

Capítulo 6

Aditivos para Concreto

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado (Fig. 6-1). Los aditivos se pueden clasificar según sus funciones, como sigue:

1. Aditivos incorporadores de aire (inclusores de aire)
2. Aditivos reductores de agua
3. Plastificantes (fluidificantes)
4. Aditivos aceleradores (acelerantes)
5. Aditivos retardadores (retardantes)
6. Aditivos de control de la hidratación
7. Inhibidores de corrosión
8. Reductores de retracción
9. Inhibidores de reacción álcali-agregado
10. Aditivos colorantes
11. Aditivos diversos, tales como aditivos para mejorar la trabajabilidad (manejabilidad), para mejorar la adherencia, a prueba de humedad, impermeabilizantes, para lechadas, formadores de gas, anti-deslave, espumante y auxiliares de bombeo.

La Tabla 6-1 muestra una clasificación mucho más amplia de los aditivos.

El concreto debe ser trabajable, fácilmente acabado, fuerte, durable, estanco y resistente al desgaste. Estas calidades se las puede obtener fácil y económicamente con la selección de los materiales adecuados, preferiblemente al uso de aditivos (a excepción de los inclusores de aire cuando son necesarios).

Las razones principales para el uso de aditivos son:

1. Reducción del costo de la construcción de concreto;
2. Obtención de ciertas propiedades en el concreto de manera más efectiva que otras;
3. Manutención de la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colado (colocación) y curado en condiciones de clima adverso;



Fig. 6-1. Aditivos líquidos, de la izquierda hacia la derecha: aditivo anti-deslave, reductor de retracción, reductor de agua, agente espumante, inhibidor de corrosión y incorporador de agua. (IMG12188)

4. Superación de ciertas emergencias durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado;

A pesar de estas consideraciones, se debe observar que ningún aditivo de cualquier tipo o en cualquier cantidad se lo puede considerar como un sustituto de las buenas prácticas de construcción.

La eficiencia de un aditivo depende de factores tales como: tipo, marca y cantidad del material cementante; contenido de agua; forma, granulometría y proporción de los agregados; tiempo de mezclado y temperatura del concreto.

Los aditivos para uso en concreto deben cumplir con las especificaciones, como se presenta en la Tabla 6-1. Las mezclas que se van a ensayar, se las deben producir con los aditivos y materiales usados en la obra en la temperatura y humedad previstas para la obra. De esta manera, se puede observar la compatibilidad de los aditivos y de los materiales de la obra, bien como los efectos de los aditivos sobre las propiedades del concreto endurecido. Se debe usar la

Tabla 6-1. Aditivos de Concreto Según su Clasificación

Tipo de Aditivo y Normas	Efecto Deseado	Material
Acelerador	Acelerar el tiempo de fraguado y el desarrollo de la resistencia temprana	Cloruro de calcio, (ASTM D 98 and AASHTO M 144) trietanolamina, tiocianato de sodio, formiato de calcio nitrito de calcio, nitrato de calcio
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo C), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NMX-C-255, NMX-C-356, NTC 1299 (tipo C), NTP 334.088		
Adherencia	Aumentar la resistencia de adherencia	Cloruro polivinilo, acetato polivinilo, acrílicos, copolímeros de butadienoestireno
Aditivo para Lechada	Ajustar las propiedades de la lechada para aplicaciones específicas	Consulte los aditivos inclusores de aire, aceleradores, retardadores y reductores de agua
Agente Espumante	Producir concreto ligero y concreto celular con baja densidad	Surfactantes catiónicos o aniónicos Proteína hidrolizada
Anti-deslave	Aumentar la cohesión del concreto para su colocación bajo agua	Celulosa, polímero acrílico
A Prueba de Humedad	Retrasar la penetración de humedad en el concreto seco	Jabones de estearato de calcio o amonio u oleato Estearato butilo Productos de petróleo
Auxiliar de bombeo	Mejorar las condiciones de bombeo	Polímeros orgánicos y sintéticos Floculantes orgánicos Emulsiones orgánicas de parafina, alquitrán, asfalto, acrílicos Bentonita y sílice pirogénica Cal hidratada (ASTM C 141)
Colorante	Producir concreto coloreado	Negro de humo modificado, óxido férrico, tierra de sombra, óxido de cromo, óxido de titanio y azul cobalto
ASTM C 979, NMX-C 313, NTC 3760		
Control de Hidratación	Suspender y reactivar la hidratación del cemento con un estabilizador y un activador	Ácidos carboxílicos Sales de ácidos orgánicos conteniendo fósforo
Formador de gas	Causar expansión antes del fraguado	Polvo de aluminio
Fungicida, germicida e insecticida	Inhibir o controlar el crecimiento de bacterias y hongos	Fenoles polihalogenados Emulsiones de dieldrin Compuestos de cobre
Impermeabilizantes	Disminuir la permeabilidad	Látex Estearato de calcio
Inclusores (incorporador) de Aire	Mejorar la durabilidad en los ambientes sujetos a congelación-deshielo, sales, sulfatos y ambientes álcali reactivos Mejorar la durabilidad	Sales de resinas de madera (resina vinsol) Algunos detergentes sintéticos Sales de lignina sulfonatada Sales de ácidos de petróleo Sales de material protaináceo Ácidos grasos y resinosos y sus sales Sulfonatos de alquilbenceno Sales de hidrocarburos sulfonatados
ASTM C 260, AASHTO M 154, COVENIN 0357, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NGO 41069, NMX-C-200, NTC 3502, NTP 334.089, NGO 41016		
Inhibidor de reacción álcali-agregado	Reducir la expansión por reactividad álcali-agregado	Sales de bario, nitrato de litio, carbonato de litio, hidróxido de litio
Inhibidor de Corrosión	Reducir la corrosión del acero en ambientes con alta concentración de cloruros	Nitrito de calcio, nitrito de sodio, benzoato de sodio, ciertos fosfatos y fluosilicatos, fluoaluminatos, esteramina
Purgador de aire (reductor de aire)	Disminuir el contenido de aire	Fosfato tributilo, ftalato dibutilo, alcohol octilo, ésteres insolubles en ácidos carbónico y bórico, silicones
Reductor de agua	Reducir en hasta 5% el contenido de agua	Lignosulfonatos Ácido carboxílico hidroxilato Carbohidratos (también tienden a retardar el fraguado, entonces normalmente se añade un acelerador)
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo A), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NMX-C-255, NTC 1299, NTP 334.088		

