
NOTAS TÉCNICAS

HORMIGON FLUIDIFICADO MEDIANTE ADITIVOS

Juan EGAÑA R.*
Vladimiro VALDES R.*

RESUMEN

Este trabajo incluye los resultados obtenidos en una serie de experiencias con aditivos fluidificantes para hormigón, realizadas en los laboratorios de la Sección Hormigones y Control de Edificación del IDIEM.

En una primera etapa se desarrollaron unos trabajos cuya finalidad estaba orientada a la definición de ciertas condiciones fundamentales para el diseño de mezclas de alta fluidez sin pérdida de docilidad.

Las experiencias definitivas, destinadas a verificar el efecto de fluidificantes, consideraron las siguientes variables: dosis de aditivo -0 -0.5 -1.0 y 1.5%, grado del cemento -corriente y alta resistencia-, dosis de cemento -300 y 400 kg/m³- y proporción de arena -40 y 60% en peso-.

Mediante ensayos comparativos, se verificó la influencia del aditivo sobre la consistencia, sobre la exudación y sobre la resistencia a compresión. También se determinó la duración del efecto fluidificante del aditivo.

INTRODUCCION

El principal requisito exigible al hormigón fresco es su docilidad, la que influye en gran medida en las propiedades fundamentales del hormigón endurecido:

* Investigadores del IDIEM.

resistencia y durabilidad. Por otra parte, dicho requisito determina la cantidad de trabajo necesaria para lograr buena colocación y compactación del hormigón, operaciones indispensables para lograr elementos estructurales bien realizados, sin defectos y al menor costo posible. En la práctica de la construcción muchas veces es difícil lograr la docilidad adecuada para el hormigonado de elementos estrechos, con gran densidad de armaduras y a veces poco accesibles para ser correctamente compactados. Cuando estas dificultades no son resueltas adecuadamente se obtiene como resultado estructuras porosas, con nidos, a veces agrietadas, en suma de calidad dudosa y de feo aspecto, todo lo cual obliga a costosas reparaciones o a demoler, con el consiguiente aumento en el costo de la obra. Para solucionar este tipo de problema, lo más lógico es reducir el tamaño máximo de los áridos, pero muchas veces esta medida resulta insuficiente y, como el problema subsiste, se recurre a lograr mayor fluidez aumentando el agua de amasado. Esta práctica no es buena; desde luego como hay que obtener cierta resistencia, será necesario mantener constante la razón agua cemento calculada y para ello aumentar la dosis de cemento, lo cual implica un mayor costo que probablemente no estaba considerado. Pero este no es el único problema; hay otros realmente graves porque afectan la resistencia y la integridad de las estructuras. En efecto, al aumentar la fluidez o, hablando en términos de asentamiento, al sobrepasar los 12 cm surge el problema de segregación, con lo cual el hormigón pierde su docilidad. Aparte de esto, la estructura de la pasta de cemento resultará más porosa debido a la mayor cantidad de agua en exceso por sobre la necesaria para la hidratación, agua que posteriormente se evaporará materializándose poros en su reemplazo. También se podrá esperar mayor retracción y posibilidad de agrietamientos.

En la década del 60 aparecieron los aditivos llamados fluidificantes (o superplastificantes) que, de acuerdo a los fabricantes, permitirían lograr un enorme aumento de la docilidad del hormigón sin variar la razón agua cemento. Según la literatura existente estos nuevos productos poseen una serie de propiedades que los hacen aptos para lograr hormigones de elevado asentamiento sin que presenten los problemas del hormigón fluido convencional. Aunque el empleo de los fluidificantes obliga a una composición más rigurosa del hormigón para evitar su segregación debido a la gran fluidez que se obtiene, el hormigón fluidificado ha tenido gran auge en Europa y EE.UU. por la economía de la obra de mano que representa y por la disminución del ruido ambiental debido a la menor demanda de energía para compactar. Su aplicación comercial se inició en Japón a fines de la década del 60 y en Alemania Federal a partir de 1972; en los países mencionados se habían elaborado hasta 1976 entre 5 y 6 millones m^3 de hormigón fluidificado¹.

Estos productos que permitirían dar solución a los problemas señalados ya se encuentran en el mercado nacional y el hormigón fluidificado se está empleando en algunas obras. Sin embargo, como suele ocurrir con los productos nuevos, solamente se cuenta con información extranjera que no siempre es aplicable a

nuestra realidad constructiva y a nuestros materiales. Motivados por estas consideraciones, hace algún tiempo hemos iniciado en el IDIEM una serie de experiencias con estos productos, de las cuales ésta forma parte, pensando que pueden ser de utilidad en el campo de la construcción por las proyecciones que el hormigón fluidificado puede alcanzar en nuestro país.

El propósito de estas experiencias consiste en verificar el efecto que ejercen sobre el hormigón los aditivos fluidificantes. Aun cuando es prioritario conocer su efecto sobre la consistencia, es también importante saber de que manera pueden influir sobre otras propiedades del hormigón tales como segregación, exudación y resistencia. Además es necesario averiguar cuál es la duración en el tiempo, de su efecto fluidificante.

ANTECEDENTES

Los fluidificantes constituyen el más avanzado grupo de los aditivos plastificantes. Se les puede definir como un producto químico o una mezcla de diversos productos químicos que añadidos a un hormigón normal aumentan fuertemente su docilidad o permiten una gran reducción del agua de amasado.

Los aditivos fluidificantes se pueden clasificar en cuatro grandes categorías¹:

- A : Condensados de formaldehído melamina sulfonados
- B : Condensados de formaldehído naftaleno sulfonados
- C : Lignosulfonatos modificados
- D : Otros (por ejemplo polihidroxicarboxílicos)

Dentro de cada categoría se pueden encontrar variantes: existen productos con parecida composición química pero de diferente peso molecular, lo que modifica el efecto del aditivo; además, es posible añadir otras sustancias para modificar su comportamiento.

