

# **ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO DE ADITIVOS SUPERFLUIDIFICANTES**

Ing. Horacio Donza y Ing. Mónica Trezza

Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Centro  
Av. Del Valle 5737- (7400) Olavarría. Tel/Fax: 02284 – 451055  
E-mail: mtrezza@fio.unicen.edu.ar  
Hdonza@fio.unicen.edu.ar

## **Resumen**

Los aditivos superfluidificantes son ampliamente usados por su efectiva acción para aumentar la trabajabilidad de la mezcla ó reducir el contenido de agua del hormigón manteniendo la misma consistencia. Ambos efectos se traducen en una estructura de poros más cerrada con el consecuente incremento de la resistencia y durabilidad.

Los aditivos superfluidificantes comerciales están formulados sobre la base de sulfonato melamina formaldehído (SMF), sulfonato naftaleno formaldehído (SNF) o lignosulfonatos modificados. Su acción como reductor de agua involucra adsorción del aditivo sobre las partículas de cemento y su consecuente dispersión en el sistema cemento-agua.

Actualmente, la mayoría de los superfluidificantes usados en hormigones son caracterizados según su base química, su densidad, su contenido de sólidos y de cloruros. Sin embargo desde el punto de vista práctico dos aditivos con iguales propiedades pueden comportarse de forma muy diferente aún con el mismo cemento. Esto lleva a la necesidad de medir otros parámetros a la hora de verificar su acción.

Dada su naturaleza orgánica, un aditivo a pesar de estar correctamente almacenado pueden variar su acción con el tiempo. El presente trabajo tiene por finalidad verificar la estabilidad de varios aditivos superfluidificantes comerciales con el tiempo estableciendo las posibles desventajas. Los aditivos son caracterizados por espectroscopía FTIR, se estudia su influencia sobre la trabajabilidad a través de medidas de fluidez con el Cono de Marsh, su acción mediante medidas conductimétricas, etc.

## INTRODUCCIÓN

Las características y propiedades mecánicas alcanzadas por los hormigones de alta performance en estado fresco y en estado endurecido son posibles gracias a la incorporación de aditivos superfluidificantes de diversas composiciones y a la presencia de adiciones minerales, además de los componentes habituales. Estos “nuevos” constituyentes hacen que no se pueda realizar una extrapolación directa de los métodos de dosificación tradicionales desarrollados para hormigones convencionales.

En el estado fresco, la reología de los hormigones de alta performance puede ser afectada por un sinnúmero de parámetros relacionados con el cemento, el superfluidificante o su interacción <sup>[1,2]</sup>. Dentro de ellos se podría mencionar la composición química y finura del cemento, naturaleza, dosis y forma de agregar el aditivo, entre otros.

Los aditivos superfluidificantes empleados hoy día son básicamente polímeros sintéticos solubles en agua tales como condensados de melamina sulfonato formaldehído (SMF), condensados de naftalenos sulfonato formaldehído (SNF) y lignosulfonatos modificados (MLS). Se han incorporado recientemente una nueva familia de aditivos superfluidificante basados en los polímeros acrílicos (AP) <sup>[3]</sup>. Estos últimos, a pesar de su reconocida eficiencia, todavía no están muy difundidos en nuestro país.

La forma de actuar de estos aditivos se encuadra dentro de alguno de los cuatro mecanismos mencionados a continuación <sup>[4]</sup>:

- \* Adsorción del polímero sobre las superficies de las partículas
- \* Repulsión electrostática (dispersión)
- \* Repulsión estérica
- \* Bloqueo de los sitios reactivos superficiales de las partículas del cemento por las moléculas de superfluidificante.

Por otra parte, diversos autores <sup>[5, 6]</sup> afirman que para diseñar hormigones de alta performance se deben optimizar por separado la composición de la pasta y el esqueleto granular. A partir de los resultados obtenidos, se debe establecer la relación entre ellos de acuerdo a las prestaciones a las que vaya a estar sometido el material.

Con respecto a la composición de la pasta, es fundamental optimizar las relaciones agua/cemento (a/c), superfluidificante/cemento y adiciones/cemento. Para a/c se deberá adoptar la más baja posible capaz de garantizar la resistencia y la trabajabilidad. Es aconsejable trabajar entre los límites fijados por la demanda de agua en la consistencia normal y 0,35. El valor superior deberá ser acotado no solo por condiciones de resistencia sino también por condiciones de durabilidad <sup>[5]</sup>.

Para optimizar la relación superfluidificante/cemento, habiendo fijado una a/c constante, se debe determinar el máximo porcentaje de superfluidificante a utilizar, que es función de su punto de saturación para el sistema agua/cemento/aditivo y se lo evalúa en el ensayo del cono de Marsh. Si se dosifica por encima del punto de saturación pueden ocasionarse problemas como retraso de fraguado, segregación o aumento de la viscosidad de la mezcla, sin modificar significativamente la fluidez y con el consecuente aumento del costo.

El cono de Marsh además, permite evaluar otros efectos de los superfluidificantes como la pérdida de fluidez con el tiempo y la influencia de la temperatura, entre otros. En este trabajo este ensayo será el empleado para evaluar el comportamiento de los aditivos superfluidificantes en lo relacionado a los posibles cambios en su composición y el efecto que tienen sobre la reología de pastas cuando estos han sido almacenados durante un tiempo prolongado. Se mantienen invariable el tipo de cemento, a/c, la temperatura y la energía de mezclado.

## MATERIALES EMPLEADOS

### Cemento Portland

Se empleó un cemento portland comercial rotulado como de alta resistencia inicial ARI (tipo III según ASTM) cuya composición química, finura y características mecánicas pueden verse en la tabla 1.

Oxidos	%	Componentes	Composición Potencial
SiO <sub>2</sub>	21.75	C <sub>3</sub> S	50.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.90	C <sub>2</sub> S	24.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.89	C <sub>4</sub> AF	14.9
CaO	62.72	C <sub>3</sub> A	2.1
MgO	0.70	Otras propiedades	
SO <sub>3</sub>	2.14		
Na <sub>2</sub> O	0.08	Fraguado Inicial [min.]	110
K <sub>2</sub> O	1.10	Fraguado final [min.]	270
Alcalis totales	0.804	Demanda de agua (pasta normal)	0.242
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.20		
PPC	1.51	Finura [m <sup>2</sup> /kg]	418

Edad [Días]	Resistencia a compresión [MPa]
2	20.0
7	30.8
28	40.7
90	50.3
365	51.7

Tabla 1: Propiedades físicas y químicas del cemento portland.

### Aditivo superfluidificante

Se emplearon cuatro aditivos superfluidificantes de dos marcas diferentes, los cuales se encontraban en ambiente de laboratorio en sus envases originales perfectamente tapados y alejados de la luz desde el momento de su adquisición. Los aditivos fueron identificados con una letra según su marca y con un número que indica el año de su compra. Sus características físicas y químicas se muestran en la tabla 2.

