

EFFECTIVIDAD DE ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA DE ALTO RANGO PARA EL HORMIGÓN DE ALTO DESEMPEÑO

Barreda M. F.^a, Villagrán Y.A.^a, Sota J.D.^a

^a Centro de Investigaciones Viales LEMaC - U.T.N.-F.R.L.P., Calle 60 y 124 (1900), La Plata, Argentina.
Tel/Fax. (0221) 4890413; e-mail: lemac@frlp.utn.edu.ar; web: www.frlp.utn.edu.ar/lemac

Los aditivos superfluidificantes posibilitaron el desarrollo de los hormigones de alto desempeño ya desde hace algunas décadas. La principal herramienta que brindan es la posibilidad de reducir la relación agua/material cementicio, permitiendo la obtención de hormigones más resistentes y durables sin desmedro de su trabajabilidad y economía. Existen diferentes tipos de aditivos, con distintos poder fluidificante y mecanismo de acción en el material cementicio. Los denominados de base melamínica o base naftalénica, dispersan las partículas de cemento por acción electroquímica; mientras que los llamados de base acrílica tienen mayor poder fluidificante, actuando por acción estérica.

Se considera importante el estudio del sistema aditivo reductor de agua – material cementicio en el diseño de hormigones de alto desempeño. La optimización del comportamiento fluido de una pasta, mortero u hormigón que contiene un aditivo reductor de agua de alto rango (o superfluidificante) es necesaria desde el punto de vista tecnológico para la obtención de un hormigón trabajable, resistente y durable, con buena economía. Existen diversos parámetros a evaluar: la fluidez del material fresco, su evolución en el tiempo y la influencia del aditivo en otras propiedades de los estados fresco o endurecido del hormigón.

El objetivo de este trabajo es evaluar la acción fluidificante de tres aditivos reductores de agua de alto rango. Dos de los aditivos evaluados están basados en compuestos poliméricos, y el tercer aditivo es de base melamínico-naftalénica. Se trabajó en tres etapas. En una primera etapa se evaluó la compatibilidad entre cada aditivo y un cemento fillerizado, utilizando el Cono de Marsh para comparar la fluidez de la pasta y su variación en el tiempo. En una segunda etapa se evaluó el comportamiento del aditivo en morteros de cemento, determinando también la fluidez con el Cono de Marsh en la comparación. En la tercera fase se evaluó el comportamiento de los aditivos en pastones de hormigón, obteniéndose el contenido de aire, el asentamiento en el Cono de Abrams y la resistencia mecánica del hormigón endurecido.

Finalmente se relacionan los resultados obtenidos en las tres etapas. Una evaluación temprana del aditivo junto con el cemento provee un punto de partida para el diseño de la dosificación, permitiendo una optimización técnica y económica del uso de los materiales y de las propiedades finales del hormigón fresco y endurecido, reduciendo el número de variables a ajustar mediante pastones de prueba.

Palabras clave: Cono de Marsh, superplastificante, hormigón de alto desempeño, punto de saturación, fluidez.

1. INTRODUCCIÓN

La fluidez de una pasta de cemento está relacionada con la hidratación del cemento, cuya evolución, a su vez, está definida por la composición y finura del cemento. La reactividad de los componentes del cemento es variada. Las distintas fases del cemento generan al hidratarse, en las superficies de sus partículas, variaciones importantes de densidad de cargas electrostáticas superficiales, tanto en signo como en magnitud. Esta variación de las cargas superficiales produce la floculación de las partículas de cemento hidratadas. Estas cargas pueden ser neutralizadas por la carga aniónica de las partículas del superplastificante y como consecuencia de ello producirse la separación de las partículas de cemento hidratado.

Definimos la efectividad de un aditivo superplastificante como la capacidad del aditivo para

augmentar la fluidez de la mezcla y mantenerla en el tiempo. La efectividad de los aditivos reductores de agua de alto rango depende principalmente del mecanismo que utiliza para dispersar las partículas de cemento. Desde este punto de vista pueden distinguirse dos grupos de aditivos: aquellos que separan los granos de cemento por acción electroquímica, y aquellos que lo hacen por dispersión estérica. El segundo grupo posee un poder dispersante mayor, que se ve reflejado en una actividad fluidificante más potente.

