

DETERMINACIÓN DEL GRADO DE FISURACIÓN EN PRISMAS DE HORMIGÓN UTILIZANDO MICROSCOPIA UV

L. Madsen Dpto. de Geología, Universidad Nacional del Sur - CGAMA (CIC-UNS), San Juan
S. Marfil 670 (8000), Bahía Blanca. lenis.madsen@uns.edu.ar

F. Locati CICTERRA (CONICET-UNC), Av. Vélez Sarsfield 1611 (X5016GCA), Córdoba.
flocati@unc.edu.ar

C. Rocco Área Departamental Construcciones. Facultad de Ingeniería. UNLP. Calle 48 y
115 (1900), La Plata. claudiorocco@sinectis.com.ar

Resumen

En este trabajo se evalúa la relación existente entre la expansión de prismas de hormigón confeccionados según norma IRAM 1700-97, luego de cumplido cinco años de ensayo, y su grado de microfisuramiento.

Los prismas fueron realizados con agregados basálticos provenientes de las principales canteras de la región mesopotámica.

Los estudios se realizaron sobre secciones delgadas impregnadas con resina epoxi fluorescente y se determinó el valor de densidad de fisuras y área fisurada para el total de la superficie de cada sección mediante procesamiento informático.

La expansión se relaciona mejor con los valores de área fisurada que con los valores de densidad de fisuras. Además, el incremento del número de imágenes analizadas disminuyó el desvío estándar de los valores de área fisurada.

Palabras Clave: RAS, grado de microfisuramiento, prismas de hormigón, norma IRAM 1700-97

Abstract

In this work relationship between expansion in concrete prisms (IRAM 1700-97), after five years of testing, and their degree of cracking is evaluated.

Prisms were made with basaltic aggregates from the main quarries in the Mesopotamia region.

Studies were performed on thin sections impregnated with fluorescent epoxy resin and cracks density and area of microcracks values were determined in the total surface of each section through computational processing.

Expansion is better related with the cracked area than cracks density values. In addition, the increment in the number of images analyzed decreased the standard deviation of the cracked area values.

Keywords: ASR, degree of microcracking, concrete prisms, IRAM 1700-97 standard

Introducción

En la Mesopotamia argentina existen numerosas canteras de rocas basálticas que proveen de agregados pétreos a la región (provincias de Entre Ríos, Corrientes y Misiones).

En trabajos previos realizados por los autores, se estudió la reactividad alcalina potencial de estas rocas, en canteras en explotación de las provincias de Entre Ríos, Corrientes y Misiones. Se trabajó sobre muestras de triturado 6-19 (mm) provenientes de los acopios, representativas de cada una de las canteras. Los resultados obtenidos fueron variables [1,2]. Los métodos, acelerado de la barra de mortero [3], químico [4] y petrográfico[5] calificaron a todas las rocas analizadas como potencialmente reactivas. Sin embargo, solo en una cantera, la expansión superó el límite máximo establecido en el ensayo del prisma de hormigón a un año [6]. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por otros autores [7].

También se conocen obras de hormigón realizadas con rocas de la región con evidencias de deterioro debido a la reacción álcali-sílice (RAS) [8,9] y otras en perfecto estado de conservación.

Los prismas de hormigón moldeados de acuerdo con la norma IRAM 1700-97 se continuaron ensayando hasta la edad de 5 años, sin observar cambios en la tendencia de las curvas. En todos los casos la expansión aumentó hasta los dos años y luego se estabilizó (Figura 1). Además se observó que la expansión se relaciona con el grado de fisuración de los prismas y principalmente con el contenido de vidrio volcánico de la roca que varía entre 2 y 12% [10].

Con el propósito de determinar las causas de la variación en los resultados obtenidos en el prisma de hormigón, se determinó el grado de fisuramiento en cortes transversales a cada uno de ellos, sobre secciones delgadas impregnadas con resina fluorescente. Las mismas se observaron con microscopio óptico con luz UV incidente y se tomaron al azar 10 imágenes por muestra, las cuales fueron procesadas para determinar el área fisurada (superficie ocupada por las fisuras sobre el total del área analizada). Finalmente, se correlacionaron los resultados con la expansión medida en los ensayos físicos. Se observó

correlación entre ambos parámetros aunque el desvío estándar fue muy alto, probablemente debido a que el área del campo del microscopio es pequeña en relación al tamaño de partícula del agregado grueso, y el microfisuramiento no es igual en el mortero que en el agregado, por lo que los valores dependen también del porcentaje que representa el área que ocupa el agregado basáltico en la imagen [10].