Los fluidificantes muestran, en general, una fuerte capacidad dispersante. En esta propiedad aventajan a los lignosulfonatos y a los plastificantes constituidos por ácido polihidroxicarboxílico. Al observar en el microscopio una suspensión de cemento portland puzolánico y compararla con otra del mismo cemento, pero con aditivo fluidificante, Fig. 1, se aprecia claramente que en la segunda se ha producido una mayor dispersión de las partículas de cemento, las que en la primera suspensión se encuentran aglutinadas.

Existe la teoría que el aditivo es absorbido por los granos de cemento de tal manera que éstos se rechazan unos a otros, debido a que los aditivos son aniónicos y le dan, por consiguiente, carga negativa a las partículas de cemento. En principio, este mecanismo es igual al de los plastificantes aniónicos normales. Se ha comprobado que la cantidad óptima de un aditivo de la categoría A es proporcional a la superficie específica de un hormigón o mortero, lo que refuerza la teoría de la absorción.

Los fluidificantes de las categorías A y B se distinguen de los demás en que casi no disminuyen la tensión superficial del agua. Esto explicaría que con altas adiciones de aditivo no se produzca una incorporación significativa de aire en el hormigón.

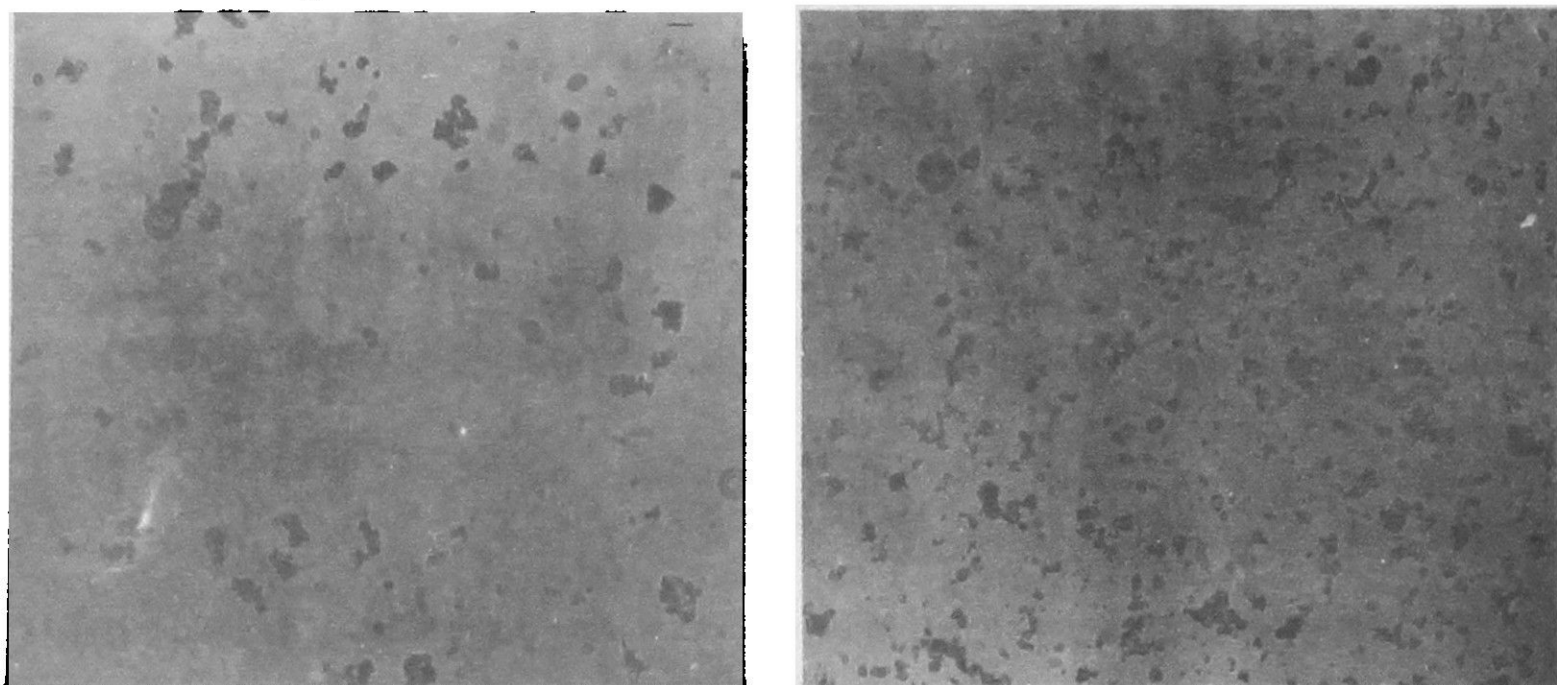


Fig. 1. Microscopía óptica de transparencia de una suspensión de cemento portland puzolánico grado corriente: a) sin aditivo fluidificante y b) con la misma razón agua cemento que la anterior, pero con adición de un fluidificante. 200 X.

TRABAJOS PRELIMINARES

Antes de realizar las experiencias se estimó conveniente llevar a cabo algunos trabajos previos que tenían por finalidad definir condiciones de ejecución de esas experiencias y simplificar las variables a considerar. A partir de los antecedentes disponibles, entre ellos, unas directrices para la confección y colocación del hormigón fluidificado² preparadas en Alemania Federal, se estableció que los hormigones deberían cumplir los siguientes requisitos básicos*.

Contenido de arena de tamaño menor que 1.18 mm, igual o mayor que 23% del peso total de árido³.

