

¿Los aditivos de impermeabilización cristalina afectan al comportamiento de retracción plástica restringida del concreto?

R. Gupta*¹, A. Biparva²

*Autor de Contacto: guptar@uvic.ca

DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.172>

Recepción: 14-12-2016 | Aceptación: 23-01-2017 | Publicación: 31-01-2017

RESUMEN

Este artículo describe el efecto de las mezclas cristalinas de impermeabilización sobre el agrietamiento en concreto a temprana edad. El rendimiento de tres tipos diferentes de estos aditivos se comparó con el de control. Este estudio se ha realizado en dos etapas: la primera se realizó bajo condiciones especificadas por ASTM y la segunda fue una modificación de la primera, en la que se usaron condiciones de secado más severas que las descritas en la norma de ensayo ASTM. Estas condiciones modificadas simulaban un curado inadecuado en condiciones extremas de exposición como las experimentadas por el concreto en muchas partes del mundo. Los resultados de la prueba indican que los aditivos de impermeabilización cristalina pueden reducir eficazmente el agrietamiento por retracción a edad temprana. Las posibles razones de esta ventaja secundaria son también supuestas en este trabajo.

Palabras clave: agrietamiento por retracción plástica restringida; mezclas cristalinas de impermeabilización; relación de reducción de grietas; tiempo para la primera grieta.

Citar como: R. Gupta, A. Biparva (2017), “¿Los aditivos de impermeabilización cristalina afectan al comportamiento de retracción plástica restringida del concreto?”, Revista ALCONPAT, 7 (1), pp. 15-24, DOI: <http://dx.doi.org/10.21041/ra.v7i1.172>

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Victoria, Canada.

² Research and Development Department, Kryton International Inc., Vancouver, Canada.

Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el tercer número del año 2017 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2017.

Do crystalline water proofing admixtures affect restrained plastic shrinkage behavior of concrete?

ABSTRACT

This paper describes the effect of crystalline water proofing admixtures on early-age cracking in concrete. The performance of three different types of these admixtures was compared to that of control. This study has been performed in two stages. Stage one was performed under ASTM specified conditions and a modified stage where more severe drying conditions than that described in the ASTM test standard were used. These modified conditions simulated inadequate curing under extreme exposure conditions as experienced by concrete in many parts of the world. The test results indicate that the water proofing admixtures can effectively reduce the early-age shrinkage cracking. The possible reasons for this secondary advantage of crystalline water proofing admixture is also hypothesized in this paper.

Keywords: restrained plastic shrinkage cracking; crystalline water proofing admixtures; crack reduction ratio; time to first crack.

As adições cristalinas impermeabilizantes afetam o comportamento da retração plástica do concreto?

RESUMO

Este artigo descreve o efeito de aditivos de impermeabilização cristalina na fissuração precoce em concreto. O desempenho de três diferentes tipos destas adições foi comparado com o de controle. Este estudo foi realizado em duas etapas. A fase 1 foi realizada sob as condições especificadas na ASTM e uma fase modificada onde foram utilizadas condições de secagem mais severas do que as descritas na norma de ensaio ASTM. Estas condições modificadas simulam uma cura inadequada em condições extremas de exposição, tal como experimentado pelo concreto em muitas partes do mundo. Os resultados do ensaio indicam que as adições impermeabilizantes podem efetivamente reduzir as fissuras de retração. As possíveis razões para esta vantagem secundária da adição impermeabilizante cristalina também são discutidas neste artigo.

Palavras-chave: fissuração por retração plástica; adições cristalinas impermeabilizantes; relação de redução de fissuras; tempo para a primeira fissura.

1. INTRODUCCIÓN

La demanda por cemento en todo el mundo continúa fuerte en la última década, aun cuando han surgido grandes preocupaciones sobre las emisiones de CO₂ asociadas a su producción. Para hacer el concreto más sustentable, las medidas recientes que están siendo tomadas incluyen el uso de cemento calcáreo (recientemente lanzado al mercado Canadiense (Holcim, 2011)), el uso de combustibles alternativos (Vaccaro, 2006) y la mejor gerencia de la energía para hornos y el uso de mayores cantidades de SCMs (materiales cementantes complementarios) en concreto. Un abordaje alternativo para hacer al concreto un material sustentable y mejorar su vida útil mejorando su durabilidad. Uno de los principales parámetros que afecta la durabilidad de las estructuras de concreto es su permeabilidad. Varios métodos comerciales disponibles para disminuir la permeabilidad del concreto fueron previamente discutidos por los autores (Biparva & Gupta, 2010). Aun cuando la principal motivación de estas adiciones cristalinas sea hacer al concreto menos permeable a lo largo del tiempo, es sabido que estas adiciones también modifican

