

HORMIGONES DE RETRACCIÓN COMPENSADA REFORZADOS CON FIBRAS EN PAVIMENTOS Y PISOS INDUSTRIALES

FIBER REINFORCED SHRINKAGE COMPENSATING CONCRETE IN INDUSTRIAL PAVEMENTS AND FLOORS

Yessika Loyo¹

¹ Becaria doctoral, FONCyT, LEMIT - CICPBA, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, Argentina, estudiosespeciales@lemit.gov.ar.

RESUMEN

El presente artículo recopila experiencias sobre los Hormigones de Retracción Compensada Reforzados con Fibras (HRCRF) en pavimentos y pisos industriales. Entre los tipos de hormigones empleados, se profundizó en los Hormigones de Retracción Compensada (HRC) y los Hormigones Reforzados con Fibras (HRF), ambos hormigones por separado aportan soluciones a problemas comunes de estas aplicaciones, como: el espaciamiento de juntas, fisuración y permeabilidad, entre otros, que finalmente afectan la vida en servicio y durabilidad de los mismos. Posteriormente, se exponen los resultados más importantes de los estudios en cuanto al uso de HRC y HRF por separado, así como también, investigaciones y aplicaciones de su uso combinado. En base a los hallazgos y a la literatura revisada, como parte final de este artículo, se plantea la necesidad de realizar un estudio experimental, con el fin de comprender el rol que ejerce la adición de fibras en el comportamiento del HRC y de esta manera, contribuir con el avance en el uso de HRCRF en pavimentos y pisos industriales.

Palabras clave: Pisos industriales, Hormigones de Retracción compensada (HRC), Hormigones Reforzados con Fibras (HRF), Hormigones de Retracción Compensada Reforzados con Fibra (HRCRF), Aditivo Expansivo.

ABSTRACT

This article compiles experiences on Fiber Reinforced Shrinkage Compensating Concrete (FRSCC) in industrial pavements and floors. Among the types of concrete used, more emphasis were made in Shrinkage Compensating Concrete (SCC) and Fiber Reinforced Concrete (FRC), both concretes separately provide solutions to common problems in these applications, such as: joint spacing, cracking and permeability, among others, which affect their life service and durability. Finally, the most important

results of the studies regarding the use of SSC and FRC separately, as well as investigations and applications of their combined use, are presented. Based on the findings and literature reviewed, as a final part of this article, the need to carry out an experimental study is proposed, in order to understand the role of fiber addition in the behavior of SCC, contributing to the progress in the use of FRSCC in industrial pavements and floors.

Keywords: *Industrial floors, Shrinkage Compensating Concrete (SCC), Fiber Reinforced Concrete (FRC), Fiber Reinforced Shrinkage Compensating Concrete (FRSCC), Expansive Additive.*

INTRODUCCIÓN

El hormigón es un material de construcción que se forma con la mezcla de cemento portland, agregados (finos y gruesos) y agua, que con el tiempo y bajo ciertas condiciones de temperatura y humedad, adquiere resistencia (debido a la hidratación de los compuestos químicos del cemento) que le confiere amplios usos como material de construcción. Aunque el hormigón no es tan resistente, ni tan tenaz como el acero, su amplio uso proviene de tres aspectos principales: su excelente resistencia para soportar la acción del agua sin presentar un deterioro importante, su facilidad de ser moldeado a una gran cantidad de tamaños y formas, y el hecho de ser un material económico y de rápida disponibilidad en obras. Todas estas características le permiten inclusive unirse a otros materiales como el acero, para formar estructuras en los que ambos materiales actúan en conjunto en diversas aplicaciones estructurales [1].

Entre las diversas necesidades de la construcción, una de las aplicaciones del hormigón es en pavimentos y pisos industriales, los cuales se encuentran, generalmente, apoyados sobre el terreno y son capaces de soportar cargas y/o desgastes de gran magnitud, características a ser consideradas en el diseño de los mismos[2]. En la Figura 1 se puede observar la estructura típica de un piso industrial de hormigón.

