

EVALUACIÓN DEL ESTADO FRESCO DE PASTAS DE CEMENTO CON REDUCTORES DE AGUA

Horacio Donza¹, Viviana Rahhal¹

¹ Universidad nacional del centro, Facultad de Ingeniería. Avda. del Valle 5737, Olavarría, hdonza@fio.unicen.edu.ar

RESUMEN

Los reductores de agua incrementan la trabajabilidad del hormigón sin cambiar la composición de la mezcla, reducen la relación agua/cemento e incrementan la resistencia y la durabilidad; disminuyen el contenido de pasta atenuando costos, creep, contracción por secado y deformaciones térmicas causadas por el calor de hidratación, etc. En este trabajo se evalúa la influencia de la dosis de un aditivo superfluidificante basado en policarboxilatos. Se conformaron tres series: cemento sin tratar, tratado a 140 °C y tratado a 200 °C, modificando el agua de combinación del yeso. En cada serie se utilizaron diferentes dosis de aditivo: desde 0,15 a 1,5 %, y se combinaron tres ensayos para evaluar el estado fresco: cono de Kantro, calorimetría y fraguado. Los resultados muestran que en general se produce un incremento en el diámetro del cono de Kantro, y se retrasan los tiempos de fraguado y la cinética de las reacciones, al aumentar la dosis.

Palabras claves: cemento, reductor de agua, cono de Kantro, fraguado, calor de hidratación.

INTRODUCCIÓN

En la producción de hormigón, desde hace tiempo, el empleo de aditivos en general es una práctica habitual, siendo más del 70 % de ellos reductores de agua [1, 2]. Estos permiten mejorar la trabajabilidad y la reología de los morteros y hormigones. Su principal efecto es disminuir la relación agua/cemento, lo que permite mejorar la resistencia y la durabilidad contribuyendo al desarrollo de hormigones especiales; y por otro, hacen que se pueda disminuir el contenido de cemento, minimizar el creep, la contracción por secado y las deformaciones térmicas causadas por el calor de hidratación, etc. [3].

Los reductores de agua son surfactantes que poseen actividad superficial, se adsorben en los granos de cemento y provocan su dispersión. La solubilidad está dada por la presencia de hidroxilos y grupos sulfonato o carboxílicos unidos a una cadena orgánica, la cual es normalmente aniónica [4, 5].

De acuerdo con Aïtcin [6], la cantidad de aditivo superfluidificante necesaria para obtener una pasta con una determinada fluidez aumenta con la superficie específica del cemento, siendo mayor cuanto más fino es. Alonso et al. [2] indican que en un cemento sin adiciones, la composición mineralógica, principalmente el contenido de C_3A , así como las relaciones C_3A /sulfato de calcio y C_3S/C_3A , son los parámetros que más influyen sobre el comportamiento de un aditivo. En particular, la fase C_3A es la fase que posee mayor capacidad de adsorción de los aditivos basados en policarboxilatos, por lo que, menor

cantidad de aditivo quedaría disponible para ejercer el efecto dispersivo cuando el contenido de C_3A sea mayor [7].

Los superplastificantes afectan la hidratación del cemento portland: por una parte pueden retrasarla y por otra afectar la morfología y la microestructura de los productos de reacción [4, 6, 8]. Sus moléculas al ser absorbidas en el C_3S ocasionan un retraso en el desarrollo del calor de hidratación [2, 5, 9-11]. Además de la disminución del calor, es posible observar también un retardo en el inicio del fraguado del hormigón cuando se emplean dosis elevadas.

La hidratación de los cementos es un proceso exotérmico y la cantidad de calor por gramo liberado hasta la hidratación total se define como "calor de hidratación". El método para determinarlo está establecido por diversas normas, entre ellas la norma ASTM C-1679-17 [12] que lo hace mediante un calorímetro isotérmico y la IRAM 1852 [13] mediante el calorímetro de Langavant. Ambas evalúan el calor de hidratación en un determinado lapso de tiempo. Existen además otros calorímetros como el de disolución y el isotérmico de conducción; este último es el empleado en el presente trabajo.

Por otra parte, el yeso (CSH_2) es el agente regulador de fraguado pues afecta particularmente la hidratación del C_3A . Durante la molienda conjunta del clinker y el yeso se puede generar calor suficiente para producir la deshidratación parcial del yeso convirtiéndolo en hemihidrato (basanita). Cuando la temperatura se eleva lo suficiente se produce la deshidratación total del yeso transformándose en anhidrita. Ambas formas (hemihidrato y anhidrita) son muy ávidas de agua y en su presencia vuelve a formarse yeso bajo la forma de agujas que rigidizan la pasta. Esta rigidización es conocida como falso fraguado.