Las fuerzas electrostáticas juegan un papel más importante en los mecanismos de dispersión de los superplastificantes naftalénicos, mientras que las fuerzas estéricas son las importantes en la dispersión por parte de los superplastificantes acrílicos [1].

Estudios realizados por Jolicoeur y otros [2] y Yamada y otros [3] demostraron que el asentamiento y su evolución en el tiempo están relacionados con la

cantidad de superplastificante no adsorbido, libre en la solución intersticial de la pasta fresca. Cuando la cantidad de superplastificante adsorbida es menor, menor es la fluidez de la pasta de cemento. Las dosis altas de aditivo resultan en altas cantidades de superplastificante adsorbido en las partículas de cemento y también en la cantidad de aditivo libre [4]. Sin embargo, no existe un modelo simple para predecir la cantidad de aditivo libre en función de la dosis total de aditivo y el tiempo, y por lo tanto tampoco puede predecirse el asentamiento sin realizar pastones de prueba.

Cuando la mezcla pierde asentamiento, una segunda dosificación de superplastificante, menor que la inicial, permite recuperar la fluidez. Esta segunda dosis varía según el aditivo. Una tercera dosis no es recomendable ya que el hormigón mantiene su consistencia pero pierde trabajabilidad [5]. Analizando la cantidad de aditivo no adsorbido y la nueva dosis, la proporción necesaria para mantener dispersas a las partículas va en aumento con el tiempo y con las dosis sucesivas [6].

Ya que la efectividad del superplastificante está relacionada con su capacidad de adsorberse sobre la superficie de las partículas de cemento, esta cualidad no depende solamente de las características del aditivo, sino también de la composición del cemento con el que interactúa. Los diferentes componentes del cemento no adsorben al aditivo superplastificante en la misma proporción [7]. La mayor parte del superplastificante adsorbido corresponde a las fases de C_3A y C_4AF , y una menor proporción a las fases de C_3S y C_2S , cualquiera sea el tipo de aditivo. Ya que el contenido de C_3A es importante en la pérdida de fluidez en el tiempo de una pasta de cemento, las características de adsorción del aditivo con esta fase son de particular importancia en su efectividad.

La incompatibilidad entre un aditivo superplastificante y un cemento puede demostrarse mediante la evaluación de la fluidez de una pasta de cemento aditivada. La evolución de esta propiedad en el tiempo es lo que determina la eficacia del aditivo con el cemento.

Si bien el método del Cono de Marsh no evalúa las propiedades intrínsecas del fluido como son la viscosidad y la consistencia, permite tener una valoración de la fluidez de la pasta o mortero de cemento, teniendo los tiempos medidos en el ensayo una buena correlación con las propiedades fluidas absolutas. Este ensayo registra valores relativos, permite juzgar si la fluidez de una pasta es mayor que la de otra, o si la fluidez de la misma pasta es la misma transcurrido cierto tiempo. Pero no proporciona una valoración absoluta del material. La determinación de la fluidez con este método ha sido propuesta como un punto de partida para la dosificación de hormigones de alto desempeño [5], mediante la determinación del punto de saturación del sistema aditivo-material cementicio, para la relación agua/material cementicio (a/c) definida.

2. OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es el de evaluar y relacionar los comportamientos de tres aditivos reductores de agua de alto rango para el hormigón en sistemas cementicios: pasta, mortero y hormigón. Se evaluó la fluidez en la pasta y el mortero de cemento, mediante la utilización del Cono de Marsh. En el hormigón se evaluó el asentamiento, contenido de aire, y resistencia a compresión.

Se relacionan los resultados obtenidos en los sistemas, de manera de evaluar la eficacia de los aditivos, y su compatibilidad con el cemento utilizado.

