



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



**INFLUENCIA DE LOS ADITIVOS REDUCTORES DE RETRACCIÓN Y LAS FIBRAS
SOBRE LA RETRACCIÓN PLÁSTICA EN CONCRETO LANZADO**

J. Mora Ruacho¹, A. Aguado de Cea², R. Gettu³

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua, Nuevo Campus Universitario S/N, Apartado Postal 1528 "C", 31160 Chihuahua, Chih. México.

²BSB 217, Building Sciences Block, Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Madras, Chennai 600036, India.

³Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Cataluña, Edificio C2. C. Jordi Girona, 1-3, Campus Nord. 08034 Barcelona, España.

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados de un estudio experimental en concretos del tipo lanzados, los cuales fueron adicionados con fibras y un aditivo reductor de retracción (ARR) para la reducción del agrietamiento por retracción plástica. Para determinar el potencial de agrietamiento de cada concreto con su respectiva adición, se realizaron ensayos de laboratorio por medio de dos metodologías: un panel, en el cual el potencial se mide estimando el agrietamiento resultante y un prisma, el cual mide las etapas del desarrollo del agrietamiento. Asimismo se efectuaron mediciones de índice de evaporación, asentamiento, presión capilar y temperatura de tales concretos. Las conclusiones señalan la ventaja de utilizar fibras y ARR y la utilidad de los métodos de ensayo para la evaluación el potencial de agrietamiento.

Palabras clave: retracción plástica, agrietamiento, fibras, aditivo reductor de retracción.

ABSTRACT

This paper presents an experimental study on shotcretes, which were added with fibers and shrinkage reducing admixture (SRA) to counteract for the plastic shrinkage cracking. To determine the cracking potential on each shotcrete with respective addition, laboratory tests were made by two methodologies: a panel which cracking potential is determined by estimating the resultant cracking and a prism, which records the cracking development stages. In the other hand, measurements of evaporation rate, settlement, capillary pressure and temperature in those shotcretes were made. The results of this experimental study show the advantages to use fibers and SRA on shotcrete and the usefulness of the testing methods for the cracking potential evaluation.

Keywords: plastic shrinkage, cracking, fibers, shrinkage reducing admixture.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



INTRODUCCIÓN

El concreto lanzado es un concreto transportado por medio de una manguera, lanzado y compactado neumáticamente a gran velocidad sobre una superficie. Tal compactación hace que se soporte a sí mismo en superficies de cualquier inclinación¹. En este material es necesaria una modificación en su composición respecto a un concreto convencional para mejorar algunas exigencias como reducir el rebote, mejorar la adherencia con la superficie e incrementar el espesor de la capa de aplicación. Esto depende generalmente del mejoramiento en la cohesión, que se refleja en una consistencia seca. Por ello las relaciones agua/cemento suelen ser del orden de 0.35 a 0.50, además de que se incrementa el contenido de cemento, se adicionan aditivos minerales como el microsíllice y la adición de superplastificantes y acelerantes.

Aunque a la fecha no existen referencias en la literatura que traten de estudios respecto a la retracción plástica en concretos lanzados, puede esperarse que aquellos elementos y mecanismos involucrados con la retracción plástica, como lo observado en concretos convencionales, se presente de manera similar en los primeros.

En concretos convencionales, la retracción plástica se asocia con el secado del agua de exudación de la superficie² y la retracción química del cemento. Cuando el índice de evaporación sobrepasa el índice de exudación, la superficie del concreto seca y tiende a retraer³. Esto ocurre cuando el concreto se expone a unas condiciones ambientales de calor, resequedad y corrientes de viento que llevan a un secado en la superficie del concreto. El efecto de la exudación se puede relacionar con relaciones agua/cemento bajas, contenidos altos de pasta⁴, finura del cemento⁵ y la presencia de aditivos minerales como microsíllice, ceniza o escoria^{6,7} y algunos aditivos plastificantes⁸. Asimismo, la presencia de grietas debido a la retracción bajo condiciones restringidas (restricción del movimiento libre en el concreto) se puede explicar como la formación de esfuerzos de tracción y cortante cuando se excede el límite de deformabilidad del material⁹. El agrietamiento puede abarcar unos centímetros hasta 1 o 2 metros de largo con anchos de 0.1 a 3 mm¹⁰.