La solubilidad de las diferentes formas de sulfatos existentes en los cementos no es la misma, y además puede verse modificada por la presencia de aditivos reductores de agua. Esto llevaría a un desequilibrio entre la solubilidad del C_3A y del yeso modificándose el fraguado a tiempos indeseables [2, 7].

En virtud de lo expuesto, en este trabajo se estudia por cono de Kantro, calorimetría de conducción y fraguado, el efecto de diferentes dosis de un aditivo superfluidificante de base policarboxilato a una temperatura de 20 °C sobre un cemento pórtland puro comercial de bajo contenido de C_3A , el cual se trató térmicamente para convertir el yeso en hemidrato y en anhidrita.

MATERIALES Y METODOLOGIA

Para la realización de este trabajo se empleó un cemento pórtland denominado cemento L, cuya composición química y mineralógica potencial se muestran en la Tabla 1. La composición mineralógica potencial fue obtenida a partir de la composición química a través de las ecuaciones de Bogue. Este cemento, posee bajo contenido de C_3A , elevado contenido de C_3S y un contenido de álcalis equivalente de 0,78 %.

El cemento empleado fue el mismo en toda la experiencia, pero para transformar el yeso en hemihidrato y en anhidrita, parte del mismo fue calentado a 140 °C y parte a 200 °C, respectivamente. A partir de allí se obtuvieron las tres versiones del cemento a emplear en cada una de las series.

Como aditivo se empleó un reductor de agua basado en policarboxilatos y las dosis empleadas fueron: 0,15, 0,30, 0,60, 1 y 1,5 % en peso de cemento.

El agua de mezclado usada en todos los casos fue agua potable de red.

Tabla 1: Composición química y mineralógica potencial del cemento.

Composición química [%]		Composición mineralógica potencial [%]	
PPC	2,68	C ₃ S	68,5
SiO ₂	20,42	C ₂ S	6,9
Al ₂ O ₃	3,57	C ₃ A	1,8
Fe ₂ O ₃	4,68	C ₄ AF	14,2
CaO	64,26		
MgO	0,73		
SO ₃	2,53		
K ₂ O	1,03		
Na ₂ O	0,10		

Los ensayos se realizaron en pastas con una relación agua/cemento en peso igual a 0,35. En los ensayos de fluidez del cono de Kantro y el de fraguado, se siguió el procedimiento de mezclado de la norma IRAM 1619 a una temperatura ambiente de 20±2 °C. Para la calorimetría se utilizó un calorímetro isotérmico de conducción. La cantidad de muestra empleada fue de 20 g de cemento y el mezclado se realizó de modo manual dentro de una bolsa para evitar pérdida de agua, tratando de obtener una pasta uniforme en el menor tiempo posible, para no modificar la temperatura y para evaluar la velocidad de liberación de calor desde el inicio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El estado fresco de las pastas puede observarse en la Figura 1. En la misma, se presenta la variación del diámetro final en el ensayo del cono de Kantro a medida que la cantidad de aditivo se va incrementando desde 0,15 a 1,5 %. Los resultados muestran que el incremento de la dosis del aditivo permite alcanzar en la pasta mayores valores del diámetro final. Aproximadamente a partir 0,6 % de dosis se observa que no es conveniente incrementarla, ya que no se produce una variación significativa del diámetro, indicando que no se logran mejoras en la pasta y por consiguiente, en el hormigón. En este ensayo no se observan diferencias apreciables en el comportamiento general entre las series del cemento tratado y sin tratar.

En la Figura 2, se presentan los resultados obtenidos de calorimetría para la muestra sin aditivo. En ella se muestra en función del tiempo la velocidad de liberación de calor por gramo de cemento, donde se aprecia que la diferencia más significativa se produce en la ocurrencia y la intensidad del segundo máximo. Este se produce antes cuando la temperatura de pretratamiento se incrementa: 14,0, 12,4 y 10,7 horas, acompañado por un aumento en la intensidad de la velocidad de liberación de calor, alcanzando 1,45, 1,72 y 1,81 mW/g en las series sin tratar, y tratadas a 140 y 200 °C, respectivamente. Ambos parámetros muestran una estimulación de las reacciones, que se corresponden también con las pendientes de las curvas entre el primer mínimo y el segundo máximo. Este comportamiento se puede atribuir a la aidez del hemihidrato y la anhidrita para recuperar el agua de combinación que se extrajo durante el pretratamiento térmico. Analizando el calor acumulado desde el tiempo cero hasta el segundo máximo de las tres muestras, se obtuvieron valores similares de ≈ 43 J/g, lo que confirma una verdadera estimulación de reacciones para generar la misma cantidad de productos de hidratación en menos tiempo.