Tabla 6-1. Aditivos de Concreto Según su Clasificación (Continuación)

Tipo de Aditivo y Normas	Efecto Deseado	Material
Reductor de agua y acelerador	Reducir en hasta 5% el contenido de agua y acelerar el fraguado	Véase reductor de agua (se añade acelerador)
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo E), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NMX-C-255, NTC 1299, NTP 334.088		
Reductor de agua y retardador	Reducir en hasta 5% el contenido de agua y retardar el fraguado	Véase reductor de agua (se añade retardador)
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo D), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NMX-C-255NTC 1299, NTP 334.088		
Reductor de agua de alto rango	Reducir en hasta 12% el contenido de agua	Véanse superplastificantes
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo F), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NTC 1299, NTP 334.088,		
Reductor de agua de alto rango y retardador	Reducir en hasta 12% el contenido de agua y retardar el fraguado	Véanse superplastificantes y reductores de agua
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo G), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NTC 1299, NTP 334.088		
Reductor de agua de medio rango	Reducir el contenido de agua de 6% a 12% sin retardo del fraguado	Lignosulfonatos Policarboxilatos
Reductor de contracción	Disminuir la contracción por secado	Éter alquil polioxialkileno Propileno glicol
Retardador	Retardar el tiempo de fraguado	Lignina Bórax Azúcares Ácido tartárico y sales
ASTM C 494, AASHTO M 194 (tipo B), COVENIN 0356, IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NMX-C-255, NTC 1299 (tipo B), NTP 334.088		
Superplastificante	Aumentar la fluidez del concreto Disminuir la relación agua-cemento	Formaldehído condensado de melamina sulfonato Formaldehído condensado de naftaleno sulfónico Lignosulfonatos Policarboxilatos
ASTM C 1017 (tipo 1), IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NTC 4023 (tipo F), NTP 334.088		
Superplastificante y Retardador	Aumentar la fluidez del concreto con tiempo de fraguado retardado Disminuir la relación agua-cemento	Véanse superplastificantes y reductores de agua
ASTM C 1017 (tipo 2), IRAM 1663, NCh2182.Of1995, NTC 4023 (tipo G)		

cantidad de aditivo recomendada por el fabricante o la cantidad óptima determinada por los ensayos de laboratorio.

ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE

Los aditivos inclusores de aire (incorporadores de aire) se usan para introducir y estabilizar, de propósito, burbujas microscópicas de aire en el concreto. El inclusor de aire mejora considerablemente la durabilidad de concretos expuestos a ciclos de congelación-deshielo (hielo-deshielo) (Fig. 6-2). El aire incorporado mejora la resistencia del concreto al descascaramiento de la superficie causado por el uso de productos descongelantes (anticongelantes) (Fig. 6-3). Además, también se mejora la trabajabilidad del concreto fresco y se reducen o eliminan tanto la segregación como el sangrado (exudación).

El concreto con aire incluido contiene diminutas burbujas de aire distribuidas uniformemente por toda la pasta de cemento. Se puede producir el aire incorporado en

el concreto a través del uso de cemento con inclusor de aire, de aditivos inclusores de aire o de la combinación de ambos métodos. Un cemento con inclusor de aire es un cemento portland con adiciones de inclusor de aire, las cuales se muelen conjuntamente con el clinker durante la fabricación del cemento. Por otro lado, el aditivo incorporador de aire se lo adiciona directamente a los materiales del concreto antes o durante el mezclado.