Aún cuando el hormigón tiene amplias características que le confieren un extenso uso, existen varios aspectos a tomar en cuenta para garantizar su vida útil en servicio y por ende,

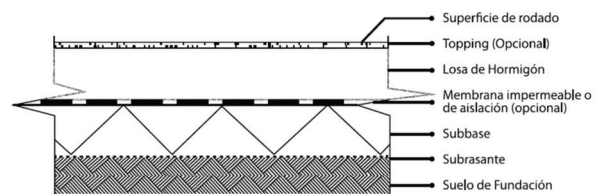


Figura 1: Esquema de estructura de un piso industrial. Adaptado de Manual de diseño de pisos Industriales [2].

su durabilidad. En aplicaciones de pisos y pavimentos, consideraciones de contracción por secado y fisuración, son aspectos importantes a controlar.

La contracción por secado es un cambio de volumen que ocurre en el hormigón cuando está expuesto al medio ambiente y su superficie pierde agua por evaporación. De esta forma, se generan gradientes hídricos entre el interior y exterior del elemento de hormigón, que a su vez generan contracciones, que inducen tensiones de tracción en la superficie. Como es sabido la resistencia a la tracción del hormigón es en torno a un 10% de la resistencia a la compresión, por tanto, si las tensiones generadas superan a la resistencia de tracción del hormigón se producen fisuras. La velocidad de evaporación dependerá de la humedad relativa, la temperatura, la relación agua/cemento, tamaño, forma y textura de los agregados. Las dimensiones y la forma de los elementos estructurales también inciden en la pérdida de agua afectando la velocidad de contracción, y los elementos estructurales adyacentes causan también restricciones que incrementan las tensiones de tracción generadas por efecto de la contracción por secado [3,4].

Una forma de minimizar los efectos de la contracción por secado en este tipo de estructuras es mediante la disposición de juntas, cuyo objetivo principal es controlar la fisuración generada por la contracción por secado, y también por efectos combinados de alabeo y cargas en tránsito. Con el empleo de juntas también se pretende mantener las transferencias de cargas deseables y la división del pavimento en tramos adecuados, lo cual beneficia su construcción. Debido a que las juntas constituyen puntos críticos en un pavimento donde puede ingresar agua y agentes agresivos, una menor cantidad de juntas reducirá los costos de mantenimiento y reparación y aumentará la vida en servicio, favoreciendo un mejor aprovechamiento de los recursos naturales. A su vez, aumentar el espaciado entre juntas supone una gran ventaja, ya que son lugares donde es necesario una gran planitud del piso y alta resistencia al desgaste, por donde circulan vehículos con ruedas muy duras [3,5]. Una de la forma de disminuir en el espaciado de juntas, es a través del empleo de hormigones especiales, como el hormigón de retracción compensada, hormigones reforzados con fibras, también se han empleado losas postesadas. Sin embargo, estas últimas generan altos costos de construcción y mano de obra calificada. En la Figura 2, se observa un esquema de disposición de juntas y la reducción de su espaciamiento [2].

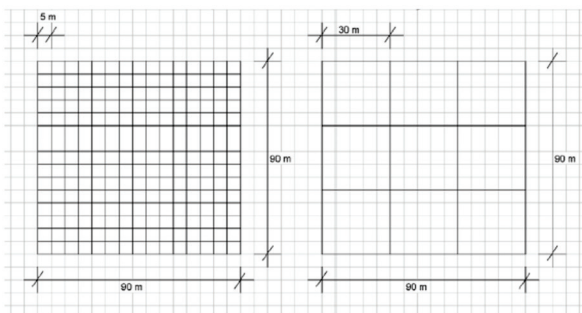


Figura 2: Esquema de juntas en un piso industrial
(a) espaciamiento de 5x5 m
(b) espaciamiento de 30x30 m. Adaptado de [2].

Dado que el uso de un hormigón especial es una herramienta para lograr las mejoras en pavimentos y pisos, la dosificación del hormigón es un aspecto a tener en cuenta, aparte del diseño estructural, para lograr los beneficios deseados[2].

Hormigón de retracción compensada - HRC

El uso de HRC es conocido desde los años 1960, las principales aplicaciones han sido en elementos estructurales como losas, pavimentos y vigas pretensadas. En casos de pavimentos, el uso de estos hormigones permitió reducir el número de juntas, lo cual es considerada una gran ventaja, desde el punto de vista de acabado, costos de construcción y mantenimiento, y también han permitido controlar la frecuente fisuración del hormigón durante el secado [1].