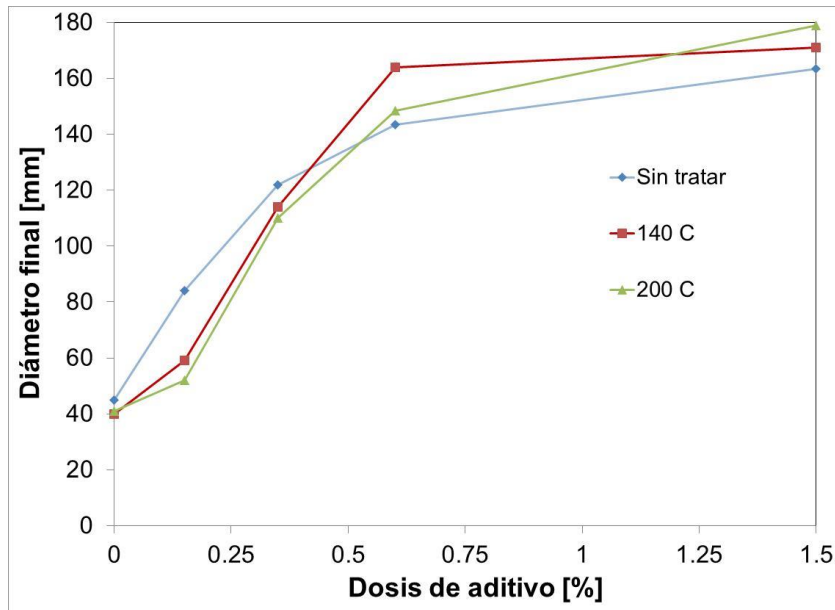
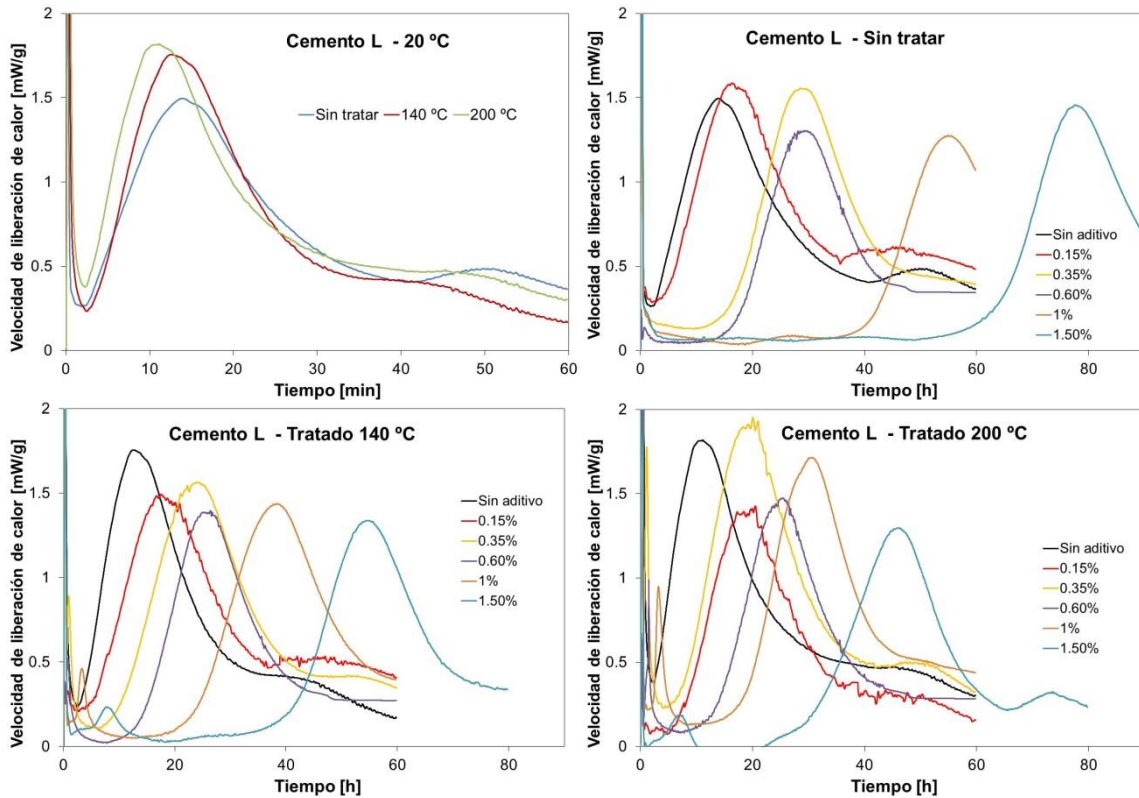