las propiedades de envejecimiento precoz del concreto. Las adiciones cristalinas son uno de los tipos de adiciones de reducción de permeabilidad (PRAs) tal como es descrito por el Comité 212 del American Concrete Institute (ACI). Contrario a los materiales hidrófugos o repelentes al agua, estos productos son hidrofílicos, lo que los hace reaccionar fácilmente cuando la humedad entra en los poros/fisuras del concreto. Después de tener esta reacción localizada, la adición forma poros de agua insolubles/fisuras que bloquean los cristales que crean un concreto de baja permeabilidad debido al aumento en la densidad de los silicatos hidratados (CSH, producto principal de la hidratación del cemento) y una resistencia más elevada a la penetración del agua. El componente de la matriz que reacciona es el silicato tricálcio (C3S) y la presencia de agua también es esencial para la reacción. Dependiendo del promotor cristalino es un precipitado formado a partir de calcio y moléculas de agua, productos químicos activos contenidos en el cemento y arena forman esos productos.

Como resultado de las deposiciones cristalinas en la matriz de concreto, la resistencia a la compresión de la matriz modificada aumenta hasta 14 bares. En este trabajo publicado previamente, los autores discutieron varias ventajas del uso de adiciones de impermeabilización cristalina hidrofílica en concreto en relación a otros métodos para hacer al concreto impermeable. Fue mencionado que, usando impermeabilización cristalina, no solo la permeabilidad del concreto puede ser reducida, también otras propiedades tales como auto-cicatrización y retracción serán afectadas. Algunos resultados son resumidos en este artículo publicado, una investigación más enfocada y necesaria para investigar los efectos de diferentes adiciones de impermeabilización integral en propiedades clave, tales como auto-cicatrización y retracción. La mayor parte de la literatura disponible describe apenas los efectos de estas adiciones en la permeabilidad del concreto (Geetha & Perumal 2011), pero las propiedades, tales como auto-cicatrización y retracción, aún no son comprendidas.

El efecto de varias adiciones, aditivos minerales y fibras en la retracción plástica restringida ha sido estudiado por muchos investigadores. Esto incluye el estudio del efecto de adiciones reductoras de retracción (Weiss y Shah, 2002, Lura et al., 2007, Bentur et al., 2001), sílica (Bloom e Bentur, 1995), calcáreo (Corinaldesi & Moriconi, 2009), ceniza volante (Gupta et al., 2010), y fibras (Soroushian et al., 1992, Soroushian & Ravanbakhsh, 1998, Corinaldesi & Moriconi, 2009, Gupta et al, 2010) sobre la retracción plástica del concreto. Una investigación bibliográfica hecha por los autores para identificar el efecto de aditivos de impermeabilización cristalina sobre la retracción plástica utilizando el método de ensayo ASTM C1579 no resultó en ningún artículo. Además de eso, tampoco fueron identificados estudios previos que explicaran el efecto de estos aditivos de impermeabilización en la reducción de la retracción por secado. El estudio presentado en este trabajo fue iniciado debido a la falta de comprensión sobre el efecto de esos aditivos de impermeabilización sobre el potencial de retracción plástica del concreto. La investigación fue conducida de acuerdo con la ASTM C1579 para estudiar el efecto de tres tipos diferentes de aditivos sobre la fisuración por retracción. Las condiciones de ensayo especificadas en la norma fueron modificadas para simular condiciones de curado más severas a las cuales el concreto es expuesto en muchas partes del mundo.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1. Estudio de dosificación

Para este estudio fue escogido una referencia de control con una resistencia especificada en la práctica comúnmente de 40 MPa. Para estudiar el efecto de adiciones de impermeabilización de base cristalina en la retracción plástica, fueron utilizados tres productos en agua infiltrada/humedad en los poros / fisuras del concreto que resulta en el crecimiento de cristales microscópicos que bloquean el flujo de humedad, haciendo el concreto menos permeable. Las

dos recomendadas por los fabricantes fueron utilizadas para modificar el rastro de control. Las adiciones K, P y X fueron adicionadas a 2,0%, 0,8% y 1% del peso de cemento, respectivamente, de la mezcla control. Para todas las mezclas se eligió una relación a/c de 0,55. La mezcla usada puede ser observada en la Tabla 1.