De acuerdo a la definición del Comité ACI 223 [6], un hormigón de retracción compensada es un hormigón elaborado con un cemento expansivo o un aditivo expansivo, que estando adecuadamente restringido, se expandirá en una cantidad igual o ligeramente superior que la retracción por secado esperada. La restricción inducirá esfuerzos de compresión en el hormigón durante la expansión, y la subsecuente contracción por secado reducirá estos esfuerzos. Idealmente una compresión residual permanecerá en el hormigón eliminando el riesgo de agrietamiento por contracción (retracción)[1,3,7]. En la Figura 3, se observa el efecto expansivo en un HRC y su comparativa con un hormigón elaborado con cemento portland normal.

Como se mencionó en el párrafo anterior, los hormigones de retracción compensada pueden ser elaborados con un cemento expansivo o un aditivo expansivo. Entre los cementos expansivos se encuentran los cementos tipo K, M y S, todos ellos se basan en la formación de Etringita, en el inicio del período de endurecimiento, es decir, después del fraguado. La formación de etringita durante la hidratación del cemento, dependerá de la cantidad de C_3A (aluminato tricálcico) y de Yeso (sulfato

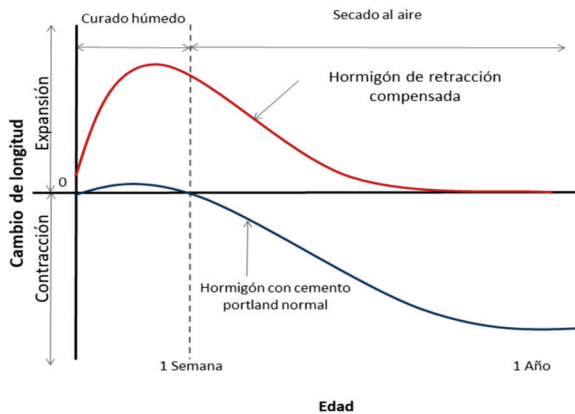


Figura 3: Efecto de expansión del HRC comparado con un hormigón con cemento portland normal y un hormigón de retracción compensada. Adaptado de [1].

de calcio hidratado) presentes [3,6]. La diferencia entre los tres tipos de cementos expansivos, radica en sus componentes. El tipo K, contiene cemento portland, trisulfoaluminato tetracálcico, sulfato de calcio y óxido de calcio no combinado (cal). El Tipo M, contiene cemento portland, cemento de aluminado de calcio y sulfato de calcio. El Tipo S, contiene cemento portland, con alto contenido de aluminato tricálcico y sulfato de calcio. De estos tres, el cemento expansivo Tipo K, es el más disponible comercialmente en Estados Unidos [1,3,4,6].

Inicialmente los cementos expansivos eran los únicos componentes usados para elaborar el HRC. En los años 1970, la Asociación del Cemento Portland (PCA), por sus siglas en inglés, condujo una extensa investigación sobre el uso de cementos expansivos para elaborar los hormigones de retracción compensada. Más tarde, Russell et al [8] analizaron el uso de aditivos expansivos, en lugar del cemento expansivo, estos aditivos expanden al hormigón y se basan en la transformación de óxido de calcio (CaO) en cristales de hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, durante la hidratación del cemento, esto permitió más tarde incluir en la siguiente actualización del ACI 223 el uso de aditivos expansivos para elaborar un HRC [6,8].

Moffat et al. [9] evidenciaron que una de las ventajas de emplear un aditivo expansivo basado en óxido de calcio, además de lograr el efecto expansivo requerido, es eliminar la posibilidad de la formación retardada de etringita (FRE), que puede ocurrir con el uso de cementos expansivos cuando la formación de etringita no ocurre comúnmente a edades tempranas.

Dos de las principales causas que contribuyen a la FRE son: el empleo de menores proporciones de agua y las altas temperaturas. Una reducción de agua implica que no toda la etringita se podrá formar en el tiempo requerido, Si el agua llega a estar en contacto con el hormigón después del endurecimiento, se formará etringita expansiva en la interfaz pasta de cemento-agregado favoreciendo el despegue de la matriz y con ello el deterioro prematuro del hormigón. Por otro lado, es sabido que a más temperatura, mayor es la expansión de la etringita, sin embargo, un calor excesivo tiende a "deshidratar" la etringita antes de que se complete su formación en la mezcla.