Varios de los estudios encaminados con el fin de reducir el agrietamiento por retracción plástica han sido el adicionar fibras y aditivos reductores de retracción (ARR) al material. Se ha reportado que en concretos convencionales, se han utilizado fibras metálicas en el rango de longitudes de 12 a 38 mm y fibras poliméricas hasta de 4 kg/m³ para limitar la retracción^{11,12}. Se observa además los efectos positivos en la reducción de retracción plástica cuando se adicionan ARR¹³.

Los ensayos experimentales para estimar el potencial de agrietamiento en concretos convencionales han consistido en la observación y medición de la formación del agrietamiento en la superficie del espécimen de varios tamaños, geometrías y condiciones de restricción, expuestos a entornos tales como altas temperaturas, viento y bajas humedades^{4-6,7,8,10,11,14-17}.

Algunos otros estudios durante ensayos de retracción plástica han incluido la medición de la

evaporación, exudación y presión capilar, mecanismos que ha sido difícil de correlacionar con el proceso de la retracción plástica.

El objeto de este estudio consiste en evaluar la reducción del potencial de agrietamiento por retracción plástica influenciado por la incorporación de fibras y un ARR sobre un concreto lanzado, utilizando dos metodologías: un panel, donde se hace observación visual y medición del agrietamiento y un prisma que induzca una grieta cuya evolución se observa midiendo el desplazamiento sobre la superficie del material. Se realizan otras mediciones en el concreto plástico, tales como en índice de evaporación, asentamiento, presión capilar y temperatura.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Metodologías utilizadas

Panel y prisma.

Una descripción de las dos metodologías utilizadas en el estudio de la evolución del agrietamiento son el panel y el prisma, respectivamente, configuración que se describe a detalle en la referencia¹³.

Otros ensayos.

De igual manera, los detalles de los arreglos para la medición del índice de evaporación, asentamiento, presión capilar y evolución de la temperatura, se encuentran en la referencia¹³.

Configuración del ensayo

Los ensayos se realizaron utilizando un túnel de viento construido para simular condiciones ambientales adversas. En tal elemento, se alojaron el panel y prisma provistos de aislamiento térmico en sus respectivas superficies metálicas, así como los dispositivos de medición del índice de evaporación, asentamiento, presión capilar y evolución de la temperatura. La Figura 1 muestra la configuración del ensayo.

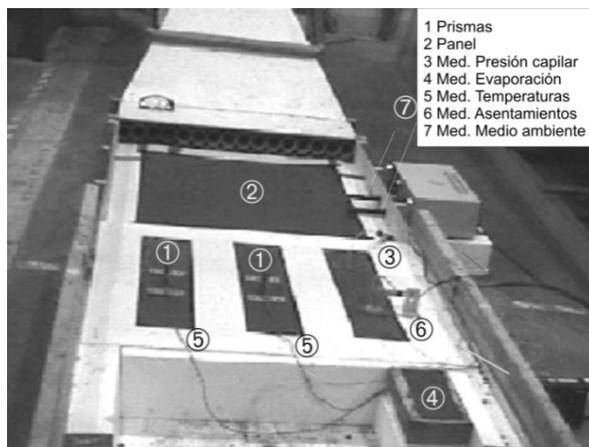


Figura 1. Configuración del Ensayo.



Figura 2. Colocación del Concreto Lanzado.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



Las condiciones ambientales medias para los ensayos fueron: 32 °C, 55% y 26 km/hr, para la temperatura interna, humedad relativa y velocidad de viento y coeficientes de variación de 3, 7 y 1% respectivamente. La aplicación del aire caliente (comienzo del ensayo) comenzó a los 60 minutos, después de elaborada la mezcla. La duración del ensayo fue de 240 minutos.

El concreto lanzado se aplicó por vía húmeda con los moldes en posición horizontal, utilizando una bomba Putzmeister® de 20 m³/hr y un compresor de 8000 litros de capacidad. El concreto se preparó en planta y se transportó en camión concretero. La Figura 2 muestra la puesta del concreto lanzado sobre los prismas y panel. Se realizaron mediciones estándar de revenimiento y peso específico en el concreto fresco. Se extrajeron corazones de paneles estándar de acuerdo a la norma Española¹⁸ para la resistencia a compresión a los 28 días.