- Contenido de partículas menores que 0.300 mm, no inferior que 510 kg/m³.
- Medida de desparramado: Hormigón base, entre 33 y 42 cm; Hormigón fluidificado, no inferior a 50 cm ni superior a 60 cm.
- Visualmente, el hormigón fluidificado no debe perder cohesión ni homogeneidad.

Se resolvió determinar la consistencia de los hormigones mediante tres ensayos simultáneamente: asentamiento (NCh 1019), desparramado (DIN 1048) e índice de compacidad (DIN 1048).

Los materiales empleados fueron: grava de tamaño máximo nominal 20 mm y arena con módulo de finura 2.60, ambos de origen silíceo y de forma

* La terminología aquí empleada, corresponde a la de un trabajo publicado por los mismos autores¹⁶.

mixta; cemento portland puzolánico grado corriente y grado alta resistencia. Como aditivo fluidificante se utilizó un producto a base de condensados de formaldehído naftaleno sulfonados⁴. Con estos materiales se prepararon coladas sin aditivo que sirvieron como hormigón base; a estas coladas se agregó posteriormente el aditivo en dosis de 1.5% respecto del peso de cemento.

Los trabajos realizados en esta etapa y los resultados obtenidos se presentan a continuación.

1. Para fijar la proporción de arena. Se buscó emplear la menor proporción de arena que no produjese segregación en el hormigón fluidificado y que además cumpliera con los requisitos básicos señalados. Para ello se probó con proporciones de 40, 50 y 60% de arena, en peso y con 300 y 400 kg. de cemento por metro cúbico. Los resultados obtenidos se presentan en Tabla I. Se observó que en los hormigones de 300 kg/m³ de cemento, sólo se obtuvo cohesión y homogeneidad al trabajar con 60% de arena (mezcla C-3) y, en hormigones de 400 kg/m³ de cemento, se obtuvieron buenas condiciones con 40% de arena, por lo que no se probaron las otras proporciones. En la Fig. 2 se muestra un hormigón fluidificado C-3, después de efectuado el ensayo de desparramado pudiendo apreciarse claramente que, no obstante su fluidez, mantiene excelentes condiciones de homogeneidad y cohesión.

TABLA I

EFFECTO DE LA PROPORCION DE ARENA SOBRE LA
CONSISTENCIA DE HORMIGONES FLUIDIFICADOS

Mezcla	Arena %	Medidas de consistencia			
		Asentamiento, cm		Indice de compacidad	
		Hormigón base	Hormigón fluidificado	Hormigón base	Hormigón fluidificado
A - 3	40	5	16	1.22	1.09
B - 3	50	5	17	1.16	1.09
C - 3	60	5	21	1.18	1.07
D - 4	40	5	22	1.25	1.00

— En todas las mezclas de hormigón fluidificado, se empleó 1.5% de aditivo.

— Mezclas 3 contienen 300 kg/m³ de cemento; mezcla 4 contiene 400 kg/m³ de cemento.

2. Para establecer la consistencia del hormigón base. Se buscó una consistencia del hormigón base tal que permitiera obtener el máximo efecto fluidificante del aditivo, dentro de los requisitos establecidos. Se preparó una serie de coladas con diferente consistencia entre ellas, obteniéndose los resultados presentados en Tabla II. Puede allí observarse que, en hormigones secos,

mezclas H 0.51 y H 0.56, no se advierte acción fluidificante del aditivo; un ligero efecto se logra al aumentar el agua de amasado del hormigón base, mezclas H 0.58 y H 0.59, pero, al llegar a hormigones base de consistencia plástica, mezclas H 0.61 y H 0.66, se verifica claramente el efecto fluidificante del aditivo. Se desprende de estos resultados que para conseguir el efecto fluidificante del aditivo, el hormigón base debe tener una consistencia plástica, en términos de asentamiento, no menor que 4 cm.

TABLA II

INFLUENCIA DE LA CONSISTENCIA DEL HORMIGON BASE
EN EL EFECTO FLUIDIFICANTE DEL ADITIVO

Mezcla	Medidas de consistencia			
	Asentamiento, cm		Indice de compacidad	
	Hormigón base	Hormigón fluidificado	Hormigón base	Hormigón fluidificado
H 0.51	0.0	0.5	1.36	1.22
H 0.56	0.0	0.5	1.38	1.25
H 0.58	0.0	2.0	1.41	1.23
H 0.59	0.0	6.5	1.27	1.15
H 0.61	2.0	16.0	1.22	1.12
H 0.66	5.0	21.0	1.18	1.07

— Cada mezcla ha sido designada por el valor de su razón agua/cemento.