Aditivo	Residuo sólido a 60 ° C	pH	Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	Almacenado desde
P97	20.10	6.6	1.102	1997
S96	22.40	9.3	1.133	1996
S98	21.77	7.8	1.129	1998
S99	22.14	7.5	1.134	-----

Tabla 2: Características físicas y químicas de los aditivos superfluidificantes.

## CARACTERIZACION DE LOS ADITIVOS SUPERFLUIDIFICANTES

Frecuentemente los superfluidificantes comerciales son mezclas complejas de varios componentes, siendo su formulación un secreto industrial [4]. Por esta razón la identificación de todos sus componentes suele ser muy complicada. Para ello la espectroscopia infrarroja (FT-IR) es una de las técnicas más usadas para establecer la naturaleza química del aditivo comercial [7, 8]. Asimismo estos aditivos de naturaleza orgánica absorben principalmente en la zona del ultravioleta (UV) constituyendo este otro camino posible de identificación.

En este trabajo se utilizaron ambas técnicas a fin de determinar la naturaleza química de los aditivos **S** y **P**, como así también si sus bases sufren variaciones con el tiempo de almacenamiento debido a la posible degradación como consecuencia de la luz y/o el efecto de la temperatura.

### Espectroscopia UV

El espectro de absorción, se midió en solución acuosa (1:10000 aproximadamente) obtenida por dilución del aditivo comercial. Se utilizó un espectrofotómetro Metrolab 1700, y las lecturas se registraron entre 200 y 400 nm. A modo de ejemplo se muestra la gráfica obtenida con este equipo para el aditivo **S 99** en la figura 1.

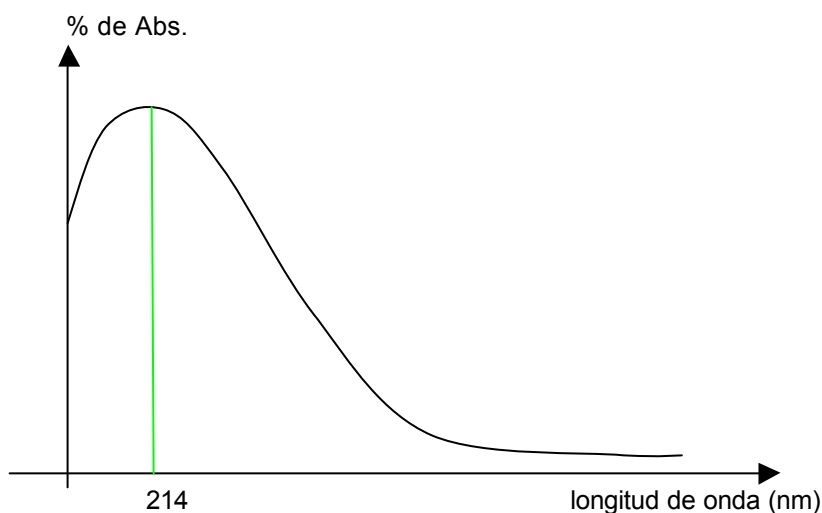


Figura 1: Esquema del resultado de una espectroscopia UV

La exploración realizada en la zona del ultravioleta indicó la presencia de varios picos que permiten efectuar las siguientes apreciaciones: los **aditivos S**, después de 2 y 4 años de almacenamiento, presentan una zona de máxima absorción entre 220 y 240 nm. El **S 98** posee un único pico en 222nm, en cambio, el aditivo **S 96** posee un pico desdoblado en los 220 y 224 nm.

Al analizar el aditivo **S 99** se observa un único pico de máxima absorción en 214 nm. Este valor coincide con lo reportado en la bibliografía [9] para el grupo melamina, asociadas a la base de condensados de melamina sulfonato formaldehído (SMF). El corrimiento de la zona de máxima absorción para las nuestras con mayor tiempo de almacenamiento indicaría una variación en la naturaleza química del aditivo S con el tiempo.

El aditivo **P 97** presenta dos zonas de absorción en 222nm y un máximo desdoblado en 316 – 330 nm. Esto indicaría la mezcla de varias bases, siendo una de ellas SMF aunque no la principal, la segunda zona de absorción observada no ha podido ser identificada con esta técnica.

## Espectroscopia FT-IR

El espectro FT-IR proporciona información estructural detallada basándose en los movimientos de vibración de los enlaces presentes en los grupos funcionales de los distintos compuestos.

Estos movimientos producen absorciones en la zona infrarroja del espectro electromagnético. Como esas absorciones dependen únicamente de los enlaces presentes permiten su identificación. La frecuencia de la radiación absorbida es a su vez la frecuencia de la vibración molecular que produce realmente el proceso de absorción, sin embargo rara vez se utiliza frecuencia como abscisa, en su lugar se muestra el porcentaje de transmitancia en función del número de ondas.

Por lo tanto, a través de esta técnica se pueden identificar los principales grupos funcionales presentes en los aditivos. Para registrar los espectros se utilizó un espectrofotómetro Nicolet Magna 550 con ópticas de CsI, aplicándose la técnica de pastillas de KBr entre 400 y 4000  $\text{cm}^{-1}$ . Una porción de la solución acuosa de los diferentes aditivos se secó a 60°C hasta peso constante. Luego fueron molidas y homogeneizadas para sobre ellas registrar el espectro infrarrojo.

Los espectros IR de los dos **aditivos S y P** se muestran en la figura 2 donde se señalan los picos característicos. En ambos casos se identifican los componentes principales por comparación con las fases reportadas en la literatura<sup>[8, 10, 11]</sup>.

El espectro registrado para el **aditivo S** muestra principalmente las bandas características asociadas a la base SMF. En principio aparece la banda típica del grupo sulfonato a 1200  $\text{cm}^{-1}$  como una absorción intensa y además una banda aguda, claramente definida a 810  $\text{cm}^{-1}$ , característica del grupo triazina de la melamina.