A pesar de la ventaja de usar un aditivo expansivo con base en óxido de calcio, es importante controlar las variables durante la elaboración del hormigón y su posterior colocación, ya que los componentes expansivos, se forman una vez que entran en contacto con el agua, y podrían registrar una pérdida de asentamiento elevada [9].

En la Especificación ACI 223, se establecen los criterios a tomar en cuenta en la elaboración de hormigones de retracción compensada, entre los cuales se mencionan: el curado, la temperatura, el contenido de agua, la composición y tamaño del agregado, la humedad, proporciones y composición de la mezcla [6].

El curado es un aspecto esencial en los HRC, ya de él depende la capacidad de minimizar la fisuración, debido a que un buen curado garantiza la hidratación necesaria del cemento para que se produzca la expansión. En el caso de agregados, la composición es importante, ya que si estos

tienen yeso u otros sulfatos, pueden incrementar la expansión o causar una expansión retardada, lo que ocasiona el daño posterior del hormigón. Agregados con alto contenido de cloruros tienden a disminuir la expansión y aumentar la contracción por secado. En cuanto al agua, debe ser de la misma calidad que la empleada para elaborar un hormigón de cemento portland normal, bajos contenidos de agua, agregados de alto módulo de elasticidad y mayor tamaño máximo junto con un curado prolongado reducen la contracción por secado [6].

Independientemente del uso de cementos expansivos o aditivo expansivo, la expansión potencial producida es controlada mediante la restricción, que puede ser interna (la armadura) o externa (losas, elementos empotrados, columnas, entre otros), de esta forma se restringe la expansión global producida. En un extenso estudio realizado en losas con armadura convencional, con y sin restricciones externas, Russell et al. [8], concluyeron que la cantidad de refuerzo o el grado de restricción influye en la magnitud de la expansión. Losas ligeramente reforzadas presentaron una mayor expansión que aquellas que tenían un mayor grado de refuerzo. De esta forma, el grado de compensación de la contracción dependerá principalmente del grado de restricción y en menor medida del tipo del sistema expansivo utilizado, razón por la cual se deben tener en cuenta los tipos de restricciones tanto internas como externas para lograr con éxito el uso de HRC.

Sus investigaciones fueron incluidas posteriormente en la especificación ACI 223, donde se puede relacionar la expansión mínima requerida para compensar la subsecuente contracción del hormigón, a partir de un valor de expansión de un elemento de hormigón, y con un porcentaje definido de refuerzo el cual es determinado tomando en consideración las exigencias estructurales.

Ejemplos prácticos del uso de Hormigón de Retracción Compensada en pavimentos y pisos industriales

Existen algunas aplicaciones, donde se han empleado hormigones de retracción compensada en pisos industriales, en la que se han tomado las consideraciones de diseño y aspectos técnicos que han permitido minimizar la cantidad de juntas, alta planicidad, evitar la aparición de fisuras y alabeo de las losas. A continuación se describen dos ejemplos con resultados importantes:

En Argentina, se construyó un Centro de Distribución de Supermercados COTO [10,11], ubicado en el partido Esteban Echeverría, en la Provincia de Buenos Aires. En esta oportunidad se construyó un piso industrial con losas de hasta 1200 m² de superficie. La metodología adoptada fue el uso de hormigones de retracción compensada mediante un aditivo expansivo en base a óxido de calcio y sulfoaluminato de calcio, con una expansión controlada, y adecuadamente restringida por una armadura estructural con el fin de compensar las retracciones que experimenta el material posteriormente. Para la mezcla se empleó un Cemento Portland Normal CP40 y un aditivo convencional plastificante (reductor de agua), a base de lignosulfonato. En sus resultados encontraron que con un 10% de aditivo expansivo, lograron los resultados deseados, sin embargo, al aumentar la dosis no observaron mayores variaciones en la expansión, debido a las adiciones contenidas en el cemento. Tampoco se evidenció un incremento en la resistencia final del hormigón para todas las dosis de aditivo evaluadas. En la obra se observó buena terminación superficial, cumplimiento de requisitos de planicidad, resistencia y una ligera expansión residual, no se evidenciaron fisuras visibles luego de 18 meses de la ejecución, ni alabeos apreciables. En base a la experiencia adquirida, concluyeron en la necesidad de contar con el apoyo idóneo para el desarrollo del hormigón (diseño de mezclas, medición

