

HORMIGONES AUTOCOMPACTABLES: ESTUDIO SOBRE PASTAS

Soriano, M.¹

RESUMEN

Este trabajo se orienta a la búsqueda de una metodología para la dosificación de Hormigones Autocompactables mediante el estudio de pastas como primer paso, aplicando los métodos del cono de Marsh y Extendido o mini slump, obteniendo con estos procedimientos un valor aproximado del porcentaje óptimo de aditivo a incorporar al hormigón, así como también evaluar el grado de compatibilidad entre cemento y aditivo. La iniciativa de evaluar el comportamiento de la pasta de cemento surge debido a que en la misma se encuentran los materiales de mayor costo componentes del hormigón. En este trabajo se estudia el comportamiento en estado fresco de 8 series de pastas elaboradas con 3 tipos de cementos y 5 tipos de aditivos, cubriendo de esta manera una amplia gama de materiales de uso local. En todos los casos se siguió una misma metodología de mezclado y se mantuvo la relación agua / cemento = 0,30. Las mezclas fueron evaluadas con 2 metodologías que valoran la fluidez de la pasta en sus primeros minutos. Los resultados hallados aparecen como una buena solución para determinar el contenido de aditivo a ser utilizado o punto de partida para efectuar el ajuste final en estos hormigones.

INTRODUCCION

Entre los avances tecnológicos de mayor interés se destacan los hormigones de alta performance (HAP) denominados de esta manera por conjugar una buena trabajabilidad, alta resistencia y excelente durabilidad. Estos hormigones fueron los antecesores de los Hormigones Autocompactables pues en los HAP ya se habían utilizado aditivos superfluidificantes y un mayor volumen de finos.

Ante la aparición de la nueva generación de aditivos superfluidificantes de alto rango, cuya base es un éster policarboxílico, los cuales permiten una reducción del agua de mezclado de hasta un 40 %, surgen los Hormigones Autocompactables (HAC), los mismos poseen un alto contenido de finos (450 - 600 kg/m³), un menor tamaño máximo y menor cantidad de árido grueso y un mayor volumen de áridos finos que los hormigones convencionales.

El Hormigón Autocompactable puede definirse como aquel que es capaz de fluir en el interior de los encofrados, pasar a través de las armaduras de refuerzo, llenar completamente el molde, logrando la compactación solamente por la acción de su propio peso (4). Este hormigón debe llenar los encofrados y lograr una buena consolidación sin vibración, sin presentar disgregación ni exudación. Además debe presentar una gran

¹ Becario CIC – LEMIT

sorianomarcos@yahoo.com.ar

Directores: Ing. G. Giaccio (Investigador CIC–LEMIT - Prof. UNLP.)

Dr. R. Zerbino. (Investigador CONICET–LEMIT - Prof. UNLP.)

estabilidad, sin riesgo de producir obstrucción. Las ventajas más consideradas son: facilidad de operación, acceso a zonas densamente armadas, mejor terminación de las superficies, mayor velocidad de llenado, menor contaminación acústica, ahorro en personal y equipos, óptima calidad de los elementos hormigonados.

Estos HAC se caracterizan por poseer tres características fundamentales: alta resistencia a la segregación, gran capacidad de llenado y adecuada capacidad de pasaje; tres cualidades fundamentales a la hora de elaborar una estructura y asegurar su correcta autocompactación.

El factor principal que gobierna el comportamiento reológico del hormigón es la pasta de cemento, la cual debe ser estudiada por ser el componente más complejo y de mayor costo en el HAC.

El escurrimiento a través del cono de Marsh para el estudio de la fluidez de pastas de cemento ha sido utilizado por varios autores (1, 3), así como también se han empleado otros métodos como el Mini-slump (1, 4, 5) para analizar la compatibilidad en estado fresco entre cemento y aditivos. En general los casos de incompatibilidad cemento-aditivo se relacionan con una rápida pérdida de la fluidez del hormigón y fueron observados al utilizar cementos con altos contenidos de C_3A (3).

Al introducir otra variable, como es el aditivo químico, en el complejo sistema de la pasta, se deberá analizar su comportamiento desde el punto de vista reológico. Esta metodología constituye un procedimiento confiable para la determinación los parámetros reológicos que gobiernan el comportamiento de la pasta de cemento que son la tensión de corte inicial y la viscosidad. Una mínima tensión de corte y una moderada viscosidad son factores fundamentales a la hora de lograr una adecuada deformabilidad del HAC.

En un trabajo previo (2) se presenta un informe sobre el origen del Hormigón Autocompactable, en el cual se detallan las propiedades del hormigón en estado fresco. Además dentro del comportamiento reológico aparecen valores de tensión de corte inicial (τ_0) y viscosidad plástica (μ) obtenidos por distintos autores empleando los equipos que aparecen en la publicación. Por otra parte también se describen los métodos de ensayo más comúnmente utilizados en la elaboración del HAC; asimismo se detallan los valores recomendados para los diferentes métodos de ensayo. Además se presentan dosificaciones empleadas por distintos autores para la obtención de hormigones autocompactables, finalizando con algunos ejemplos de obras de gran envergadura elaborados con este hormigón.

El objetivo de este análisis está basado en evaluar el comportamiento de las pastas elaboradas con distintos aditivos y cementos en estado fresco durante los primeros 90 minutos a partir de que el cemento toma contacto con el agua.