Con el objetivo de obtener valores de fisuramiento más representativos teniendo en cuenta la incidencia del agregado grueso en el resultado final, en el presente trabajo se recalculó el área fisurada a partir del análisis total de la sección delgada a través de un barrido continuo.

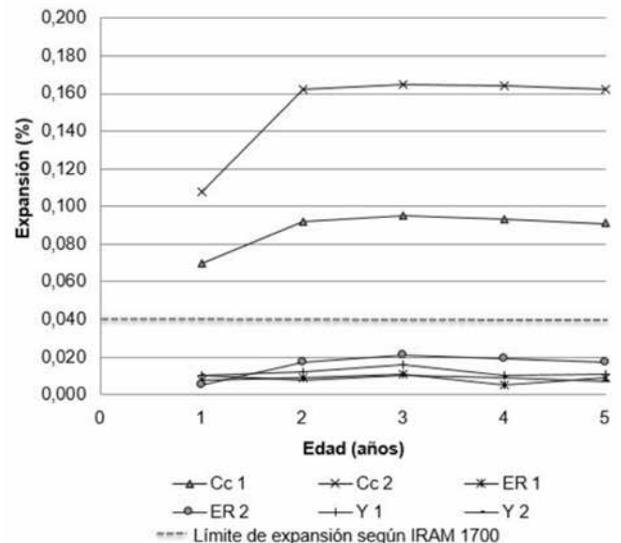


Figura 1. Expansión en el prisma de hormigón (IRAM 1700-97) hasta la edad de 5 años. (Modificado de [10])

Materiales

El material analizado es una piedra partida 6-19 (mm), con un volumen inicial del orden de 2 m³, que fue reducido en laboratorio por cuarteo para obtener las porciones utilizadas en los ensayos. Los prismas de hormigón (de 7,5 cm x 7,5 cm x 27,5 cm) se confeccionaron con el agregado grueso a estudiar, una arena natural no reactiva constituida principalmente por cuarzo, con cantidades subordinadas de feldespato, cuarcita y escasas valvas carbonáticas, 420 kg/m³ de cemento portland normal (con un contenido de álcalis de

0,9 ± 0,1% expresado en $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$) y una relación a/c de 0,45. Se agregó una proporción de NaOH en el agua de mezclado para que el contenido total de álcali equivalente en el hormigón sea de 5,25 kg/m³. Se utilizó cemento CPN40 que cumple con los requerimientos que establece la norma IRAM 1700-97.

Se trabajó sobre secciones delgadas impregnadas con resina fluorescente (resina epoxi con fluoresceína sódica) efectuadas sobre primas de hormigón elaborados de acuerdo a lo especificado en la norma IRAM 1700-97 (corte transversal a la altura media) ensayados hasta la edad de 5 años, que corresponden a cuatro canteras de basalto en producción de las provincias de Misiones (P) Corrientes (CC, Y) y Entre Ríos (ER) [10].

En trabajos previos se realizó un estudio petrográfico detallado de estas rocas [10, 11] y se determinó que están constituidas por tablillas de plagioclasa, con bordes cristalinos irregulares. El mafito más característico es augita al que se asocia augita titanífera alterada diferencialmente, comúnmente desferrizada y cloritizada. Los espacios intercristalinos están ocupados por minerales arcillosos (esmetitas) generados a partir de la alteración del vidrio volcánico. Son abundantes los minerales opacos, principalmente hematita.

Métodos

Las secciones delgadas fueron estudiadas mediante un microscopio óptico Leica DM4500 P LED con luz UV incidente (epifluorescencia) con un aumento x100 (ocular x10 y objetivo x10). Se realizó un barrido continuo del área ocupada por la sección delgada (25 mm x 35 mm) tomando un total de 35 imágenes por muestra.