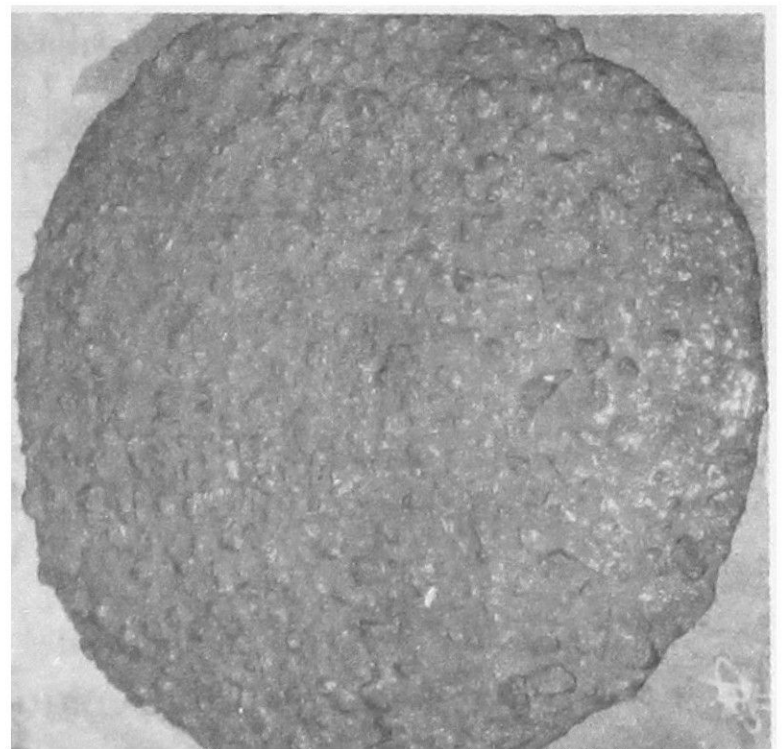


Fig. 2. Hormigón C-3, después del ensayo de desparramado: a) Hormigón base de 6 cm de asentamiento y 36 cm de desparramado. b) El mismo hormigón, pero con 1.5% de aditivo fluidificante 19 cm de asentamiento y 52 cm de desparramado.



EXPERIENCIA DEFINITIVA

Aprovechando los resultados obtenidos en los trabajos preliminares y considerando otros factores, se llegó a establecer las siguientes condiciones para la realización de la experiencia definitiva:

- Tipo de cemento: portland puzolánico, grado corriente y grado alta resistencia.
- Dosis de cemento: 300 y 400 kg/m³.
- Proporción de arena: 60% para dosis 300 kg/m³ de cemento; 40% para dosis 400 kg/m³ de cemento.
- Dosis de aditivo: 0.0 - 0.5 - 1.0 y 1.5, como porcentajes del peso de cemento.

El programa general se presenta en la Tabla III, en donde puede apreciarse las 16 mezclas que incluyen las alternativas propuestas. Cada una de estas mezclas se repitió 5 veces con el fin de tener promedios representativos, de modo que el total de coladas fabricadas fue de 80. A cada una de las coladas se la sometió a las siguientes determinaciones:

TABLA III

PROGRAMA GENERAL DE LA EXPERIENCIA

Mezcla	Aditivo %	Arena %	Cemento	
			kg/m ³	Grado
3C	0.0	60	300	Corriente
	0.5			
	1.0			
	1.5			
4C	0.0	40	400	Corriente
	0.5			
	1.0			
	1.5			
3AR	0.0	60	300	Alta resistencia
	0.5			
	1.0			
	1.5			
4AR	0.0	40	400	Alta resistencia
	0.5			
	1.0			
	1.5			

- El porcentaje de aditivo está referido al peso de cemento.
- El porcentaje de arena está referido al peso del árido total.

- Consistencia, mediante ensayos de asentamiento, desparramado e índice de compacidad.
- Exudación, según procedimiento establecido en la norma ASTM C-232.
- Duración del efecto fluidificante en el tiempo, expresada como pérdida de asentamiento y de desparramado.
- Resistencia a compresión a 3, 7 y 28 días.

1. Efecto fluidificante del aditivo

Los valores obtenidos en las mediciones de consistencia practicadas sobre las diferentes coladas de hormigón fresco, se presentan en la Fig. 3. Los gráficos se han elaborado considerando, para cada caso, el promedio de 5 coladas.