Los ingredientes básicos usados en los aditivos incorporadores de aire se listan en la Tabla 6-1, bien como sus especificaciones y los métodos de ensayo. Además de aquellas normas hay también la ASTM C 233 (AASHTO M 154 y T 157) y la COVENIN 0355. Los inclusores de aire usados en la producción del cemento con inclusor de aire deben cumplir con la ASTM C 226. Los requisitos de los cementos con inclusor de aire se presentan en la ASTM C 150 y AASHTO M 85. Para más información, consulte el Capítulo 8, Concretos con Aire Incluido, Klieger (1996) y Whiting y Nagi (1998).

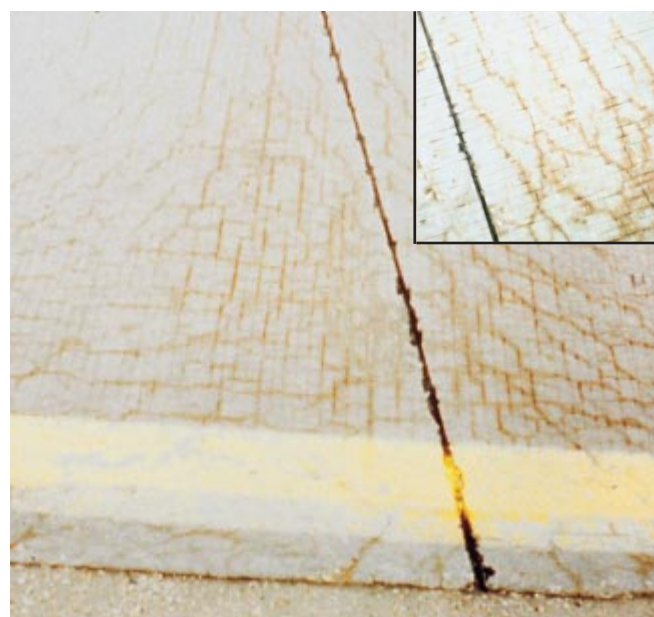


Fig. 6-2. Daños causados por la congelación (fragmentación) en la juntas de un pavimento (superior), fisuración por congelación inducida cerca de las juntas (inferior) y ampliación de la vista de las fisuras (foto menor, en la parte interna). (IMG12417, IMG12416, IMG12415)

ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA

Los aditivos reductores de agua se usan para disminuir la cantidad de agua de mezcla necesaria para la producción de un concreto con un revenimiento (asentamiento) específico, para reducir la relación agua-cemento, para disminuir el contenido de cemento y para aumentar el revenimiento. Los reductores de agua típicos disminuyen el contenido de agua aproximadamente del 5% al 10%. La adición al concreto del aditivo reductor de agua sin la reducción del contenido de agua puede producir una mezcla con mayor



Fig. 6-3. Descascaramiento del concreto resultante de una carencia de aire incorporado, uso de descongelantes y prácticas inadecuadas de acabado y curado. (IMG12414)

revenimiento. Sin embargo, la tasa de pérdida de revenimiento no se disminuye y en algunos casos se aumenta (Fig. 6-4). La pérdida rápida de revenimiento resulta en reducción de la trabajabilidad y en menos tiempo para la colocación del concreto.

Con los aditivos reductores de agua normalmente se obtiene un aumento de la resistencia porque se disminuye la relación agua-cemento. En concretos con los mismos contenidos de cemento y de aire y revenimiento (asentamiento), la resistencia a los 28 días de un concreto conteniendo un reductor de agua (y reducción de la cantidad de agua) puede ser del 10% al 25% mayor que la resistencia de un concreto sin aditivo. A pesar de la reducción del contenido de agua, los aditivos reductores de agua pueden aumentar la retracción por secado (contracción por desecación). Normalmente, el efecto del aditivo reductor de

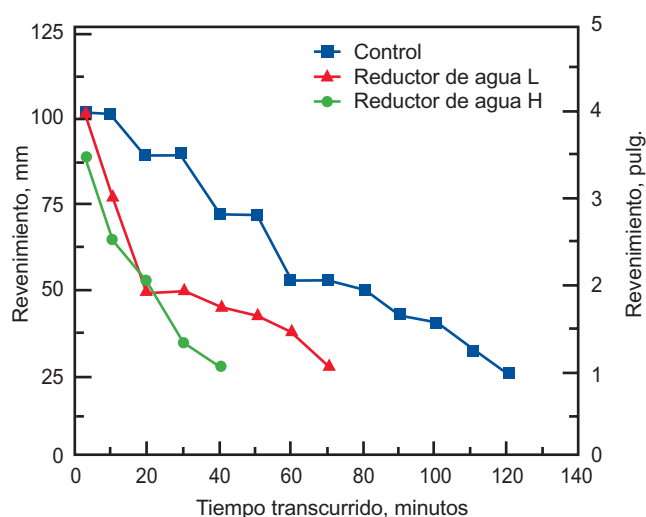


Fig. 6-4. Pérdida de revenimiento a 23°C (73°F) en concretos conteniendo reductores de agua convencionales (ASTM C 494 y AASHTO M 194 Tipo D) comparados con mezclas de control (Whiting y Dziedzic 1992).

agua sobre la contracción (retracción) por secado es pequeño si lo comparamos a otros factores más significativos que causan la fisuración (agrietamiento) por contracción en concreto. El uso de reductores de agua para la disminución del contenido de cemento y de agua, manteniéndose la misma relación agua-cemento, puede resultar en una resistencia a compresión igual o menor y puede aumentar la pérdida de revenimiento (asentamiento) en dos o más veces (Whiting y Dziedzic 1992).