Para discriminar las fisuras en cada imagen, se realizó un mapeo en forma manual, con el programa Corel Draw X6. Se adaptó el grosor de cada línea al ancho de cada fisura en todas las imágenes y en el caso de aquellas de morfología irregular, se mapearon con su forma construyendo superficies rellenas. Luego se exportaron los mapas de fisuras a imágenes binarias y se calculó el área fisurada de cada mapa y la densidad de fisuras mediante el software ImageJ [12]. La densidad de fisuras se calculó sumando la longitud de todas las

fisuras observadas en un campo del microscopio dividido el área de dicho campo (mm/mm²), y luego se obtuvo un promedio sobre el total de las 35 imágenes. Como este parámetro solo considera la longitud de las fisuras, además se trabajó con el área fisurada, que considera no solo la longitud sino el ancho de las mismas y se expresa como el porcentaje del área del campo estudiado ocupada por el área fisurada (%).

RESULTADOS

Petrografía

Si bien las características petrográficas de las rocas de las cuatro canteras estudiadas son similares, se observaron variaciones texturales tanto en el tamaño de los componentes cristalinos como en el contenido de vidrio volcánico y minerales arcillosos del grupo de las esmetitas (montmorillonita, saponita, nontronita y celadonita). Los prismas que presentan mayor expansión corresponden a los confeccionados con los basaltos que tienen textura más fina. Esto podría deberse a que los interespacios que se forman entre las tablillas de plagioclasa son muy pequeños y allí se conserva el vidrio relíctico original de la roca. En cambio las que presentan tamaño de grano mayor, generan espacios intercristalinos donde se alojan microcristales de composición semejante a su entorno.

Determinación del área fisurada y densidad de fisuras en los prismas de hormigón

En general se observa que el fisuramiento afecta principalmente al mortero, por lo que los valores de área fisurada varían en función del porcentaje de agregado grueso en cada campo del microscopio. En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos (valor promedio de 35 mediciones por imagen) del área fisurada y densidad de fisuras, y se comparan con la expansión en el prisma de hormigón (IRAM 1700-97) a la edad de cinco años [5].

En la Figura 2 A y B se muestra dos imágenes de los prismas que evidenciaron mayor y menor expansión, correspondientes a las canteras CC y P respectivamente. En la primera el mayor fisuramiento afecta al agregado grueso (Ag) mientras que en 1B, el escaso microfisuramiento se desarrolla en el mortero (Mo).

Muestra	Expansión a 5 años (%)	Área fisurada (% valor promedio)	Desvío estándar del área fisurada	Densidad de fisuras (mm/mm ² , valor promedio)
CC	0,162	0,95	1,74	0,25
ER	0,017	0,11	0,11	0,14
Y	0,007	0,74	0,49	0,46
P	0,003	0,31	0,26	0,36

Tabla 1: : Expansión medida en el prisma de hormigón (IRAM 1700-97) a los 5 años y, promedio de área fisurada y densidad de fisuras de cada muestra.