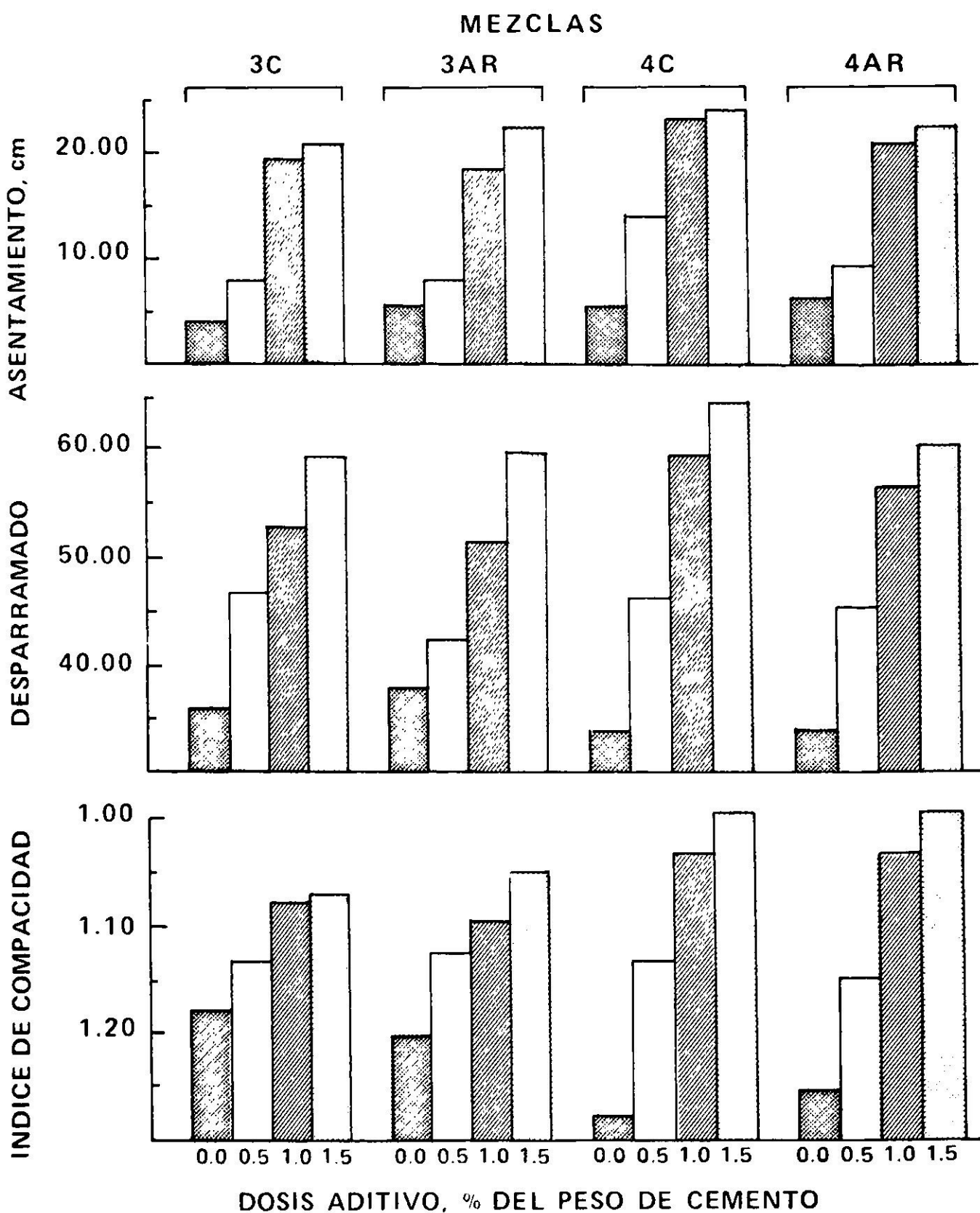


Fig. 3. Efecto del aditivo fluidificante sobre la consistencia del hormigón.

Puede observarse muy claramente que el aditivo ejerce un notable efecto sobre la docilidad, y que es proporcional a la dosis empleada. Esto queda demostrado por los tres ensayos realizados. Los mayores incrementos de docilidad, que corresponden a hormigón fluidificado, se han logrado con dosis de aditivo entre 1.0 y 1.5%. Aparentemente, la dosis de cemento empleada no influye significativamente en el efecto que comentamos.

2. Influencia del aditivo sobre la exudación

Este ensayo se efectuó según el método A de la norma ASTM C-232. Las coladas se fabricaron y mantuvieron a temperatura ambiente de $20^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante todo el ensayo. El agua exudada se empezó a remover a los 20 minutos, prosiguiendo después con la extracción a intervalos de 30 minutos hasta que cesó la exudación. Los resultados obtenidos se presentan en la Fig. 4.

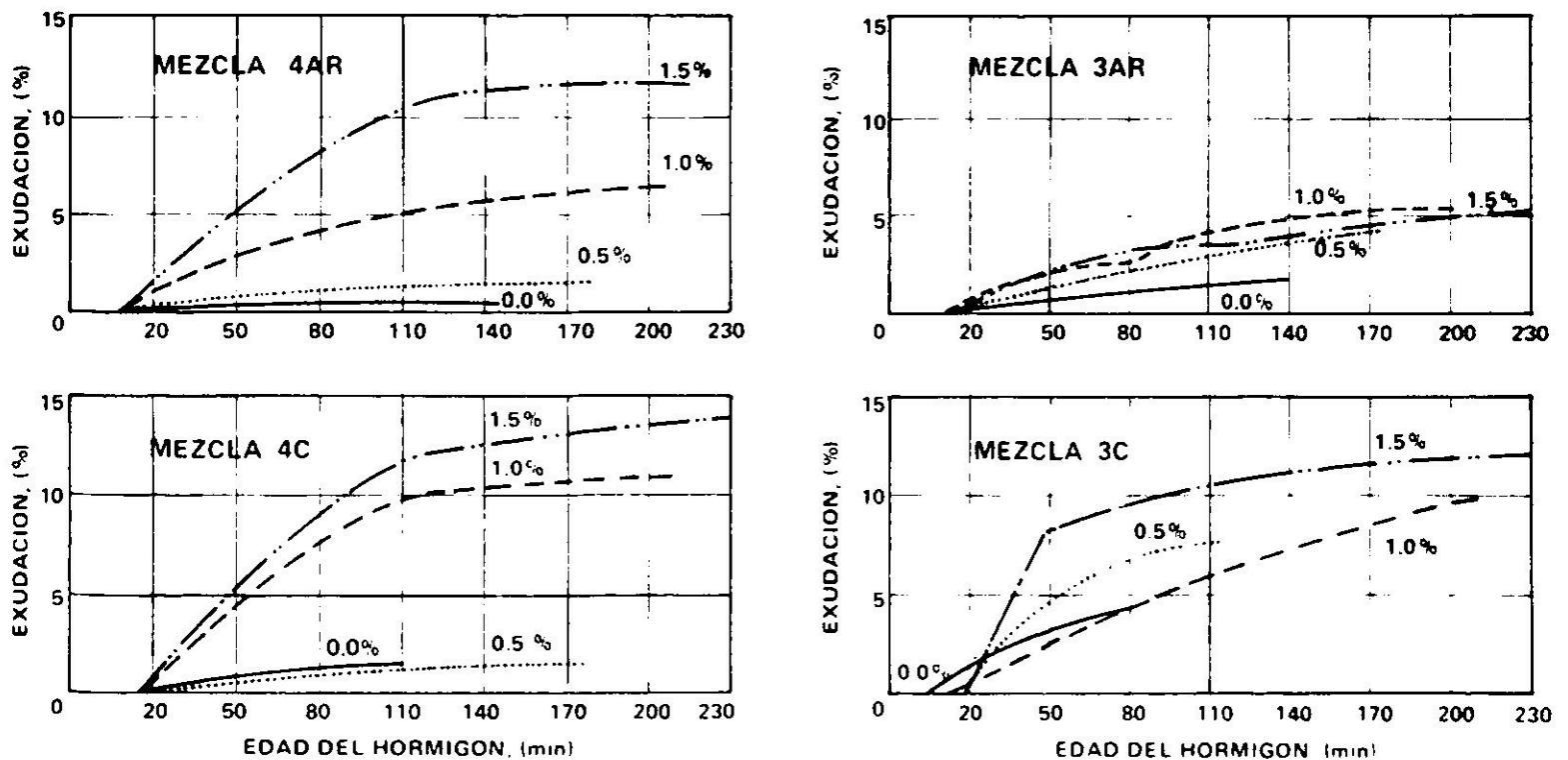


Fig. 4. Exudación acumulada en función del tiempo. Hormigones con diferentes dosis de aditivo fluidificante.