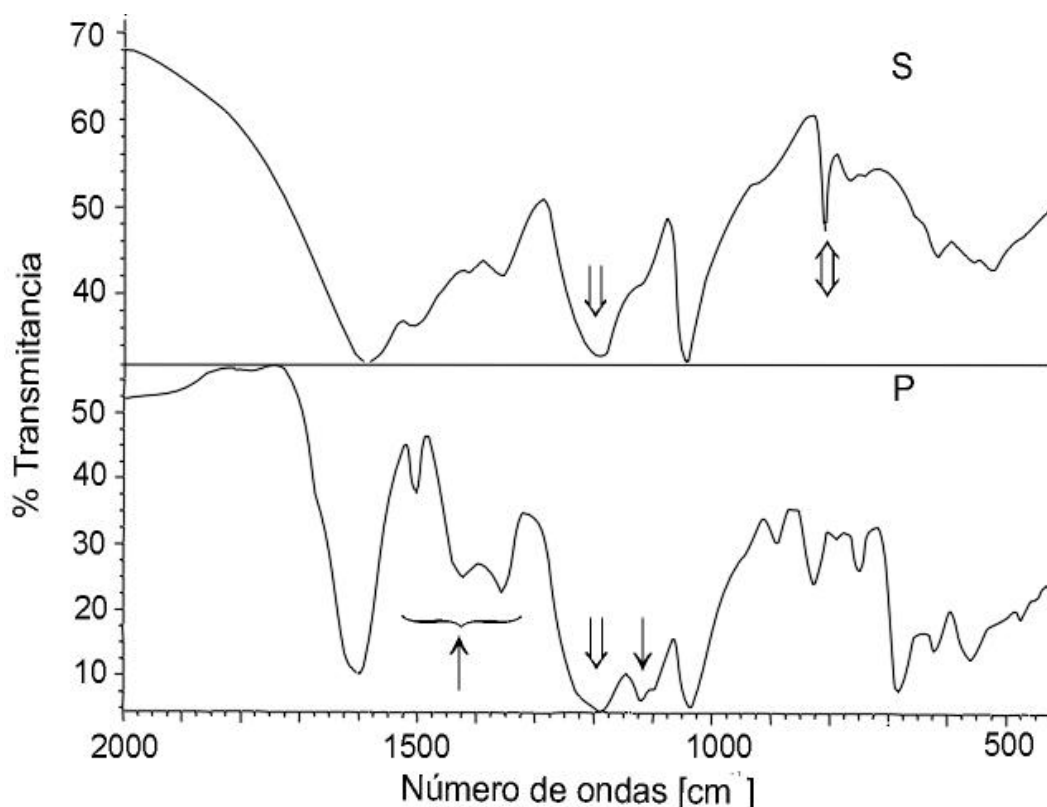


Figura 2: Espectros IR de los aditivos S y P.

Por su parte el **aditivo P** presenta principalmente las bandas asociadas a la base SNF. Se observa una banda intensa a 1200  $\text{cm}^{-1}$  del grupo sulfonato, una débil en 1130  $\text{cm}^{-1}$  y una serie de tres bandas, ubicadas entre 1330 y 1540  $\text{cm}^{-1}$ .

La presencia en ambos casos de otros picos de menor intensidad parece indicar que poseen otros constituyentes más allá de los asignados como mayoritarios.

Los resultados obtenidos por esta técnica coinciden y refuerzan las observaciones hechas a través de la exploración de la zona del ultravioleta del espectro electromagnético.

En función de los resultados obtenidos por ambas técnicas de caracterización podemos asegurar que el componente principal del aditivo **S** es la SMF. En lo que respecta al aditivo **P**, esta compuesto principalmente por SNF de acuerdo a lo establecido por IR. La espectroscopía UV señaló además la presencia de SMF, sin embargo el espectro IR apenas insinuó algunos picos correspondientes al grupo melamina.

## **PARTE EXPERIMENTAL**

Si bien en los estudios de compatibilidad o de optimización de mezclas, es conveniente trabajar sobre hormigones, la cantidad de materiales a emplear es muy importante y además el tiempo que ello conlleva resultaría excesivo. Por ello, y según lo recomendado en la bibliografía <sup>[4, 5, 6]</sup>, se optó por analizar el comportamiento de los aditivos sobre pastas. El resultado de este estudio puede ser extrapolado muy sencillamente a los hormigones, para lo cual habría que estudiar además, el esqueleto granular óptimo (mínimo índice de vacíos) y determinar el contenido de pasta según la prestación esperada.

En este trabajo la relación a/c fue fijada en 0,3 y al contenido de aditivo superfluidificante se lo fue variando desde 0,2 al 2 % en peso de cemento. Este porcentaje corresponde a la parte sólida del aditivo, por lo que al agua que aporta el superfluidificante se descontó al agua de mezclado.

### **Cono de Marsh**

Las curvas obtenidas en este ensayo tienen aproximadamente la forma de la figura 3, en la cual se representa en abscisa el porcentaje de aditivo sólido y en ordenada el tiempo que tarda en fluir un volumen determinado de pasta. En ellas pueden distinguirse tres zonas <sup>[4]</sup>:

En la zona 1, existe una mayor o menor pérdida de asentamiento dependiendo de cuán lejos se encuentre la dosis de aditivo del punto de saturación. En la zona 2, en el punto de saturación, no hay pérdida de asentamiento o es solo moderado dependiendo de la posición relativa de las curvas tiempo de fluidez medidas a 10 o a 60 minutos. En la zona 3 y a medida que se incrementa la dosis de aditivo, hay mayor posibilidad de que se produzca retardo del fraguado, formación de grandes burbujas de aire, severa exudación y segregación.

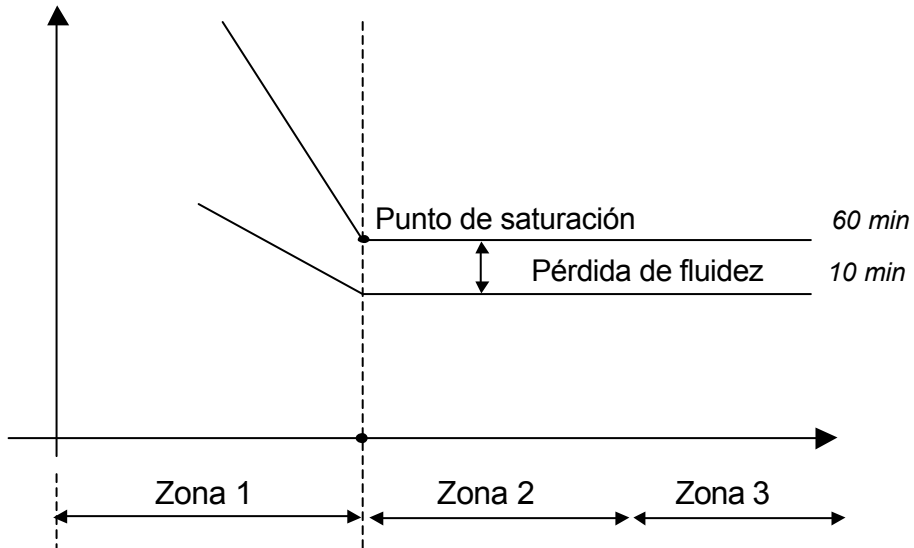


Figura 3: Curvas genéricas obtenidas en el ensayo del cono de Marsh

Desde un punto de vista práctico, varias situaciones pueden presentarse cuando se estudian las propiedades reológicas de una pasta con baja relación a/c en el cono de Marsh. En la figura 4 se ilustra una posible situación cuando se varía la dosis de superfluidificante [4]. En esta se representa el caso de total compatibilidad entre el aditivo y el cemento: la dosis de superfluidificante en el punto de saturación y las curvas de 10 y 60 minutos están muy cerca. Así, puede asegurarse que el tiempo de fluidez es mantenido por al menos una hora. En el caso opuesto, donde existe total incompatibilidad, la dosis de superfluidificante en el punto de saturación es más alta que en el caso anterior y la curva de 60 minutos está desplazada hacia arriba y a la derecha respecto de la curva de 10 minutos. En estos casos es frecuente que la mezcla deje de fluir muy rápidamente ocurriendo esto incluso unos pocos minutos después del comienzo del mezclado.