Figura 1: Ensayo del cono de Kantro.



Figuras 2 a 5: Calor liberado por el cemento con diferentes dosis de aditivos.

Ante la presencia del aditivo, y a medida que la dosis se incrementa, se produce un corrimiento general de las curvas hacia la derecha, lo que evidencia un retardo en la ocurrencia de las reacciones (Figuras 3, 4 y 5), siendo este efecto más importante para la serie sin tratar.

En particular, en la Figura 6 se muestra el tiempo en alcanzar el segundo máximo para las diferentes dosis de aditivo. En la misma, y con correlaciones superiores a $r^2 = 0,97$ en cada serie, se observa que con el aumento de la dosis se incrementa el tiempo en

alcanzar el segundo máximo, siendo este efecto más importante para la serie sin tratar. Así, por ejemplo para la dosis de 1,5 % este tiempo se produce a las 75 horas para la muestra sin tratar, a 55 horas para la tratada a 140 °C y a 46 horas para la tratada a 200 °C.

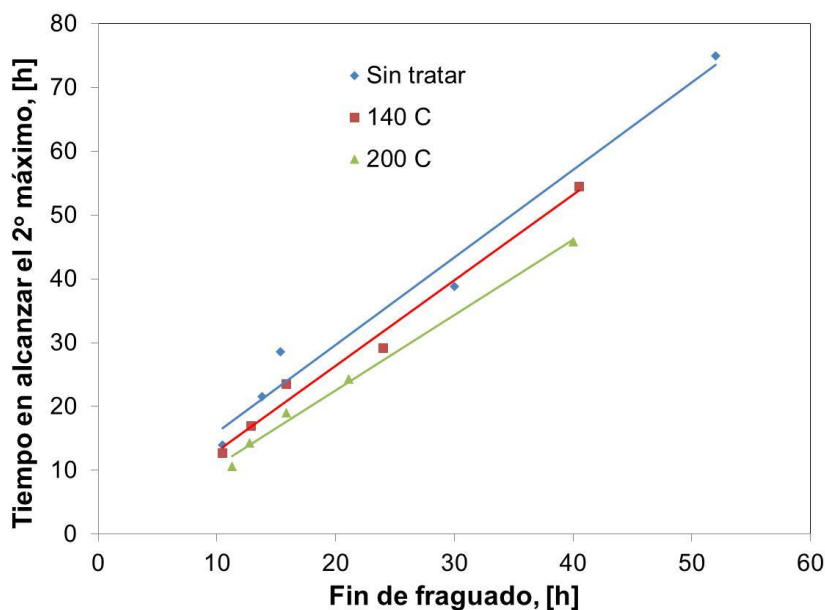


Figura 6: Tiempo en alcanzar el segundo máximo en función del porcentaje de aditivo.

Por otro lado y para poder contabilizar el efecto del aditivo, se evaluaron los tiempos de fraguado inicial y final, y en las Figuras 7 a 9 se muestran los resultados en función de la dosis de aditivo. Tanto el inicio como el final de fraguado presentan una tendencia a retrasarse prácticamente lineal con el incremento de la dosis de aditivo. Sin embargo, en la serie sin tratar se observa que con el incremento de la dosis se produce una mayor diferencia de tiempo entre el inicio y fin de fraguado. En la serie tratada a 140 °C el comportamiento es opuesto, es decir con el incremento de la dosis esta diferencia disminuye, en la serie tratada a 200 °C no se aprecian diferencias en ese sentido.

En la Figura 10 se presenta la relación entre el tiempo en alcanzar el segundo máximo de la curva de calor de hidratación y el final de fraguado medido en laboratorio. Existe una tendencia prácticamente lineal entre ambos parámetros, independientemente del tratamiento térmico que se le haya efectuado al cemento.

