

FLUIDIFICANTES COMO REDUCTORES DE AGUA EN EL HORMIGON

Vladimiro VALDES R.*
Juan EGAÑA R.*

RESUMEN

En este artículo se presentan los resultados de los trabajos experimentales realizados con un aditivo fluidificante de formulación nacional al ser aplicado como reductor de agua, en diferentes proporciones, sobre hormigones de distintas dosis y tipos de cemento.

Se verifica la cantidad de agua que es posible disminuir sin que la mezcla pierda docilidad, la duración del efecto del aditivo y se determinan los aumentos de resistencias a 1, 3, 7 y 28 días que se logran como consecuencia de la menor razón agua cemento empleada.

Los resultados obtenidos indican que el aditivo no incorpora aire, que actúa como acelerador al aumentar la velocidad de endurecimiento del hormigón y que es aplicable a la fabricación de hormigones de altas resistencias o de hormigones corrientes, con significativas economías de cemento.

INTRODUCCION

El agua añadida al hormigón cumple diversas misiones; la más importante es la hidratación del cemento, pero también desempeña la función de lubricante, dando al hormigón la docilidad requerida. La cantidad de agua necesaria para la hidratación del cemento es relativamente pequeña y todo el exceso está

* Investigadores del IDIEM

destinado a conseguir docilidad. Este exceso de agua, aunque necesario, tiene algunas consecuencias desfavorables: influye en el tiempo de fraguado del cemento y origina la formación de poros en el hormigón endurecido al evaporarse. Pero la consecuencia más decisiva del aumento de agua es la influencia negativa ejercida sobre la resistencia del hormigón.

Según la ley de Abrams la resistencia del hormigón decrece con gran rapidez al aumentar la razón agua cemento; podría pensarse entonces que para elaborar un hormigón de buenas propiedades resistentes bastaría con emplear una razón agua cemento baja. Sin embargo, ocurre que, generalmente, un hormigón así elaborado presenta una consistencia seca y exige una compactación intensa y cuidadosa, condiciones que no siempre es posible cumplir, obteniéndose entonces hormigones porosos y poco resistentes. Este problema es mayor aun cuando la exigencia de ciertas obras tiende a los hormigones denominados de alta resistencia, a los cuales se recurre cada vez con mayor frecuencia. Estos últimos ofrecen una amplia gama de aplicaciones en la construcción de edificios, elementos pretensados etc. donde, con hormigones 2 o 3 veces más resistentes que los corrientes, se pueden reducir las secciones o la cantidad de acero de refuerzo, lo que permite construir obras más esbeltas, más audaces y más económicas. La industria del prefabricado y pretensado requiere actualmente de hormigones con resistencias elevadas; en la construcción del puente Willows de Toronto y en algunos edificios dentro del área de Chicago, USA, se usó hormigón de 700 kgf/cm^2 .

Nos parece conveniente definir lo que se entiende por hormigones de alta resistencia. En realidad, la división entre los corrientes y los de alta resistencia, por lo menos en nuestro país, no es clara y cualquier intento por hacerla sería subjetivo. Kenneth J. Saucier¹ considera tres niveles para los hormigones de alta resistencia:

- a) de 500 a 10 000 psi (350 a 700 kgf/cm^2)
- b) de 10 000 a 15 000 psi (700 a 1050 kgf/cm^2) y
- c) un nivel novedoso de resistencias superiores a 15 000 psi.

Considerando la clasificación citada y la realidad de nuestro medio, pensamos que, para los efectos de este trabajo, la denominación de hormigones de alta resistencia debe incluir a aquellos cuya resistencia sobrepasa los 350 kgf/cm^2

Hasta hace pocos años, no se lograban hormigones de resistencias superiores al nivel a). Sin embargo, esta barrera ha podido ser superada mediante una cuidadosa selección de los materiales y métodos de construcción y en la medida que se desarrollen nuevas técnicas y aparezcan nuevos y mejores materiales, el límite superior puede realmente no existir. En otras palabras, a nuevas necesidades se desarrollarán nuevas técnicas.

Para fabricar un hormigón de buena calidad se deben considerar varios aspectos. Para un mejor ordenamiento de las consideraciones que es necesario tomar en cuenta, conviene indicar previamente las diferentes formas de ruptura

de las probetas sometidas a los esfuerzos de compresión: la probeta puede fallar por el árido, por la unión entre árido y la pasta de cemento (adherencia) y por la pasta de cemento hidratado.

La falla del hormigón se produce en el árido solamente en los niveles muy altos de resistencia, porque los áridos que se usan comúnmente tienen resistencias a compresión altas, es decir, cubren normalmente las exigencias de los hormigones. Para optimizar las características de los áridos hay que considerar también su forma, textura y tamaño máximo. Son más apropiados los áridos chancados que los rodados por su mayor adherencia con la pasta de cemento y en cuanto al tamaño máximo pareciera que las más altas resistencias se consiguen con áridos que no superan 1" (25.4 mm)². Por ello, no es aconsejable el uso de áridos de formas redondeadas para la producción de hormigones de alta resistencia. La superficie de los áridos debe estar limpia y libre de cualquier material pulverulento que pueda perjudicar la adherencia. En algunos casos será necesario lavar los áridos para eliminar este inconveniente.

La ruptura de la pasta es el caso más frecuente de falla del hormigón y justamente este trabajo está orientado a este aspecto. La pasta se compone de cemento hidratado y aire. Mientras más resistente es esta pasta, de mayor calidad es el hormigón resultante. Por lo tanto, para mejorar la calidad del hormigón es preciso optimizar los diferentes factores que pueden afectar la resistencia de la pasta de cemento.

