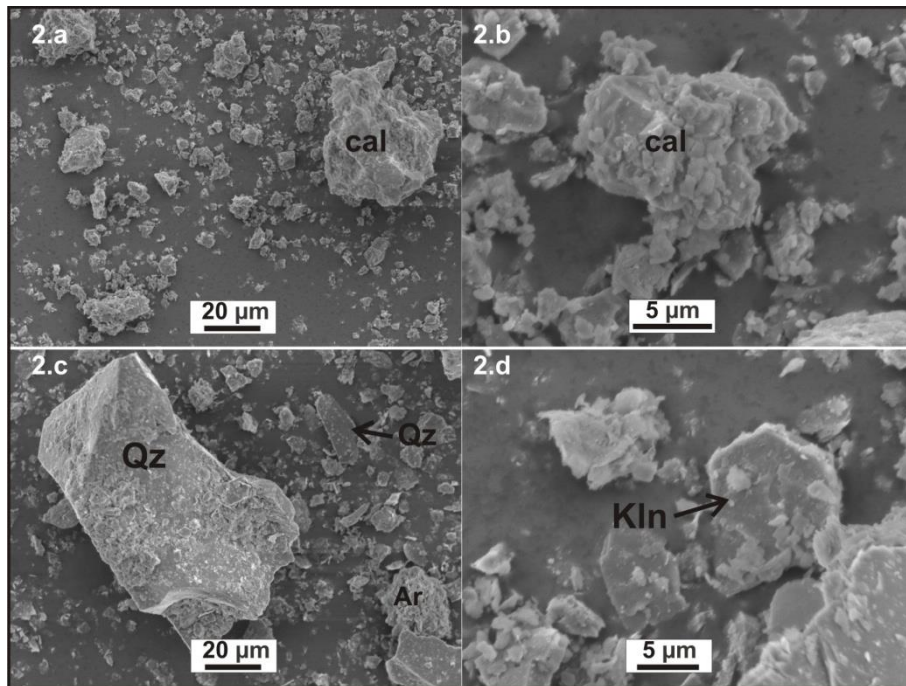


Figura 2: Imágenes tomadas con MEB. Morfología de las partículas; a) y b): FC (a: x800, b: x3500), compuesto por partículas de calcita (cal); c) y d): FQ (a: x800, b: x3500). Se identifica cuarzo (Qz) revestido por arcilla (Ar), y partículas de caolinita (Kln) en láminas hexagonales.

RESULTADOS

En la Figura 3 se muestran las imágenes de las secciones delgadas de los hormigones analizados con microscopio petrográfico, en donde se destacan principalmente diferencias de coloración y textura de la matriz cementícea (cemento pòrtland + FQ, FC en distintos %). En el hormigón H25 (Figura 3 a y b) se identifica una elevada cantidad de FC conformando agregados de coloración más claros que la pasta de cemento de color gris oscuro y en zonas de interfase pasta-agregado. En el hormigón H50 (Figura 3 c y d) la matriz cementícea posee una coloración más clara que la observada en H25, debido a que el FQ se encuentra en mayor proporción, disperso en la matriz cementícea y mezclado con el FC. Específicamente, en el hormigón H75 (Figura 3 e y f) se distinguen partículas angulosas de cuarzo, de color blanco a gris de primer orden y baja birrefringencia visto con polarizadores cruzados. Por otra parte, el FC forma “máculas” (como manchas) redondeadas, rodeadas por la pasta de cemento de coloración gris oscura; con polarizadores cruzados (Figura 3 f), el FC presenta tonos grises a rosados de 4to orden y alta birrefringencia. El FQ, se identifica más homogéneamente distribuido que el FC en la pasta de cemento, lo cual se aprecia claramente en la sección delgada del hormigón H100.