Los reductores de agua disminuyen, aumentan o no tienen ningún efecto sobre el sangrado (exudación), dependiendo de su composición química. La disminución del sangrado (exudación) puede dificultar las operaciones de acabado de superficies planas cuando las condiciones de secado son rápidas. Los aditivos reductores de agua se pueden modificar para ofrecer varios grados de retraso, mientras que otros no afectan considerablemente el tiempo de fraguado. Por ejemplo, el aditivo tipo A de la ASTM C 494 (AASHTO M 194) puede tener un pequeño efecto sobre el tiempo de fraguado, el tipo E lo acelera y el tipo D normalmente lo retarda de 1 a 3 horas (Fig. 6-5). Algunos aditivos reductores de agua también pueden incorporar aire. Los aditivos a base de lignina pueden aumentar el

contenido de aire en 1% a 2%. Los concretos con reductores de agua habitualmente tienen buena retención de aire (Tabla 6-2).

La eficiencia de los reductores de agua es función de su composición química, de la temperatura del concreto, de la finura y composición del cemento, del contenido de cemento y de la presencia de otros aditivos. La clasificación y los componentes de los reductores de agua se presentan en la Tabla 6-1. Para más información sobre los efectos de los reductores de agua sobre las propiedades del concreto, consulte Whiting y Dziedzic (1992).

REDUCTORES DE AGUA DE MEDIO RANGO

Los reductores de agua de medio rango se emplearon por primera vez en 1984. Estos aditivos proporcionan una reducción significativa de la cantidad de agua (entre 6 y 12%) para concretos con revenimiento (asentamiento) de 125 a 200 mm (5 a 8 pulg.), sin el retraso asociado a altas dosificaciones de reductores de agua convencionales (normales). Los reductores de agua normales se indican

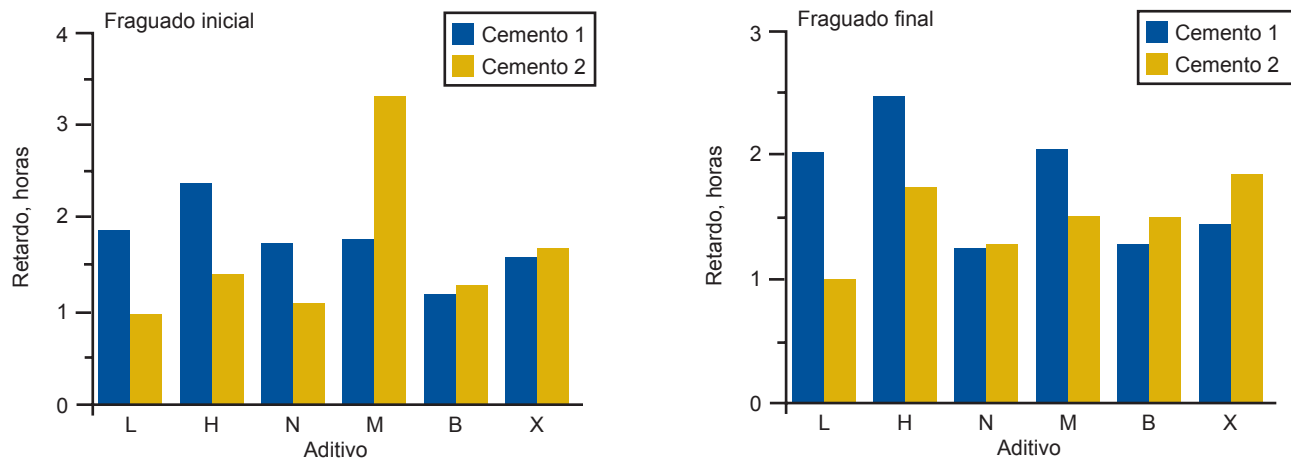


Fig. 6-5. Retraso del fraguado en mezclas con aditivo reductor de agua con relación a la mezcla de control. Los concretos L y H contienen reductores de agua convencionales y los concretos N, M, B y X contienen reductores de agua de alto rango (Whiting y Dziedzic 1992).

Tabla 6-2. Pérdida de Aire en Mezclas de Concreto con Reducido Contenido de Cemento

Mezcla		Contenido de aire inicial %*	Contenido de aire final†	Porcentaje de aire retenida	Tasa de pérdida de aire, %/minuto
C	Control	5.4	3.0	56	0.020
L	Reductor de agua	7.0	4.7	67	0.038
H	Reductor de agua	6.2	4.6	74	0.040
N	Reductor de agua	6.8	4.8	71	0.040
M	Reductor de agua	6.4	3.8	59	0.065
B	Reductor de agua	6.8	5.6	82	0.048
X	Reductor de agua	6.6	5.0	76	0.027

* Representa el contenido de aire medido después de la adición del aditivo.