Cemento

La elección del cemento es de suma importancia porque el éxito de la operación depende, en gran medida, de su poder ligante. La cantidad de cemento debiera ser elevada, pero no debe exceder de ciertos límites. Mucho cemento puede causar problemas, por el alto desprendimiento de calor durante la hidratación, que afecta a la resistencia final del hormigón y origina retracciones que se traducen en grietas. Se ha intentado reducir la cantidad de cemento agregando cenizas volantes, que reducen los efectos del calor liberado y de las retracciones, pero este recurso siempre disminuye la resistencia del hormigón.

Agua de amasado

Hemos indicado que la cantidad de agua añadida al hormigón debiera ser mínima, de manera que la razón agua cemento no supere el rango de 0.28 a 0.30. Este hormigón, de consistencia muy seca, empero no es trabajable. El empleo de un plastificante, que no permite grandes reducciones del agua de amasado, presenta el inconveniente de incorporar aire, lo que reduce el volumen real del hormigón que resiste los esfuerzos de compresión.

El la década del 60 aparecieron los aditivos fluidificantes que son una evolución de los plastificantes y que actualmente se usan, en gran escala, en Europa y en USA. Estos aditivos fueron ideados originalmente para aumentar enormemente la docilidad del hormigón, pero al igual que los plastificantes pueden ser aplicados para lograr grandes reducciones del agua de amasado, sin pérdida de docilidad.

Pensando en ello, se desarrolló este trabajo que estudia la aplicación de estos aditivos, ya no como fluidificantes sino que como reductores de agua. Al respecto, existen antecedentes de que con estos aditivos sería posible fabricar hormigones con razones agua cemento de sólo 0.28 y asentamientos del orden de 20 cm. En Japón se habrían logrado resistencias a compresión cercanas a los 1000 kgf/cm² con el uso de estos productos³.

EXPERIENCIA

El propósito de este trabajo es verificar el comportamiento de un aditivo fluidificante al ser empleado como reductor del agua de amasado en hormigones, con lo cual sería posible disminuir la razón agua cemento de un determinado hormigón, sin que este pierda docilidad.

Con razones agua cemento bajas sería factible el logro de hormigones de alta resistencia, tanto iniciales como finales, sin que ello signifique mayores energías de compactación. En la producción de hormigones de resistencia corriente, el uso de aditivos reductores de agua podría significar una disminución en los costos al conseguirse la misma resistencia con menor cantidad de cemento. Por la menor porosidad de la pasta de cemento se obtendrían hormigones más resistentes a los ataques químicos o atmosféricos, todo lo cual significa mayor durabilidad.

Para cuantificar en qué medida es posible cumplir con los objetivos señalados se investigó experimentalmente sobre los puntos que se exponen a continuación.

- Reducción del agua de amasado, y por consiguiente de la razón agua cemento, mediante la incorporación de diferentes dosis de aditivo, manteniendo la docilidad.
- Limitaciones del tiempo disponible para el transporte y colocación del hormigón con aditivo y menor razón agua cemento.
- Influencia del aditivo, empleado como reductor de agua, sobre las resistencias a compresión del hormigón, e
- Incorporación de aire por efecto del aditivo.

En la fabricación de los hormigones se trabajó con áridos silíceos y de forma mixta, procedentes de una de las plantas elaboradoras de Santiago. Dichos materiales son bastante homogéneos y muy empleados en nuestro medio. Se utilizó tres tamaños nominales de áridos: grava de 40 - 20 mm, gravilla de 20 - 5 mm y arena de 5 mm.

Se emplearon cementos del tipo portland puzolánico grado *corriente* y grado *alta resistencia*, ambos de uso normal en la zona central del país.

Como aditivo reductor de agua se empleó un fluidificante a base de condensados de formaldehído naftaleno sulfonados⁴ de formulación nacional, que era el único disponible en el mercado al iniciarse este trabajo y cuyas

características son las siguientes

Estado	Líquido
color	café oscuro
peso específico	1.2
valor pH	6.3
temperatura de empleo	5°C hasta 35°C

En el programa de ensayos se usó una misma marca comercial de cemento en sus grados corriente y alta resistencia, en tres dosis diferentes: 300, 400 y 500 kg/m³.

El aditivo reductor de agua se usó en dosis de 0.0, 1.0, 2.0 y 3.0% en peso del cemento.

La proporción de árido fino, bajo 5 mm, fue de 38% en peso del árido total.

Este programa dio lugar a 24 mezclas diferentes cuyas designaciones y características se presentan en el cuadro que va a continuación.

Cemento kg/m ³	Aditivo %	Denominación mezclas	
		Cementos corriente	Cementos alta resistencia
300	0.0	00 - 3C	00 - 3AR
	1.0	10 - 3C	10 - 3AR
	2.0	20 - 3C	20 - 3AR
	3.0	30 - 3C	30 - 3AR
400	0.0	00 - 4C	00 - 4AR
	1.0	10 - 4C	10 - 4AR
	2.0	20 - 4C	20 - 4AR
	3.0	30 - 4C	30 - 4AR
500	0.0	00 - 5C	00 - 5AR
	1.0	10 - 5C	10 - 5AR
	2.0	20 - 5C	20 - 5AR
	3.0	30 - 5C	30 - 5AR

ENSAYOS Y RESULTADOS

Reducción del agua de amasado en función de la dosis de aditivo

Se fabricaron coladas según el programa general, a las cuales se agregó aditivo en diferentes dosis, previamente mezclado con el agua de amasado. En forma experimental se determinó para cada caso la cantidad posible de agua a reducir, sin que el hormigón perdiera docilidad.