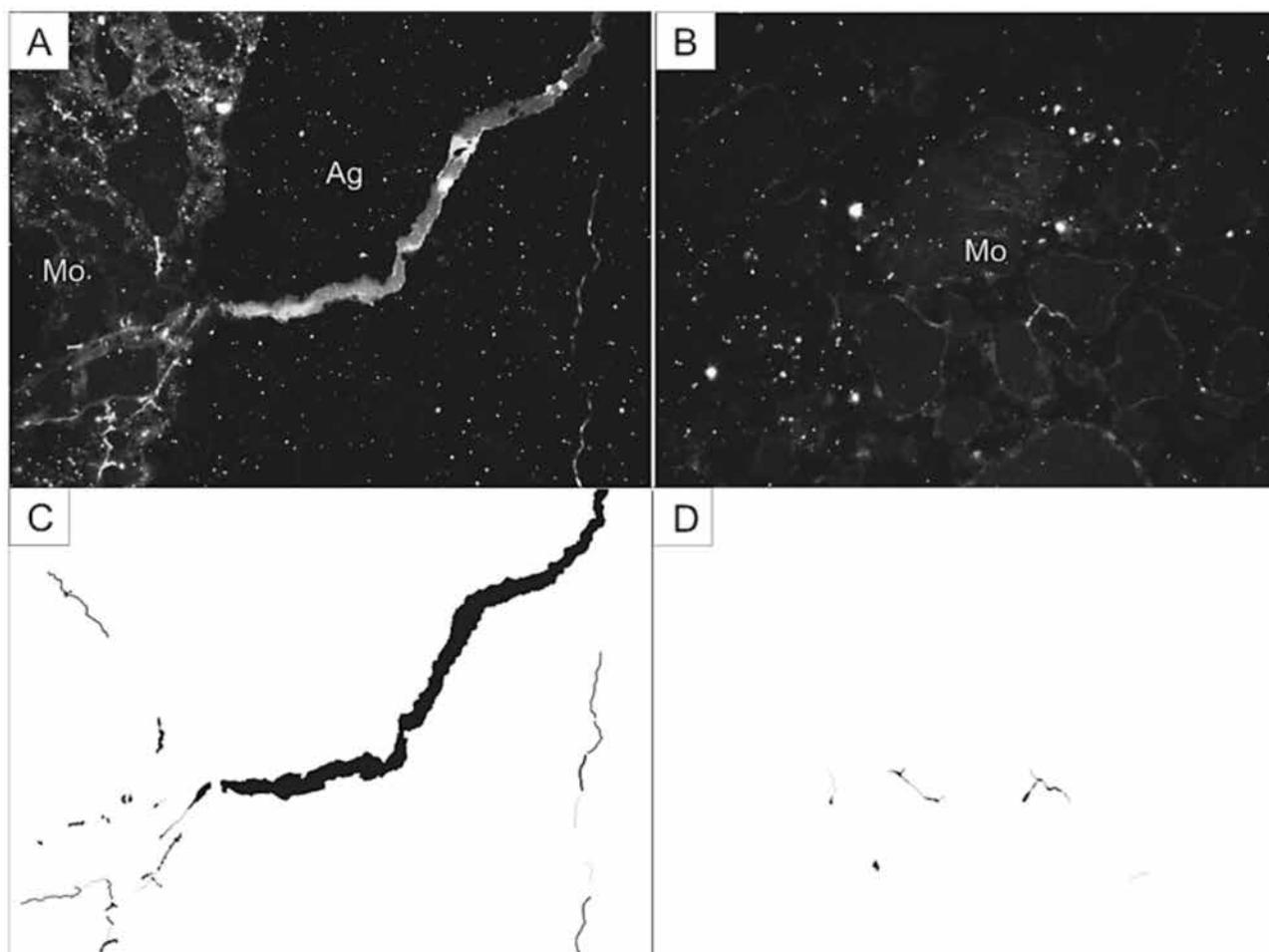


Figura 2. A y B: Fotomicrografías. Fisuras en los prismas de hormigón ensayados según IRAM 1700, vistos con luz UV. A) Prisma con la máxima expansión (cantera CC). B) Prisma con la menor expansión (cantera P). C y D: Mapas de fisuras, de las imágenes vistas en A y B respectivamente. Ag: agregado grueso, Mo: mortero.

Debido a que la resina fluorescente no solo rellena microfisuras sino también cavidades o poros de la pasta y de los agregados, para poder discriminar las microfisuras en cada imagen, se realizó un mapeo en forma manual. Para esto se utilizó de fondo la imagen original para ir “calcando” cada grosor o forma. Se adaptó el grosor de cada línea al ancho de las microfisuras en todas las imágenes y en el caso de las irregulares, se mapearon con su forma construyendo superficies rellenas.

Luego se exportaron los mapas de fisuras a imágenes binarias (blanco y negro) (Figura 2 C y D) y se calculó el área fisurada de cada mapa. En la Figura 3 se graficaron los resultados promedio de las imágenes procesadas por cada muestra (densidad de fisuras y área fisurada) vs. la expansión de los prismas a los 5 años.

