

COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y DE FRAGUADO DE MORTEROS DE CEMENTO PÓRTLAND GRIS TIPO III CON ADITIVOS

YIRSON MONTOYA*
ALBEIRO CADAVID**
MARYORY ASTRID GÓMEZ***

RESUMEN

En el presente trabajo se estudió la variabilidad en el desempeño de morteros con el empleo de diferentes lotes de dos tipos de aditivos, uno retardante y uno acelerante de fraguado, para tal fin, se comparó su comportamiento con un mortero sin aditivo. Se analizaron las propiedades físicas, químicas y mecánicas del cemento Portland gris tipo III procedente de Cementos Rioclaro, se midieron los tiempos de fraguado inicial y final utilizando diferentes dosis de aditivos, además, se realizaron medidas de resistencia a la compresión de los morteros con aditivo retardante. Se encontró poca variabilidad entre los lotes de los aditivos estudiados; con el aditivo retardante usado se encontró que cuanto mayor es el tiempo de fraguado inicial, mayor es el tiempo de fraguado final. Utilizando el aditivo en dosis hasta de 0,6 % en peso del cemento, aumentó el tiempo de retardo a valores entre 550 y 600 min con el aumento del contenido de aditivo. De forma similar, con el aumento en el contenido del aditivo retardante, bajó la resistencia inicial y aumentó la resistencia final del mortero. Con dosis crecientes de aditivo acelerante disminuyó el tiempo de fraguado de las mezclas estudiadas.

PALABRAS CLAVE: cemento Portland; aditivo acelerante; aditivo retardante; resistencia mecánica; tiempo de fraguado.

* Ingeniero de Materiales, Universidad de Antioquia. SIKA Colombia. Medellín, Colombia. yamtlmrc@gmail.com

** Estudiante de Química, Universidad de Antioquia. SIKA Colombia. Medellín, Colombia. albeirocadavid@une.net.co

*** Ingeniera Metalúrgica, Universidad de Antioquia; Doctora en Técnicas Instrumentales de la Física y la Ciencia de los Materiales, Universidad de Barcelona. Investigadora del Grupo de Corrosión y Protección, Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. mgomez@udea.edu.co

MECHANICAL AND SETTING BEHAVIOR OF MORTARS FROM GRAY PORTLAND CEMENT TYPE III WITH ADDITIVES

ABSTRACT

In the present work the variability in the performance of mortars by using different batches of two types of additives, one retardant and one accelerant of setting was studied, for this purpose, their behavior was compared with a mortar without additive. The physical, mechanical, and chemical properties of the gray Portland cement type III from Cementos Rioclaro, the initial and final setting times using different doses of additive were measured; besides, compression strength tests of mortars with retardant additive were made. Between the additives batches studied a small variability was found; the retardant additive used with a content of 0,6 wt % of cement showed that as the higher initial setting time, final setting time is higher. Using the additive in doses up 0,6 % wt of cement and increase of the retard time around 550 y 600 min with the increase in the additive content. Similarly, with the increase of the retardant additive diminishes the initial strength and increases the final strength of the mortar. With growing doses of accelerant content additive diminished the setting time of the mixes studied.

KEY WORDS: Portland cement; accelerant additive; retardant additive; mechanical resistance; setting time.

COMPORTAMENTO MECÂNICO E DE PEGA DE MORTEIROS DE CIMENTO PORTLAND CINZENTO TIPO III COM ADITIVOS

RESUMO

No presente trabalho se estudou a variabilidade no desempenho de morteiros com o emprego de diferentes lotes de dois tipos de aditivos, um retardante e um acelerante de pega, para tal fim, se comparou seu comportamento com um morteiro sem aditivo. Analisaram-se as propriedades físicas, químicas e mecânicas do cimento Portland cinzento tipo III procedente de Cementos Rioclaro, se mediram os tempos de pega inicial e final utilizando diferentes doses de aditivos, além disso, se realizaram medidas de resistência à compressão dos morteiros com aditivo retardante. Se encontrou pouca variabilidade entre os lotes dos aditivos estudados; com o aditivo retardante usado se encontrou que quanto maior é o tempo de pega inicial, maior é o tempo de pega final. Utilizando o aditivo em dose até de 0,6 % em peso do cimento, aumentou o tempo de atraso a valores entre 550 e 600 min com o aumento do conteúdo de aditivo. De forma similar, com o aumento no conteúdo do aditivo retardante baixou a resistência inicial e aumentou a resistência final do morteiro. Com dose crescentes de aditivo acelerante diminuiu o tempo de pega das misturas estudadas.

PALAVRAS-CÓDIGO: cimento Portland; aditivo acelerante; aditivo retardante; resistência mecânica; tempo de pega.



1. INTRODUCCIÓN

El concreto y el mortero son los materiales de construcción más económicos de larga duración conocidos hasta la actualidad. Alrededor de este material se mueve un gran capital en el ámbito mundial, por lo que su consumo es uno de los principales indicadores del desarrollo de un país.