cuidadosa de las expansiones restringidas, calidad del hormigón producido, etc.), y de disponer de la tecnología y equipamiento adecuado así como del personal competente para la ejecución de los mismos.

En Colombia [11], se realizó un estudio similar tomando como base la tecnología empleada en Argentina. En este estudio se empleó un hormigón con módulo de rotura de 4,2 MPa y un aditivo de retracción compensada a base de óxido de calcio. Sus resultados mostraron que a mayor proporción de aditivo expansivo, la expansión aumenta considerablemente. Con la dosis de aditivo expansivo empleado en este estudio, se encontró un aumento en la resistencia de la mezcla de hormigón entre un 15% y un 20% aproximadamente, el cual puede corresponder al efecto de las reacciones químicas en el proceso de hidratación del cemento. Con este estudio se logró diseñar de forma exitosa una mezcla de HRC para un piso industrial, cumpliendo con los parámetros de diseño establecidos.

Hormigón Reforzado con Fibras - HRF

El hormigón reforzado con fibras, constituye un hormigón de alta performance donde la incorporación de fibras cortas dispersas en la matriz, confiere un compuesto con propiedades destacables, con capacidad de controlar la formación y propagación de fisuras lo que le brinda una importante resistencia residual, dando lugar a un material con mayor tenacidad, lo que a su vez mejora su vida en servicio [5, 12].

El uso de hormigones con fibras en la industria de la construcción se remonta a los años 1970. Una de las principales aplicaciones es en la construcción de pisos industriales, donde se ha determinado que la adición de fibras ha permitido aumentar el espaciamiento de juntas, la disminución de espesores de las losas, la construcción sobre sustratos de menor calidad y la posibilidad de reemplazar las barras de acero convencionales, generando, no solo una reducción de costos,

sino también una simplificación en las tareas de mantenimiento, reparación y aumento de su vida útil en servicio [12].

Para aumentar el espaciamiento de juntas, es necesario aumentar el refuerzo de la armadura convencional, con el consiguiente, aumento en los tiempos de ejecución y costos. Es por ello que el empleo de hormigones reforzados con fibras en aplicaciones de pavimentos y pisos trae numerosas ventajas.

Las fibras son elementos de corta longitud, sección delgada y de formas diversas, pueden ser de acero, polímeros, carbono, vidrio, de metales amorfos o materiales de origen natural. Existen las llamadas macrofibras, debido a que confieren capacidad estructural, su capacidad de postfisuración crece en función del tipo y contenido de fibras. Al tener función estructural, pueden reemplazar de forma total o parcial ciertas armaduras convencionales. Por otro lado, las microfibras de polipropileno son mucho más cortas y de diámetros menores a 0,30 mm, no poseen función estructural, pero pueden ser beneficiosas para el control de la fisuración en estado plástico, para brindar cohesión al hormigón fresco y atenuar efectos de la exposición a altas temperaturas [4].

También es posible emplear macrofibras sintéticas para reducir la contracción y el alabeo de losas, pudiendo reemplazar total o parcialmente el uso de los refuerzos convencionales [13,14]. Las fibras suelen reducir la segregación y la exudación del hormigón fresco dando una mayor homogeneidad en todo el espesor de la losa, disminuyendo el alabeo. La presencia de fibras puede absorber o redistribuir las tensiones internas causadas por los cambios dimensionales en estado plástico y endurecido, y a su vez permiten aumentar el espaciamiento de juntas, otorgando al hormigón capacidad residual postfisuración y con ello un aumento de la tenacidad. Se conoce también, que la adición de pequeñas dosis de fibras mejora la resistencia a la fatiga [5]. También, las experiencias en obras señalan que el contenido de macrofibras

permite ampliar los espaciamientos entre juntas en relación con el hormigón simple o reforzado con barra de acero, de 6 m a 10 m (pisos interiores) y de 5 m a 8 m (pavimentos exteriores). La adición de fibras permite disminuir efectos de alabeo y aparición de fisuras, y su uso mejora la calidad y los costos de ejecución con respecto al uso de barras de acero.