La consistencia de los hormigones se midió con los ensayos de asentamiento y desparramado, estableciéndose para todas las coladas un asentamiento de 6 ± 1 cm y un desparramado de 35 ± 2 cm, valores que corresponden aproximadamente a hormigones de docilidad corriente.

En la Fig. 1 se presenta gráficamente el agua de amasado que es posible

reducir para diferentes cantidades de aditivo, manteniendo la docilidad del hormigón.

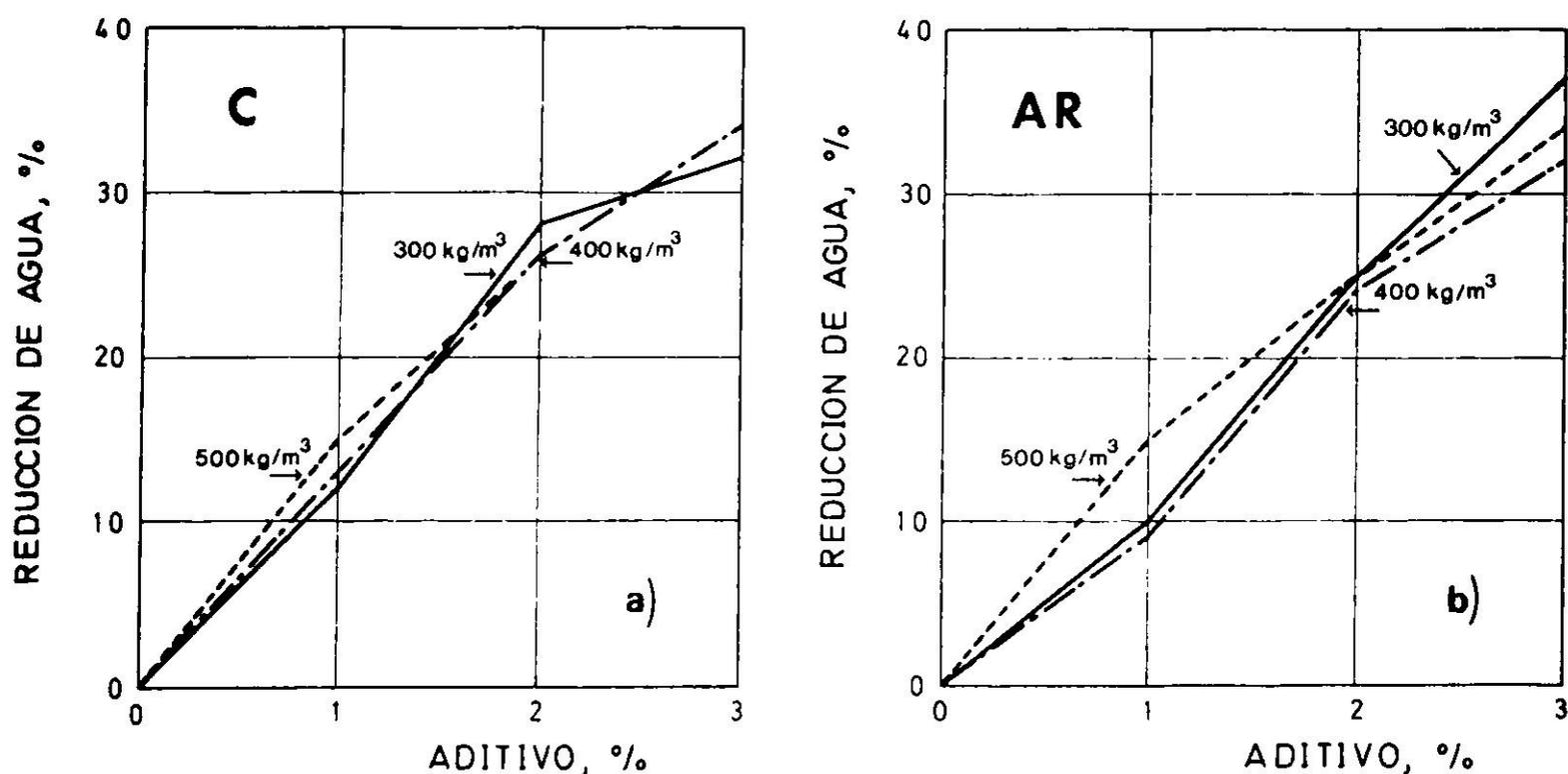


Fig. 1. Reducción del agua de amasado de hormigones con diferentes dosis de cemento, en función del aditivo añadido: a) Hormigones de cemento Portland puzolánico corriente y b) Hormigones de cemento Portland puzolánico alta resistencia.

De los resultados obtenidos se observa que al añadir aditivo fluidificante es posible lograr fuertes reducciones del agua de amasado, manteniendo el hormigón su docilidad. La reducción supera, en general, al 9% con dosis de 1% de aditivo, al 24% con dosis de 2% de aditivo y al 32% con dosis no inferiores a 3% de aditivo; aparentemente la dosis o tipo de cemento no tienen influencia significativa en la reducción del agua.

Las notables reducciones alcanzadas hicieron posible llegar a obtener hormigones con razón agua cemento 0.29, sin que perdieran docilidad. En la Tabla I se anotan las razones agua cemento necesarias para obtener igual docilidad con los diferentes porcentajes de aditivos.