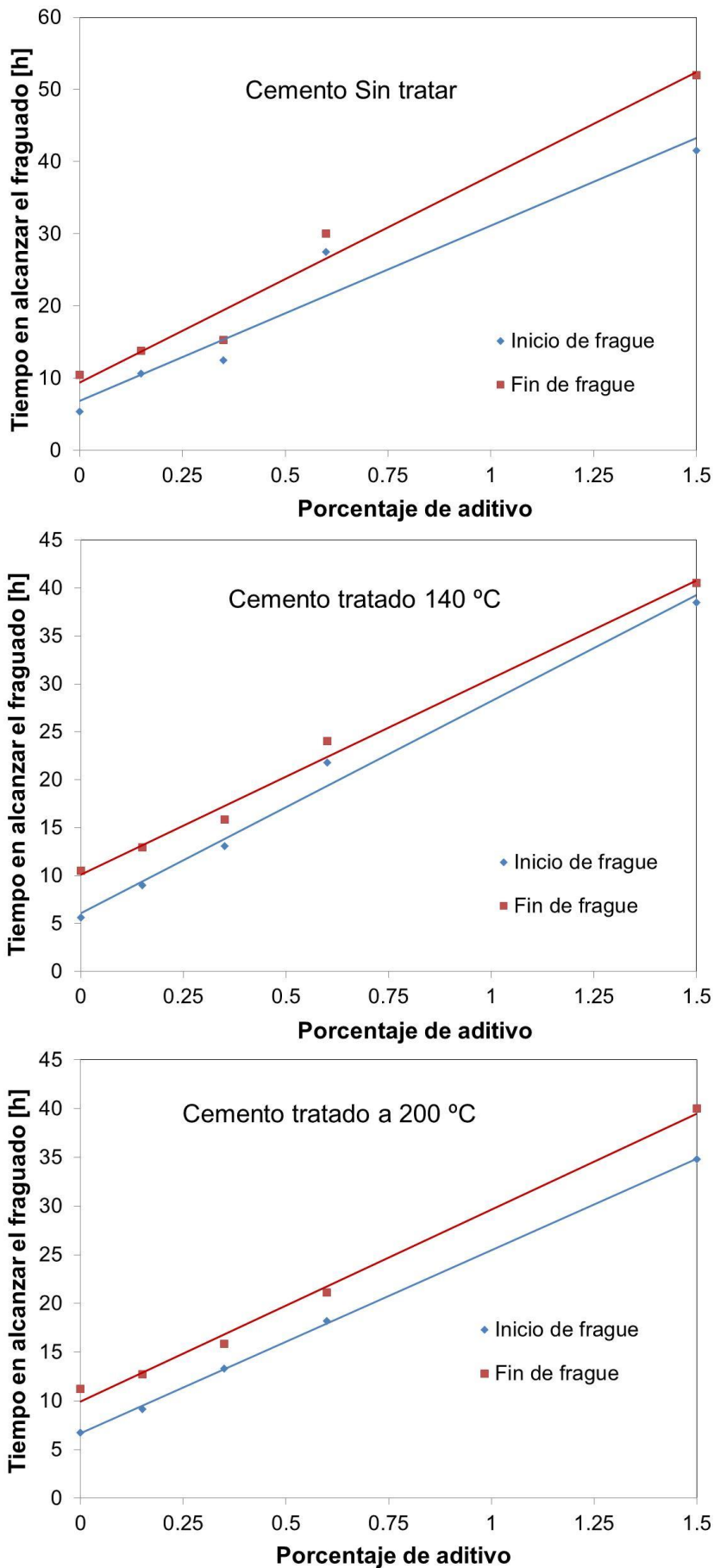


Figura 7 a 9: Tiempo en alcanzar el segundo máximo en función de la dosis de aditivo.