Tabla 1. Mezcla usada

Material	Cantidad (kg/m ³)
Cemento	340
Piedra	1120
Arena	820
Agua	187

2.2. Configuraciones del ensayo

Los moldes fueron utilizados de acuerdo con la ASTM C 1579-06, para inducir una fisura a lo largo del centro de la probeta. Las probetas miden 355 (± 10) mm x 560 (± 10) mm x 100 (± 5) mm y tiene una placa metálica de aumento de tensión, que fue atornillada al fondo del molde. Las placas de aumento de tensión fueron utilizadas para inducir una fisura al concreto en las primeras edades. Para cada diseño, fueron probadas dos muestras en la cámara ambiental como se aprecia en la Figura 1.

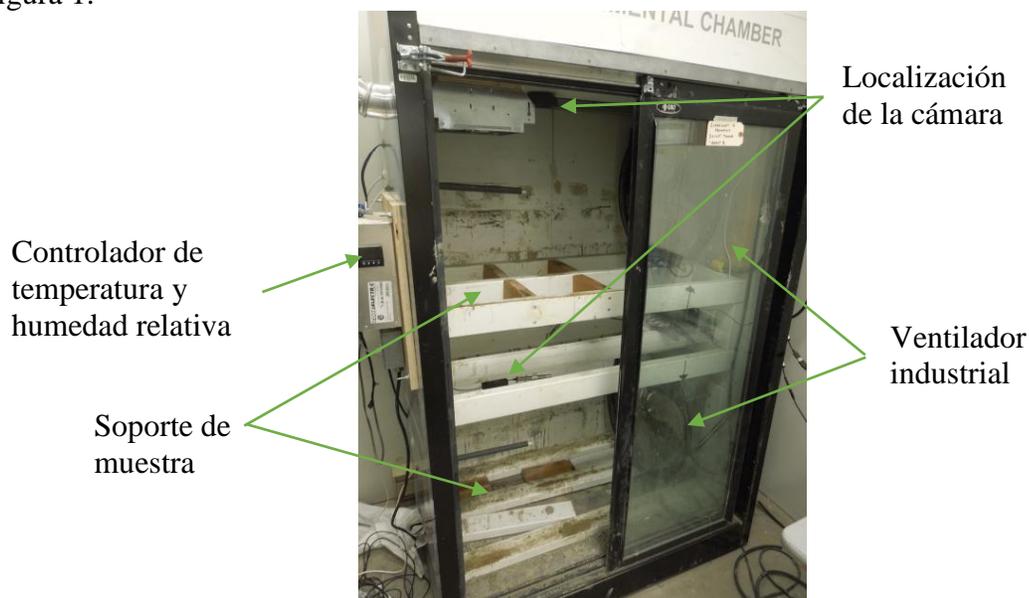


Figura 1. Cámara ambiental instrumentada para la realización de ensayos retracción plástica

El ensayo fue realizado siguiendo la norma por otra parte, ensayos adicionales utilizando temperaturas más elevadas y menor humedad fueron realizados para simular condiciones más severas que las especificadas por la norma de ensayo. De acuerdo con la norma ASTM, la temperatura debe ser de $36 \pm 3^\circ\text{C}$, la humedad relativa $30 \pm 10\%$ y la velocidad mínima del viento de 4,7 m/s sobre el centro de la probeta. El índice de evaporación medida en la cámara ambiental fue superior a 1,0 kg/m²/h que es la especificada por la norma de ensayo.

2.3. Condiciones ambientales

Las condiciones de la Cámara Ambiental fueron reguladas a través de un controlador de temperatura y humedad relativa. La temperatura y la humedad relativa fueron registradas utilizando un registrador de datos HOBOWare. Un sensor doble de temperatura y humedad fue

colocado sobre el centro de cada placa. Las lecturas fueron hechas por el registrador a cada 10 segundos y los resultados fueron piloteados usando el software HOBOWare.