TABLA I

RAZONES AGUA CEMENTO DE LOS HORMIGONES
PREPARADOS CON IGUAL DOCILIDAD

Dosificación	0.0	1.0	2.0	3.0
300 C	0.54	0.48	0.39	0.37
400 C	0.43	0.37	0.32	0.29
500 C	0.43	0.37	0.32	0.29
300 AR	0.54	0.49	0.41	0.34
400 AR	0.43	0.39	0.33	0.29
500 AR	0.43	0.37	0.32	0.29

Duración del efecto del aditivo reductor de agua

Los aditivos fluidificantes presentan limitaciones en cuanto a la duración de su efecto en el hormigón fresco y el conocimiento de ellas es importante para conocer el tiempo disponible para el transporte y colocación del hormigón.

Para este ensayo se fabricaron coladas según el programa establecido y con los porcentajes de reducción del agua de amasado indicados en Fig. 1. La pérdida de docilidad se verificó mediante los ensayos de asentamiento e índice de compacidad, medidos a diferentes intervalos de tiempo. El hormigón se mantenía en reposo en un depósito cubierto con láminas de polietileno y antes de cada ensayo se hacía un remezclado a pala. Se trabajó a temperatura ambiental del laboratorio ($20 \pm 2^{\circ}\text{C}$). En obra las temperaturas ambiente normalmente son diferentes de las señaladas, pero si la temperatura del hormigón fresco no experimenta variaciones significativas, estimamos que los resultados pueden ser válidos y aplicables en faenas de hormigonado.

En los gráficos de las Figs. 2 y 3 se muestra la variación que experimenta la docilidad de las diferentes coladas fabricadas, en función del tiempo transcurrido.

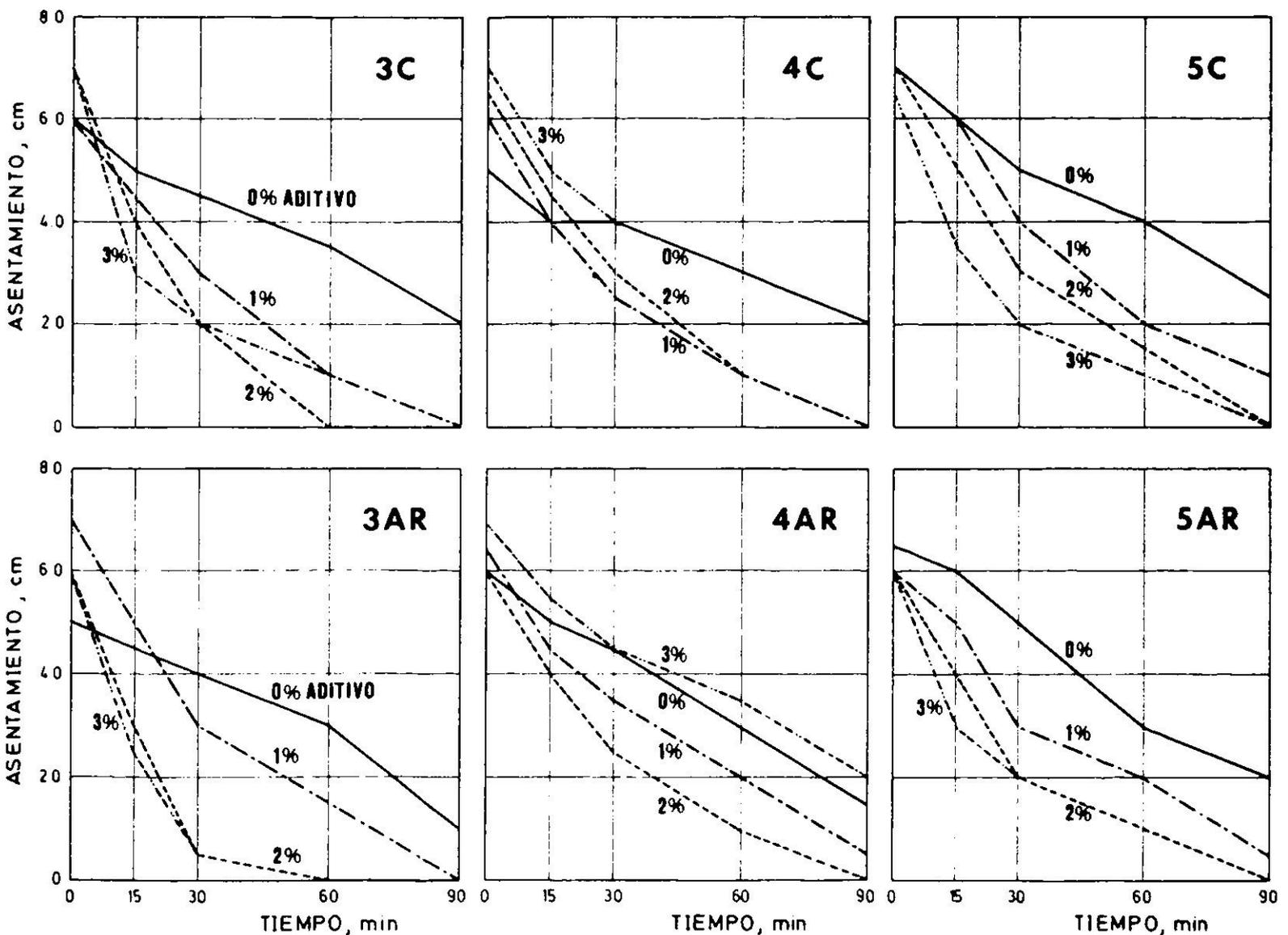


Fig. 2. Asentamiento de hormigones con aditivo reductor de agua en función del tiempo transcurrido.