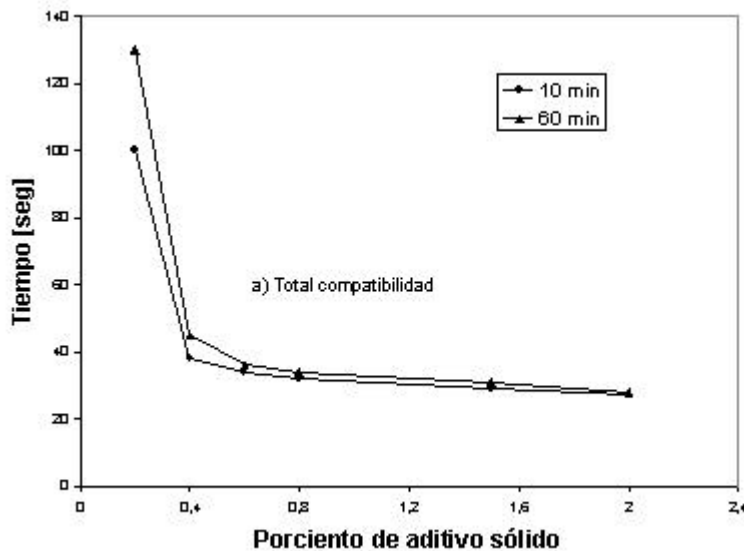


Figura 4 a: Gráfica obtenida en el cono de Marsh para total compatibilidad

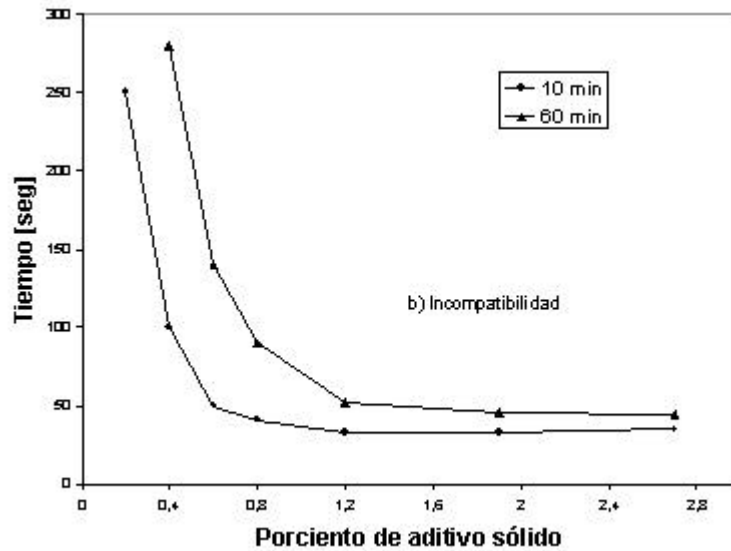


Figura 4 b : Gráfica obtenida en el cono de Marsh para incompatibilidad

Existen casos intermedios, los cuales son combinaciones de los casos mencionados con anterioridad.

El cono de Marsh empleado en éste estudio tiene las formas y las dimensiones interiores indicadas en la figura 5, las cuales se expresan en mm. En la misma se adjunta una fotografía del equipo en su conjunto.

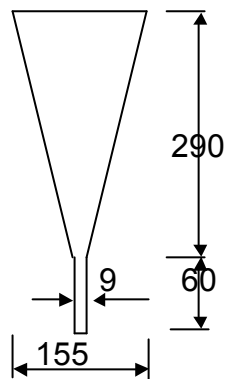


Figura 5: esquema del cono de Marsh y foto del dispositivo armado.

*Forma de mezclado:* Como es sabido, la temperatura es un parámetro muy importante al estudiar la reología de las pastas. Durante todo el tiempo en que se desarrollo este ensayo y a fin de asegurar que los distintos resultados obtenidos no se vieran distorsionados, la temperatura fue mantenida en los  $22 \pm 2$  °C.



Para realizar el mezclado se incorporó el agua necesaria para obtener la relación  $a/c = 0,3$  descontándole a esta la cantidad aportada por el aditivo. El proceso de mezclado se realizó en una mezcladora de eje vertical con movimiento de rotación sobre su eje y movimiento planetario (exigida por IRAM 1622).

Antes de cada lectura la pasta se agitó nuevamente durante un minuto en velocidad rápida.

## Conductividad

La conductividad eléctrica de las pastas de cemento solo o con la incorporación de dos porcentajes distintos de aditivo superfluidificante **S** se midió con un conductímetro Jenway de mesa. Las determinaciones se registraron en una pasta con relación  $a/c = 1$ , la cual se la mantuvo en agitación durante todo el tiempo en que duró el ensayo para evitar la separación de sus componentes. Las experiencias se desarrollaron a temperatura ambiente y su duración fue de 150 minutos. La conductividad de la solución de aditivo fue restada de la conductividad de la pasta en todas las determinaciones.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### Cono de Marsh

En la figura 6 se muestran los resultados de fluidez obtenidos con el cono de Marsh para todos los aditivos estudiados. Observando la figura 6-a) correspondiente al aditivo **S 99**, puede concluirse que existe una total compatibilidad entre éste y el cemento. El punto de saturación se encuentra en el 0,4 % de aditivo sólido. En los casos en que los aditivos estuvieron almacenados durante dos (**S 98**) y cuatro (**S 96**) años respectivamente el ensayo revela una incompatibilidad con el cemento (figura 6-b, 6-c) y lo que se ve reflejado por dos circunstancias: En primer lugar existe un alejamiento entre las curvas de 10 y 60 minutos y también un corrimiento del punto de saturación hacia el lado de mayores porcentajes de aditivo sólido para la curva de 60 minutos.

En segundo lugar, el punto de saturación de ambos aditivos se corre hacia la derecha, incrementándose el valor del porcentaje de aditivo correspondiente al punto de saturación respecto a su par del **S 99**.