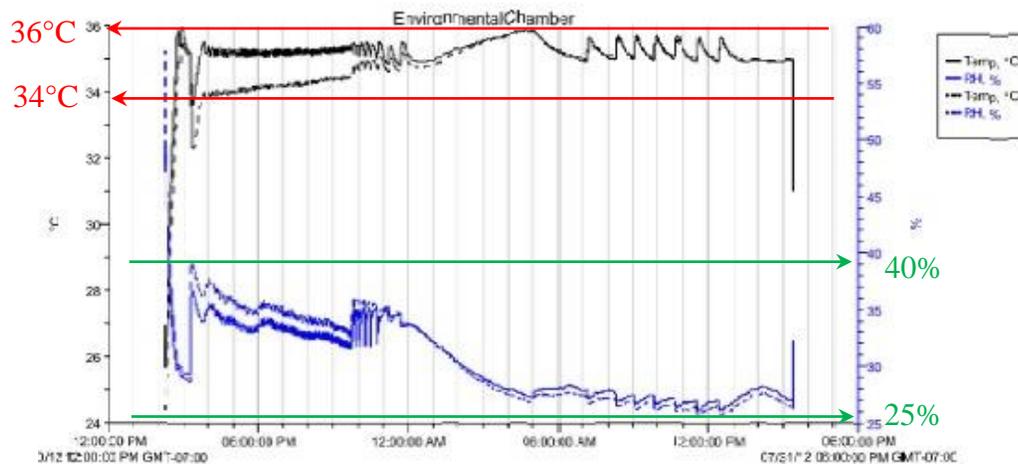


Figura 2. Imágenes típicas de temperatura y humedad versus tiempo (condiciones patrón)

El gráfico anterior es una captura de pantalla de los datos y, por tanto, no tiene alta resolución. Sin embargo, este gráfico está descrito abajo para mayor claridad. La Figura 2 muestra un período de acondicionamiento de una hora cuando la temperatura y la humedad relativa son llevadas a la temperatura ambiente para condiciones de ensayo patrón. Esto es indicado por el primer aumento de temperatura y caída de humedad. Más tarde, hay un aumento acentuado de la humedad y disminución de la temperatura, lo que indica que la probeta es colocada en la cámara. Pocos minutos después de la colocación de las muestras, tanto la temperatura como la humedad se estabilizan dentro de las tolerancias especificadas por la ASTM. Las curvas en negrilla y discontinuas representan la temperatura en la parte superior e inferior de la cámara, respectivamente. De la misma manera, las dos curvas azules corresponden a los valores de humedad en la parte superior e inferior de la cámara. Una vez que las capturas de pantalla presentadas aquí tienen una resolución débil, fueron adicionadas líneas rojas y líneas verdes para permitir la lectura de los valores de temperatura y humedad superiores e inferiores, respectivamente. El ensayo dura 24 horas, luego la muestra es removida se mide el tamaño de la fisura. Se colocan las muestras en la cámara ambiental, a temperatura entre 34°C y 36°C a lo largo del ensayo (líneas rojas), mientras la humedad estaba dentro del intervalo ajustado de 25-40%. Estos valores están dentro de los límites permitidos por la ASTM.

2.3.1. Condición Modificada

Para estudiar el comportamiento de las mezclas ensayadas anteriormente en condiciones de secado más severas, las condiciones en la cámara ambiental fueron modificadas. Según lo descrito anteriormente, las líneas rojas y azules sólidas fueron adicionadas para leer los valores de temperatura y humedad superiores e inferiores, respectivamente, durante las primeras 8 horas del ensayo. Las líneas punteadas corresponden a las condiciones modificadas de la cámara luego de las primeras 8 h.

Como en la condición patrón, hay un período de acondicionamiento antes de colocar la probeta en un período posterior de recuperación. La condición modificada fue destinada a exponer las muestras a condiciones más extremas de temperatura y humedad. Las condiciones especificadas por la norma ASTM fueron utilizadas en las primeras 8 horas para simular un día de trabajo en el cual el concreto es monitoreado y mantenido. Luego de las 8 horas, las condiciones fueron alteradas de modo que la temperatura fue aumentada gradualmente para $46 \pm 1^\circ\text{C}$. Esto resultó en la caída de la humedad para la gama de 15-27% dentro de 4 horas luego de estas condiciones ser

¿Los aditivos de impermeabilización cristalina afectan al comportamiento de retracción plástica restringida del concreto?

impuestas. Esto representó aproximadamente un aumento de 30% en la temperatura promedio y un descenso cerca de 25% en la humedad. El ensayo sobre estas condiciones también fue conducido durante 24 horas, luego del cual las fisuras fueron medidas.