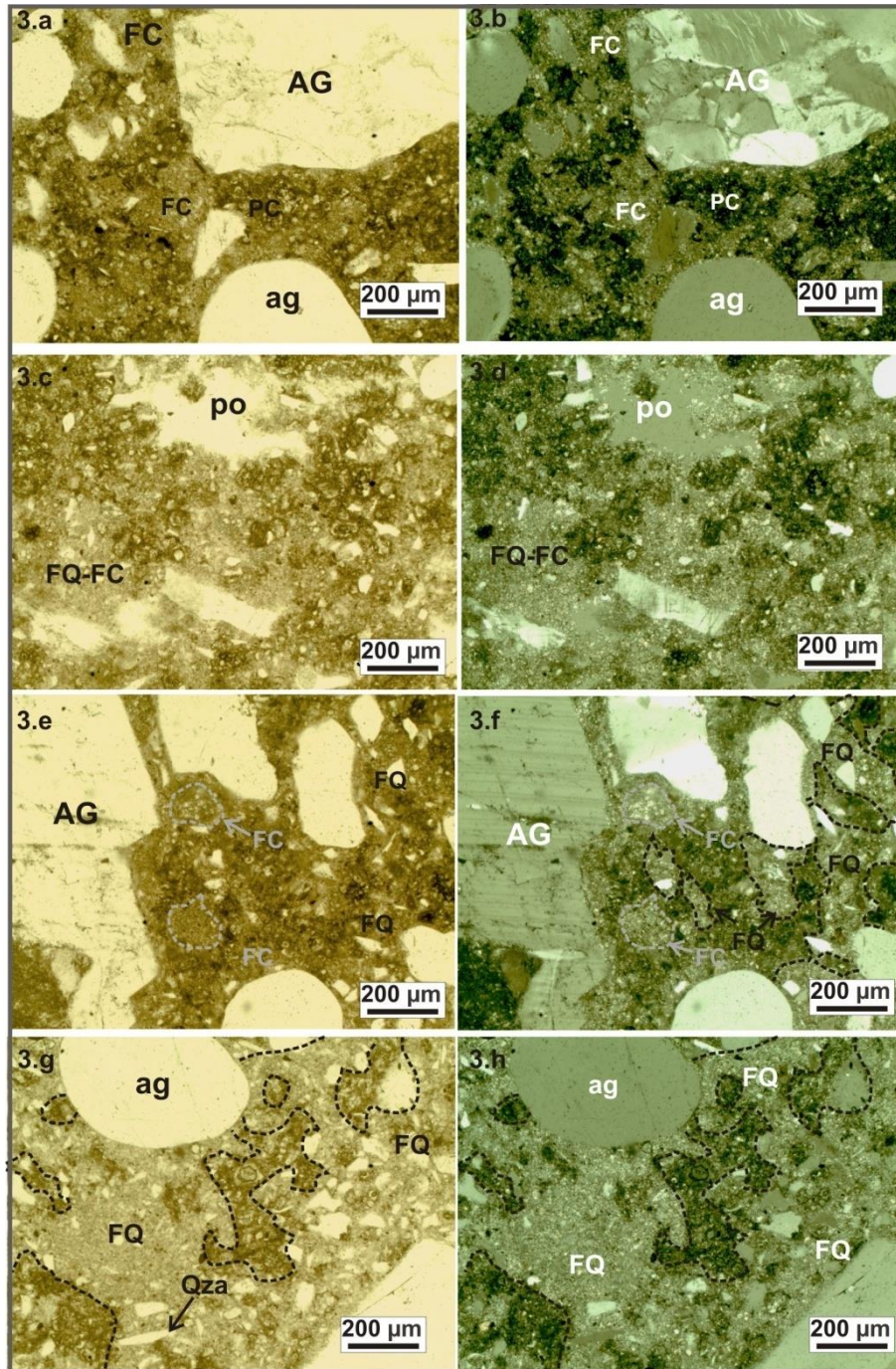


Figura 3: Fotomicrografías de hormigones confeccionados con: a) y b): Hormigón H25; c) y d): Hormigón H50; e) y f): hormigón H75; g) y h): hormigón H100. Las líneas de punto negras marcan sectores con filler cuarcítico (FQ), y las líneas de punto grises sectores con filler calizo (FC); pasta de cemento (pc), poro (po), agregado grueso (AG) y agregado fino (ag). Las imágenes a, c, e, g tomadas con polarizadores paralelos, y b, d, f, h con polarizadores cruzados.

Por tanto, del análisis petrográfico de los hormigones, se deduce que a medida que aumenta el contenido de FQ hay un cambio de coloración de la matriz cementícea de castaño grisáceo a castaño grisáceo claro; por otra parte, la porosidad de la matriz cementícea en los distintos hormigones es muy similar. La presencia de poros de tamaño mayor a 500µm son escasos, observándose moderada cantidad de poros de morfología circular, y tamaños que varían entre los 200 µm y 50 µm. Los poros de tamaño inferior a 10 µm son de difícil identificación con las técnicas aquí aplicadas.