Materiales utilizados

Se elaboraron tres concretos en total. Se utilizó un concreto de referencia con resistencia a la compresión de 34 MPa a 28 días de edad. La dosificación para el concreto de control fue, cemento: 370 kg/m³, agua: 170 kg/m³, con una relación a/c de 0.43; superplastificante: 6.3 lt/m³, arena y grava: 1215 y 550 kg/m³, respectivamente. Los componentes fueron un cemento tipo CEM I 42.5R, superplastificante a base de naftaleno y agregado triturado de caliza para el arena y grava con tamaños de 0-5 mm y 5-12 mm respectivamente. Se utilizó un tipo de fibra de polipropileno polimérica de 50 mm de longitud, con una dosificación de 4.5 kg/m³ y un ARR elaborado a base de ceras cuya dosificación fue de 5 kg/m³. La dosificación de las fibras y el ARR fueron las recomendadas por el fabricante. Para identificar los concretos lanzados ensayados el concreto lanzado de referencia se identifica como HPSC-0 y aquel con la adición de fibra polimérica y ARR se identifica como HPSC-PXL y HPSC-GR, respectivamente.

RESULTADOS

Resultados de las propiedades en fresco y la resistencia a compresión de los concretos lanzados ensayados

Para los concretos ensayados, los valores del cono variaron de 195 a 225 mm, sus densidades fueron de 2380 y 2400 kg/m³ y sus resistencias a compresión fue del orden de los 35 MPa con coeficientes de variación menores al 5%. Los tiempos de fraguado medidos en las pastas de cada concreto lanzado se expusieron a la misma temperatura del túnel. El tiempo de fraguado para la pasta con ARR fue casi el doble (590 a 690 minutos inicial y final respectivamente) del valor del concreto de referencia (300 a 390 minutos inicial y final, respectivamente) indicando un retardo significativo en el fraguado.

Resultados de evaporación.

La Figura 3 muestra los resultados de evaporación. En base a que todos los concretos contienen la misma cantidad de agua, se observa una tendencia a disminuir el índice de evaporación. El concreto con fibras (HPSC-PXL) muestra el índice de evaporación mayor desde el comienzo con 1.2 kg/m²/hr cuando se compara con los concretos HPSC-0 y HPSC-GR.

Por otro lado, aunque el concreto HPSC-GR sigue valores similares del índice de evaporación ($1.0 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$) en el comienzo, a los 70 minutos se observa un incremento. Considerando aquel valor de evaporación recomendado por el ACI¹⁹ ($1.0 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$, que puede causar agrietamiento) el concreto con ARR podría resultar ventajoso puesto que regularía la exudación del agua, dando tiempo a ganar cierta resistencia al concreto. Por otra parte, la adición de fibras podría causar una cantidad de exudación tal, que podría incrementar la posibilidad de causar agrietamiento.

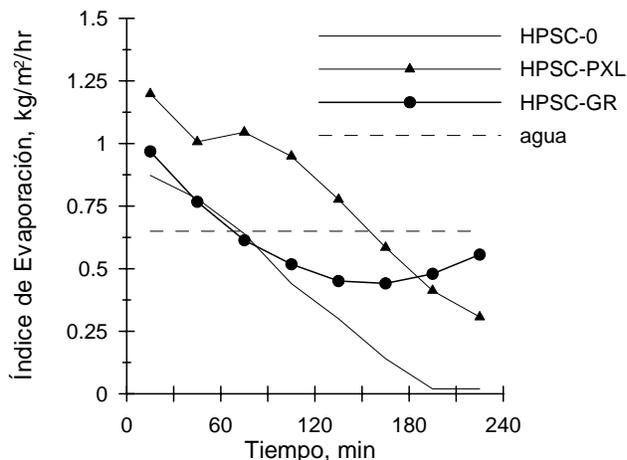


Figura 3. Resultados de Índices de Evaporación.

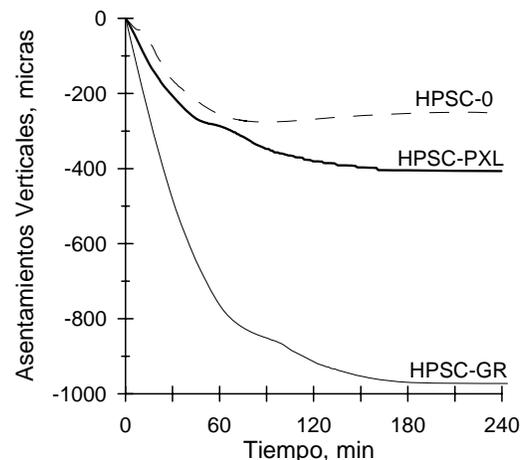


Figura 4. Resultados de Asentamientos.