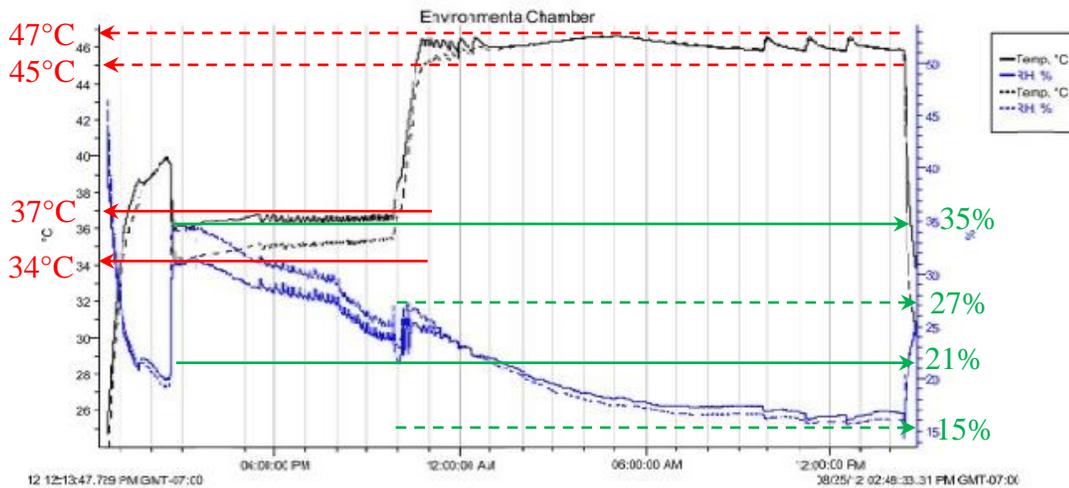


Figura 3. Imágenes típicas de temperatura y humedad versus tiempo (condiciones modificadas)

2.4. Tiempo para fisurar

A pesar de no ser una exigencia de la norma de ensayo, el tiempo hasta la primera fisura fue medido usando dos cámaras de video HP AutoFocus 720i de alta definición. El video de la probeta durante el ensayo fue grabado para determinar el tiempo de fisuración. Eso eliminó la necesidad de observar manualmente las muestras para la fisuración.

3. RESULTADOS

3.1. Ancho de la fisura

Pasadas las 24 horas, las muestras ensayadas fueron retiradas de la cámara y las fisuras caracterizadas. El tamaño de la fisura fue medido utilizando un microscopio óptico portátil con intervalos de 10 mm a lo largo de la longitud de la fisura. El promedio de todas las lecturas para las dos muestras es presentado en la Tabla 2. También, está incluida en esta Tabla el ancho máximo de fisura registrada en las muestras.

Tabla 2. Medidas da ancho de la fisura

Mezcla	Ancho promedio de la fisura (mm)		Ancho máximo de la fisura (mm)	
	Condiciones patrón	Condiciones modificadas	Condiciones patrón	Condiciones modificadas
Control	0.57	0.50	1.3	1.0
K	0.11	0.22	0.6	0.62
P	0.50	0.45	1.02	0.98
X	0.47	0.62	1.0	1.2

Los resultados de la Tabla 2 indican claramente que la adición K reduce significativamente el espesor promedio de las fisuras y los espesores máximos de fisuras cuando se comparan con el patrón en condiciones normales y modificadas. Igualmente, la adición P también presenta alguna

reducción en la fisuración cuando se compara con la mezcla patrón. Aun cuando la adición X muestra una reducción del espesor de la fisura en condiciones patrón, esta se mostró mayor que la medida para el control en condiciones modificadas. Esto indica que algunas adiciones impermeabilizantes pueden ser menos eficaces en la reducción de la fisuración por retracción en condiciones más calientes y secas.