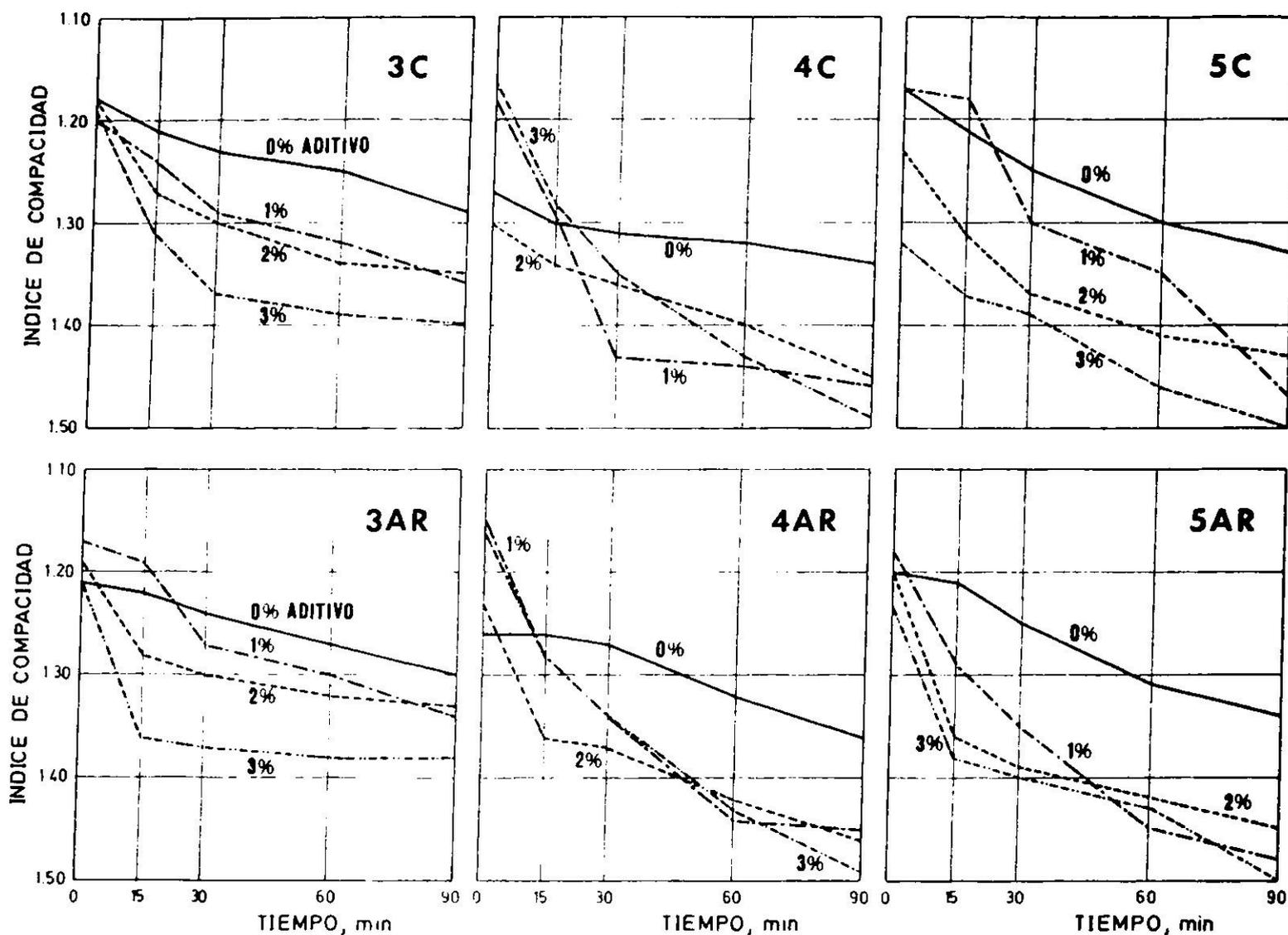


Fig. 3. Índice de compactad de hormigones con aditivo reductor de agua en función del tiempo transcurrido.

Se observó que, en general, el hormigón con aditivo reductor de agua experimenta una fuerte pérdida de su docilidad en los primeros 30 minutos. Esta pérdida es más notoria con las dosis más altas de aditivo, es decir, cuanto menor sea su razón agua cemento.

Como los áridos se emplearon en estado seco, lo que en alguna medida debe contribuir a la pérdida de docilidad del hormigón, es de suponer que en obra, donde los áridos casi siempre se aplican en estado húmedo, la duración del efecto del aditivo será más prolongada. La humedad contenida en sus poros no participa como agua de amasado y, por lo tanto, la razón agua cemento no aumentará, permaneciendo válido el juicio sobre las resistencias elevadas.

Influencia del aditivo en las resistencias a compresión

En la Fig. 4 se presentan los resultados de resistencias de hormigones confeccionados con la reducción de agua establecida para cada dosis de aditivo.