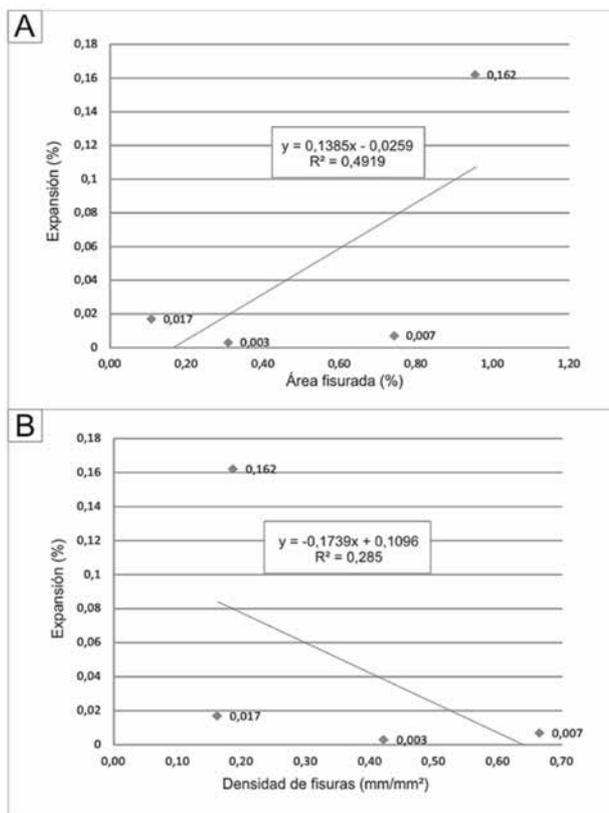


Figura 3. Relación entre la expansión de los prismas a la edad de 5 años vs.: valores promedio de área fisurada (A) y densidad de fisuras (B).

Discusión de los resultados

El incremento en el número de campos analizados bajo el microscopio óptico con luz UV incidente (35 imágenes), disminuyó los valores de desvío estándar del área fisurada, respecto a los obtenidos previamente sobre un total de 10 imágenes [10]. Sin embargo, el desvío es más alto en aquellas muestras que experimentaron mayor expansión. Esto probablemente se deba a que una vez fisurados los prismas, la deformación progresaría en esos sectores ya fisurados, ensanchando las fisuras preexistentes y por lo tanto generando sectores con bajo o nulo fisuramiento y sectores con altos valores de áreas fisuradas.

En los prismas de hormigón estudiados (IRAM 1700-97 a 5 años) solo una muestra se comportó como potencialmente reactiva (0,162%), mientras que las restantes resultaron no reactivas (<0,02%). Si bien los valores de correlación son bajos, la expansión medida se relaciona mejor con los valores promedio de área fisurada que con los de densidad de fisuras, ya que éstos últimos no tienen en cuenta la variación en el ancho de las mismas. Sin embargo, para lograr una mejor evaluación de la efectividad del método es necesario incrementar el número de muestras estudiadas y en rangos variables de expansión, a fin de mejorar los valores de los coeficientes de correlación. La mayoría de las fisuras en los prismas que no mostraron expansión deletérea tienen un ancho promedio que no supera los 0,01 mm mientras que las relacionadas a la muestra que resultó potencialmente reactiva tienen un ancho que varía entre 0,07 y 0,2 mm. Las primeras estarían vinculadas con fenómenos de retracción y no tendrían relación con la RAS, por lo que la determinación de la densidad de fisuración no sería efectiva en diferenciar ambos procesos y por lo tanto no debería utilizarse como indicativa del daño por RAS sufrido por el hormigón.

Los valores de área fisurada pueden ser útiles a la hora de cuantificar el grado de fisuramiento de muestras de mortero y hormigón, sin embargo, no pueden utilizarse aisladamente sino que deben realizarse estudios complementarios para determinar las causas de los daños experimentados. A fin de minimizar el error que surge de las diferencias entre el microfisuramiento del mortero

y de las partículas del agregado (especialmente cuando se estudian prismas de hormigón y hormigones de obra), se recomienda el análisis del total del área que cubre la sección delgada. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el área analizada en una sección delgada (25 mm x 35 mm) puede no ser representativa del grado de fisuramiento del total de la muestra analizada, en especial en el caso de hormigones donde el agregado grueso ocupa un volumen importante, por lo que el número mínimo de secciones delgadas a ser estudiadas es un tema a ser abordado. Además, se debe considerarse que los resultados pueden estar influenciados por otros factores como la orientación de la sección delgada o la posición de la sección en el elemento estructural estudiado, por lo que estos criterios deben establecerse previamente a la hora de efectuar comparaciones entre diferentes muestras.