3.2. Relación de reducción de la fisuración

La ASTM C1579-06 especifica que un índice de reducción de fisuras (CRR) puede ser calculado usando la siguiente fórmula:

$$CRR = \left[1 - \frac{\text{Largura média de fissura de concreto modificado}}{\text{Largura média de fissura do concreto de controle}} \right] \times 100\% \quad (1)$$

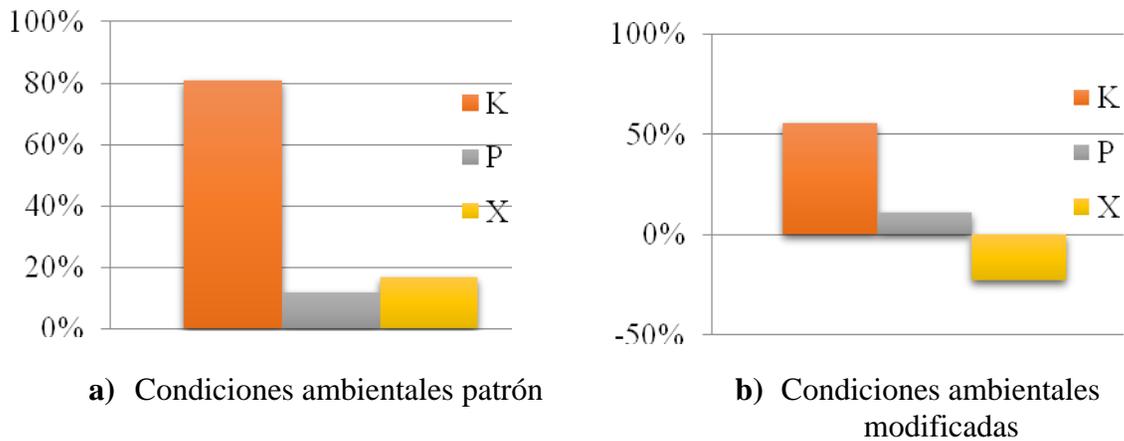


Figura 4. Relación de reducción de fisuración sobre el patrón

Los gráficos de la Figura 4 comparan la razón de reducción de fisuras de cada adición cuando se compara con la mezcla patrón. Es evidente que la mezcla K es más eficaz en la reducción del espesor de la fisura. Cuando la adición de K fue adin condiciones patrón fue de cerca de 80% y que sobre condiciones modificadas era de aproximadamente 55% (mostrado en la Figura 5). En comparación, la dosificación para la adición X fue apenas la mitad de K, pero resultó en un CRR de apenas 15% en condiciones patrón y un CRR negativo superior a -20% en condiciones modificadas (esto es, aumentando el espesor de las fisuras). La adición de P a 0,8% sobre el peso de cemento tenía un CRR moderado de cerca de 10% sobre ambas condiciones ambientales.



Figura 5. Espesor de fisuras de Control (C1) cuando se compara con K1 (condiciones modificadas) - indicando un CRR aproximado de 55%.

3.3. Área de fisuración

Con base en las medidas de espesor de fisuras, fueron calculadas áreas de fisuras para todas las muestras. Las áreas de fisuras promedio para condiciones patrón y modificadas son mostradas en las Figuras 6a y 6b, respectivamente. Es evidente a partir de las figuras que el área promedio de fisuras para el control era superior a 150 mm². Todas las adiciones reducirán el área de fisura en las condiciones especificadas por la ASTM y sobre condiciones modificadas. El único punto discrepante fue la adición X que mostró un aumento de la fisuración en condiciones modificadas. En la dosificación especificada, la adición K parece ser la más eficaz en la reducción de la fisuración inducida por retracción.