† Representa el contenido de aire medido cuando el revenimiento disminuye para menos de 25 mm (1 pulg.) Whiting y Dziedzic, 1992.

para concretos con revenimiento (asentamiento) de 100 a 125 mm (4 a 5 pulg.). Se puede usar el reductor de agua de medio rango para reducir la viscosidad y facilitar el acabado, mejorar la bombeabilidad y facilitar la colocación de concretos conteniendo humo de sílice y otros materiales cementantes suplementarios. Algunos de estos aditivos pueden incorporar aire y se los puede usar en concretos con bajo revenimiento (Nmai, Schlagbaum y Violetta 1998).

REDUCTORES DE AGUA DE ALTO RANGO

Los aditivos reductores de agua de alto rango (aditivos de alta actividad, aditivos de alto efecto) se pueden usar para conferir al concreto las mismas propiedades obtenidas por los aditivos reductores de agua normales, pero con mayor eficiencia. En la ASTM C 494 (AASHTO M 194), corresponden a los tipos F (reductor de agua) y G (reductor de agua y retardador de fraguado). Estos aditivos pueden reducir grandemente la demanda de agua y el contenido de cemento y pueden producir concretos con baja relación agua-cemento, alta resistencia y trabajabilidad normal o alta. Esta reducción de la demanda de agua está entre 12% y 30%, lo que permite producir concretos con: (1) resistencia a compresión última mayor que 715 kg/cm² o 70 MPa (10,000 lb/pulg²), (2) desarrollo mayor de las resistencias tempranas, (3) menor penetración de los iones cloruro y (4) otras propiedades benéficas asociadas a baja relación agua-cemento del concreto (Fig. 6-6). Los aditivos reductores de agua de alto rango normalmente son más eficientes en la mejora de la trabajabilidad del concreto que los aditivos reductores de agua regulares. La gran reducción del contenido de agua puede disminuir considerablemente el sangrado (exudación), resultando en dificultades de



Fig. 6-6. El concreto con baja relación agua-cemento y baja permeabilidad a los cloruros, ideal para el tablero de puentes, se produce fácilmente con reductores de agua de alto rango. (IMG12413)

acabado en superficies planas cuando hay secado rápido. Algunos de estos aditivos pueden causar una gran pérdida de revenimiento (asentamiento) (Fig. 6-7) y también un gran retraso del tiempo de fraguado, lo que puede agravar la fisuración por contracción (retracción) plástica si no hay protección y curado correctos. (Fig. 6-5). Otras propiedades de los concretos con reductores de agua de alto rango, tales como contracción por secado, permeabilidad a cloruros, retención de aire (Tabla 6-2) y desarrollo de resistencia, son comparables con aquéllas de los concretos sin los aditivos plastificantes de alto rango, pero con la misma relación agua-cemento (reducción del contenido de cemento y de agua) (Fig. 6-8).

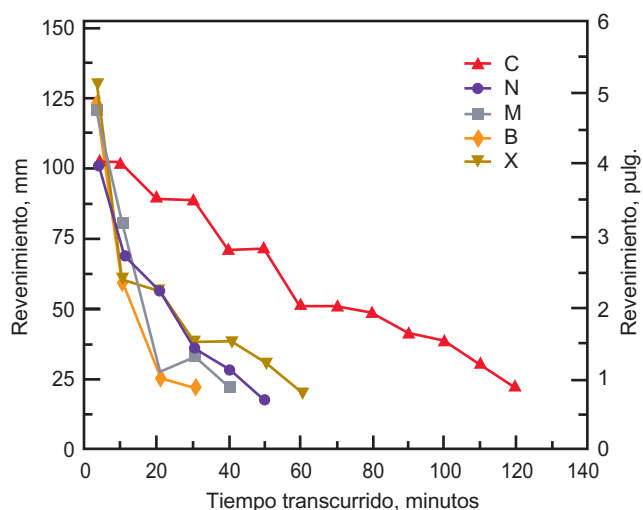


Fig. 6-7. Pérdida del revenimiento a 23°C (73°F) de mezclas conteniendo reductores de agua de alto rango (N, M, B y X) comparadas con la mezcla de control (C) (Whiting y Dziedzic 1992).

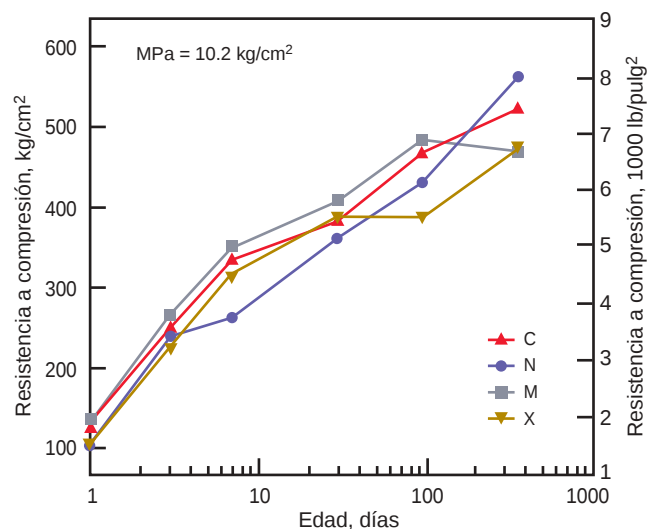


Fig. 6-8. Desarrollo de resistencia a compresión de: mezcla de control (C) y concretos con reductores de agua de alto rango (N, M y X) (Whiting y Dziedzic 1992).