CONCLUSIONES

- Se concluye que las diferencias fundamentales observadas en la matriz cementícea de los cuatro hormigones son decoloración y textura. La coloración de la matriz es más clara en los hormigones con mayor contenido de FQ. A su vez, el FQ presenta una mejor dispersión en la matriz cementícea, mientras que el FC tiende a agregarse o aglutinarse en sectores bien delimitados.
- Respecto de la porosidad es prácticamente invariable en los cuatro hormigones aquí estudiados, por lo tanto el cambio o reemplazo del FQ por FC no implicaría un cambio o variación importante.
- Los resultados presentados de este análisis deben complementarse con estudios petrográficos más profundos, y relacionarse con resultados de ensayos físicos en estado fresco y endurecido de los hormigones para poder concluir si el material tiene una aptitud similar a la de un filler calizo.

AGRADECIMIENTOS

El trabajo es un aporte al proyecto “Filler cuarcítico obtenido del fango residual de cantera para la optimización de hormigones” financiado por CICPBA y desarrollado en el LEMIT con la colaboración de Victor Celis (Técnico-CICPBA), Mario Fleitas (LEMIT) que acondicionaron las muestras de hormigón. El residuo fue facilitado por Canteras Yaraví S.A., por intermedio del Dr. Luis del Río.

REFERENCIAS

- [1] Habert G, “Environmental impact of Portland cement production”, In F Pacheco-Torgal, S Jalali, J Labrincha, VM John (Eds), *Eco-Efficient Concrete*, (2013), 3-25.
doi: 10.1533/9780857098993.1.3
- [2] Andrew RM, “Global CO₂ emissions from cement production, 1928–2017”, *Earth Syst. Sci. Data*, 10, (2018), 2213–2239. <https://doi.org/10.5194/essd-10-2213-2018>.
- [3] Habert G, Billard C, Rossi P, Chen C, Roussel N, “Cement production technology improvement compared to factor 4 objectives”, *Cement and Concrete Research*, 40, (2010), 820-826.
- [4] Damtoft JS, Lukasik J, Herfort D, Sorrentino D, Gartner EM, “Sustainable development and climate change initiatives”, *Cement and Concrete Research*, 38, (2008), 115-127.
- [5] Damirelli BL, Pileggi RG, John VM, “Lower binder intensity eco-efficient concretes”, In F Pacheco-Torgal, S Jalali, J Labrincha, VM John (Eds), *Eco-Efficient Concrete*, (2013), 26-44.
doi: 10.1533/9780857098993.1.26
- [6] López A, Zega CJ, Coelho dos Santos GS, Carrizo LE, Etcheverry JM, Villagrán Zaccardi YA, “Potential use of a quarry waste for the production of self-compacting concrete”, In *Proceedings of the International Conference of Sustainable Production and Use of Cement and Concrete, RILEM 2020 Book*, series 22, (2020), 409-415.
- [7] Coelho dos Santos G, Marfil S, Maiza P, “Influencia de las características texturales y mineralógicas de la cuarcita Mar del Plata en su comportamiento como agregado en hormigón”, 2° Congreso Argentino de Áridos, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Fontana Piatti J, Guerra R, Leggiero J, Patrón Costas E, Ruggiero M, Carabajal A (Eds), *Cámara de La Piedra de la Prov. de Bs. As.*, (2014), 367-378.
- [8] Cingolani CA, “The Tandilia system of Argentina as a southern extension of the Río de la Plata craton: An overview”, *International Journal of Earth Sciences*, 100, (2-3), (2011), 221-242.
- [9] Zalba P, Morosi M, Conconi M, “Gondwana industrial clays Tandilia System, Argentina: Geology and applications”, *Springer Earth System Sciences*, Blondel P, Guilyardi E, Rabassa J, Horwood C (Eds), (2016), 168p.
- [10] Coelho dos Santos GS, Benito D, Marfil S, Maiza P, del Río JL, “Caracterización mineralógica de los materiales arcillosos procedentes de las canteras de piedra Mar del Plata. Potencial utilización como adición mineral”, XX Congreso Geológico Argentino, San Miguel de Tucumán, Argentina, Sesión técnica 9, (2017), 20-25.

- [11] ASTM C 856, "Standard practice for petrographic examination of hardened concrete", Annual Books ASTM Standards.ASTM Volume 04.02 Concrete and Aggregates, (2017), 15p.
- [12] St. John DA, Poole AB, Sims I, "Concrete petrography. A handbook of investigative techniques", Arnold (Ed), (1998), 474p.
- [13] Kerr PF, "Mineralogía óptica", 3ª ed. New York, McGraw-Hill, (1965), 433p.