CONCLUSIONES

Si bien es necesario el procesamiento de más datos en un rango variable de expansión para poder establecer un grado de correlación confiable entre los valores de expansión y los de área fisurada, los resultados obtenidos permiten estimar el grado de deterioro del hormigón.

Los valores de densidad de fisuras no muestran buena correlación con los de expansión debido a que no tienen en cuenta el ancho de las fisuras y por lo tanto no son buenos indicadores del deterioro por RAS.

En muestras de hormigón, ya sea de laboratorio o de estructuras en servicio, es recomendable el estudio de toda la superficie de la sección delgada analizada, ya que esto disminuye el desvío estándar respecto al promedio de área fisurada debido a que el grado de fisuramiento de los agregados gruesos por lo general es muy diferente al del mortero. Además se sugiere el estudio de un número mayor de cortes delgados en el caso de estructuras de hormigón a fin de mejorar la representatividad de las mediciones.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la UNS, a la UNLP, al CICTERRA-CONICET, y al CGAMA-CIC. Este

trabajo fue en parte financiado por el PICT-2014 N° 2483 y PICT-2015 N° 0367.

Referencias

1. Rocco C., Maiza P., Fava C., Marfil S., Tobes J. "Reactividad alcalina potencial de los basaltos mesopotámicos". XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Córdoba, 8 pp., (2012).
2. Rocco C., Maiza P., Fava C., Marfil S., Tobes J. "Estudio de reactividad alcalina potencial de basaltos procedentes de yacimientos ubicados en la Mesopotamia Argentina". V Congreso Internacional de la AATH y 19° Reunión Técnica. Actas. Bahía Blanca, 159-166, (2012).
3. IRAM 1674. "Agregados. Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra del mortero", 15 pp., (1997).
4. IRAM 1650. "Reactividad alcalina potencial en agregados. Método de ensayo químico", 15 pp., (1968).
5. IRAM 1649. "Examen petrográfico de agregados para hormigón", 13 pp., (2008).
6. IRAM 1700. "Agregados. Determinación del cambio de longitud debido a la reacción álcali-agregado, en prismas de hormigón", 17 pp., (1997).
7. Milanesi C. "Experiencias sobre la caracterización de algunos basaltos de la provincia de Corrientes (Argentina) frente a la reacción álcali-sílice". III Congreso Internacional y 17° Reunión Técnica de la AATH. Córdoba, 345-352, (2008).
8. Milanesi C., Souza E., Marfil S., Maiza P. "Estudio de las manifestaciones de RAS detectadas en el pavimento de hormigón de la ruta nacional N° 127 y su relación con el deterioro de la obra". III Congreso Internacional. 17ª Reunión Técnica de la Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Memorias. Córdoba, 273-280, (2008).
9. Maiza P., Marfil S., Rocco C., Fava C., Tobes J. "Pavimentos de hormigón elaborados con agregados basálticos y afectados por la reacción álcali sílice (RAS). Casos de estudio". I Congreso Hormigón Premezclado de las Américas 2010, XII Congreso Iberoamericano del Hormigón Premezclado, IV Congreso Internacional de Tecnología del Hormigón y 18° Reunión Técnica de la AATH. Mar del Plata, 12 pp., (2010).
10. Rocco C., Madsen L., Locati F., Tobes J., Fava C., Marfil S., Maiza P. Estudio de prismas de hormigón elaborados con basaltos de la Mesopotamia argentina. 21° Reunión Técnica y

VII Congreso Internacional de la AATH, Salta, 389-396, (2016).

11. Marfil S., Batic O., Maiza P., Grecco L., Falcone D. Comportamiento de Rocas Basálticas de las Prov. de Corrientes y Entre Ríos frente a la reacción álcali – sílice. VI Congreso Uruguayo de Geología. Parque UTE Lavalleja (Uruguay), 6 pp., (2010).

12. Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <http://imagej.nih.gov/ij/>, (1997-2017).