Como se observa, la adición de fibras o ARR pudieran desarrollar ciertos mecanismos para retener agua, o afectar de alguna forma la estructura del material, mecanismos que determinarían la capacidad de exudación.

Resultados de asentamientos.

Los resultados se muestran en la Figura 4. El concreto de referencia muestra el valor menor (-250 micrones), mientras que el concreto con ARR muestra el valor mayor (-1000 micrones). Los resultados de asentamiento e índices de evaporación (Figura 3), parecen no tener alguna correlación como se pudiese esperar.

De acuerdo a los resultados, en algunos casos, el agrietamiento pudiese aparecer como consecuencia de un asentamiento diferencial y no como causa directa de evaporación solamente.

Resultados de presión capilar.

Los resultados de presión capilar de los concretos lanzados se muestran en la Figura 5.

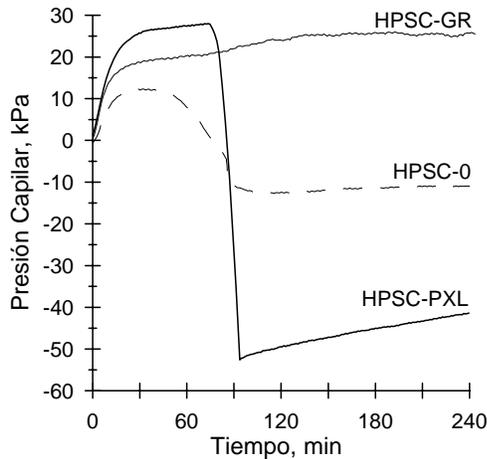


Figura 5. Resultados de la Presión Capilar.

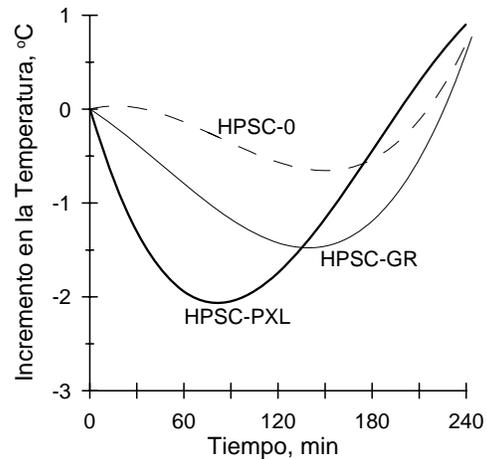


Figura 6. Resultados de la Temperatura.

Los valores de presión capilar mostrados como negativos, indican una succión en el material y el descenso de la curva indicará un incremento de la presión capilar (incremento de succión) y una presión capilar máxima (succión máxima) significa una presión capilar pico (presión de rotura).

Inicialmente existe una presión positiva (no succión) aproximadamente a los 30 minutos con valores de 10 a 25 kPa. Esta presión positiva se puede atribuir a la disminución de la temperatura del concreto, la cual podría tener un efecto en los poros saturados del agua. Posteriormente, la presión cambia a valores negativos (succión). Las presiones pico en los concretos HPSC-0 y HPSC-PXL son -12,5 y 52 kPa respectivamente en 90 minutos. Sin embargo en el concreto HPSC-GR no existe una presión capilar pico, por el contrario, muestra presiones positivas (no succión) en todo momento. Esto pudiera atribuirse a una exudación importante y un retardo en el fraguado, como se puede ver en los índices de evaporación en la Figura 3. En general, parece que un alto contenido de pasta tiene un efecto importante en el desarrollo de la presión capilar.

Resultados de la temperatura.

La Figura 6 muestra los resultados del incremento de temperatura. La temperatura inicial de todos ellos fue de 24 °C. En todos se muestra una ligera disminución de temperatura debido a la baja temperatura inicial en moldes. La temperatura ambiental fue de 20 (± 2.0 °C), después, se observa un ligero incremento de la temperatura. Tal incremento no parecería figurar como de importancia para algunos cambios en algunos procesos involucrados en el desarrollo de la retracción.

Resultados de los prismas y paneles.

Los resultados de los prismas se muestran en la Figura 7 y de los paneles en la Figura 8.