Hormigones de Retracción Compensada Reforzados con Fibras (HRCRF)

Dado que el uso de HRC y HRF por separado tienen beneficios particulares que se buscan para aplicaciones específicas de pisos y pavimentos industriales, como son el mayor espaciamiento de juntas, control de fisuración y alabeo, reducción de costos en reparación y mantenimiento, facilidad en la colocación entre otros, el empleo en conjunto de ambos tipos de hormigón es de amplio interés [15].

El efecto combinado de aditivos expansivos y las fibras ha ganado mucha atención en la aplicación de HRCRF, sin embargo, dicho efecto no está suficientemente estudiado ya que cualquier modificación en la mezcla tiene una influencia en los parámetros que afectan el comportamiento del hormigón.

Algunas investigaciones [13,14] han evaluado el uso combinado de fibras con un aditivo expansivo donde se ha concluido que el uso del aditivo no afecta la capacidad residual de HRF. Las dosis de macrofibras sintéticas no tienen mayor incidencia en los valores de retracción libre medidos en ensayos normalizados, la incorporación del aditivo expansivo modifica los valores de retracción y también provoca cambios en las pérdidas de peso durante el secado, lo que se atribuye a que el reactivo consume agua. Los ensayos comparativos de retracción restringida indican que las fibras no restringen la expansión como lo hace la barra de acero.

Cordialesi et al [16], han estudiado la influencia del

aditivo expansivo en la resistencia a compresión, la resistencia a flexión y la microestructura. En esa investigación en particular se empleó un aditivo expansivo en base a CaO y fibras de acero recubiertas de latón, de allí se evidenció una mejora en la retracción y en la flexión del hormigón debido a que se mejoró la adhesión en la interfaz fibra-matriz.

Cao et al [17] han estudiado el uso combinado de fibras de acero y polipropileno en un hormigón autocompactante de retracción compensada (usando un aditivo expansivo a base de óxido de calcio/sulfoaluminato). Mostraron que el uso de fibras beneficia la resistencia a flexión y la resistencia a tracción por compresión diametral, en este caso el empleo de fibras híbridas disminuyó la trabajabilidad. La acción combinada del aditivo expansivo y las fibras, no afectó la resistencia a la compresión a los 28 días pero la redujo a los 7 días. En cuanto a la retracción por secado observaron que al incrementar el contenido de fibras de acero la expansión de las mezclas disminuyó, mientras que la incorporación de fibras de polipropileno no tuvo ningún efecto.

Otros estudios [18] han concluido que el uso combinado de un aditivo expansivo de retracción compensada y fibras de acero reduce significativamente la retracción libre del Hormigón de Ultra Alta Performance.

Otros estudios [19,20] han investigado el uso de aditivos híbridos basados en CaO y etringita, y concluyeron que la sobresaturación de los cristales híbridos formados proporcionan una presión de cristalización efectiva, que mejora el rendimiento respecto a la relación de expansión restringida y la velocidad de expansión en comparación con el uso de aditivos convencionales (únicamente a base de CaO o etringita).

Zuanfeng et al [21] han investigado hormigones de retracción compensada reforzados con fibras, analizando la influencia de distintos tipos y dosis de fibras, distintos contenidos de aditivo expansor

(en base a sulfoaluminato de calcio e hidróxido de calcio) y condiciones de curado en la expansión restringida, la resistencia a compresión, la resistencia a la fisuración y la permeabilidad. En este estudio se emplearon fibras de polipropileno, fibras de alcohol polivinílico y fibras de celulosa. Se emplearon dosis de fibras entre 0,05% - 0,1% en volumen, ya que se corresponde con las dosis comúnmente adoptadas en muchas aplicaciones de losas y pavimentos. Con la adición del aditivo expansor la expansión restringida aumentó considerablemente en los primeros 3 días de curado, y se observó que de 7 a 14 días este incremento es insignificante. En este estudio, se obtuvo que la adición del aditivo expansivo, tiene una influencia negativa en la resistencia a compresión del hormigón normal. Sin embargo, dicho impacto es dependiente de la relación agua/ligante y del contenido de aditivo expansivo. Un contenido moderado de fibra de polipropileno (0,1% por volumen) beneficia la resistencia a la fisuración. Ensayos realizados en losas a pequeña escala, demostraron que los parámetros estructurales, las proporciones y mezclas de fibras en el HRCRF y el proceso de construcción influyen en la durabilidad de estructuras de hormigón.