En el caso del aditivo de la otra marca (**P 97**) y si bien posee tres años de almacenamiento, es totalmente compatible con el cemento (Figura 6-d). Presenta el punto de saturación mas bajo (0,3 %) respecto de los anteriores, y tiempos de escurrimiento sensiblemente menores.

Las diferencias observadas en el comportamiento y estabilidad de ambos aditivos podrían atribuirse a su diferente base química.

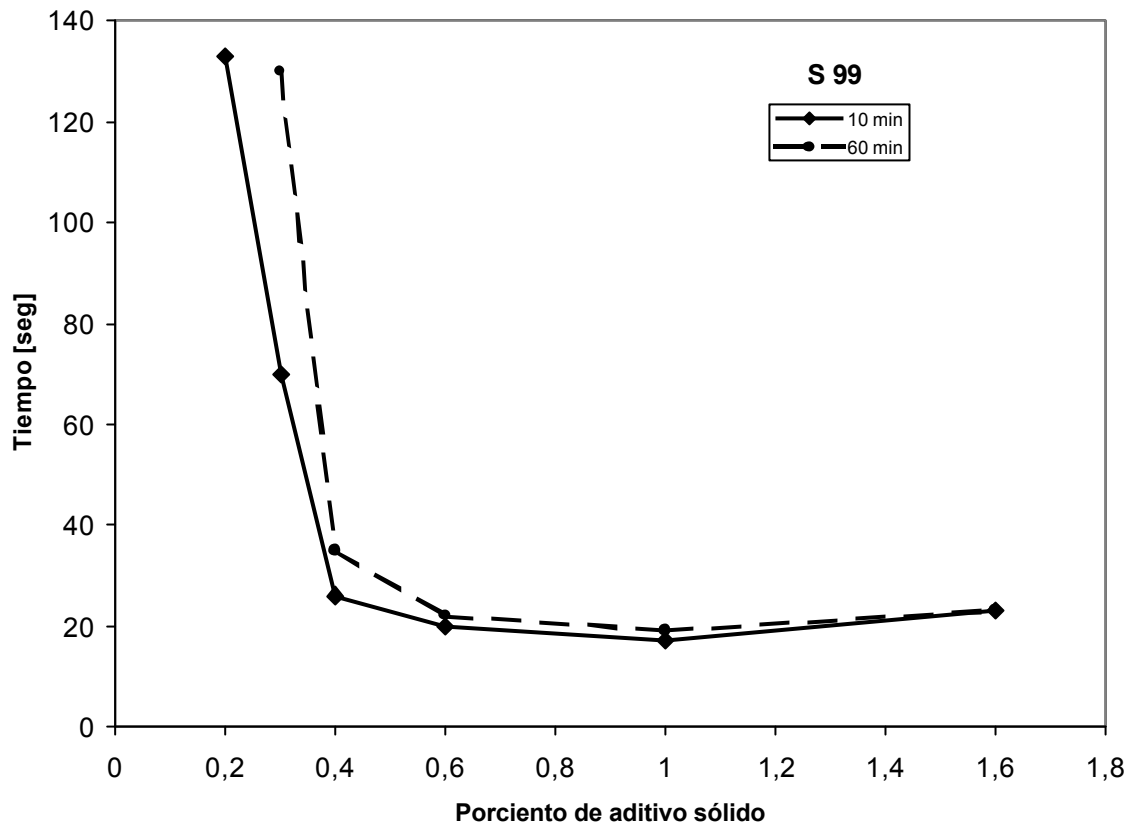


Figura 6-a): Resultados del cono de Marsh del aditivo **S 99**

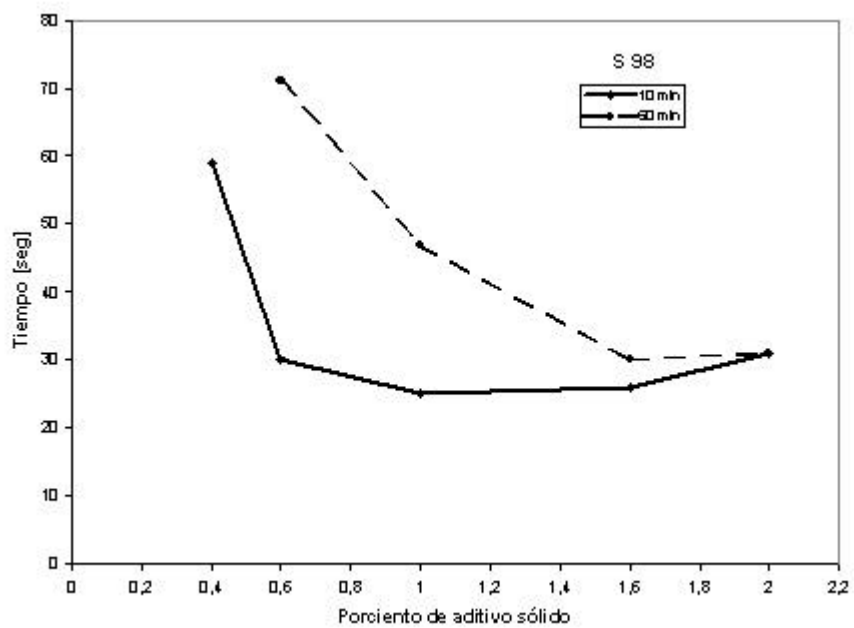


Figura 6-b): Resultados del cono de Marsh del aditivo **S 98**