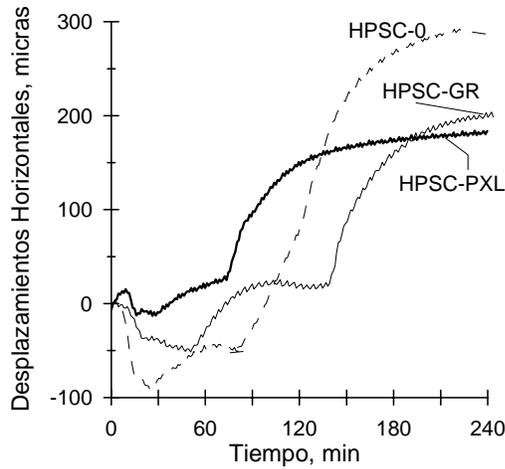


Figura 7. Resultados de los Prismas.

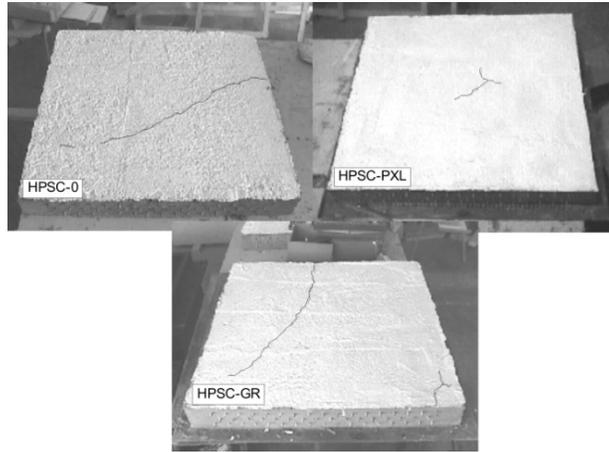


Figura 8. Resultados de los Paneles.

Para el caso de los prismas en la Figura 7, se observa una pequeña deformación o expansión durante los 60 a 90 minutos, siguiéndose de un incremento de retracción, con un rizo que indica el inicio de la grieta y finalmente la estabilización de la misma. Para los concretos HPSC-0 y HPSC-GR se observa una expansión de 50 a 100 micras en la primera etapa, mientras ésta no se observa en el concreto HPSC-PXL. Después existe un incremento en la deformación hasta la formación del rizo, el cual ocurre entre los 77 y 140 minutos, después de lo cual el ancho de grieta se incrementa hasta los 120 a 210 minutos. Los concretos con ARR y fibras (HPSC-PXL y HPSC-GR) tuvieron desplazamientos últimos menores que el concreto de referencia (HPSC-0). Para el caso de los paneles, mostrado en la Figura 8, las áreas de grietas y sus formas se determinaron una vez terminado el ensayo. La superficie del panel se pintó de color blanco para visualizar más claramente las grietas. Todos los paneles agrietaron, como se puede observar. En general, las grietas se forman sin ramificaciones. Después de cada ensayo, una vez que el espécimen alcanzó la temperatura ambiente, se midieron la longitud y ancho de las grietas en algunos de sus puntos, utilizando lentes de aumento. El ancho medio de grieta no se puede reducir por la adición del ARR (HPSC-GR), sin embargo, aquel concreto con la adición de fibra (HPSC-PXL) resultó de más beneficio.

CONCLUSIONES

En los resultados de evaporación, existe un incremento de la misma cuando se adicionan fibras y ARR. La adición de fibras o ARR pudiesen desarrollar ciertos mecanismos para retener agua por si mismos, o el afectar de alguna forma la estructura del material que pudiese determinar la capacidad de la exudación.

La adición de fibras disminuye el asentamiento, y la adición de ARR lo incrementa, respecto al concreto de referencia. Según los resultados, no existe una relación entre el índice de evaporación y el asentamiento. De acuerdo a esto, el agrietamiento pudiese aparecer como



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



consecuencia de un asentamiento diferencial y no como causa directa de evaporación.

En los resultados de presión capilar, existe una presión positiva al inicio (no succión). Esta presión positiva se puede atribuir a la disminución de la temperatura del concreto, el cual pudiese tener algún efecto sobre el agua en los poros saturados. El concreto HPSC-GR no muestra una presión capilar pico, que pudiera deberse a una exudación importante y el retardo del fraguado. En general, parece que el alto contenido de pasta tiene un efecto importante en el desarrollo de la presión capilar.