3. MATERIALES

Las características de los aditivos utilizados pueden verse en la Tabla I. El aditivo S1 tiene una base híbrida melamínico-naftalénica. Los aditivos S2 y S3 tienen una base acrílica. Las características de los agregados utilizados pueden verse en la Tabla II.

El cemento utilizado corresponde a uno de tipo fillerizado (IRAM 50000) con resistencia de 40 MPa (CPF40). Presentaba un peso específico de 3 g/cm^3 (IRAM 1624), con un retenido sobre tamiz de $75 \mu\text{m}$ de 1.28% (IRAM 1621). La pasta de consistencia normal se obtuvo con una relación a/c de 0,25 (IRAM 1612).

Propiedad	S1	S2	S3
Peso específico (g/cm^3)	1,221	1,112	1,081
Residuo sólido (%)	41,0	36,5	34,9
Color	Marrón oscuro	Transparente	Transparente

Tabla I. Caracterización de los aditivos químicos

Propiedad	A1	A2	P1
Peso específico (g/cm^3)	2,649	2,615	2,735
PUV(spc y comp.) (g/cm^3)	1,628	1,693	1,420
Absorción (%)	0,4	0,6	0,5
Pasa Tamiz $75 \mu\text{m}$ (%)	2,5	0,1	0,5
Módulo de finura	1,18	3,07	6,64

Tabla II. Caracterización de los agregados

4. RESULTADOS

Se ensayaron pastas de cemento usando el Cono de Marsh con los tres aditivos enunciados. Los resultados se vuelcan en gráficos relación superplastificante/material cementicio (sp/c) versus tiempo de escurrimiento. Se ensayaron también morteros con la arena A2 en el Cono de Marsh. Los resultados pueden observarse en las Figuras 1, 2 y 3, donde las curvas con prefijo S corresponden a los valores de las pastas medidos transcurridos 10 y 45 minutos; y las curvas con prefijo M corresponden a los morteros con tiempos de fluidez medidos a los 10 y a los 45 minutos de finalizado el mezclado. Previo al uso de la arena fue separada y desechada su fracción retenida en el tamiz IRAM 4,75mm. Para las preparaciones se

utilizó una secuencia de mezclado definida a fin de uniformar la obtención de las mezclas y favorecer la comparación de los resultados logrados, manteniendo una temperatura de 20 ± 2 °C.

En el caso del mortero con aditivo S1 se utilizó una relación a/c mayor, debido a que la fluidez obtenida con una relación a/c = 0.30 no era suficiente para la evaluación de la mezcla con el Cono de Marsh.