MÉTODOS DE ENSAYO SOBRE PASTAS

Para el estudio sobre pastas se realizaron los ensayos de cono de Marsh y Extendido inmediatamente después de concluido el mezclado (5 min.), a los 30 y a los 60 minutos y eventualmente en algunos casos a los 90 minutos. En este caso se analizó el comportamiento de distintos cementos combinados con distintos aditivos, a fin de evaluar su

efectividad y compatibilidad. En todos los casos se elaboraron 800 ml de pasta en los cuales se mantuvo constante la relación agua / cemento ($a/c = 0,30$).

A continuación se detallan los métodos de ensayo utilizados así como el procedimiento seguido en cada uno de ellos.

Cono de Marsh:

La determinación del punto de saturación (o porcentaje óptimo) para cada combinación aditivo-ligante se basa en la evaluación de la fluidez de pastas preparadas con diferentes dosis de aditivos. El método consiste en llenar el cono de Marsh (Fig. 1) con 800 ml de pasta y medir el tiempo que tardan en escurrir 200 ml a través de una boquilla de 8 mm de diámetro y 60 mm de longitud; considerando que cada lectura resulta del promedio de 3 mediciones.

Una vez realizadas las determinaciones en pastas con diferentes porcentajes de aditivos, se presentan los resultados en un gráfico "tiempo de escurrimiento-dosis de aditivo" para cada grupo de materiales. Se define como "punto de saturación" aquella dosis a partir de la cual un aumento en la cantidad de aditivo no provoca una mejora significativa de la fluidez.

De esta manera podemos asumir un valor máximo en la dosis efectiva de aditivo para cada combinación.

Como se observa en la Fig. 1, un aumento del porcentaje de aditivo por encima del punto de saturación no produce mejoras en la fluidez; por otra parte este incremento por sobre el punto de saturación podría aumentar los riesgos de segregación y retardo de fraguado.

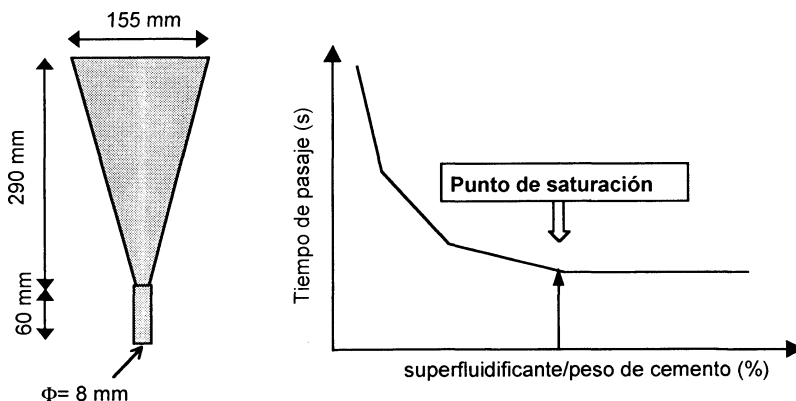


Figura 1. En esta figura se representa un esquema del cono de Marsh y curva típica de ensayo en la cual se marca el punto de saturación.

Extendido (Mini-slump):

Este ensayo a sido utilizado por varios investigadores en trabajos relativos al estudio de la fluidez de la pasta y la compatibilidad cemento-superfluidificante. El equipo utilizado en este trabajo es el propuesto por Kantro (1980) (Fig. 2). En el ensayo se mide el diámetro de la extensión final junto con el tiempo transcurrido hasta alcanzar un diámetro de 115 mm (denominado T_{115}).

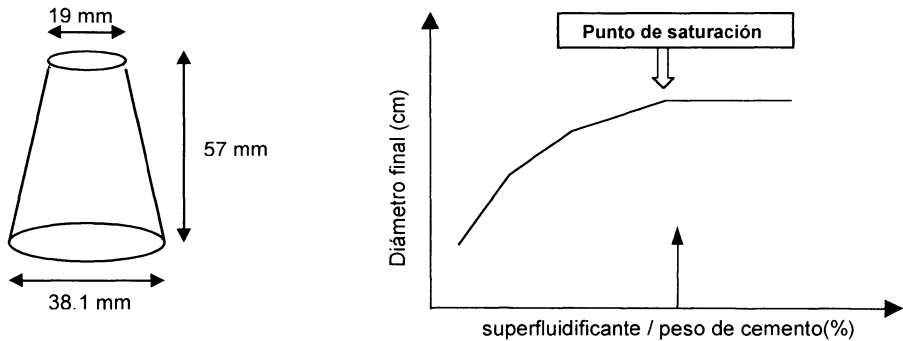


Figura 2. En esta figura se representa el esquema del cono de Extendido y curva típica de ensayo en la cual se marca el punto de saturación.

EXPERIENCIAS

Este trabajo está conformado por 8 series de pastas, que combinan 5 aditivos distintos y 3 cementos.

El objetivo principal de esta experiencia fue analizar el comportamiento de pastas elaboradas con distintos cementos y aditivos, mediante los métodos descritos con anterioridad en sus primeros minutos en estado fresco (5, 30, 60 y 90 minutos).

Materiales

La Tabla 1 muestra los aditivos utilizados en estas experiencias, detallando el tipo (reductor de agua de alto rango solo o combinado con aditivos que modifican la viscosidad de la pasta), peso específico, porcentaje líquido recomendado por el fabricante y su contenido de materia sólida activa.