Los concretos con reductores de agua de alto rango pueden tener vacíos mayores de aire incorporado y mayor factor de separación entre los vacíos si son comparados con los concretos normales con aire incluido. Esto generalmente podría indicar una resistencia a congelación-deshielo menor. Sin embargo, ensayos de laboratorio han mostrado que concretos con revenimiento (asentamiento) moderado, conteniendo reductores de agua de alto rango, tienen buena durabilidad a congelación-deshielo, incluso con factor de espaciamiento de aire un poco mayor, probablemente por la menor relación agua-cemento en estos concretos.

Cuando los productos químicos usados como reductores de agua de alto rango se usan para producir un concreto fluido (plástico), normalmente se llaman plastificantes (fluidificantes) o superplastificantes (superfluidificantes, superfluidizantes) (véase la discusión abajo).

SUPERPLASTIFICANTES PARA CONCRETOS FLUIDOS

Los aditivos superplastificantes (superfluidificantes, superfluidizantes) son aditivos reductores de agua de alto rango que obedecen las normas en la Tabla 6-1. En algunos países, tales como EE.UU., México y Ecuador, se puede usar el término plastificante como sinónimo del término superplastificante. Pero, en países tales como Argentina, Chile, y Ecuador el término superplastificante se refiere a los reductores de agua de alto rango, mientras que el término plastificante (fluidificante) se refiere a los reductores de agua convencionales y por lo tanto, en estos casos, los términos superplastificante y plastificante no se pueden usar como sinónimos. En este texto, se empleará el término superplastificante sólo para designar los reductores de agua de alto rango.

Estos aditivos se adicionan al concreto de revenimiento y relación agua-cemento de bajo a normal para producir un concreto fluido, con alto revenimiento (asentamiento) (Fig. 6-9). El concreto fluido o plástico es un concreto con consistencia bien fluida, pero trabajable, y que se puede colocar con poca o ninguna vibración o compactación mientras que se lo mantiene prácticamente libre de sangrado (exudación) o segregación excesivas. Algunas aplicaciones para el concreto fluido son: (1) colado de concreto en secciones muy delgadas (Fig. 6-10), (2) áreas con poco espaciamiento del acero (refuerzo) de refuerzo, (3) colado bajo el agua, (4) concreto bombeado, para reducir la presión de bombeo, (5) áreas donde no se pueden usar los métodos convencionales de consolidación y (6) para la reducción de los costos de manejo. La adición de los superplastificantes en concretos con revenimiento de 75 mm (3 pulg.) permite que se produzca un concreto con revenimiento de 230 mm (9 pulg.). El concreto fluido se define por la ASTM C 1017 como un concreto que tiene un revenimiento mayor que 190 mm (7½ pulg.), pero todavía mantiene sus propiedades cohesivas.

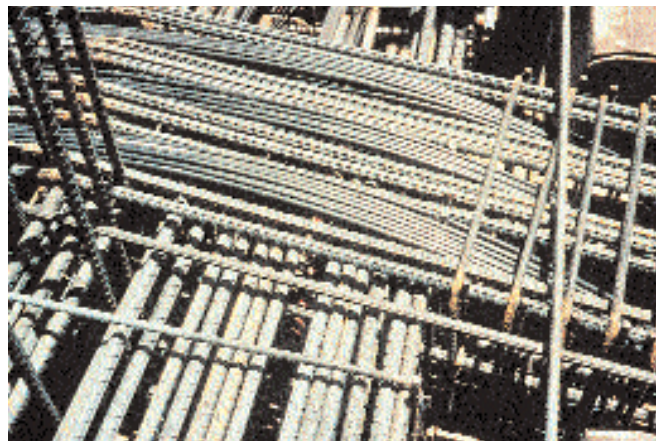


Fig. 6-9. El concreto fluido con alto revenimiento (superior) se coloca fácilmente (medio), incluso en áreas con alta congestión de armadura (inferior). (IMG12324, IMG12325, IMG12326)

Las normas ASTM C 1017, IRAM 1663, Nch2182of1995, NMX C 255 y NTP 334.088, entre otras, proporcionan dos tipos de aditivos superplastificantes, (1) superplastificante y (2) superplastificantes y retardadores. Los aditivos superplastificantes normalmente son más eficientes para producir concretos fluidos que los aditivos reductores de agua regulares y de medio rango. El efecto de ciertos superplastificantes en el aumento de la trabajabilidad o en la producción de concretos fluidos es corto, de 30 a 60 minutos, siendo que a este periodo se sigue una pérdida rápida