Paul et al [22], evaluaron las propiedades de las fibras en hormigones de retracción compensada, ya que consideraron que el hormigón podría tener mejores propiedades mecánicas, si en lugar de ser restringido con acero en las formas convencionales, se restringiera de forma uniforme en todas las direcciones a través de la incorporación de fibras cortas de acero. Ellos concluyeron que el uso de una distribución aleatoria de fibras de acero usadas como refuerzo en el hormigón, puede frenar la expansión del HRC sin afectar negativamente las principales propiedades mecánicas tales como resistencia a compresión y módulo de elasticidad.

CONCLUSIONES

Las diferentes investigaciones expuestas en este artículo, permiten concluir los numerosos beneficios que tienen el uso en conjunto de

HRC y HRF en aplicaciones de pavimentos y pisos industriales. Sin embargo, existen muchos parámetros a controlar, tales como: contenido y tipo de fibras, curado, expansión del hormigón, restricciones, entre otros.

Es necesario conocer la influencia específica de cada uno de los parámetros en el comportamiento y en las propiedades mecánicas del hormigón, que a su vez se traduce en una mejora en la puesta en servicio y su durabilidad.

El grado de compensación de la contracción dependerá principalmente del grado de restricción y en menor medida del tipo del sistema expansivo utilizado, razón por la cual se deben tener en cuenta los tipos de restricciones tanto internas como externas para lograr con éxito el uso de HRC. Se encontró que cuando se emplearon fibras de acero, se obtuvieron buenos resultados en la restricción de la expansión, sin embargo, con el uso de macrofibras sintéticas no se obtuvieron resultados similares en la restricción. Razón por la cual el tipo y contenido de fibras, así como el efecto de las fibras híbridas en la restricción de la expansión del hormigón sería un aspecto a evaluar en investigaciones futuras.

Adicionalmente, se sabe que el aditivo expansivo no tiene una mayor influencia en la capacidad residual de las fibras. También el aditivo expansivo, provoca cambios en las pérdidas de peso durante el secado, debido al consumo de agua, esto es un aspecto de importancia a considerar en el diseño de la mezcla.

Cuando la expansión es generada por la formación de etringita es necesario controlar ciertos parámetros como: curado, relación a/c adecuados, temperatura, para que la expansión acontezca en las edades tempranas y no ocurra la FRE, que causa el deterioro prematuro del hormigón.

A partir del estudio de la bibliografía surge la necesidad de comprender el rol que ejercen las fibras en los HRCRF, determinar los factores que

influyen en la contracción compensada en estos hormigones y cuantificar sus efectos no sólo a escala de laboratorio sino también comparando con hormigones con armadura convencional.