En general, se observa que en las mezclas con aditivo fluidificante, el agua de exudación acumulada ha resultado ser mayor que en las mezclas sin aditivo. Este efecto es proporcional a la dosis de aditivo empleada y se produce entre 20 y 230 minutos, siendo más pronunciada hasta aproximadamente 110 minutos.

3. Duración del efecto fluidificante del aditivo

La verificación de la duración del efecto fluidificante del aditivo sobre el hormigón fresco se realizó bajo condiciones de laboratorio, vale decir, a temperatura de $20^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Después de amasado, el hormigón, cuya temperatura se mantuvo entre 17 y 19°C , se dejó en reposo dentro de una carretilla, protegido con una lámina plástica. Cada 30 minutos se le remezclaba a pala y se hacían mediciones

de su asentamiento y de su desparramado. Los resultados obtenidos se ilustran en la Fig. 5.

Para evaluar la duración del efecto, se ha considerado que éste ha terminado cuando la docilidad del hormigón con aditivo ha decrecido hasta llegar a la que tenía la mezcla correspondiente sin aditivo, al salir de la betonera. En los gráficos puede observarse que la duración del efecto es proporcional a la dosis de aditivo empleada: con 0.5% de aditivo la duración se extendió entre 30 y 60 minutos; con 1.0%, alcanzó entre 60 y 90 minutos y con 1.5% se obtuvo una duración entre 90 y 120 minutos. La excepción estuvo constituida por las mezclas con 300 kg/m^3 de cemento corriente, que perdieron su efectividad entre 120 y 150 minutos.

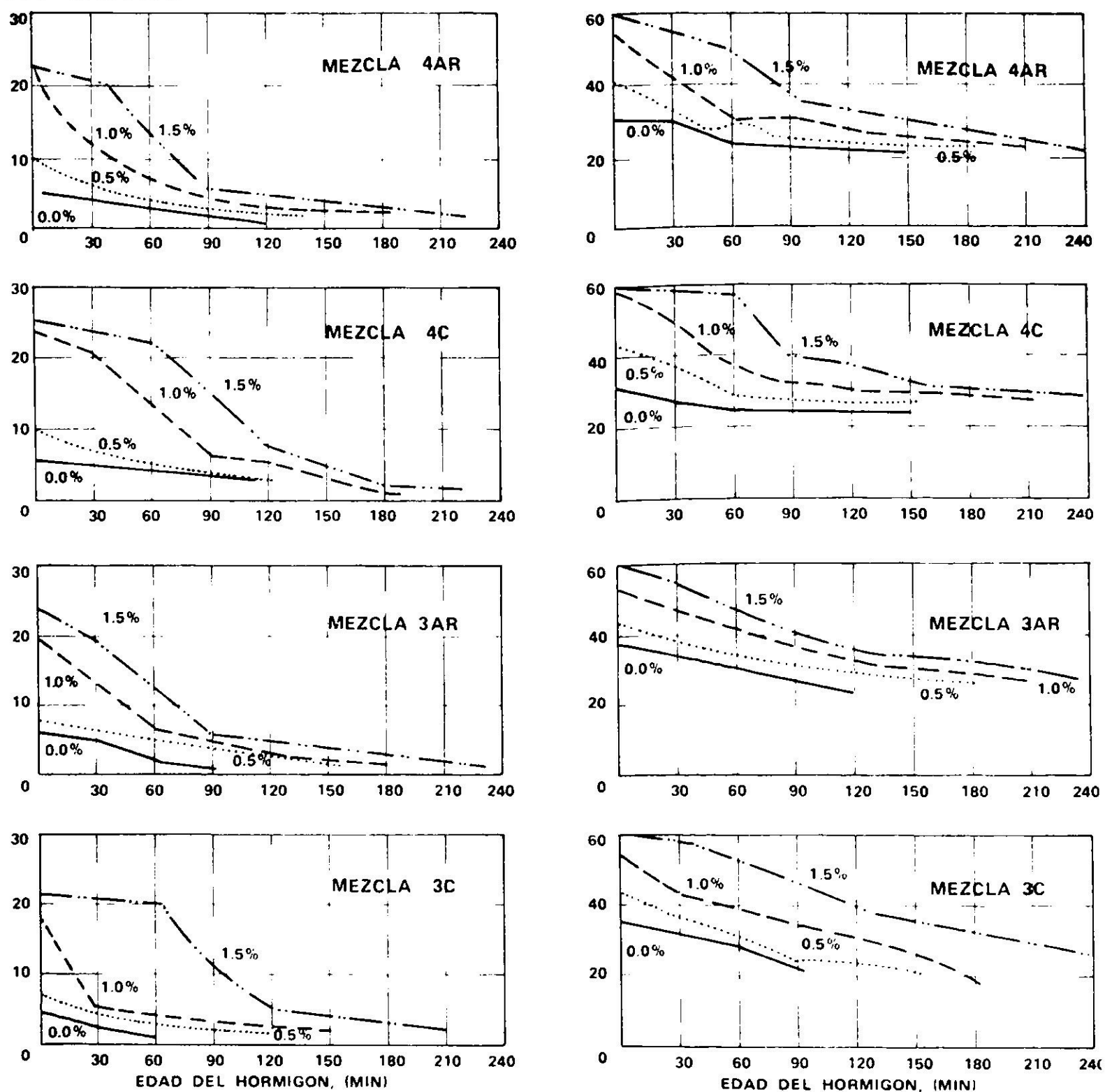


Fig. 5. Duración del efecto fluidificante, expresada como asentamiento y desparramado. Hormigones con diferente dosis de aditivo.