Los porcentajes informados en las dosificaciones se expresan en contenido sólido del aditivo referido al peso del cemento. De esta manera podremos efectuar las comparaciones pertinentes entre cada serie ya que la fracción activa del aditivo es la materia sólida, y como se observa en la Tabla 1, los porcentajes de materia sólida son diferentes para cada aditivo.

Tabla 1: Características de los aditivos químicos utilizados.

Aditivo	Tipo	Peso Específico (g/cm ³)	% líquido recomendado	Contenido sólido (%)
(I)	RAAR + MV	1,11	0,3 - 1,5	35
(II)	RAAR + MV	1,05 +/- 0,02	-	22
(III)	RAAR	1,09 +/- 0,02	0,2 - 0,8	35
(IV)	MV	1,02	0,3 - 1,5	1,5
(V)	RAAR	1,14	0,5 - 1,8	30

RAAR: Aditivo reductor de agua de alto rango.

MV: Aditivo modificador de la viscosidad.

El porcentaje líquido recomendado se toma con respecto al peso del cemento.

En la Tabla 2 se presentan las características del Cemento Portland Normal (CPN), Cemento Portland Fillerizado (CPF) y Cemento Portland Compuesto (CPC), en la cual se incluyen los valores de superficie específica, peso específico, resistencia a compresión a 2, 7 y 28 días y la composición química correspondiente.

Tabla 2: Características de los cementos utilizados.

Identificación		CPN	CPF	CPC
Retenido tamiz 75 micrones	(%)	1.4	1.9	3.6
Superficie específica Blaine	(cm ² /g)	3405	4146	4190
Peso Específico	(g/cm ³)	3.15	3.14	3.08
Pasta de Consistencia Normal	(%)	25.0	23.7	25.0
Resistencia a compresión	2 días (MPa)	19.9	12.0	-
	7 días (MPa)	49.9	37.2	30.9
	28 días (MPa)	-	43.0	39.2
Pérdida por calcinación	(%)	2.22	6.94	-
Trióxido de Azufre (SO ₃)	(%)	-	2.51	-
Oxido de Calcio (CaO)	(%)	64.59	62.89	-
Dióxido de Sílice (SiO ₂)	(%)	21.02	19.56	-
Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	(%)	3.64	3.28	-
Oxido Férrico (Fe ₂ O ₃)	(%)	3.49	3.11	-
Oxido de Magnesio (MgO)	(%)	0.74	0.61	-
Oxido de Sodio (Na ₂ O)	(%)	0.13	0.07	-
Oxido de Potasio (K ₂ O)	(%)	1.05	1.03	-

Mezclado y elaboración de las pastas

Se siguió una misma metodología de mezclado en todos los casos a fin de evitar cualquier tipo de diferencias al momento de comparar los resultados.

Durante el tiempo de mezclado y ensayo de las pastas, la temperatura se mantuvo en 20 ± 2 °C y la humedad relativa ambiente en 60 ± 5 %. Así como también el agua, cemento y aditivos a utilizar se mantuvieron a la misma temperatura ambiente.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Tabla 3 se resumen las 8 series elaboradas, en la que se indica el tipo de cemento y aditivo utilizado en cada caso.

Las Series F (I), F (II), F (III), F (III+IV) y F (V) fueron elaboradas con un mismo cemento (CPF) a fin de comparar el efecto de los distintos aditivos sobre un ligante en particular.

Por otro lado las Series F (I), N (I) y C (I) y/o las Series F (II) y N (II) permitirán comparar el efecto de un aditivo específico sobre distintos cementos.

Para el caso particular de las Series F (III) y F (III+IV), en la misma se podrá comparar el efecto que produce un aditivo superfluidificante solo (III) o combinado con un aditivo modificador de la viscosidad (III+IV). Este último caso resulta de interés pues el resto de los aditivos que se ofrecen en el mercado aparecen como una combinación de ambos.

Tabla 3: Series de pastas elaboradas

Serie	Tipo de cemento	Aditivo
F (I)	CPF	(I)
F (II)		(II)
F (III)		(III)
F (III+IV)		(III)+(IV)
F (V)		(V)
N (I)	CPN	(I)
N (II)		(II)
C (I)	CPC	(I)

En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo del cono de Marsh y el extendido de cada pasta para todos los porcentajes de aditivo ensayados. Se incluyen los valores correspondientes a 5, 30 y 60 minutos.

Tabla 4: Resumen de resultados.