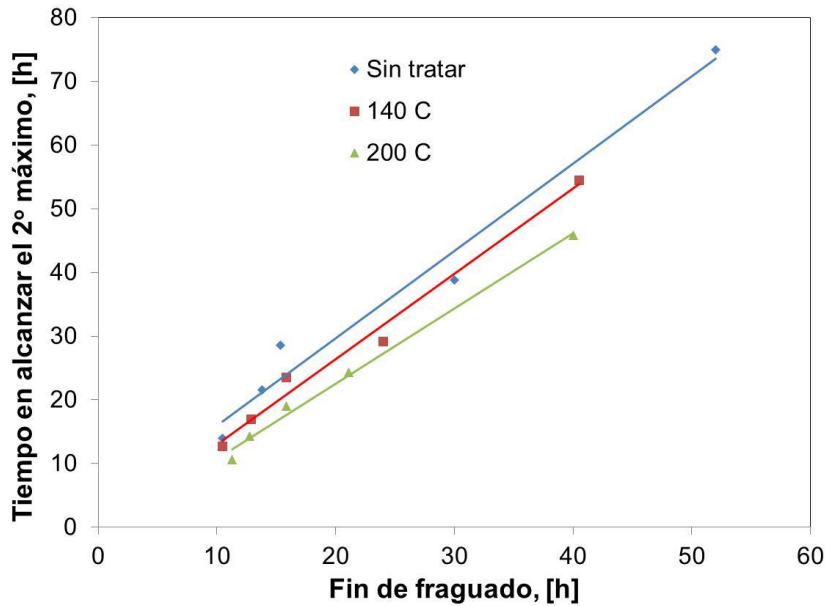


Figura 10: Tiempo en alcanzar el segundo máximo en función del final de fraguado.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos con los ensayos y materiales empleados en el presente trabajo, se puede concluir que:

- El incremento de la dosis del aditivo (basado en policarboxilatos) en pastas, presenta un aumento de la fluidez, medida con el cono de Kantro hasta una dosis de 0,6 %, para luego mantenerse sin variaciones apreciables en las tres series.
- El desarrollo de las reacciones de hidratación se retrasa con el aumento de la dosis del aditivo, siendo este efecto más importante para la serie sin tratar térmicamente.
- El inicio y el final de fraguado se retrasan con el aumento de la dosis del aditivo, siendo este efecto más importante para la serie sin tratar térmicamente; incluso el tiempo transcurrido entre el inicio y el final también aumenta con la dosis, para esta serie.
- Existe una buena correlación ($r^2 > 0,97$) entre el tiempo en alcanzar el segundo máximo de la curva de calor de hidratación y el final de fraguado, independientemente del estado del sulfato de calcio presente en el cemento.

REFERENCIAS

- [1] Zhang Y, "Study on microstructure and rheological properties of cement-chemical admixtures-water dispersion system at early stage", Springer Theses Recognizing Outstanding PhD, (2018).
- [2] Alonso M, Puertas F, Palacios M, "Aditivos para el hormigón: compatibilidad cemento-aditivos basados en policarboxilatos", Monografías del IETcc, Nº 415, Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, Madrid, (2009), p63.
- [3] "High-performance concrete: performance and quality of concrete structures" ACI SP 186 – Proceedings Second CANMET/ACI International Conference, Editores: Malhotra V, Helene P, Prudencio L, Dal Molin D, Gramado, Brasil, (1999).
- [4] Puertas F, Vázquez T, "Hidratación inicial del cemento. Efecto de aditivos superfluidificantes", Materiales de Construcción, Vol. 51, Nº 262, Abril/mayo/junio, España, (2001).
- [5] Ramachandran V, "Concrete admixtures handbook", Second edition, Noyes publications, (1995).
- [6] Aitcin P, "Concreto de alto desempeño", Primer edición, (2008), 650p.

- [7] Collepari S, Coppola L, Troli R, Collepari M, "Mechanisms of action of different superplasticizers for high-performance concrete", Proceeding Second CANMET/ACI International Conference, SP 186-29, Gramado, Brasil, (1999), 503-523.
- [8] Mor A, Mehta PK, "Effect of superplasticizing admixtures on cement hydration", Cement and Concrete Research, 14, (1984), 754-756.
- [9] Spiratos N, Pagé M, Mailvaganam N, Malhotra V, Jolicoeur C, "Superplasticizers for concrete: fundamentals, technology and practice", Segunda edición, (2006), 322p.
- [10] Borralleras Mas, "Criterios de selección del aditivo superplastificante en HAC", 3^{er} Congreso Iberoamericano sobre hormigón autocompactante. Avances y oportunidades, Madrid, España, (2012), 55-66.
- [11] Zhang Y, Kong X, "Correlations of the dispersing capability of NSF and PCE types of superplasticizer and their impacts on cement hydration with the adsorption in fresh cement pastes", Cement and Concrete Research. Vol. 69, (2015), 1-9.
- [12] ASTM C-1679, "Standard practice for measuring hydration kinetics of hydraulic cementitious mixtures using isothermal calorimetry", (2017).
- [13] IRAM 1852, "Cementos. Determinación del calor de hidratación. Método del calorímetro de Langavant", (2019).