La mezcla íntima de los componentes del concreto convencional (cemento Pórtland, agregados y agua) produce una masa plástica (plasticidad que adquiere al añadirle agua) que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad cuando está en estado fresco; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas la mezcla se vuelve rígida, y comienza a tomar el aspecto, comportamiento y propiedades de un cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material con alta resistencia mecánica, el concreto endurecido.

Antiguamente los egipcios, griegos y romanos adicionaron sustancias naturales como sangre, grasa animal o leche al concreto para mejorar sus propiedades, por tanto, los aditivos son tan antiguos como el concreto mismo (Schubel, Warrior y Elliott, 2008; Moropoulou, Bakolas y Anagnostopoulou, 2005; Jasiczak y Zielinski, 2006). En la segunda mitad del siglo XX, mejores productos de síntesis química desplazaron las sustancias naturales que se habían usado hasta esa época y desde entonces el estudio de estos productos industriales ha tenido gran interés por razones económicas, ambientales y técnicas. Técnicamente el uso de un aditivo tiene como propósito mejorar propiedades físicas o químicas selectivas del concreto en estado fresco o en estado endurecido. Por ejemplo, hay casos en los que el uso de un aditivo puede ser el único medio para obtener el resultado requerido, como son aditivos contra congelación y deshielo, aditivos para acelerar o retardar el tiempo de fraguado, aditivos para obtener altas resistencias, etc. (Majko y Pistilli, 1984; Wei, Naik y Golden, 1994; Erdoğan, Genç y Demirbaş, 1992; Hamling y Krimer, 1992; Conjeand y Sorrenti, 1981; Tüfekçi, Demirbaş y Genç, 1997; Erdoğan, Zeybek y Demirbaş, 1998;

Demirbaş y Aslan, 1998; Demirbaş y Aslan, 1999; Altun y Yilmaz, 2002).

Los aditivos para concreto pueden ser mezclas químicas que incluyen sales de ácidos lignosulfónicos e hidroxicarboxílicos, condensados de sulfonato naptaleno (CSFN), condensados de sulfonato melanina (CSFM), alkanolaninas y sales de cloruro, nitrito y nitrate. Es de gran importancia conocer los aditivos químicos contenidos en el concreto y el mortero para determinar desviaciones en el desempeño esperado; este análisis puede ser difícil, porque los aditivos están presentes en concentraciones relativamente bajas. Además, con frecuencia los aditivos pueden formar otros compuestos debido a la hidrólisis alcalina o precipitar como sales insolubles de calcio durante el proceso de hidratación del cemento en la mezcla del concreto fresco, por lo tanto, algunos aditivos no se encuentran en su forma química original dentro de la mezcla (Jeknavorian *et al.*, 1998).

La funcionalidad de los aditivos, en general, está limitada a la variabilidad de cada lote fabricado y de ella depende en gran parte la demanda de determinado aditivo en el mercado, así como la satisfacción de las necesidades planteadas para morteros y concretos aditivados, en los que se requiere un buen desempeño de forma homogénea (Gaspar, 1985). El propósito de este trabajo fue comparar las propiedades mecánicas y tiempos de fraguado de morteros y concretos para analizar la variabilidad del desempeño con dos aditivos, uno acelerante y otro retardante, ambos provenientes de varios lotes seleccionados aleatoriamente, utilizando un cemento Pórtland gris tipo III como una referencia representativa de los cementos utilizados con aditivos en el mercado.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1 Materiales de partida

Para el presente estudio se seleccionó un aditivo retardante a base de lignosulfonatos modificados, agua y un preservante; se usó un aditivo acelerante

de fraguado libre de álcalis (lo que lo hace más costoso en el mercado) elaborado a base de sales orgánicas, usualmente utilizado para mortero proyectado en túneles.

Se tomaron 5 muestras de cada aditivo de 20 kg cada una, correspondientes a 10 lotes diferentes (5 lotes de aditivo acelerante y 5 lotes de aditivo retardante). Se realizaron análisis de aspecto (aparición física) mediante observación a simple vista, pH en un equipo Mettler Toledo AG, densidad mediante picnómetro, porcentaje de residuo sólido de acuerdo con los métodos estándar para análisis de sólidos en agua y viscosidad cinemática de los aditivos por el método de la copa. Se verificó que el cemento Pórtland gris tipo III cumpliera con la norma ASTM C150-07, para ello se evaluó su aspecto, prueba de falso fraguado con norma ASTM C451-08 y pérdidas por calcinación de acuerdo con la norma ASTM C114-07. Adicionalmente se evaluó la resistencia a la compresión del cemento con la norma ASTM C109-07 empleando una relación agua/cemento de 0,49 y 2,75 partes de arena por una parte de cemento.

2.2 Morteros

En el laboratorio se elaboraron cubos de morteros de 5 cm de lado con cemento Pórtland gris tipo III sin ningún aditivo, para usarlos como referencias de comparación. Las dosificaciones empleadas de aditivo retardante de fraguado fueron de 0,2, 0,4, 0,6 y 0,8 p/p del cemento y para el aditivo acelerante de fraguado dosificaciones de 3, 6, 9 y 12 p/p de cemento; los diferentes ensayos fueron realizados por triplicado. Los morteros se elaboraron utilizando la misma relación agua/cemento (A/C) y las partes de arena indicadas en la elaboración de las muestras para el estudio de la resistencia a la compresión del cemento (A/C = 0,49 y 2,75 partes de arena por una parte de cemento), para evaluar tanto el aditivo acelerante como el retardante.