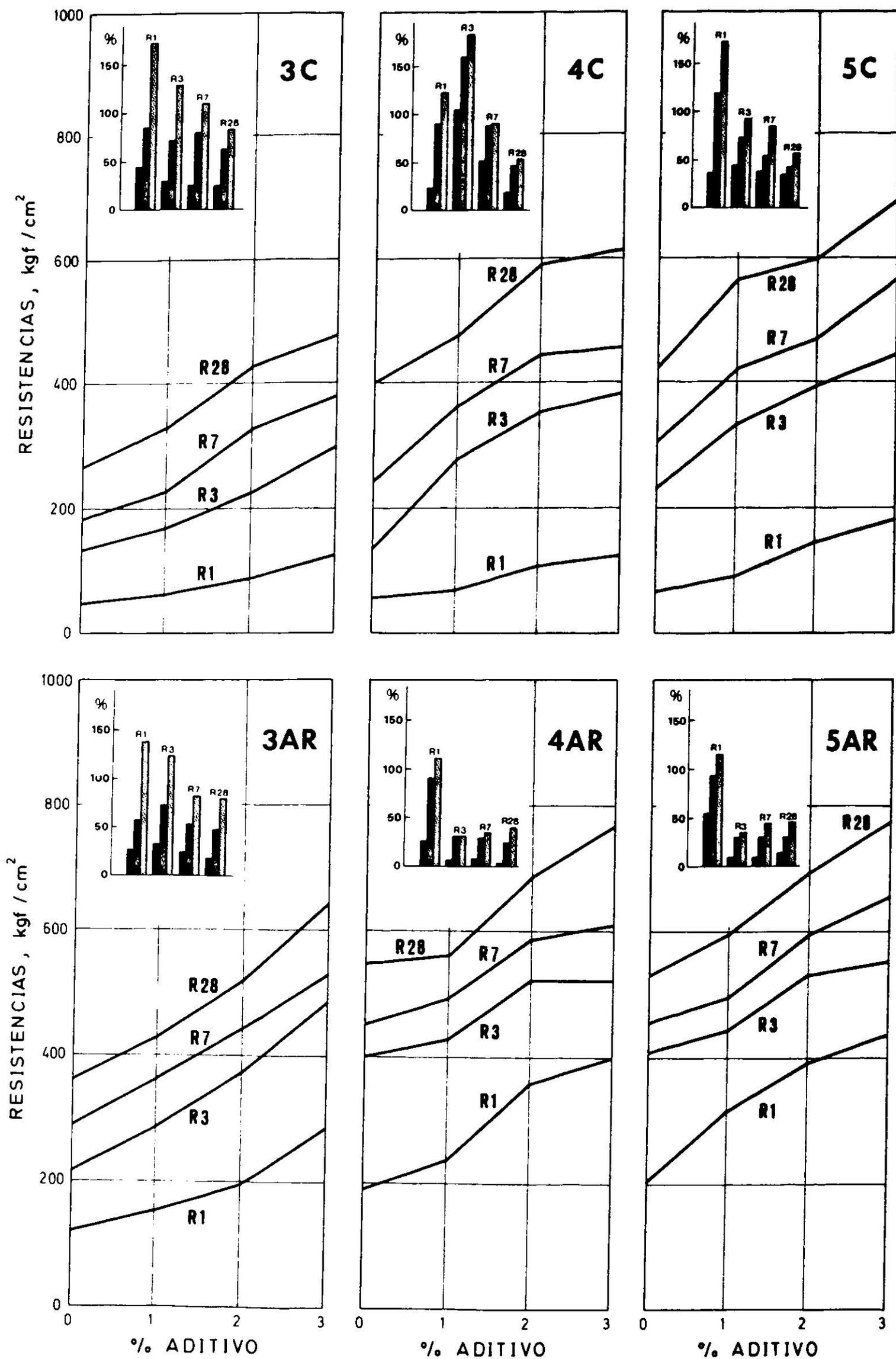


Fig. 4. Resistencias obtenidas con aditivo reductor de agua a distintas fechas. R1, a 1 día; R3, a 3 días; R7, a 7 días; y R28, a 28 días. Los diagramas de barra presentan los incrementos relativos de resistencia con respecto a los obtenidos con hormigones sin aditivo. ■ 1% de aditivo, ▨ 2% de aditivo, ▩ 3% de aditivo.

Se confeccionaron 8 probetas cúbicas de 15 cm de arista para ensayar 2 probetas compañeras a 1, 3, 7 y 28 días de edad. Las probetas permanecían al aire durante 24 horas en las condiciones ambientales de laboratorio y cubiertas con láminas de polietileno. Posteriormente se desmoldaban y mantenían bajo agua, a temperatura controlada de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ hasta el día de su ensayo.

En la figura anterior están representadas las resistencias a compresión obtenidas a 1, 3, 7 y 28 días correspondientes a todas las series fabricadas. También se muestran los incrementos relativos de resistencia por coladas, tomando como base las resistencias de los hormigones sin aditivo, por medio de gráficos de barras.

De los resultados obtenidos se desprende que con la incorporación del aditivo fluidificante, que permite una apreciable reducción de la razón agua cemento sin mayor energía de compactación, se logran altas resistencias tanto iniciales como a 28 días, cumpliéndose en general con la ley de Abrams. Estas resistencias superaron, en algunos casos, en 100% a las obtenidas con el hormigón sin aditivo a tempranas edades. A 28 días este aumento no fue tan espectacular, pero en todo caso superior al 50% para hormigones con cemento corriente y al 40% cuando se empleó cemento de alta resistencia.

Reducción de la dosis de cemento

La economía de cemento que puede lograrse con el uso del aditivo, se aprecia gráficamente en Fig. 5. Se han ajustado rectas que correlacionan las resistencias obtenidas con 300 kg/m^3 de cemento, con las diferentes dosis de aditivo empleadas, a distintas edades. Las rectas horizontales dibujadas corresponden a las resistencias obtenidas con la dosis de 500 kg/m^3 , sin aditivo.