Serie	% Aditivo sólido	% Aditivo líquido	Tiempo de Marsh (seg)			Diámetro final (cm)		
			5'	30'	60'	5'	30'	60'
F (I)	0.05	0.14	24.7	47.0	140.0	10.5	8.5	6.5
	0.07	0.20	17.7	25.0	33.0	13.0	12.0	11.0
	0.09	0.26	18.0	23.0	25.3	15.5	14.5	14.0
	0.11	0.31	14.3	17.7	18.3	16.5	15.5	15.0
F (II)	0.10	0.48	173.	22.3	26.3	13.2	12.0	11.2
	0.13	0.57	15.0	18.7	19.3	14.5	13.1	12.8
	0.15	0.65	13.3	15.7	18.0	15.7	14.5	14.2
	0.19	0.83	14.0	16.7	18.3	16.0	15.7	15.7
F (III)	0.05	0.14	22.3	32.3	56.0	14.0	11.0	9.0
	0.07	0.20	17.0	23.3	33.3	16.0	13.0	12.0
	0.085	0.24	17.0	20.7	25.3	17.0	16.0	14.5
	0.10	0.29	15.0	16.7	20.7	18.0	17.0	16.0
F (III+IV)	0.13	0.37	17.3	20.0	21.0	17.0	16.3	16.0
	0.07	0.20	20.0	26.0	36.7	11.2	10.2	9.3
	0.085	0.24	18.7	22.3	25.0	11.7	11.1	10.6
	0.10	0.29	14.7	17.7	20.0	12.5	11.8	11.5
F (V)	0.13	0.37	19.0	20.3	20.7	11.8	11.5	11.5
	0.07	0.20	63.7	-	-	7.0	5.5	-
	0.09	0.26	40.0	-	-	8.0	6.0	-
	0.11	0.31	20.0	36.7	94.7	11.5	9.0	-
F (V)	0.13	0.37	21.7	30.0	58.3	14.0	10.0	7.7
	0.15	0.43	17.7	21.0	25.7	15.5	14.0	11.5
	0.19	0.54	17.3	20.0	21.7	17.0	16.0	15.3
	0.05	0.14	38.3	58.3	78.7	7.7	7.8	8.5
N (I)	0.07	0.20	24.0	29.7	33.0	9.8	9.8	9.5
	0.09	0.26	15.7	20.7	25.3	12.2	11.5	11.0
	0.11	0.31	14.0	16.7	21.3	14.0	13.0	12.3
	0.13	0.37	14.3	17.0	19.0	14.0	13.0	12.2
N (II)	0.11	0.48	23.0	26.0	31.3	10.2	10.0	9.9
	0.13	0.57	16.0	19.7	22.7	11.6	11.2	11.1
	0.15	0.65	16.0	18.0	21.3	13.0	12.3	12.0
	0.19	0.83	12.0	14.0	15.7	15.0	14.6	13.8
C (I)	0.23	1.00	13.3	14.3	15.0	14.7	15.0	15.0
	0.07	0.20	29.0	60.0	70.0	11.5	10.6	-
	0.09	0.26	14.7	19.3	21.3	14.5	13.4	12.9
	0.11	0.31	18.0	20.3	21.3	17.0	17.5	17.0
C (I)	0.13	0.37	15.7	20.0	21.7	17.5	17.5	17.0

Resultados del cono de Marsh

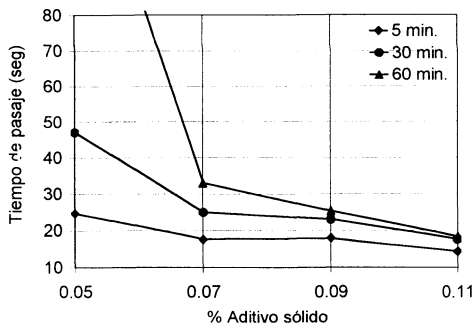


Figura 3-a: Serie F (I)

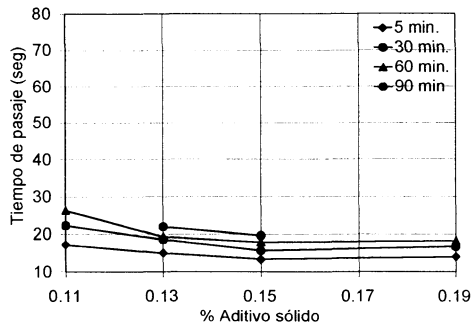


Figura 3-b: Serie F (II)

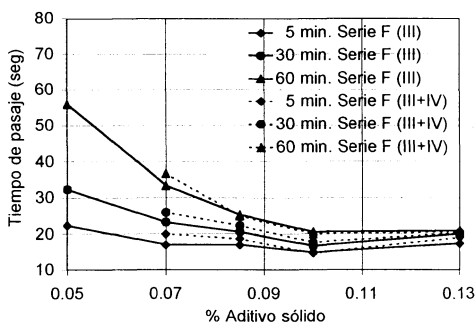


Figura 3-c: Series F (III) y F(III+IV)

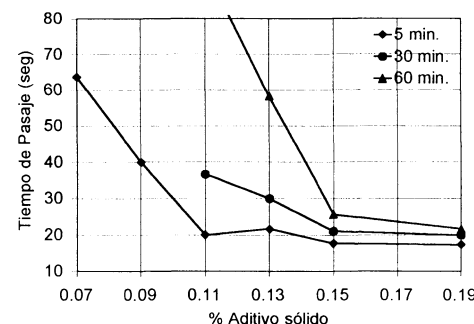


Figura 3-d: Serie F (V)

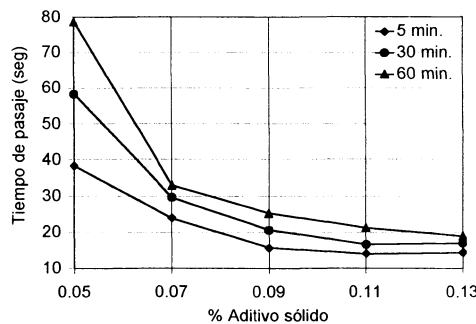


Figura 3-e: Serie N (I)

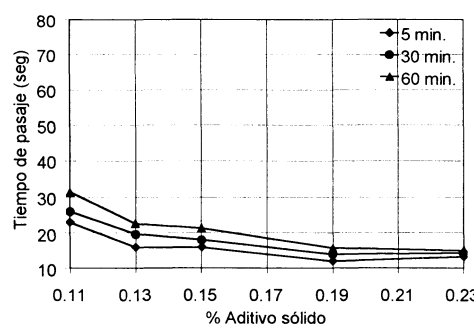


Figura 3-f: Serie N (II)