Las medidas de tiempo de fraguado se tomaron de acuerdo con la norma ASTM C 191-08 en un

aparato Vicat Humboldt. Para realizar la evaluación de las propiedades mecánicas del mortero con aditivo retardante, las muestras con geometría de cubos fueron sometidas a pruebas de compresión a los 1, 3, 7 y 28 días de curado de acuerdo con la norma ASTM C109-07. Las pruebas de resistencia a la compresión se ejecutaron en una prensa hidráulica CONTROLS C 90/12. Al mortero con aditivo acelerante no se efectuaron pruebas de compresión debido a que ocurre el fraguado tan rápido que no se puede elaborar la probeta.

2.3 Concretos

Las pruebas de campo se hicieron con 0,4 % del aditivo retardante de fraguado tomado de tres lotes diferentes, se empleó un concreto preparado en una mezcladora de eje inclinado, donde se mezcló agregado grueso (61,56 kg), agregado fino (54,3 kg), cemento gris tipo III (14,04 kg), escoria (3,54 kg), agua (11,76 kg) y el aditivo retardante (0,056 kg). Una vez homogeneizada la mezcla, se realizó la prueba de asentamiento a los 15, 30, 45 y 60 min de acuerdo con la norma ASTM C143-90, además se midió la temperatura del concreto una vez preparada la mezcla y a los 45 minutos. Se realizaron las medidas de tiempo de fraguado del concreto, y con la mezcla preparada se elaboraron cilindros de 15 cm de diámetro por 30 cm de longitud para pruebas de compresión bajo la norma ASTM C 31-08, la mezcla de concreto se dejó durante 24 h dentro de las formaleas de acero y después fueron sometidas a curado en una piscina de agua hasta el momento en que se desarrollaron las pruebas de resistencia a la compresión bajo la norma ASTM C 39-01.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Materiales de partida

El análisis de aspecto del aditivo retardante mostró en los cinco lotes seleccionados estado líquido de color café, mientras que el aditivo



acelerante es un líquido oscuro ligeramente turbio. En la tabla 1 se muestran las propiedades estudiadas en los dos aditivos; se puede observar que la densidad promedio del aditivo acelerante es ligeramente superior a la del aditivo retardante, mostrando el primero porcentajes de residuo sólido y viscosidad

menores que el retardante. De acuerdo con los valores de pH el aditivo retardante es ligeramente alcalino, mientras que el acelerante es ácido, ya que es libre de álcalis. Se puede apreciar que hubo muy poca variación en los valores de cada propiedad para los diferentes lotes de cada tipo de aditivo.

Tabla 1. Propiedades de los aditivos retardante y acelerante

Tipo de aditivo	Lote	Densidad (kg/L)	Residuo sólido (%)	pH	Viscosidad (s)*
Retardante	1	1,25	48,58	8,06	15,02
	2	1,25	49,58	7,82	15,16
	3	1,25	48,85	8,94	15,21
	4	1,24	46,78	8,97	14,24
	5	1,23	47,29	8,92	14,01
Acelerante	1	1,34	44,10	2,82	12,81
	2	1,33	44,74	2,52	12,64
	3	1,34	42,41	2,63	13,41
	4	1,34	43,47	2,56	13,79
	5	1,23	46,72	2,92	14,01

* Copa Ford 4,20 °C

Los resultados de los análisis de fraguado desarrollados al cemento Pórtland gris tipo III mostraron que el tiempo de fraguado inicial del cemento sin ningún aditivo es de 74 min, mientras que el tiempo de fraguado final es de 171 min.

La resistencia aumentó con el paso de los primeros días. Al cabo de un día es de 23 MPa; a los 3 días, 35 MPa, y sube a 43 MPa el día 7.

En la tabla 2 se presentan los resultados del análisis químico realizado al cemento, se verifica que la composición química del cemento cumple con su clasificación.

Tabla 2. Resultados del análisis químico realizado al cemento Pórtland tipo III

Especie química	Porcentaje (%)
SiO ₂	19,43
Al ₂ O ₃	4,11
Fe ₂ O ₃	3,48
CaO	65,13
MgO	2,19
K ₂ O	0,29
Pérdidas por calcinación (P.P.C.)	3,07
Residuo insoluble (R.I.)	0,74
SO ₃	2,34
C ₃ A	5,00

3.2 Morteros

En la figura 1 se muestra el tiempo de fraguado inicial (Fi) y final (Ff) del mortero con dosificaciones de 0,2, 0,4, 0,6 y 0,8 % de aditivo retardante (tomado de los 5 lotes en estudio). Las líneas punteadas indican los tiempos de fraguado inicial y final medidos en el mortero sin aditivo. Como se observa, el tiempo de fraguado del cemento con dosis de 0,2 % presenta muy poca variación de un lote respecto al otro, tanto para el fraguado inicial como para el fraguado final.