Fig. 6-10. El concreto fluido con plastificantes se coloca fácilmente en secciones delgadas, tales como este revestimiento unido que no es más espeso que 1½ diámetro de una moneda de cuarto de dólar (aproximadamente 4 cm). (IMG12207)

de trabajabilidad o pérdida de revenimiento (asentamiento) (Fig. 6-11). Las altas temperaturas también pueden agravar la pérdida de revenimiento. Debido a su tendencia de pérdida de revenimiento, estos aditivos algunas veces se los añade al concreto en la mezcladora (hormigonera) en la obra. Estos aditivos están disponibles en la forma de líquido y de polvo. Los aditivos para la extensión de la vida de los superplastificantes, adicionados en las plantas mezcladoras, ayudan a reducir los problemas de pérdida de revenimiento.

El tiempo de fraguado se puede acelerar o retardar dependiendo de la composición química de los aditivos, su dosificación y su interacción con otros aditivos y materiales cementantes presentes en la mezcla de concreto. Algunos superplastificantes pueden retardar el fraguado de una a casi cuatro horas (Fig. 6-12). El desarrollo de la resistencia de los concretos fluidos se compara con aquél de los concretos normales (Fig. 6-13).

A pesar de que los concretos con superplastificantes son esencialmente libres de sangrado (exudación) excesivo, pruebas demostraron que algunos concretos con superplastificantes sangran (exudan) más que los de control con la misma relación agua-cemento (Fig. 6-14). Sin embargo, los concretos con superplastificantes sangran mucho menos que los de control con el mismo revenimiento (revenimiento alto) y mayor contenido de agua. Los concretos con revenimiento alto, baja relación agua-cemento y superplastificante presentan mucho menos contracción (retracción) por secado que concretos convencionales con revenimiento alto y alto contenido de agua, pero este concreto con superplastificante tiene mayor contracción por secado que los convencionales con bajo asentamiento y bajo contenido de agua (Whiting 1979, Gebler 1982 y Whiting y Dziezic 1992).

La eficiencia de los superplastificantes aumenta con el aumento de la cantidad de cemento y de finos en el concreto y también se influencia por su revenimiento inicial.

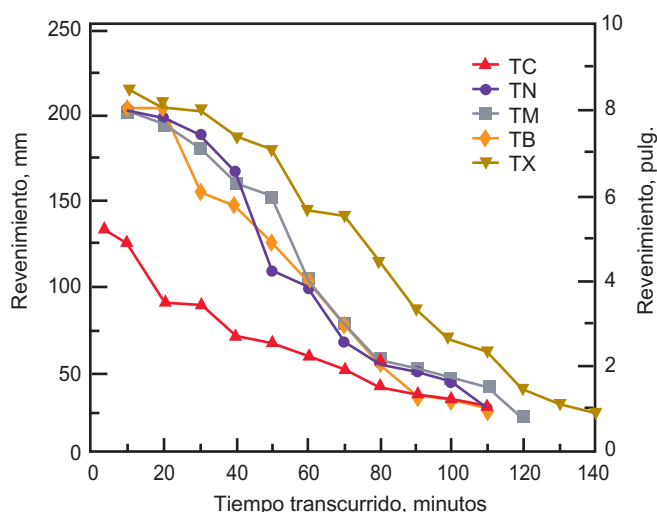


Fig. 6-11. Pérdida del revenimiento a 32°C (90°F) en concretos fluidos (TN, TM, TB y TX) comparados con mezclas de control (TC) (Whiting y Dziezic 1992).

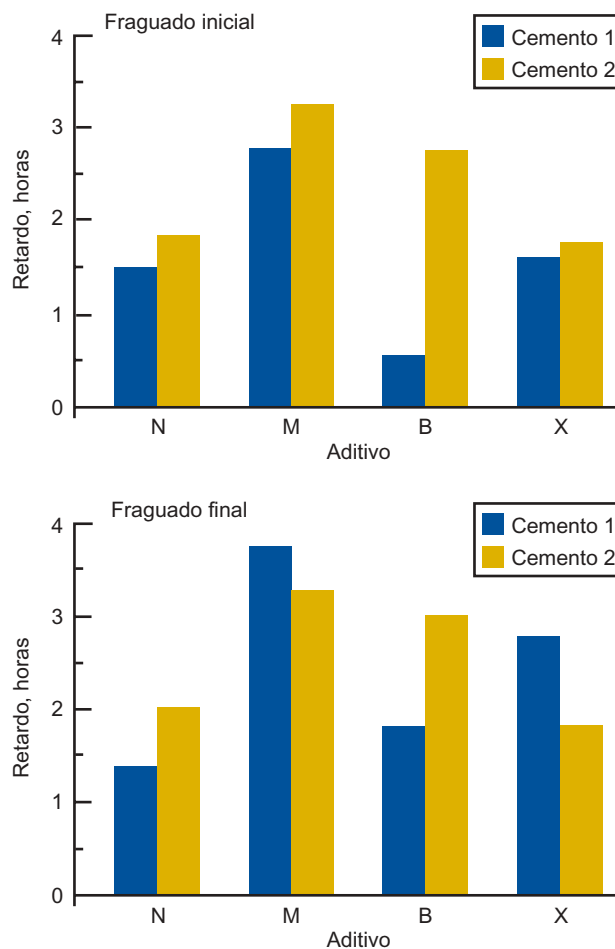


Fig. 6-12. Fraguado retardado en concretos fluidos con plastificantes (N, M, B y X) con relación a mezclas de control (Whiting y Dziezic 1992).