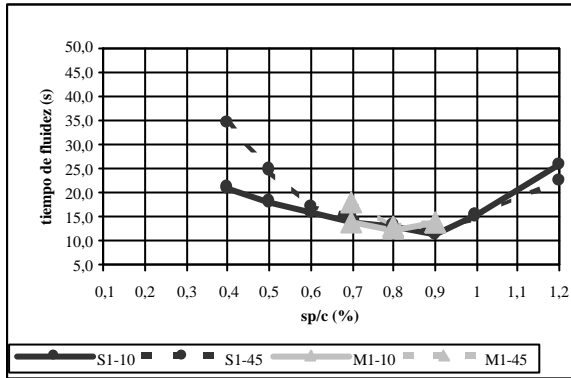


Figura 1. Curvas de fluidez aditivo S1

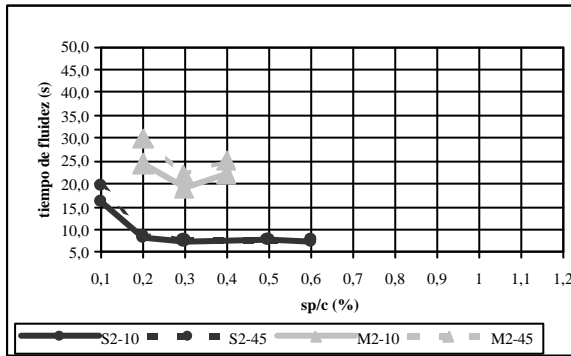


Figura 2. Curvas de fluidez aditivo S2

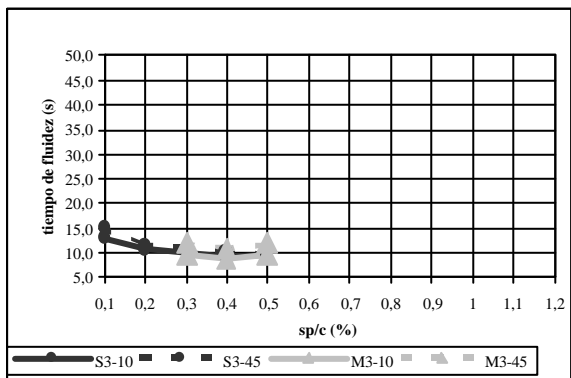


Figura 3. Curvas de fluidez aditivo S3

Las dosificaciones y propiedades medidas en los hormigones se muestran en la Tabla III. Se prepararon dos tipos de hormigón con cada aditivo, en los que se varió la dosis de aditivo (% sp/c), la metodología seguida es la propuesta por P. C. Aïtcin [8].

En los hormigones se evaluó la resistencia a compresión a 24 horas y a 28 días, pues el diseño de la mezcla responde a hormigones de alta resistencia a edades tempranas. Otras variables consideradas fueron

el asentamiento y el contenido de aire incorporado. Los asentamientos de los hormigones 1S3, 2S1 y 2S3 no pudieron determinarse debido a la baja trabajabilidad de la mezcla, estos resultados corresponderían a mediciones menores a 3 cm.

Los hormigones en los que se utilizó el aditivo S2 incorporaron grandes cantidades de aire. Este aditivo basa su poder fluidificante en la incorporación de microburbujas que actúan en forma análoga a partículas de agregado fino de gran elasticidad.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En las curvas de las pastas de cemento puede observarse, para dosis bajas de aditivo, que las correspondientes a mediciones realizadas luego de 10 minutos de finalizado el mezclado resultan en tiempos de escurrimiento algo menores que las correspondientes a las mediciones a los 45 minutos de terminado el mezclado. Esta diferencia puede interpretarse como un signo de la pérdida de efectividad de los aditivos en el tiempo cuando la dosis del superplastificante se encuentra muy por debajo del punto de saturación. Esta brecha desaparece cuando se analizan dosis mayores en el entorno del punto de saturación. Superada la dosis óptima los tiempos medidos son iguales.

El comportamiento anterior se explica teniendo en cuenta que la presencia del aditivo superplastificante retrasa la hidratación del cemento [9]. Este retardo viene determinado por la concentración del aditivo en la solución intersticial. Los diferentes tipos de aditivos retrasan en forma más o menos importante la formación de hidróxidos de calcio y silicatos de calcio hidratados (productos de hidratación del cemento) dependiendo de su peso molecular y configuración química.

Id - Aditivo		1S1	1S2	1S3	2S1	2S2	2S3
Dosificación		Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
	Agua	134	120	119	127	118	121
	Cemento	446	400	398	424	392	404
	A1	258	245	291	273	352	291
	A2	595	564	671	629	529	671
	P1	984	1000	945	936	980	960
	Aditivo(% sp/c)	0,8	0,3	0,4	0,7	0,4	0,5
	Aire	2,5	7,0	3,5	4,5	6,0	2,5
Propiedades	Asentamiento (cm)	11	18	NPD	NPD	20	NPD
	PUV (kg/m ³)	2441	2424	2420	2413	2406	2420
	Resistencia media a compresión 24 hs (MPa)	34,2	14,6	11,5	27,0	5,8	9,4
	Resistencia media a compresión 28 d (MPa)	61,3	58,2	53,1	55,0	31,8	50,0

Tabla III. Dosificaciones de hormigones

El comportamiento de los hormigones en estado fresco muestra que los aditivos S1 y S2 proveen

buenos asentamientos cuando la dosis usada es igual o mayor al punto de saturación.