REFERENCIAS

- 1.- Metha y Monteiro. (1998). Concreto, estructura, propiedades y materiales. Primera Edición.
- 2.- Tozzini, R. (2020). Pisos industriales reforzados con fibras. Seminario online de la industria del hormigón elaborado.
https://hormigonelaborado.com/wp-content/uploads/2020/06/Pisos-Industriales-POLICEMENTO_compressed.pdf
- 3.- Kosmatka, S., Karkhoff, B., Panarese, W. y Tanesi, J. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. Portland Cement Association. Boletín de Ingeniería EB 201. Primera Edición. pp. 459.
- 4.- Giovambattista, A., Zerbino, R., Giaccio, G., Fava, C., Milanese, C., Traversa, L., Falcone, D., Di Maio, A., Zega, C., Irassar, E. y Iloro, F. (2019). Bases de un código modelo para la tecnología de las obras de hormigón. Anales LEMIT. Serie IV, Año 6, Nro. 13. Laboratorio de entrenamiento multidisciplinario para la Investigación Tecnológica - LEMIT.
- 5.- Zerbino R. (2020) Hormigón Reforzado con Fibras, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Serie Hormigones Especiales, pp. 344.
- 6.- ACI Committee 223, Standard Practice for the Use of Shrinkage Compensating Concrete (Práctica Normalizada para el Uso del Concreto con Contracción Compensada), ACI 223, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1998, pp. 28.
- 7.- Balzamo, H., Bascoy, D., Bonavetti, V., Cabrera, O., Carrasco, F., Clariá, M., Di Maio, A., Eperjesi, L., Checmarew, R., Fornasier, G., Irassar, F., López, R., Maldonado, G., Oshiro, A., Rahhal, V., Sota, D., Traversa, L., Zega, C., Zerbino, R. (2016). Ese Material llamado Hormigón. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. 2da. Edición. pp. 366.
- 8.- Russell, A., Stadler, R., Gelhardt, H. (2002). Shrinkage-compensating concrete made with an expansive component. Concrete International, 107-111.
- 9.- Moffat, S. (2005). Shrinkage-compensating concrete: An investigative study. Structures 2005, 1-11.
- 10.- Luco, L., Pombo, F. y Torrent, R. (2006) Hormigón con retracción compensada para un gran piso industrial. Cemento, Año 6, N° 26.
- 11.- Gracia, O., Quesada, G., Gómez, A., Santacruz, A. y Arias, L. (2013). Estudio de la tecnología de concretos de contracción compensada aplicada a la construcción de pisos industriales. Obras y Proyectos 13, 46-56

12.- Zerbino R. (2020) Hormigón Reforzado con Fibras y sus proyecciones dentro de la industria de la construcción Revista de Ingeniería, Año LXVII Nro. 153. Centro de Ingenieros Provincia de Buenos Aires, 14-19.

13.- Altamirano, M., Pombo, R., Giaccio, G. y Zerbino, R. (2017). Hormigones Reforzados con macrofibras sintéticas para la ejecución de pisos y pavimentos industriales. Revista Hormigón, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, 57, 15-27.

14.- Zerbino, R., Giaccio, G. Pombo, R. (2016). Estudio Experimental de la respuesta mecánica de Hormigones Reforzados con macrofibras sintéticas para uso en pisos industriales. VII Congreso Internacional 21^a Jornada Técnica de la AATH, Salta, Argentina.

15.- Banthia, N., Yan, C., y Mindess, S. (1996). Restrained shrinkage cracking in fiber reinforced concrete: a novel test technique. Cement and concrete research, 26, 9-14.

16.- Cordinalesi, V., Nardinocchi, A., y Donnini, J. (2015). The influence of expansive agent on the performance of fibre reinforced cement-based composites. Construction and Building Materials, 91, 171-179. <https://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.002>

17.- Cao, Q., Cheng, L., Cao, M., y Gao, Q. (2017). Workability, strength and shrinkage of fiber reinforced expansive self-consolidating concrete. Construction and Building Materials, 131, 179-185. <https://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.1.0760950-0618>

18.- WeiSun, H., XinLuo, H. (2001). The effect of hybrid fibers and expansive agent on the shrinkage and permeability of high-performance concrete. Cement and Concrete Research, 31, 595-601.

19.- Zhao Shunzeng Li Liu. A. (2005). Research on the Capability of HCSA High Performance Concrete Expansive Agent Expansive Agents & Expansive Concrete 3 2005, 002.

20.- Li, S., H. Qian, and J. Li. (2014). Influence of HCSA expansive agent on early age shrinkage of self-compacting concrete. China Concr. Cem. Prod. 223 (11). 21–24.

21.- Zuanfeng, P., Yazhi, Z., Defeng, Z., Ning, C., Yichao, Y. y Xiaoning, C. (2020). Effect of expansive agents on the workability, crack resistance and durability of shrinkage-compensating concrete with low contents of fibers. Construction and Building Materials, 259, 119768. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.1197680950-0618>

22.- Paul, B., Polivka, M. y Metha, P. (1981). Properties of fiber reinforced shrinkage-compensating concrete. ACI Jour