Los tiempos de fraguado Fi y Ff con una adición de 0,4 % de aditivo retardante aumentaron respecto a la adición de 0,2 %, como era de esperarse; con esta adición (0,4 %) es con la que más se trabaja en la construcción, debido a que facilita la puesta en obra con resultados óptimos para evitar juntas frías en el vaciado de la mezcla. Con una dosificación de 0,6 % de aditivo retardante, se observa una pequeña variación; el lote 5 muestra el tiempo de fraguado inicial superior en un 22 % respecto al tiempo medido en los demás lotes (figura 1). Con una adición de 0,8 % de aditivo retardante se invierte el fenómeno ocurriendo una aceleración del fraguado tanto inicial

como final respecto a las dosificaciones mostradas antes, tal vez por saturación de aditivo en el sistema, ya que este aditivo es por naturaleza dispersante. Como se puede verificar en la figura 1 el tiempo de fraguado inicial con esta dosificación en todos los lotes estudiados fue menor que en el mortero sin aditivo, mientras que los tiempos de fraguado final fueron inferiores en los lotes 2 y 5 respecto al mortero sin aditivo, lo anterior indica que una dosificación de 0,8 % de retardante no es adecuada, sólo lleva a incrementar los costos en la construcción y afectaría sus parámetros técnicos al revertirse el fenómeno retardante por uno acelerante.

En la figura 2 se presenta la gráfica correspondiente a los morteros con aditivo acelerante con las dosificaciones de 3, 6, 9 y 12 %. La figura 2a muestra los tiempos Fi y Ff adicionando el 3 % de aditivo acelerante; las líneas punteadas indican los tiempos de fraguado de los morteros sin aditivo empleados como patrón de comparación. Se observa poca diferencia en los tiempos de fraguado con aditivo respecto a la muestra de referencia, además de pequeñas variaciones entre los diferentes lotes. La figura 2a muestra que 3 % no es una dosis adecuada, cuando se quiere acelerar el fraguado de un mortero para puesta en

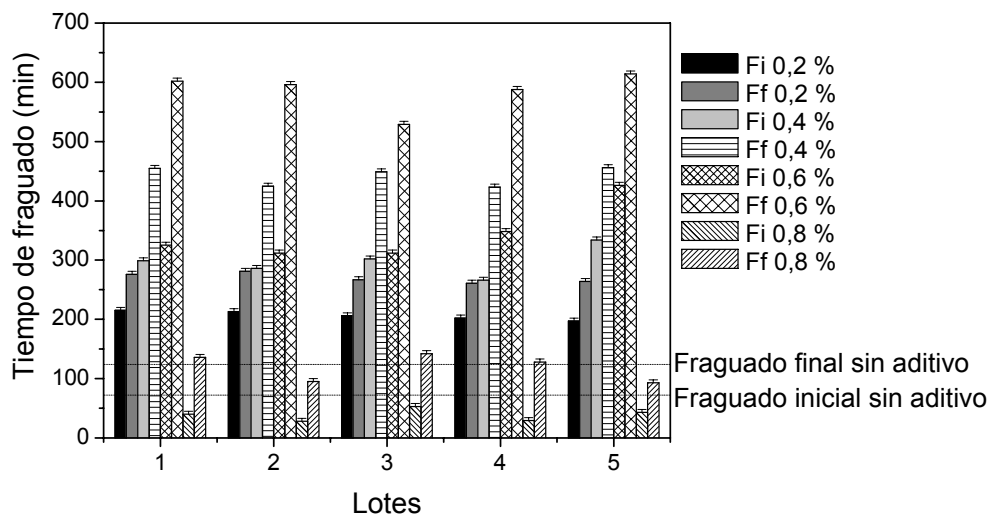


Figura 1. Tiempos de fraguado inicial y final de los morteros con 0,2; 0,4; 0,6 y 0,8 % de aditivo retardante tomado de los 5 lotes estudiados



obra de inmediato que requiera alta resistencia mecánica a temprana edad. Cuando se utiliza el 6 % de aditivo acelerante se observa fraguado mucho más rápido respecto a la dosificación de 3 % (figura 2b), la diferencia entre el tiempo de fraguado inicial y el tiempo de fraguado final también es muy corta, unos 70 segundos.

En la figura 2c se muestra que con el 9 % de aditivo acelerante, entre los tiempos de Fi y Ff se observa una diferencia similar a la obtenida con la dosificación de 6 % (figura 2b). Con la adición del 12 % de aditivo acelerante (figura 2d) se continúa obteniendo una diferencia muy similar entre los

tiempos de Fi y Ff a la obtenida con el 6 % y el 9 %, además el comportamiento al fraguado es muy similar entre los 5 lotes, no apreciándose diferencias considerables. Con las dosificaciones de 6, 9 y 12 % se alcanzan resultados ostensiblemente mejores a los obtenidos con la dosificación del 3 % de este aditivo. Se puede observar que los tiempos de fraguado, tanto inicial como final para una adición del 9 %, son muy cercanos a los tiempos con una adición del 12 %, lo que indica que por encima del 9 % se desperdicia aditivo, incluso por encima del 6 % se puede estar desperdiciando, puesto que es muy poca la mejora en el comportamiento cuando se incrementa de 6 a 9 % de aditivo.