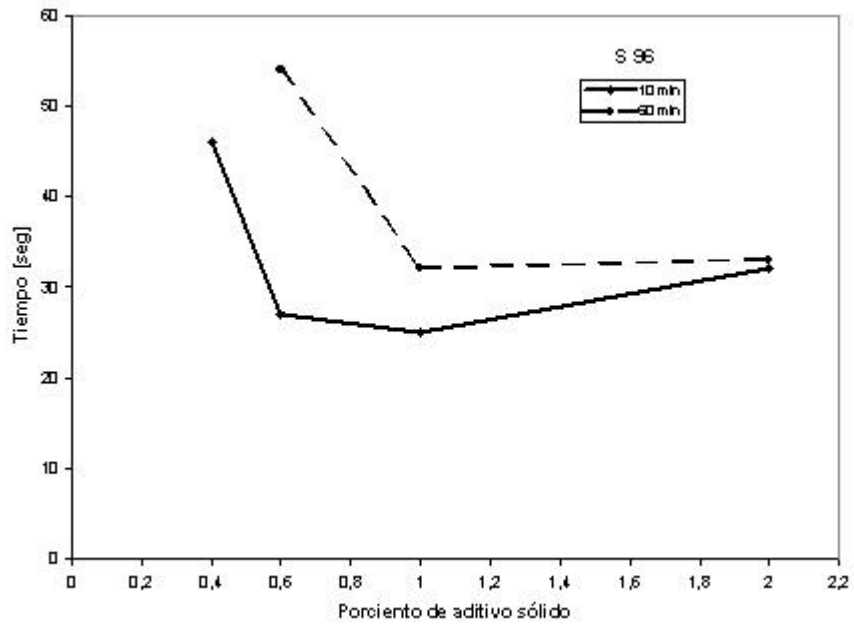


Figura 6-c): Resultados del cono de Marsh del aditivo **S 96**

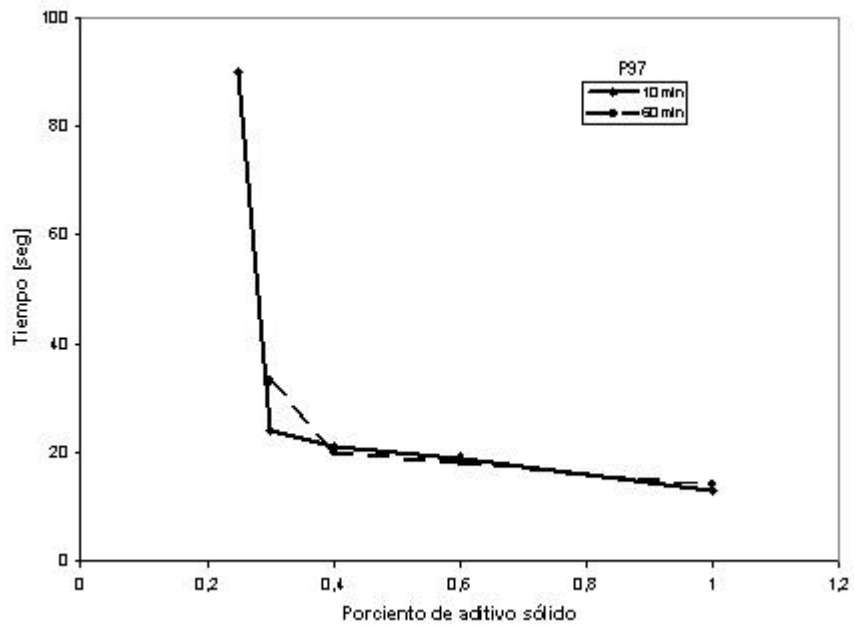


Figura 6-d): Resultados del cono de Marsh del aditivo **P 97**

Para una mejor interpretación de los resultados, se muestran a continuación las figuras 7 a-c, en las cuales se representa el tiempo necesario para fluir 200 ml de pasta en función del tiempo transcurrido desde el mezclado.

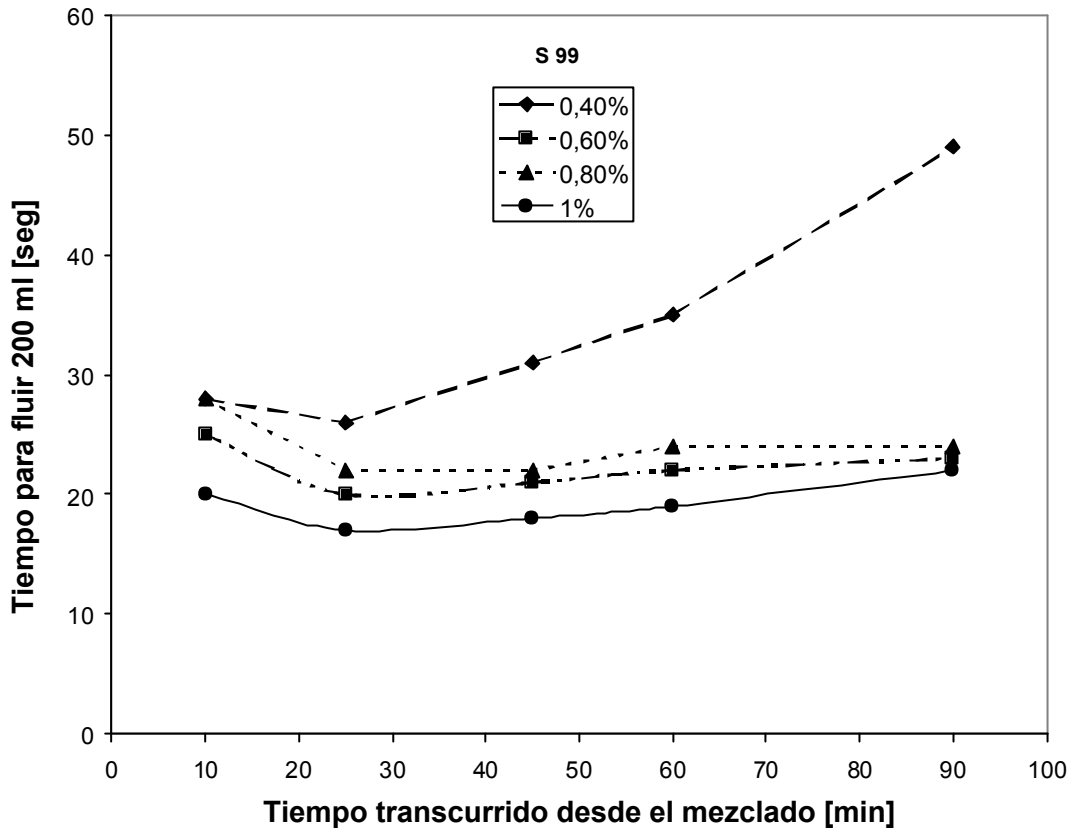


Figura 7 a: Tiempo necesario para fluir 200 ml de pasta para distintas dosis del aditivo **S 99**