En estado endurecido se observa cierta influencia desfavorable en relación a la ganancia de resistencia a compresión cuando las dosis se alejan de las óptimas. Esta influencia se manifiesta en bajas resistencias a 24 horas, y en algunos casos también a 28 días. Esto indicaría un retraso excesivo en la hidratación del cemento utilizado.

6. CONCLUSIONES

Del estudio realizado pueden extraerse las primeras conclusiones:

- No es conveniente el uso de dosis menores a la correspondiente al punto de saturación, debido a que la pérdida de fluidez con el tiempo es importante, causando un comportamiento reológico desfavorable.
- El uso de dosis superiores a la correspondiente al punto de saturación resulta desfavorable desde el punto de vista práctico y/o económico. En el primer caso se puede producir un contra efecto, disminuyendo la fluidez de la pasta con respecto a la dosis óptima menor y causar segregación en el mortero. En el segundo caso, la incorporación extra de superplastificante no beneficia el comportamiento fluido de la mezcla, produciéndose un desperdicio de materiales y un incremento en los costos.
- La cantidad de cemento requerida por el hormigón está determinada por el volumen mínimo de pasta necesario para lograr la trabajabilidad requerida para la relación agua/material cementicio adoptada.
- En algunos casos, el uso de dosis de aditivos superiores al punto de saturación puede retrasar la hidratación del cemento excesivamente, con consecuencias sobre el desarrollo de resistencia del material. En ciertos casos, como en el del aditivo S3, la incorporación del aditivo genera retraso en el desarrollo de resistencia, aún para dosis óptimas, a las 24 horas.
- Existe una diferencia en el comportamiento de los aditivos en función de su base química, siendo de mejor comportamiento los aditivos de base melamínico - naftalénico.
- Se deberían estudiar otros cementos y conjuntos de agregados a fin de ampliar la aplicación de los aditivos

y poder establecer parámetros de eficacia en su comportamiento.

7. AGRADECIMIENTOS

A las becarias del LEMaC, Mercedes Rodrigo y Susana Héctor, por su colaboración en el desarrollo de las experiencias.

8. REFERENCIAS

1. H. Uchikawa, S. Hanehara, D. Sawaki, "The role of steric repulsive force in the dispersion of cement particles in fresh pate prepared with organic admixture", *Cement and Concrete Research*, **27**, 1997, pp. 37-50.
2. C. Jolicoeur, J. Sharman, N. Otis, A. Lebel, M. A. Simard, M. Page, "The influence of temperature on the rheological properties of superplasticized cement pastes", *5th International Conference on Superplasticizer and Other Chemical Admixtures in Concrete*, Roma, Italia, SP-173, 1997, pp. 379-406.
3. K. Yamada, S. Hanehara, K. Homma, "The effects of naphthalene sulfonate type and polycarboxylate type superplasticizers on the fluidity of belite-rich cement concrete", *Proceedings del Self-Compacting Concrete Workshop*, Kochi, Japón, agosto 1998, pp. 201-210.
4. B. Kim, S. Jiang, C. Jolicoeur, P. Aïtcin, "The adsorption of PNS superplasticizer and its relation to fluidity of cement paste", *Cement and Concrete Research*, **30**, 2000, 887-893.
5. L. Agulló, R. Gettu, B. Torrales Carbonari, "Procedimiento experimental para la optimización de hormigones de altas prestaciones", *1^o Symposium Nacional de Hormigón de Altas Prestaciones*, Madrid, España, 1998, pp. 183-192.
6. K. Hattori, "Experience with mighty superplasticizer in Japan", *ACI SP 62*, 1979, pp. 37-66.
7. K. Yoshioka, E. Tazawa, K. Kawai, E. Tomoshuki, "Adsorption characteristics of superplasticizers on cement component minerals", *Cement and Concrete Research*, **32**, 2002, pp. 1507-1513.
8. P.C. Aïtcin, "High Performance Concrete", *E & FN Spon*, Gran Bretaña, 1998, 624 p.
9. I. Odler, S. Addulmaula, "Effects of chemical admixtures on cement hydration", *Cement and Concrete Aggregates*, **9**, 1987, pp. 38-43.