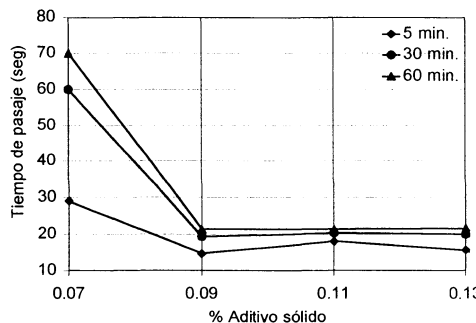


Figura 3-g: Serie C (I)

En la Fig. 3 se presentan los resultados obtenidos para cada serie de pastas ensayadas con el cono de Marsh a 5, 30, 60 y eventualmente 90 minutos después de que el cemento tomó contacto con el agua.

La Fig. 3 muestra que en la mayoría de los casos las curvas correspondientes a 30 minutos aparecen más representativas que las de 5 minutos a la hora de definir la dosis óptima de aditivo; evidenciándose claramente este efecto en la Serie F (V) (Fig. 3-d)

Si se comparan las series elaboradas con CPF, se observa que el aditivo (II) es el que presenta un menor tiempo de pasaje (mayor fluidez) considerado en el punto de saturación a los 5 minutos, lo cual se repite a los 30 y 60 minutos; pero en contraposición es el que presenta la mayor dosis. En cuanto a las series F (III) y F (III+IV) (Fig. 3-c) no aparecen grandes cambios al incorporar un 1% líquido de aditivo MV.

Por otra parte si se comparan las series N (I) y N (II) (Figs. 3-e y 3-f) se verifica nuevamente que la pasta elaborada con el aditivo (II) presenta un menor tiempo de pasaje y una menor pérdida de fluidez que el aditivo (I), desde este punto de vista el método permite detectar los efectos de los distintos aditivos.

En cuanto a las Series F (II) y N (II) (Figs. 3-b y 3-f), se observa que el aditivo (II) logra un menor tiempo de pasaje cuando se combina con CPF; y a su vez con una dosis menor que en la Serie N (II).

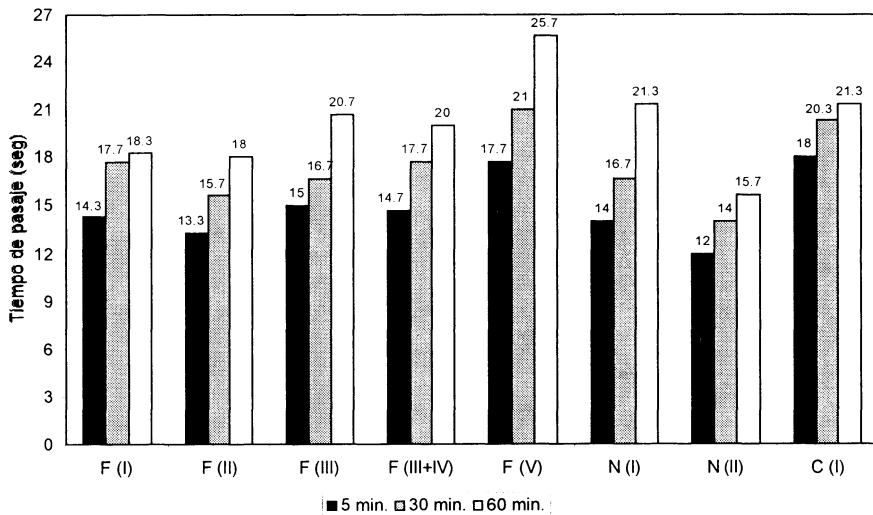


Figura 4: Tiempo de pasaje por el cono de Marsh para las distintas series, correspondientes al punto de saturación.

La Fig. 4 muestra un resumen del comportamiento de las distintas series correspondientes al punto de saturación y su variación a lo largo del tiempo. Si se analizan las Series F (I) a F (V) las cuales tienen un mismo cemento, se puede ver que se comportan de manera diferente con cada aditivo, tanto en su estado inicial como a lo largo del tiempo. En este caso el aditivo (II) es más eficaz respecto a las demás series que contienen CPF. Por otra parte si se comparan las series F (I), N (I) y C (I), se puede observar que un mismo

aditivo actúa de manera diferente en cada combinación ligante-aditivo. En este caso se puede inferir que la mayor efectividad de este aditivo aparece con el CPF, tanto a los 5 minutos, como a los 30 y 60 minutos. En cuanto a las series F (II) y N (II), se observa que el aditivo (II) actúa más eficazmente cuando se lo combina con CPN.

Resultados del Extendido (Mini slump)

La Fig. 5 muestra los resultados del ensayo de Extendido, en la cual se grafican las curvas “Diámetro final - % Aditivo sólido” a 5, 30, 60 y eventualmente 90 minutos después de que el cemento tomó contacto con el agua para las 8 series de pastas.

Se puede observar en la Fig. 5, que en la mayoría de los casos, a medida que se incrementa el contenido de aditivo, el diámetro final (Df) resultante aumenta, hasta llegar a un punto en que si se continúa incrementando la dosis del aditivo, el valor del Df se mantiene igual o disminuye a causa de la segregación por exceso del porcentaje de aditivo.

En este ensayo el resultado a los 5 minutos aparece como un valor más representativo a diferencia de 30 o 60 minutos; sirviendo como complemento de los resultados obtenidos en el ensayo del cono de Marsh.