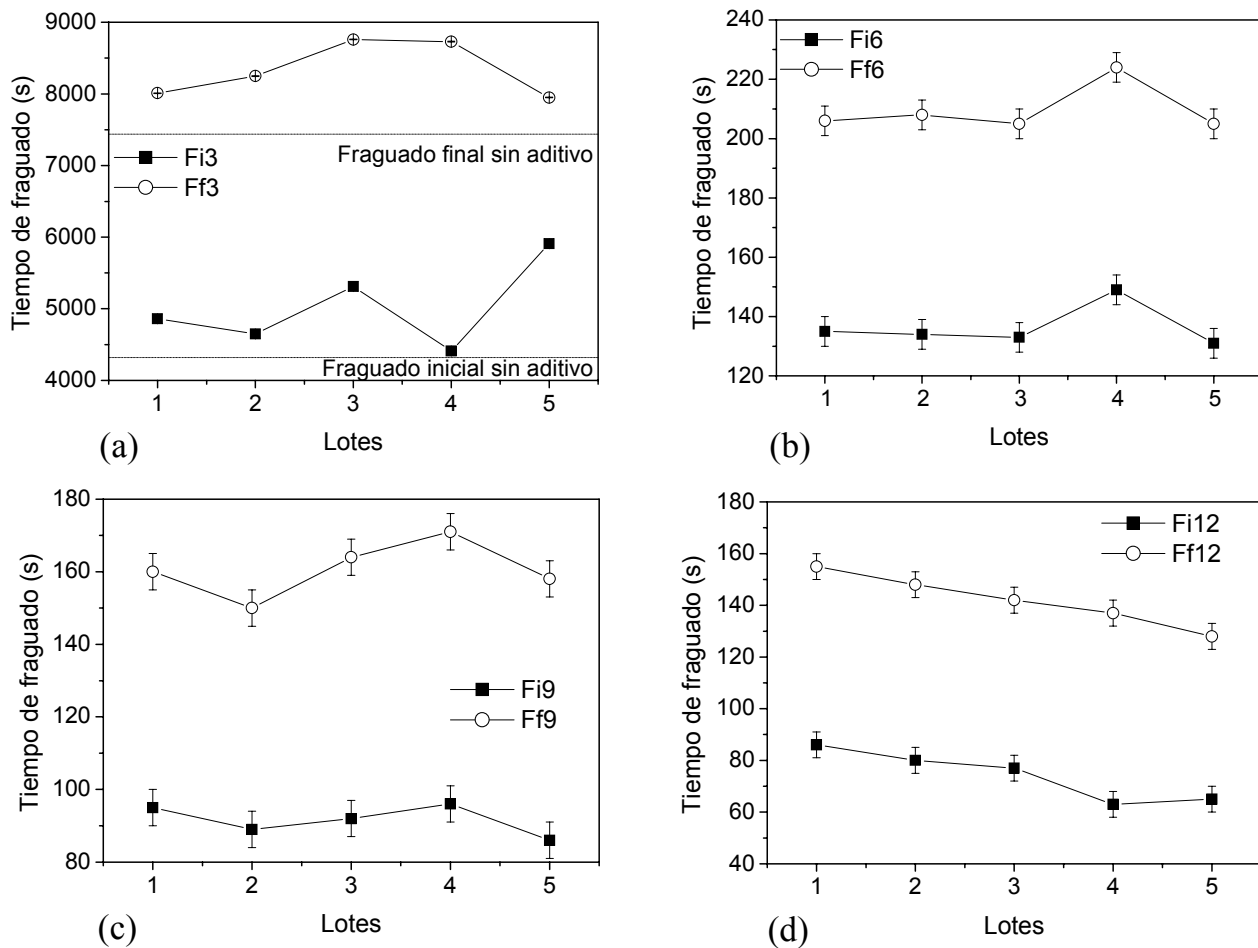


Figura 2. Tiempos de fraguado inicial y final de los morteros con diferentes dosificaciones de aditivo acelerante: (a) 3 %, (b) 6 %, (c) 9 % y (d) 12 % tomado de los diferentes lotes estudiados

La figura 3 presenta la resistencia a la compresión del mortero sin aditivo en función de los días de curado; como era de esperarse, la resistencia aumenta con los días de curado desde 22,9 MPa al primer día de curado hasta 56 MPa a los 28 días. La figura 4 muestra la resistencia a la compresión desarrollada por los morteros a 1, 3, 7 y 28 días con las diferentes cantidades de aditivo retardante. En todas las gráficas de esta figura se observa una tendencia similar: un incremento en la resistencia a la compresión con los días de curado y un comportamiento muy homogéneo para los 5 lotes de aditivo estudiados. En la figura 4a se aprecia que la resistencia a la compresión de mortero con 2 % de acelerante prácticamente no varía con el uso del aditivo respecto a la resistencia desarrollada por el mortero sin aditivo (figura 3).