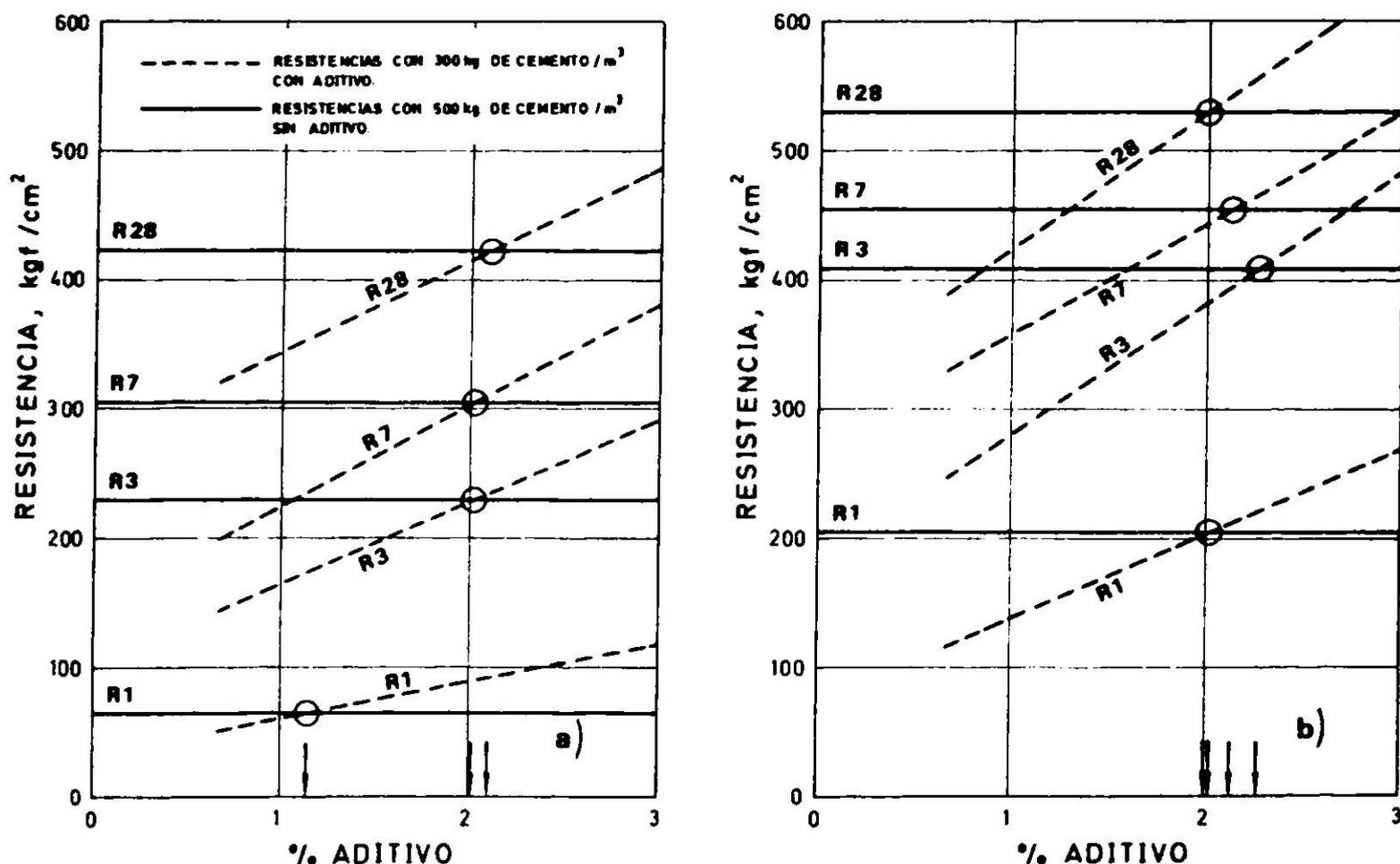


Fig. 5. Reducción de la cantidad de cemento en función de la dosis de aditivo. a) Para cemento puzolánico corriente. b) Para cemento de alta resistencia.

Se observa que, independientemente del tipo de cemento empleado, añadiendo un 2% de aditivo se pueden lograr en algunos casos reducciones de hasta el 40% de cemento.

Incorporación de aire

La medición del contenido de aire de las coladas fabricadas indicaron que al emplear aditivo reductor de agua no se produce una incorporación significativa de aire en el hormigón de menor razón agua cemento, pero de similar consistencia. El aire aportado por el aditivo fue proporcional a la dosis de aditivo añadida, no superando en ningún caso el 1%.

CONCLUSIONES

El empleo del aditivo fluidificante como reductor de agua permite reducir fuertemente la cantidad del agua de amasado manteniendo la docilidad del hormigón. Esta reducción puede superar el 32% al agregar un 3% de aditivo y, como consecuencia, se logra una notable reducción de la razón agua cemento. Es posible obtener hormigones de consistencia plástica con razones agua cemento de 0.29 para dosis de cemento no inferiores a 400 kg/m^3 y de 0.34 para dosis de cemento no inferiores a 300 kg/m^3 .

El empleo del mencionado aditivo permite obtener notables aumentos de resistencias, no sólo a los 28 días sino también en las primeras edades del hormigón, aumentos que son proporcionales a la dosis de aditivo; a 1 día el incremento de resistencia con 1% de aditivo es mayor que 23% y con 3% supera el 100%. A los 28 días de edad, con 1% de aditivo se obtienen incrementos relativamente bajos, pero, con 3% de aditivo, esos incrementos superan el 50% al usar cemento corriente y el 40% cuando se emplea cemento de alta resistencia.

Como se consiguen iguales resistencias con menor dosis de cemento, es posible obtener una significativa economía de aglomerante, que puede llegar al 40%, independientemente del tipo de cemento que se emplee.