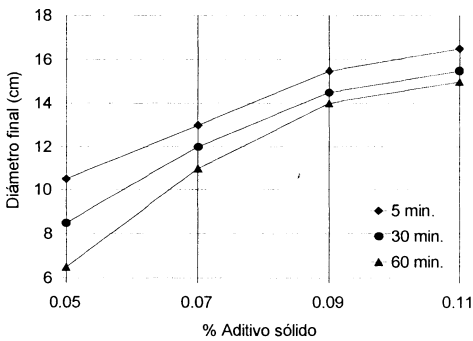


Figura 5-a: Serie F (I)

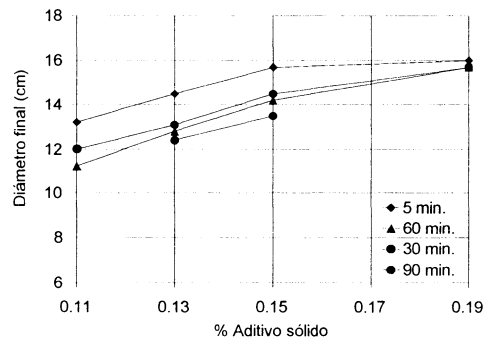


Figura 5-b: Serie F (II)

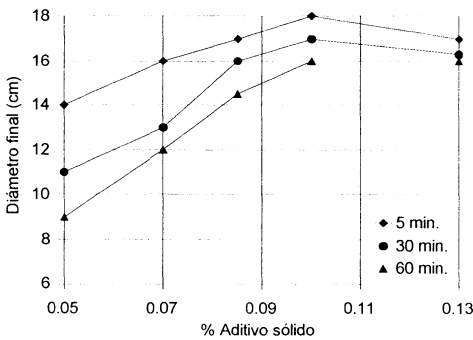


Figura 5-c: Serie F (III)

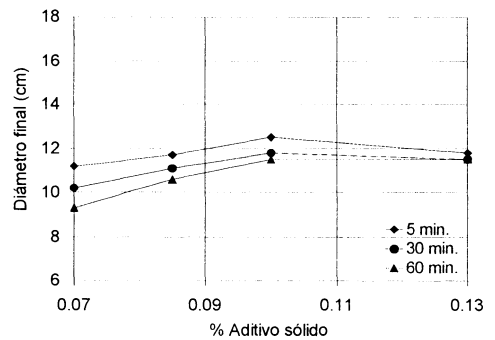


Figura 5-d: Serie F (III+IV)

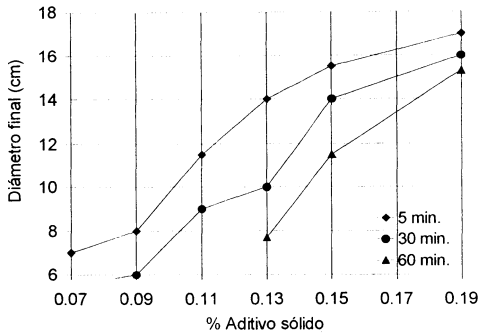


Figura 5-e: Serie F (V)

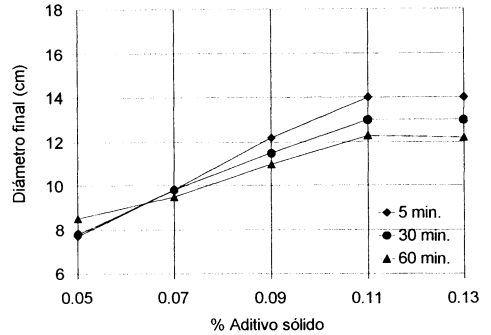


Figura 5-f: Serie N (I)

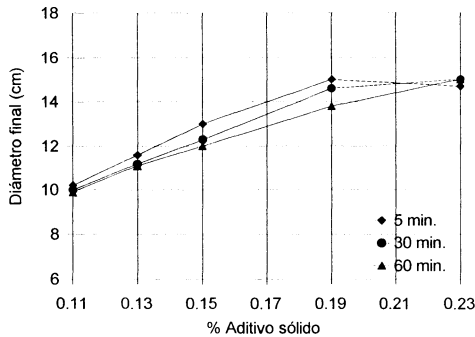


Figura 5-g: Serie N (II)

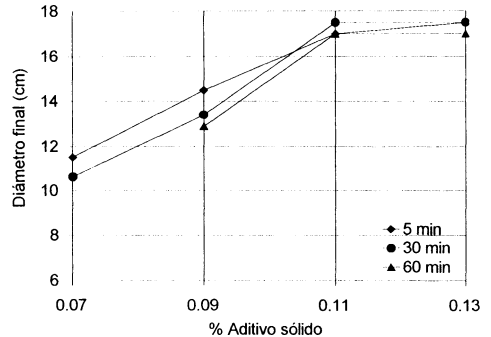


Figura 5-h: Serie C (I)

En las Series F (I) a F (V) (Figs. 5-a a 5-e) se puede observar que el aditivo (III) es el que produce un mayor extendido, siendo en este sentido el más eficiente con el CPF.

En cuanto a las Series F (III) y F (III+IV) (Figs. 5-c' y 5-d) se observa que al incorporar a la mezcla el aditivo MV, se reduce notablemente el extendido de la pasta. Este ensayo parece más sensible que el ensayo del cono de Marsh en el cual no se observaron diferencias significativas (Fig. 3-c).