La resistencia a la compresión del mortero con 0,4 % de aditivo (figura 4b) es similar a la del mortero sin aditivo al primer día de curado, pero para los demás tiempos de curado esta resistencia se hace superior. En la figura 4c se muestra el comportamiento del mortero con 0,6 % de aditivo; es posible ver que la resistencia disminuye al primer día de curado respecto al mortero sin aditivo, pero a las otras edades de curado las resistencias muestran un aumento con relación al mortero de referencia y al de dosificación de 0,2 %.

En la figura 4d correspondiente al mortero con una dosis de 0,8 % de aditivo retardante, se observa que a los 3 días ya el mortero comenzó a ganar resistencia, y a las demás edades continúa ganando resistencia mostrando valores un poco inferiores a los obtenidos con 0,4 y 0,6 % de aditivo. No se presentan resultados a las 24 horas de curado debido a que esta resistencia fue nula, o sea, no fue detectada por la prensa de medida, ya que con esta cantidad de aditivo la mezcla aún se encontraba en estado fresco.

3.3 Concreto

En la tabla 3 se resumen los resultados de las medidas de asentamiento y temperatura tomadas a

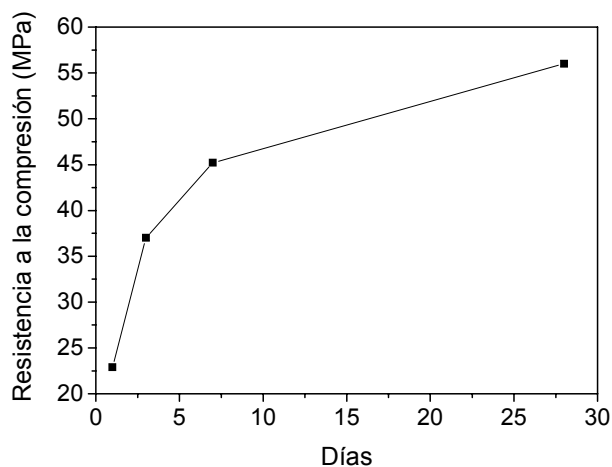


Figura 3. Comportamiento a la compresión del mortero sin aditivo a diferentes días de curado

las mezclas de concreto preparadas en campo, usando una dosificación de 0,4 % del aditivo retardante. Como se puede apreciar, el asentamiento disminuyó de forma muy similar en las tres mezclas de concreto, desde un asentamiento inicial alrededor de 12 cm hasta uno alrededor de 7 cm transcurridos 60 minutos de preparadas las mezclas. Entre la temperatura que se midió en la mezcla de concreto cuando fue preparada y la temperatura medida a los 45 minutos sólo se encontraron diferencias entre 1 y 2 °C; estos resultados son consistentes con los mostrados en la figura 1.

La figura 5 presenta los resultados de los tiempos de F_i y F_f medidos en las pruebas de campo. Como se puede observar la tendencia es similar con los tres lotes de aditivos empleados, encontrándose muy buena reproducibilidad, con una diferencia de 5 horas entre los tiempos de F_i inicial y F_f .

En la figura 6 se muestran los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión de los cilindros realizados, con los tres lotes de aditivo retardante ensayados con dosificación de 0,4 %. Se obtuvieron buenos resultados, es decir, las cantidades empleadas de agregado grueso, agregado fino, cemento, agua y aditivo se utilizan para elaborar un concreto normal de 21 MPa (de acuerdo con la