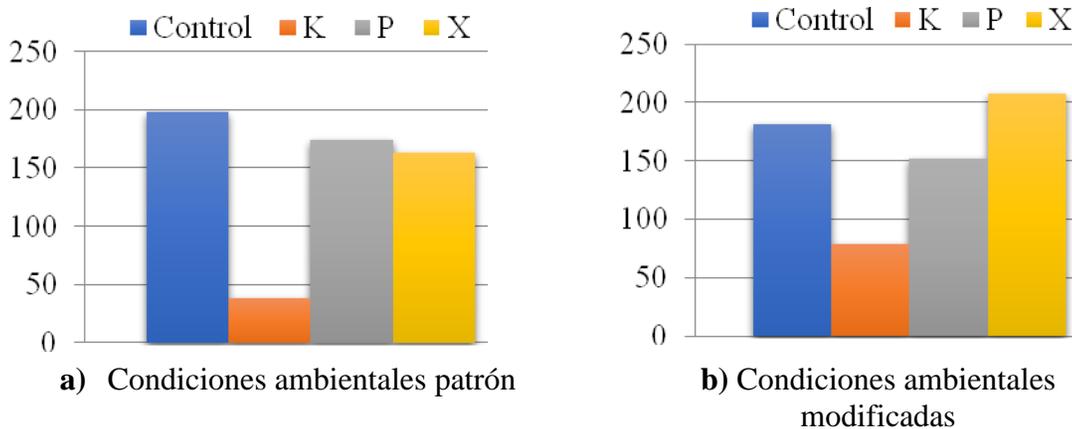


Figura 6. Área promedio de fisuras (mm²)

3.4. Tiempo de fisuración y alcance futuro de la investigación

Las siguientes tablas muestran el tiempo que tomó para cada probeta en fisurarse. El tiempo de fisuración fue observado visualmente a partir de una grabación de video.

Tabla 3. Tiempo medido hasta la primera fisura.

Muestra	Tiempo para a primera fisura (h:min)	
	Condiciones patrón	Condiciones modificadas
Controle	1:21	1:41
K	2:15	2:29
P	1:24	1:49
X	2:16	2:22

El tiempo hasta la primera fisura para las muestras de control cuando se compara con las mezclas con aditivos es el más bajo sobre las condiciones patrón y modificadas. Esto indica que todas las adiciones retardan la formación de la primera fisura. Las adiciones K y X retrasan el tiempo para la primera fisura cuando se compara al control por un promedio de aproximadamente 50min considerando condiciones patrón y modificadas. El retraso en el tiempo para la primera fisura debido a la adición P cuando se compara con el control era un promedio de apenas 5 minutos.

Se observó también que el tiempo hasta la primera fisura aumentó sobre condiciones modificadas no solo para para la mezcla control, también para todas las muestras en un promedio de 16 min. En condiciones modificadas, cuando la temperatura es mayor, al índice de ganancia de resistencia sería más rápida. Un retraso en el tiempo para la primera fisura en condiciones modificadas para la mezcla control y la mezcla modificada con la adición P traducida en fisuras más estrechas y área de fisura total ligeramente inferior (ver la Tabla 2 y la Fig. 6). Con todo ello, para las

adiciones K y X, fueron registradas áreas de fisuras mayores en condiciones modificadas. Cuando se compara con el control, la adición K causó un mayor atraso en el tiempo para la primera fisura y resultó en el CRR más elevado. Por consiguiente, no pueden ser dadas afirmaciones concluyentes a partir de datos disponibles y más investigaciones son justificadas. La influencia del trazo y las adiciones, tales como las ceniza volantes sobre el índice de evaporación, fue descrita en un estudio de Banthia y Gupta (Banthia & Gupta, 2009).

Estudios futuros deben enfocarse en la medición del índice de evaporación directamente de las muestras en lugar de la medición de la evaporación en la cámara ambiental. La evaporación de la humedad de las muestras también es una función de la exudación, por lo tanto, medir la pérdida de humedad en las muestras directamente también puede ayudar a capturar el efecto de dicha exudación. No obstante, el gran tamaño de la muestra especificado por la ASTM coloca desafíos para la medición precisa de la pérdida de humedad de las muestras. La reducción de la fisura observada en este estudio puede ser debida al índice más rápido de ganancia de resistencia en las primeras edades. Para confirmar esta hipótesis, los estudios futuros deben enfocarse en la medición de la pérdida de humedad de las muestras y también en la medición del aumento simultáneo de la ganancia de resistencia en las primeras edades del material utilizando muestras de formato de “hueso de perro”, tal como es utilizado en un estudio de Gupta (Gupta, 2008).