Al analizar el comportamiento de las Series N (I) y N (II) (Figs. 5-f y 5-g), se observa que el aditivo (II) produce un mayor extendido en el punto de saturación, pero con una dosis más elevada de aditivo.

Por otra parte si se comparan las Series F (I), N (I) y C (I) (Figs. 5-a, 5-f y 5h), se observa que la mayor efectividad del aditivo (I) aparece con el CPC, tanto a los 5 minutos, como a los 30 y 60 minutos; destacando además, que en estas combinaciones ligante - aditivo el punto de saturación fue el mismo en los tres casos.

En cuanto a las Series F (II) y N (II) (Figs. 5-b y 5g), a diferencia del ensayo del cono de Marsh, se observa que el aditivo (II) logra un extendido algo mayor cuando se combina con CPF; y a su vez con una dosis menor que en la Serie N (II). Este menor contenido de aditivo se puede deber al efecto dispersante del filler y a los aditivos ayuda molienda que contienen los cementos fillerizados.

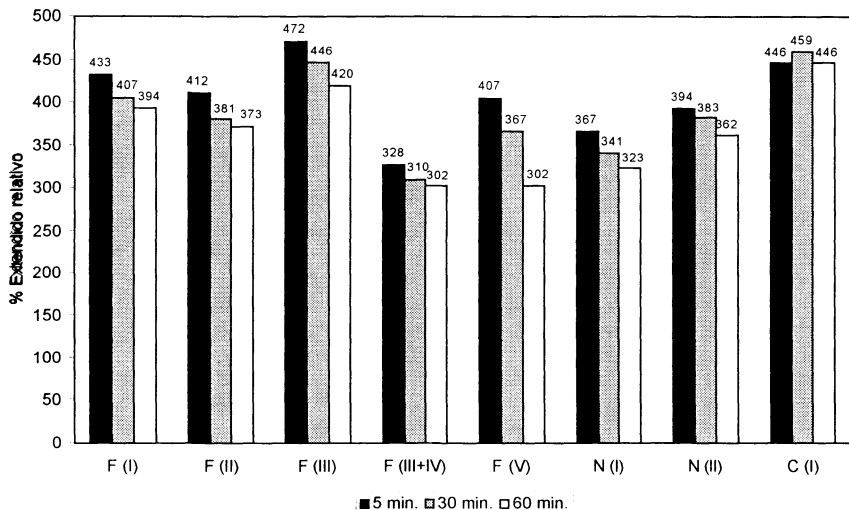


Figura 6: Porcentaje de extendido relativo de cada serie correspondiente a su respectivo punto de saturación, a los 5, 30 y 60 minutos de elaborada.

En la Fig. 6 se presenta un resumen del comportamiento de las pastas en los primeros minutos de todas las series, correspondiente al punto de saturación.

La Fig. 7 muestra la variación de fluidez de pastas elaboradas con cada porcentaje de aditivo a lo largo del tiempo en el cono de Marsh.

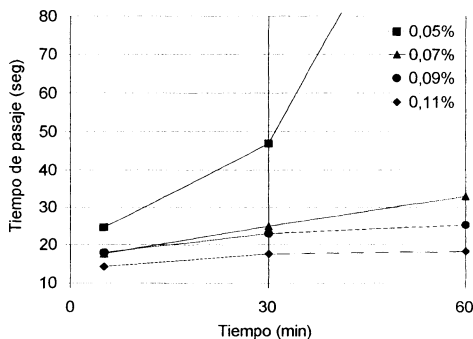


Figura 7-a: Serie F (I)

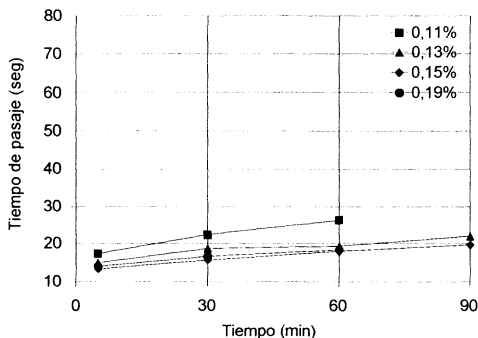


Figura 7-b: Serie F (II)

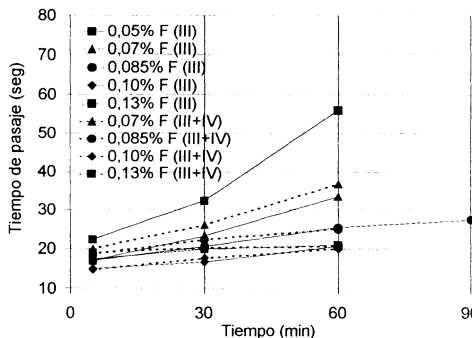


Figura 7-c: Series F (III) y F (III+IV)

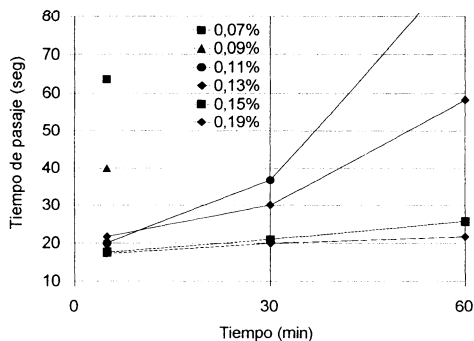


Figura 7-d: Serie F (V)