En los resultados de la temperatura, se observa que todos los concretos muestran una ligera disminución de la misma debido a la temperatura inicial de los moldes. Además se puede advertir que los valores pequeños de incrementos de la misma, no pudieran ser lo suficientemente importantes para iniciar algunos cambios en algunos procesos involucrados en el desarrollo de la retracción plástica.

En los ensayos del prisma, los concretos con fibras y ARR, mostraron desplazamientos últimos menores respecto al concreto de referencia. El concreto con fibra logró una mayor reducción de ancho último de grieta. En los resultados del panel, se observa que el ancho medio de grieta no pudo controlarse por la adición de ARR, mientras la adición de fibra resultó más benéfica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento por el apoyo económico brindado por las ayudas PB98-0928, FEDER 2FD97-1973-C02-02 del CICYT en España y la Comisión Europea y el CONACYT de México. Los materiales utilizados en este estudio fueron donados por Bekaert, Ciments Molins, Grace, Fosroc Euco, Nycon e Industrias Sintéticas.

REFERENCIAS

1. ACI 506R-90, Guide to Shotcrete, ACI Manual of Concrete Practice, Parte 5, (Estados Unidos, 1997).
2. Neville, A. M., Properties of Concrete, Editores ELBS, Longman Singapore Publications (Singapur, 1981).
3. Wittmann, F.H., "On the action of capillary pressure in fresh concrete", Cement and Concrete Research **6**, 1, (1976), pp. 49-56.
4. Shaeles, C.A., Hover, K.C., "Influence of mix proportions and construction operations on plastic shrinkage cracking in thin slabs", ACI Materials Journal **85** (1988), pp. 495-504.
5. Burrows, R. W., The Visible and Invisible Cracking of Concrete, ACI Monograph, No. 11, (Estados Unidos, 1998).
6. Samman, T.A., Mirza, W.H., Wafa, F. F., "Plastic shrinkage cracking of normal and high-strength concrete: a comparative study", ACI Materials Journal **93**, 1, (1996), pp. 36-40.
7. Almusallam, A. A., Abdul-Waris, M., Maslehuddin, M., Al-Gahtani, S., "Placing and shrinkage at extreme temperatures", Concrete International, (1999), pp. 75-79.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



8. Soroka, I., Ravina, D., “Hot weather concreting with admixtures”, *Cement and Concrete Composites*, **9**, 20, (1988), pp. 129-136.
9. Tazawa, E., *Autogenous Shrinkage of Concrete*, Proceedings of the International Workshop, JCI, E. Tazawa (Ed), (1988), (Japón).
10. Ravina, D., Shalon, R., “Plastic shrinkage cracking”, *ACI Journal*, (1968), pp. 282-292.
11. Balaguru, P., Shah, S.P., *Fiber Reinforced Cement Concretes*, Ediciones Mc Graw-Hill (Estados Unidos, 1992).
12. Lamontagne, A., Pigeon, M., “The influence of polypropylene fibers and aggregate grading on the properties of dry-mix shotcrete”, *Cement and Concrete Research*, **25**, 2, (1995), pp. 293-298.
13. Mora, J., “Study of plastic shrinkage cracking in conventional and high performance concretes”, Tesis Doctoral, E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, U.P.C. Barcelona, España (2002).
14. Padron, I., Zollo, R.F., “Effect of synthetic fibers on volume stability and cracking of portland cement and mortar,” *ACI Materials Journal*, **87**, 4, (1990), pp. 327-332.
15. Nanni, A., Ludwig, D.A., McGills, M.T., “Plastic shrinkage cracking of restrained fiber-reinforced concrete”, *Transportation Research Record*, **1382**, (1991), pp. 69-72.
16. Sanjuán. M.A., Moragues, A., “A testing method for measuring plastic shrinkage in polypropylene fibre reinforced mortars”, *Materials Letters*, **21**, (1994), pp. 239-246.
17. Vandewalle, L., "Influence of polypropylene fibre reinforcement on the restrained shrinkage and cracking of concrete", en: *Fourth CANMET/ACI International Conference on Durability of Concrete*, (1997), Sydney, Australia.
18. UNE 83602, “Preparation of the sample to obtain core specimens”, norma AEN/CTN 83, (1997), España.
19. ACI 305R-99, *Hot Weather Concreting*, ACI Manual of Concrete Practice, Parte 5, (Estados Unidos, 1997).