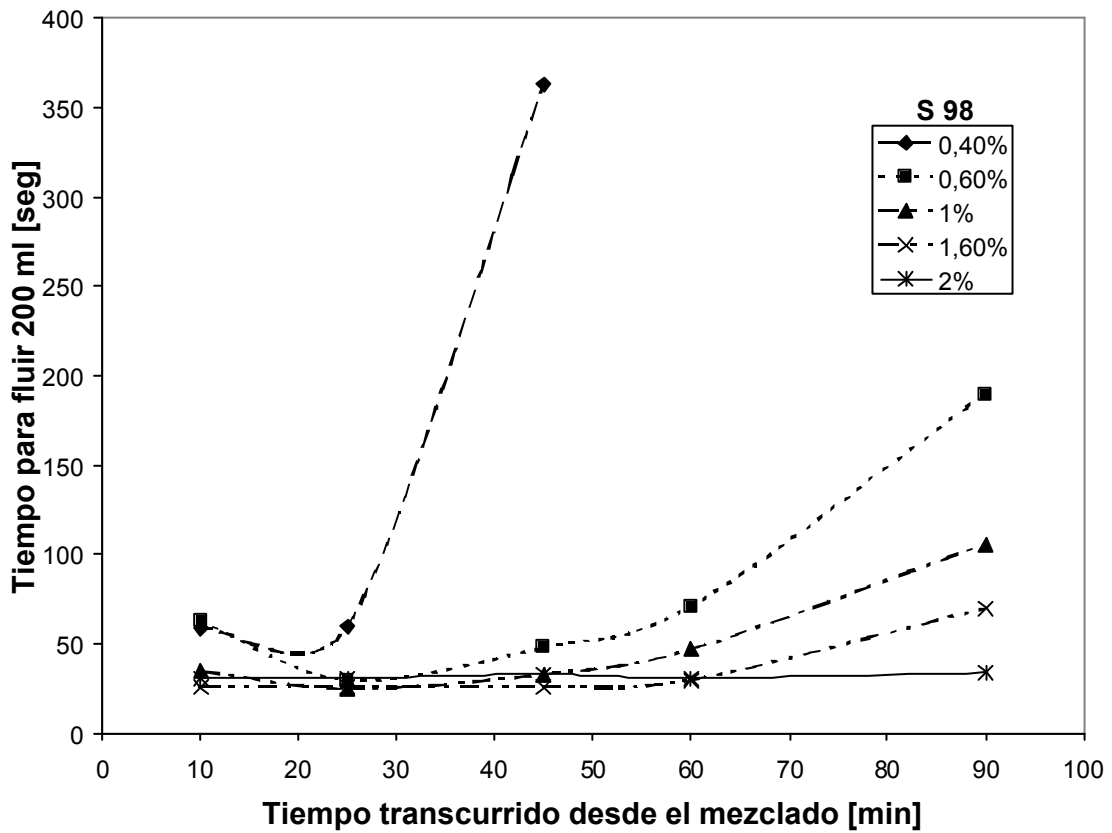


Figura 7 b: Idem anterior para distintas dosis del aditivo **S 98**

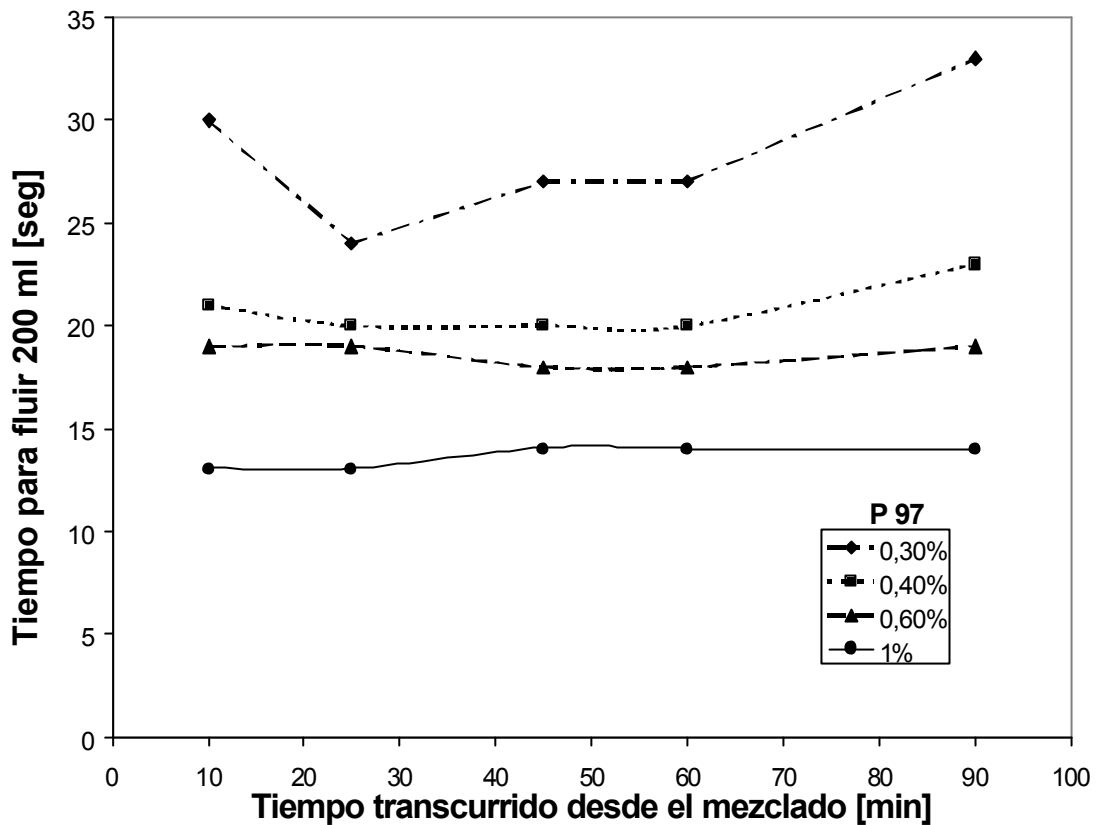


Figura 7 c: Tiempo necesario para fluir 200 ml de pasta para distintas dosis del aditivo **P 97**

Esta forma de presentar los resultados pone de manifiesto más claramente como con porcentajes de aditivos mayores al correspondiente al punto de saturación las pastas conservan su fluidez inicial por períodos muy prolongados. Tal situación involucra un mayor gasto de aditivo, con las perjudiciales consecuencias ya mencionadas y sin otros beneficios demostrados. Sin embargo cuando el aditivo ha sido almacenado por mucho tiempo como es el caso de **S 98** se manifiesta una rápida pérdida de fluidez después de una hora incluso con porcentajes de aditivos mayores al de saturación y tan elevados como 1.6%. Señala esto una vez más, que el aditivo ha sufrido algún cambio que influye directamente en su eficiencia.

## Conductividad

La variación de la conductividad eléctrica de las pastas con y sin aditivos **S** se muestra en la figura 8. Desde el momento que el cemento se pone en contacto con el agua comienza su disolución, los iones pasan a la solución aumentando su concentración y en consecuencia la conductividad eléctrica, la que alcanza un valor máximo en los primeros minutos de la hidratación. Durante este período, la fase líquida se satura con iones calcio y oxidrilos. Allí, el aumento de la conductividad se debe únicamente a la migración de estos iones. Posteriormente comienza la precipitación de hidróxido de calcio, la concentración de iones en solución disminuye y también lo hace la conductividad. En este periodo de inducción, la disolución del cemento y la precipitación de los productos de hidratación continúa, el proceso alcanza un equilibrio lo que se traduce en pequeños cambios en los valores de conductividad. Este proceso se mantiene durante la primera hora después de la cual la conductividad crece lentamente <sup>[11]</sup>.

En esta figura se observa que la presencia del aditivo superfluidificante hace que los valores de conductividad eléctrica a todas las edades sean inferiores al control (pasta sin aditivo). Esto ocurre a causa de que el superfluidificante se adsorbe sobre la superficie de las partículas del cemento disminuyendo la solubilidad. Esto conduce a que se produzca un retardo de la hidratación del cemento durante las primeras edades.