Aun cuando la verificación se realizó en ambiente de laboratorio, a temperatura probablemente diferente a las que se encuentran en terreno, estimamos que,

como la temperatura del hormigón fresco no sufre variaciones significativas, los resultados obtenidos pueden considerarse válidos y aplicables a las condiciones normales de obra. Por otra parte cabe señalar que, a los factores que influyen en la pérdida de docilidad: tiempo, evaporación y combinación del agua con el cemento, habría que agregar la absorción de los áridos, que se emplearon en estado seco.

4. Efecto del aditivo en la resistencia a compresión

Con el hormigón de cada una de las coladas fabricadas se prepararon probetas cúbicas con el objeto de determinar su resistencia a compresión. Estas probetas se mantuvieron en curado bajo agua hasta la fecha de ensayo. Estos se realizaron a 3, 7 y 28 días de edad. Los resultados obtenidos se presentan en la Fig. 6 como resistencias relativas referidas a las mezclas sin aditivo. Allí puede observarse que, en general, el aditivo fluidificante no influye significativamente en la resistencia a compresión inicial ni final. Las diferencias encontradas, siempre en general, podrían atribuirse a las dispersiones normales del hormigón.

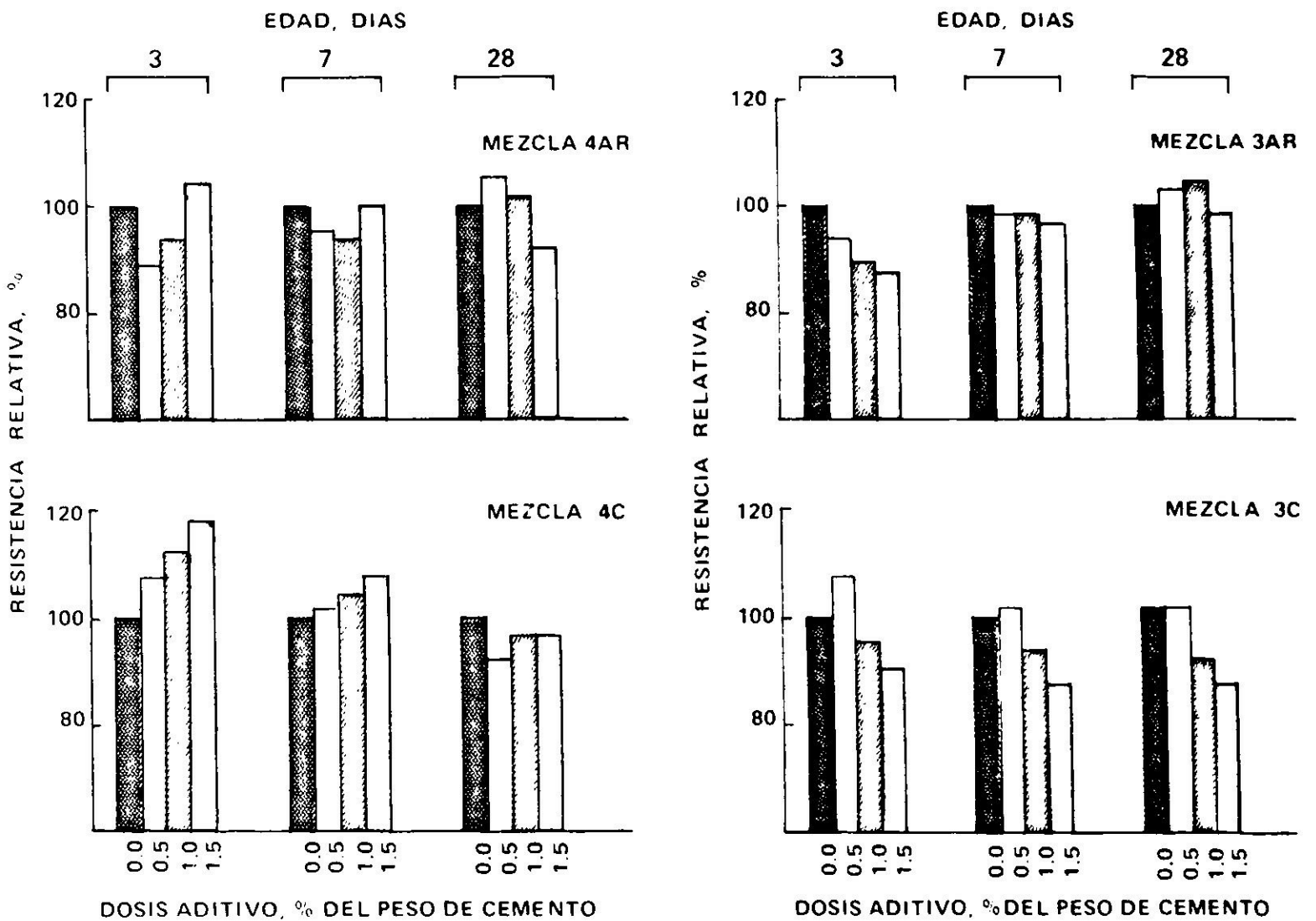


Fig. 6. Efecto del aditivo fluidificante sobre la resistencia a compresión del hormigón.

CONCLUSIONES

Finalizada la experiencia, se ha estimado que los resultados obtenidos permiten extraer algunas conclusiones que contribuirían a un conocimiento más cabal en

relación con la utilización de los aditivos fluidificantes en el medio nacional. Estas conclusiones están reforzadas con los resultados obtenidos en otras experiencias que se han realizado en este Instituto con aditivos fluidificantes de diferentes marcas comerciales.