El hormigón con aditivo experimenta una apreciable pérdida de docilidad en los primeros 30 minutos, la que es más acentuada con dosis altas de aditivo. Este inconveniente, que limita el tiempo de transporte y colocación del hormigón, seguramente podría disminuirse si se prepararan hormigones de mayor docilidad (con asentamientos superiores a 10 cm), aunque ello va en desmedro de la resistencia.

Para aminorar la desventaja que significa la duración limitada del efecto del aditivo, es recomendable añadirlo lo más tardíamente posible, ojalá, poco antes del vaciado de la hormigonera. Sin embargo, se logra una mejor docilidad si el aditivo se mezcla previamente con el agua de amasado.

El aditivo no incorpora cantidades significativas de aire y, como consecuencia de la mejor compactación y menor razón agua cemento, deben lograrse hormigones de mayor durabilidad.

BIBLIOGRAFIA

1. SAUCIER, K.L. High-strength concrete, past, present, future. *Concrete International*, junio 1980.
2. NEVILLE, A. *Properties of concrete*. Pitman Publishing, Inglaterra 1963.
3. AITCIN, P.C. How to produce high strength concrete. *Concrete Construction*, vol. 25, n° 3, 1980.
4. BURGE, T. Sika y la evolución de la tecnología del hormigón. *Revista Sika informa*, n° 11-3.
5. SKW. *Melment, aplicaciones en el hormigón*. Folleto de la SKW.
6. ALBINGER, J. y MORENO, J. High-strength concrete, Chicago style. *Concrete Construction*, vol. 26, n° 3, 1981.
7. KIESLER, R. Flowing concrete. *Concrete Construction*, enero 1979.
8. GHOSH y MALHOTRA. Use of superplasticizers as water reducers. *Cement, concrete and aggregates*, vol. 1, n° 2, 1979.
9. HEWLETT, P. RIXOM, R. Concreto fluidificado. *Revista IMCYC*, vol. 15, n° 86, 1977.
10. BONZEL, J. SIEBEL, E. El hormigón fluido y sus posibilidades de aplicación. *Betontechnische Berichte*, 1974.
11. BONZEL, J. Frühhochfester Beton mit Fließmittel für Verkehrsflächen. *Beton*, n° 10, 1977.
12. FORSCHUNGSINSTITUT DER ZEMENTTINDUSTRIE. Richtlinien für die Herstellung und Verarbeitung von Fließbeton. *Beton*, n° 9, 1974.
13. DAHMS, J. Beton hoher Frühfestigkeit. *Betonwerk + Fertigteil - Technik*, n° 6, 1974.
14. KLUG, P. Verformungsverhalten von Beton mit Fließmitteln. *Beton*, n° 5, 1979.
15. LUKAS, W. Nachdosieren von Fließmittel bei Betonen. *Beton + Fertigteil - Technik*, n° 3, 1981.
16. DIN 1045. *Beton und Stahlbetonbau*, enero 1972.
17. DIN 1048. *Prüfverfahren für Beton*, enero 1972.
18. ARCOS, C. Desarrollo de la resistencia a compresión a primeras edades en hormigones de alta resistencia. *Revista del IDIEM*, vol. 17, n° 3, 1978.

SUPERPLASTICIZERS AS CONCRETE WATER REDUCING AGENTS

SUMMARY

This paper describes the performance of a superplasticizer made in Chile, used as water-reducing admixture in concrete with different cement content and two cement types.

The amount of water reduction for constant workability, the loss of slump with time and the increase in compressive strengths at ages of 1, 3, 7 and 28 days were determined.

The test results show that the superplasticizer used accelerates early strength development producing high-strength concrete with important cement saving. The air content does not increase compared with the values for the reference concrete.

ANEXO

La terminología que se propone a continuación, tiene aplicación exclusiva a este trabajo. Se ha incluido en vista de que hasta ahora no existe una terminología clara con respecto al hormigón fluidificado mediante aditivos.

Consistencia

Trabazón y coherencia de la masa fresca del hormigón, que se puede medir indirectamente mediante los ensayos de asentamiento (NCh 1019), de desparramado (DIN 1048) o de compacidad (DIN 1048). Este concepto forma parte importante de la serie de características que tienen que ver con la docilidad del hormigón.

Se define en términos relativos tales como consistencia seca, plástica, blanda o fluída.

Docilidad

Facilidad del hormigón fresco para ser transportado, colocado y compactado sin que se produzca segregación (corresponde a la definición dada por la norma NCh 1019-of.74).

Aditivo plastificante

Producto químico que al ser incorporado al hormigón fresco le permite aumentar su docilidad dentro del rango de consistencia plástica; o bien, reducir su cantidad de agua de amasado sin pérdida de docilidad.

Aditivo fluidificante

Producto químico que al ser incorporado al hormigón fresco le permite aumentar fuertemente su docilidad, variando su consistencia de plástica a fluída; o bien, permite reducir enormemente su cantidad de agua de amasado, sin que pierda su docilidad.

Hormigón base

Hormigón fresco de una determinada composición y consistencia, a partir del cual es producido un hormigón de mayor docilidad por incorporación de un aditivo.

Hormigón fluido

Hormigón fresco que mediante la adición de agua adquiere una consistencia fluida, perdiendo sus características de docilidad.

Hormigón fluidificado

Hormigón fresco de una determinada composición que, mediante la incorporación de un aditivo, adquiere una consistencia fluida sin perder sus características de docilidad y sin aumentar su razón agua cemento.

Índice de compacidad

Valor absoluto que indica el grado de consistencia de un hormigón y que se obtiene a través del ensayo de compacidad, establecido en la norma DIN 1048.

Desparramado

Medida, en cm, que indica la extensión media que alcanza un hormigón después de finalizado el ensayo de desparramado según la norma DIN 1048.