En este ensayo se compararon los resultados obtenidos con la incorporación de 0,4% de aditivo **S 99** y 0,6% de aditivo **S 98**, porcentajes que se corresponden con los valores de saturación obtenidos por el ensayo del Cono de Marsh. Cuando aumenta el porcentaje de aditivo incorporado los valores de conductividad disminuyen a causa de una mayor adsorción del mismo sobre las partículas de cemento.

Debido a que la disminución de la conductividad en presencia de 0.4% de aditivo **S 99** es similar que con aditivo **S 98** se puede inferir que no existen diferencias significativas en el porcentaje de aditivo, sin embargo el ensayo del cono de Marsh indicó que esto no es suficiente para asegurar igual fluidez.

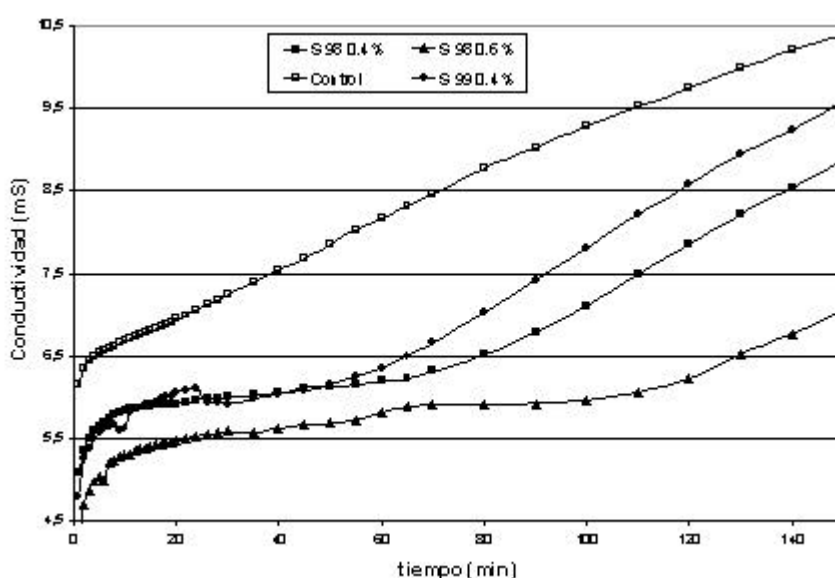


Figura 8: Conductividad en función del tiempo para el aditivo **S** y el control

Con los aditivos existentes hoy en día en el mercado no es posible lograr una total compatibilidad con cualquier tipo de cemento portland y/o relación a/c a causa de la amplia variación de la composición de estos.

Existen dos caminos posibles para solucionar esta situación: fabricar cementos portland que sean perfectamente compatibles con un buen aditivo superfluidificante o desarrollar un superfluidificante mezcla cuya composición se ajuste al cemento particular. Esta segunda opción parece ser la más adecuada, sin embargo el desarrollo de tal superfluidificante debe ser realizado a través de un programa cooperativo que involucre a los fabricantes de aditivos, cemento y al usuario.

Hasta que esto ocurra y aún luego, los ensayos presentados en este trabajo son una herramienta adecuada y sencilla para verificar rápidamente la compatibilidad cemento-aditivo.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a los materiales y técnicas empleadas en el presente estudio puede arribarse a las siguientes conclusiones:

- Las técnicas de caracterización utilizadas permitieron identificar adecuadamente a los aditivos **S** y **P** estableciendo que ambos poseen distintas bases químicas.
- La técnica UV puso de manifiesto variaciones significativas o degradación de las principales bases químicas del aditivo **S** con el tiempo de almacenamiento.
- Los ensayos de cono de Marsh han demostrado que existe una total compatibilidad entre el aditivo **P** y el cemento empleado independientemente de su edad.
- En el caso del aditivo **S** la compatibilidad solo se manifiesta cuando es nuevo. Esta se va perdiendo con el tiempo de almacenamiento muy posiblemente por el cambio registrado en las bases constituyentes de los mismos.
- El ensayo de conductividad pone de manifiesto el efecto que el aditivo ejerce sobre la velocidad de hidratación del cemento, sin embargo no permite predecir el comportamiento reológico de la pasta por lo que requiere complementarse con el ensayo del cono de Marsh.

## REFERENCIAS

- 1) Jiang S., Gi KiM B., Aitcin P. "Importance of adequate soluble alkali content to ensure cement/superplasticizer compatibility" Cement and Concrete Research N° 29 (1) pp 71-78 (1999).
- 2) Mailvaganam N. "Admixture Compatibility in Special Concretes" Proceeding Second Canmet/ACI International Conference SP 186-36 pp 615-634 Gramado - Brasil 1999
- 3) Collepardi S., Coppola L., Collepardi M. "Mechanisms of Action of Different Superplasticizers for High-Performance Concrete" Proceeding Second Canmet/ACI International Conference SP 186-29 pp 503-523 Gramado - Brasil 1999
- 4) Aitcin, P.C., Mindess, S. "High-Performance Concrete: Science and Applications" Capitulo 10 Materials Science of Concrete Tomo V pp 477-512
- 5) Carbonari B, Fité L & Gettu R. "Procedimiento para la obtención de hormigones de altas prestaciones" Hormigón y Acero 2º Trimestre 1998 pp 19-30
- 6) Gutiérrez P. and Fernández Cánovas, M. "High-Performance Concrete: Requirements for Constituent Materials and Mix Proportioning" ACI Materials Journal pp 233-241 May June 1996
- 7) Ista E., Verhasselt. A. "Chemical characterization of Plasticizers and Superplasticizers" Proc. Third International Conference On Superplasticizers and other Chemical admixtures in Concrete. Ottawa, ACI SP-119. Editor: Malhotra, pp 99-116 (1989).
- 8) Khorami J., Aitcin P.C., "Physiochemical characterization of superplasticizers" Third International Conference On Superplasticizers and other Chemical admixtures in Concrete. Ottawa, ACI SP-119. Editor: Malhotra, pp 117-131 (1989).
- 9) Uchikawa H. Uchida S. Ogawa K. "Misura della quantita di additivo organico adsorbito mediante spettrofotometria nell ultravioletto" Il Cemento 4, pp 211-220 (1985).
- 10) Brewster R.Q., Vanderwerf C.A. Mc Ewen W.E. Curso Práctico de Química Orgánica. Ed. Alhambra 2º Edición, España (1965).
- 11) N.B. Singh, Reetika Sarcahi and N.P. Singh. "Effect of superplasticizers on the hydration of cement". Cement and Concrete Research N° 22 (5) , pp 725-735 (1992).