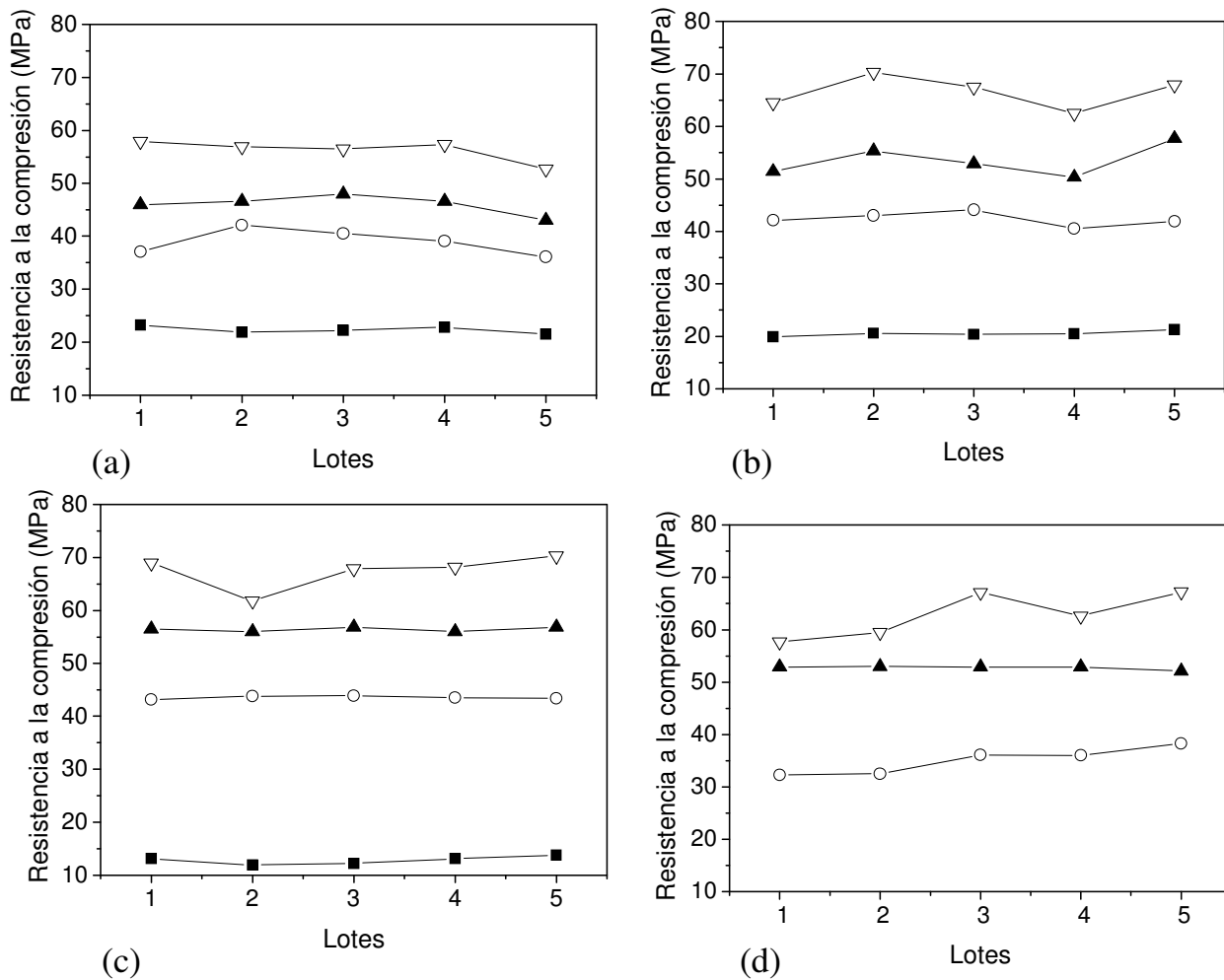


Figura 4. Comportamiento a la compresión de los morteros con diferentes contenidos de aditivo retardante: (a) 0,2 %, (b) 0,4 %, (c) 0,6 % y (d) 0,8 %; a diferentes días de curado ■ 1 día, ○ 3 días, ▲ 7 días y ▽ a los 28 días

Tabla 3. Medidas realizadas en las mezclas de concreto durante las pruebas de campo

Variables medidas	Concreto con aditivo del lote 1	Concreto con aditivo del lote 2	Concreto con aditivo del lote 4
Asentamiento inicial (cm)	12,6	12,0	11,8
15' Asentamiento (cm)	11,5	11,0	11,1
30' Asentamiento (cm)	8,3	8,5	8,2
45' Asentamiento (cm)	7,6	7,5	7,1
60' Asentamiento (cm)	7,4	7,5	7,0
Temperatura ambiente (°C)	27,0	28,0	29,0
Temperatura inicial del concreto (°C)	24,0	26,0	28,0
Temperatura del concreto a los 45 min (°C)	26,0	27,0	29,0

norma sismorresistente colombiana NSR-98) y, como se puede apreciar, la resistencia del concreto para este ensayo es de más o menos 28,5 MPa, superior a la esperada.

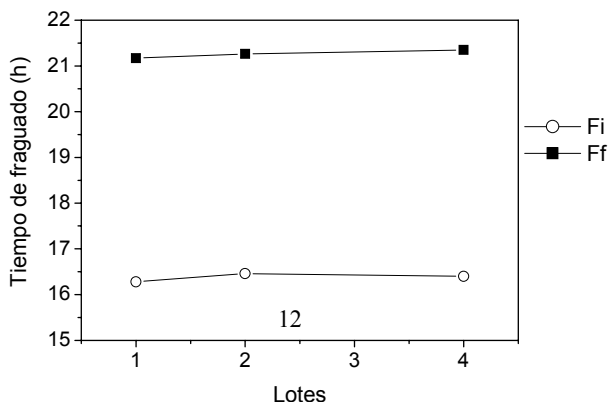


Figura 5. Tiempos de fraguado inicial y final del concreto con 0,4 % de aditivo retardante

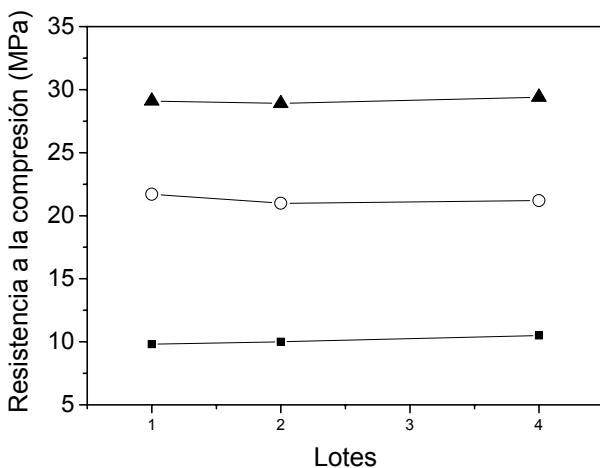


Figura 6. Comportamiento a la compresión del concreto con 0,4 % de aditivo retardante a diferentes días de curado ■ 3 días, ○ 7 días y ▲ 28 días

4. CONCLUSIONES

Se encontró que, con las diferentes dosis de aditivo retardante empleadas, el comportamiento del mortero, lote a lote es similar; para mayor tiempo de fraguado inicial se obtuvieron mayores tiempos

de fraguado final. Las dosificaciones con las que se obtuvieron los mayores tiempos de retardo fueron 0,4 y 0,6 % de aditivo, mientras que con 0,8 % el fenómeno se invirtió, ocurriendo una aceleración del fraguado.