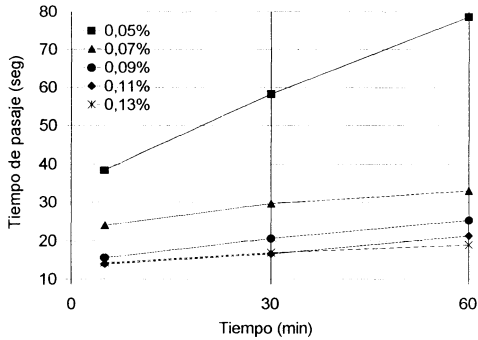


Figura 7-e: Serie N (I)

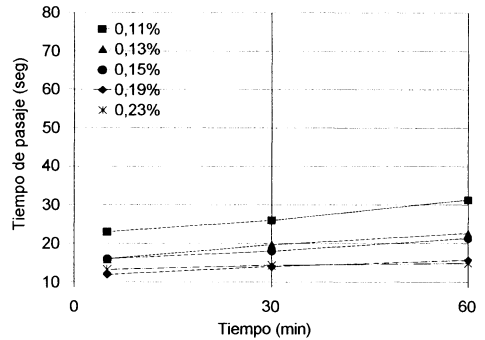


Figura 7-f: Serie N (II)

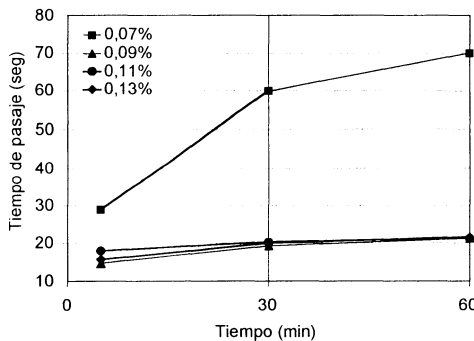


Figura 7-g: Serie C (I)

Figura 7: “Tiempo de pasaje” del cono de Marsh a lo largo del tiempo (5, 30, 60 y 90 minutos después del contacto entre cemento y agua) para cada porcentaje de aditivo.

Finalmente en la Tabla 4 se ha resaltado para cada serie el punto de saturación encontrado utilizando las Figs. 3, 5 y 7, en las cuales se observa tanto en Marsh como en Extendido que un porcentaje mayor de aditivo que el correspondiente al punto de saturación no produce mejoras significativas en la fluidez de la pasta.

La elección de un determinado punto de saturación depende a su vez del tiempo de permanencia de fluidez requerida para cada caso.

La evaluación de las pastas en sus primeras edades en estado fresco podría vincularse, en futuros trabajos, con la permanencia de fluidez del hormigón en sus primeras edades (Slump flow), pues como se observa en la Fig. 7 (Variación de la fluidez a lo largo del tiempo), existen diferencias en estos tiempos según la combinación cemento - aditivo.

En el caso de los hormigones autocompactables se debe tener en cuenta la importancia de valorar la variación de la fluidez en el tiempo a fin de asegurar que la fluidez del hormigón en el momento de su elaboración no varíe de manera significativa al momento de su colocación permitiendo de esta manera una adecuada disposición y consolidación dentro de los encofrados.

CONSIDERACIONES FINALES

- La determinación del punto de saturación utilizando el método del cono de Marsh inmediatamente después del mezclado podría resultar dificultoso en algunos casos. Esta situación se soluciona repitiendo el procedimiento del cono de Marsh a los 30 y 60 minutos de elaborada la pasta. Este caso se ve claramente en las Series F (I), F (V) y C (I), en las cuales se observa un quiebre mas definido en las curvas de 30 y 60 minutos.
- Para el caso del ensayo de Extendido, la determinación del diámetro final (Df) a los 5 minutos, surge como una herramienta útil junto con el ensayo del cono de Marsh para definir la dosis de aditivo. Como se observa en la mayoría de los casos, ambas curvas ("Tiempo de pasaje - % aditivo sólido" y "Df - % aditivo sólido") muestran un quiebre bien definido para la misma dosis de aditivo.
- La variación de fluidez en función del tiempo (Fig. 7) resulta útil al analizar el comportamiento de cada aditivo a lo largo de los primeros minutos de elaborada la pasta y observar su efectividad y compatibilidad.

REFERENCIAS

- (1) C. Gomes, P. C., Gettu, R., Agulló, L. and Bernard, C., "Diseño de hormigones autocompactables de alta resistencia. Procedimiento para su dosificación y métodos de caracterización". Cemento Hormigón. Septiembre 2001, pp. 30-42.
- (2) Giaccio, G., Martín, A., Soriano, M. y Zerbino, R. "Hormigones autocompactables" Ciencia y Tecnología del Hormigón, N° 9, 2002, pp. 33-46.
- (3) Giaccio, G. y Zerbino, R., "Elección del tipo y dosis de superfluidificante para el diseño de hormigones de alta performance". Ciencia y Tecnología del Hormigón, N° 8, 2000, pp. 28-49.
- (4) RILEM Publications, 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (ISBN: 2-912143-09-8); Edited by Å. Skarendahl and Ö. Petersson, 1999, Stockholm, Sweden, 786 p.
- (5) C. Gomes, P. C., "Optimization and characterization of high strength self-compacting concrete", Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya, 2002, 140 p.
- (6) Agulló, L., Torrales-Carbonari, B., Gettu, R. and Aguado, A. "Fluidity of cement pastes with mineral admixtures and superplastizer – A study based on the marsh cone test". Materials and Structures, Vol. 32, August-September 1999, pp. 479-485.