4. CONCLUSIONES

En este trabajo, fueron examinados los efectos de adiciones impermeabilizantes cristalinas sobre la retracción plástica en dos condiciones ambientales, una especificada por la ASTM C1579 y otra modificada. Fueron utilizados tres tipos de adiciones en concreto de acuerdo con la dosificación prescrita por los fabricantes. En ambas condiciones ambientales, las muestras con adiciones tendieron a resistir la fisuración mejor que la mezcla patrón con las mismas proporciones. La adición K presentó una razón de reducción de fisuras de aproximadamente 80% y 55% en las condiciones patrón y modificada, respectivamente. Esta disminución acentuada confirma que la adición K resiste eficazmente la retracción plástica. La adición P mantuvo un índice de reducción de 10% en ambas condiciones ambientales. Finalmente, la adición X mostró una pequeña disminución en el tamaño de la fisura en la condición patrón. Entretanto, presentó un bajo desempeño en la condición modificada con mayor fisuración comparada con la mezcla patrón. En general, las adiciones impermeabilizantes cristalinas comercialmente disponibles parecen ofrecer el beneficio secundario de servir como una adición reductora de la retracción, especialmente a edades tempranas.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen la participación de varios alumnos del BCIT en este proyecto a lo largo de los últimos años. La colaboración de Stevan Gavrilovic, Marie Qian y Amrit Basra fue muy apreciada.

6. REFERÊNCIAS

- ASTM Standards, A. S. (2007). ASTM C1579. In ASTM, *ASTM STANDARDS SECTION 4 CONSTRUCTION* (pp. 781-87). Maryland: ASTM C1579.
- Banthia, N., & Gupta, R. (2009). *Plastic shrinkage cracking in cementitious repairs and overlays*. *Materials and Structures*, 42, 567-579.

- Bentur, A., Berke, N. S., Dallaire, M. P., Druning, T. A. (2001). *Crack Mitigation Effects of Shrinkage Reducing Admixtures*. ACI Special Publication (204).
- Biparva, A., & Gupta, R. (2010). *Smart Waterproofing System*. Doha, Qatar: International Conference on Future Concrete.
- Bloom, R, Bentur, A. (1995). *Free and restrained shrinkage of normal and high-strength concretes*. ACI Materials Journal, 92(2), 211-217.
- Corinaldesi, V., and Moriconi, G. (2009). *Effect of Different Fibers and Mineral Additions on the Performance of FRSCC*. ACI Special Publication (261).
- Geetha, A, Perumal, P. (2011). *Chemical reaction of waterproofing admixtures on the corrosion behaviour of reinforced cement concrete*. Asian Journal of Chemistry, 23(11), 5145-5148.
- Gupta, R. (2008). *Development, application and early-age monitoring of fiber-reinforced 'crack-free' cement-based overlays*. Doctoral thesis submitted at The University of British Columbia. Vancouver: Faculty of Graduate Studies.
- Gupta, R., Banthia, N., and Dyer, P. (2010). *Field Application and Monitoring of Crack Resistant Fiber-Reinforced Concrete Overlays*. ACI Special Publication (268).
- Holcim Canada ready to deliver portland limestone cement. (2011, Feb 28). *Canada NewsWire*. Retrieved from <http://search.proquest.com.ezproxy.library.uvic.ca/docview/854024570?accountid=14846>
- Lura, P., Pease, B., Mazzotta, G., Rajabipour, F., and Weiss, W. J. (2007) "Influence of Shrinkage-Reducing Admixtures on Evaporation, Settlement, and Plastic Shrinkage Cracking", American Concrete Institute Materials Journal, Vol. 104, No. 2, pp. 187-194.
- Soroushian, P., Mirza, F., Alhozaimy, A. (1995). Plastic shrinkage cracking of polypropylene fiber-reinforced concrete. *ACI Materials Journal*, 92(5), 553-560.
- Soroushian, P., Ravanbakhsh, S. (1998). *Control of plastic shrinkage cracking with specialty cellulose fibers*. ACI Materials Journal, 95(4), 429-435.
- Vaccaro, M. (2006). "Burning alternative fuels in rotary cement kilns," Cement Industry Technical Conference. Conference Record. IEEE, vol., no., pp.10 pp., 9-14 April 2006 doi: 10.1109/CITCON.2006.1635711
- Weiss, W. J. And Shah S. P. (2002). *Restrained shrinkage cracking: the role of shrinkage reducing admixtures and specimen geometry*, Materials and Structures, Volume 35, Number 2, Page 85.