A medida que el hormigón aumenta su docilidad, haciéndose fluido, es cada vez mayor el riesgo de segregación. Por lo tanto, en hormigones fluidificados, para prevenir dicho inconveniente, sus componentes sólidos deben tener un contenido de finos bajo el tamiz de 0.300 mm no inferior que 510 kg/m^3 para tamaño máximo nominal de 20 mm. Obviamente, estos finos incluyen partículas de la arena y la totalidad del cemento.

El aditivo debe incorporarse a un hormigón base de consistencia plástica, cuyo asentamiento debe ser mayor que 3 cm. Con hormigones menos plásticos, en la práctica no se logra el efecto fluidificante aun cuando se aumente la dosis de aditivo.

Con una adecuada composición del hormigón, al emplear dosis de aditivo entre 0.5 y 1.5% referido al peso de cemento, es posible lograr un considerable aumento de docilidad, manteniendo constante la razón agua/cemento. A partir de un hormigón base de consistencia plástica, se puede obtener un hormigón de consistencia muy fluida sin que se produzca segregación, obteniéndose que los mejores resultados se logran con dosis entre 0.5 y 1.0%. Con dosis menores que 0.5%, se produce un ligero aumento de docilidad, pero sin llegar a fluidificar.

Al emplear aditivo fluidificante se produce un incremento de la exudación del hormigón en forma proporcional a la dosis añadida. En general, esta exudación se produce con mayor intensidad entre 20 y 110 minutos, continuando en forma más lenta hasta aproximadamente 230 minutos.

Aparentemente, la mayor exudación se debería a la fuerte capacidad dispersante del aditivo que, al actuar sobre las partículas de cemento, favorecería una mayor acomodación de la masa de hormigón, vale decir, se tendría una mayor sedimentación y, en paralelo, una mayor migración de agua hacia la superficie.

Por último, es de suponer que en la práctica de obra, la exudación sería bastante menor que la obtenida en esta experiencia. En efecto, el hecho de extraer cada cierto tiempo el agua que se va depositando en la superficie, tal como se hizo la determinación, indudablemente favorece el incremento de la exudación, cosa que en terreno sólo ocurriría al presentarse una evaporación muy intensa y continua.

El efecto fluidificante del aditivo sobre el hormigón tiene una duración limitada. Bajo un régimen de temperatura constante de $20^\circ \pm 2^\circ\text{C}$, la duración del efecto es proporcional a la dosis de aditivo empleada: con 0.5% de aditivo la duración puede estimarse como máxima en 30 minutos, con 1.0% es del orden de 60 minutos y con 1.5% llega aproximadamente a los 90 minutos.

Esta limitación debe tenerse muy en cuenta en la faena de hormigonado ya que una vez perdida la docilidad es muy difícil recuperarla. Para aminorar este

inconveniente, es recomendable añadir el aditivo lo más tardíamente posible, ojalá, poco antes de la descarga de la betonera.

La utilización de aditivos fluidificantes no ejerce influencia significativa en las resistencias del hormigón aun cuando el hormigón resulte muy fluido. Esto se debe a que el aditivo lleva a cabo su acción fluidificante sin modificar la razón agua cemento del hormigón ni incorporar aire.

Considerando que el hormigón fluidificado constituye una tecnología nueva en nuestro país, es conveniente contar con directrices que reglamenten su fabricación y colocación.

REFERENCIAS

1. SIKA A.G. *Sikament Information*, n° 1, año 1977.
2. FORSCHUNGSINSTITUT DER ZEMENT-INDUSTRIE, Richtlinien für die Herstellung und Verarbeitung von Fließbeton. *Beton*, septiembre 1974.
3. NORMA NCh 163-79, Anexo B. Aridos para morteros y hormigones requisitos generales.
4. BURGE, T. Sika y la evolución de la tecnología del hormigón. *Revista Sika Informa. Informe* n° 11-3.
5. DIN 1045. Beton und Stahlbetonbau. enero 1972.
6. DIN 1048. Prüfverfahren für Beton. enero 1972.
7. ASTM C-232. Standard method of test for bleeding of concrete.
8. HEWLETT, P. y RIXOM, R. Concreto superfluidificado. *Revista IMCYC*, n° 86, mayo - junio 1977.
9. MELMENT, L-10. Aplicaciones en el hormigón. *Informe de SKB Trostberg*.
10. KERN, E. y Koch, H.J. Empleo de hormigón fluido. Traducción de la revista *Beton und Stahlbetonbau*, n° 12, diciembre 1976.
11. KIESLER, R.E. Flowing Concrete *Concrete Construction*, enero 1972.
12. BONZEL, J. y SIEBEL, E. Fließbeton und seine Anwendungsmöglichkeiten. *Betontechnische Berichte*, 1974.
13. AIGNESBERGER, A. y TAMBOUR, A. Hormigón fluido - Preparación y aplicación. *Revista Cemento - Hormigón*, n° 397, abril 1978, Barcelona, España.
14. ORTEGA GARCÉS, A. Modificaciones en la reología del concreto fresco a través de Sikament. *Revista Cemento - Hormigón*, n° 559, junio 1980.
15. NEVILLE, A.M. *Properties of Concrete*. Inglaterra, 1963.
16. VALDES, V. y EGAÑA, J. Fluidificantes como reductores de agua en el hormigón. *Revista del IDIEM*, vol. 21, n° 1, 1982.

HIGH FLOWING CONCRETE WITH SUPERPLASTICIZERS

S U M M A R Y

Superplasticizers form a new category of chemical admixtures. They have recently been introduced in our country to make concrete of extreme workability.

This report presents the performance of a superplasticizer used in Chile in concretes with different cement dosages and cement types.

Workability and its subsequent loss with time, bleeding and compressive strength of flowing concrete have been determined.