Las propiedades mecánicas del patrón de referencia no se vieron afectadas con la adición de 0,2 % de aditivo retardante, mientras que con las dosificaciones de 0,4 y 0,6 % de este aditivo la resistencia a la compresión mejoró para edades de curado de 3, 7 y 28 días. Con la dosificación de 0,8 % a las edades de 1 y 3 días de curado la resistencia a la compresión disminuyó respecto al mortero sin aditivo, mientras que a los 7 y 28 días se obtuvieron valores levemente superiores. Los resultados de tiempos de fraguado y resistencia a la compresión indican que el aditivo retardante se debe emplear en dosis de 0,4 a 0,6 % para obtener los mejores resultados.

Una dosificación de 3 % de aditivo acelerante prácticamente no disminuye el tiempo de fraguado respecto al mortero sin aditivo, mientras que con dosificaciones de 6, 9 y 12 % disminuye de modo ostensible el tiempo de fraguado, obteniéndose con el 9 % y el 12 % tiempos de fraguado final alrededor de 150 s, en tanto que con 6 % de aditivo se obtuvo un tiempo de fraguado final alrededor de 210 s, lo que sugiere que 6 % es la cantidad óptima para no desperdiciar el aditivo.

REFERENCIAS

1. Altun, İ. A. and Yilmaz, İ. (2002). "Study on steel furnace slags with high MgO as additive in Portland cement". *Cem Concr Res*, vol. 32, pp. 1247-1249.
2. Conjeaud, M.; George, C. M. and Sorrenti, F. D. (1981). "A new steel slag for cement manufacture: mineralogy and hydraulicity". *Cem Concr Res*, vol. 11, pp. 85-102.
3. Demirbaş, A. and Aslan, A. (1998). "Effects of ground hazelnut shell, wood, and tea waste on the mechanical properties of cement". *Cem Concr Res*, vol. 28, pp. 1101-1104.
4. _____ (1999). "Evaluation of lignite combustion residues as cement additives". *Cem Concr Res*, vol. 29, pp. 983-987.



5. Erdoğan, Y.; Genç, H. and Demirbaş, A. (1992). "Utilization of borogypsum for cement". *Cem Concr Res*, vol. 22, pp. 841-844.
6. Erdoğan, Y.; Zeybek, M. S. and Demisrbaş, A (1998). "Cement mixes containing colemanite from concentrator wastes". *Cem Concr Res*, vol. 28, No. 4, pp. 605-609.
7. Gaspar, T. D. *Aditivos, descripción y funciones*. X Curso de Estudios Mayores de la Construcción, Área de Materiales. Instituto Eduardo Torroja, Madrid, 1985.
8. Hamling, J. W. and Krimer, R. W. (1992). "Evaluation of granulated blast furnace slag as a cementitious admixture. A case study". *Cem Concr Aggregates*, vol. 14, No. 1, pp. 13-20.
9. Jasiczak, J. and Zielinski, K. (2006). "Effect on protein additive on properties of mortar". *Cem Concr Compos*, vol. 28, pp. 451-457.
10. Jeknavorian, A. A.; Mabud, M. A.; Barry, E. F. and Litzau, J. J. (1998). "Novel Pyrolysis-gas chromatography/mass spectrometric techniques for the characterization of chemical additives in Portland cement and concrete". *J. Anal Appl Pyrolysis*, vol. 46, No. 2, pp. 85-100.
11. Majko, R. M. and Pistilli, M. F. (1984). "Optimizing the amount of class C fly ash in concrete mixtures". *Cem Concr Aggregates*, vol. 6, No. 2, pp. 105-119.
12. Moropoulou, A.; Bakolas, A. and Anagnostopoulou, S. (2005). "Composite materials in ancient structures". *Cem Concr Compos*, vol. 27, No. 2, pp. 295-300.
13. Schubel, P. J.; Warrior, N. A. and Elliott, K. S. (2008). "Evaluation of concrete mixes and mineral additions when used with controlled permeable formwork (CPF)". *Constr Build Mater*, vol. 22, pp. 1536-1542.
14. Tüfekçi, M.; Demirbaş, A. and Genç, H. (1997). "Evaluation of steel furnace slags as cement additives". *Cem Concr Res*, vol. 27, No. 11, pp. 1713-1717.
15. Wei, L.; Naik, T. R. and Golden, D. M. (1994). "Construction materials made with coal combustion by-products". *Cem Concr Aggregates*, vol. 16, pp. 36-42.