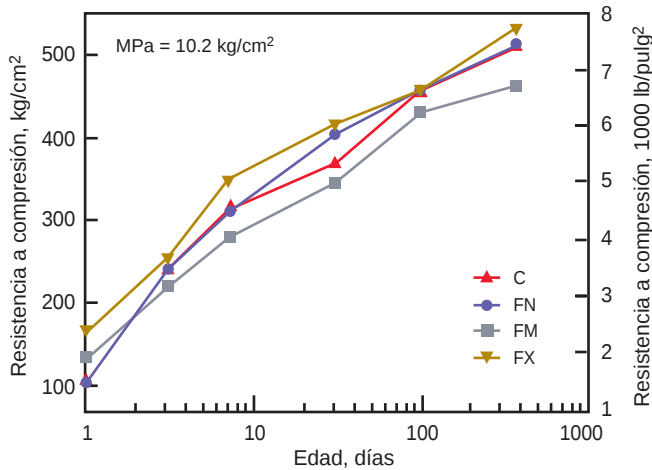


Fig. 6-13. Desarrollo de la resistencia a compresión en concretos fluidos. C es la mezcla de control. Las mezclas FN, FM y FX contienen plastificantes (Whiting y Dziezic 1992).

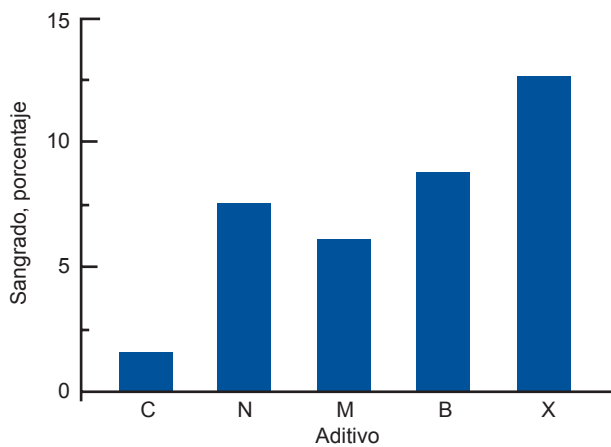


Fig. 6-14. Sangrado de concretos fluidos con plastificantes (N, M, B y X) comparados con mezclas de control (C) (Whiting y Dziezic 1992).

Los concretos fluidos con superplastificante pueden tener mayor cantidad de vacíos de aire atrapado y mayor factor de espaciamento de vacíos que un concreto convencional. La pérdida de aire también puede ser significativa. Estudios en algunos concretos fluidos, expuestos a un ambiente de humedad permanente sin ningún período de secado, indicaron una resistencia a la congelación-deshielo y al descaramiento baja (Whiting y Dziezic 1992). Sin embargo, el desempeño de los concretos fluidos con baja relación agua-cemento se ha mostrado bueno en la mayoría de los ambientes sujetos a congelación.

La Tabla 6-1 presenta los componentes principales y las especificaciones para los aditivos superplastificantes.

ADITIVOS RETARDADORES

Los aditivos retardadores (retardantes) se usan para retrasar la tasa de fraguado del concreto. Pero hay otras maneras de hacerlo. Uno de los métodos más prácticos es la reducción de la temperatura del concreto a través del enfriamiento del agua de la mezcla y/o de los agregados. Esto porque las temperaturas elevadas del concreto fresco (30°C [86°F]) normalmente son la causa del aumento de la tasa de endurecimiento, que torna la colocación y el acabado del concreto más difíciles. Los retardadores no disminuyen la temperatura inicial del concreto, en cambio aumentan la tasa de sangrado (exudación) y la capacidad de sangrado del concreto.

Los aditivos retardadores son muy útiles para extender el tiempo de fraguado del concreto, pero también se usan para disminuir la pérdida de revenimiento y extender la trabajabilidad, especialmente antes de la colocación del concreto en ambientes con altas temperaturas. El error de este enfoque se enseña en la Figura 6-15, donde la adición del retardador resultó en un aumento de la tasa de pérdida de revenimiento comparativamente con los concretos de control (Whiting y Dziezic 1992).

Los retardadores algunas veces se usan para: (1) compensar el efecto acelerador de la temperatura sobre el fraguado del concreto; (2) retardar el fraguado inicial del concreto o de la lechada cuando ocurren condiciones de colocación difíciles o poco usuales, tales como el colado del concreto en pilares o cimentaciones de gran tamaño, la cementación de pozos de petróleo o el bombeo de concreto o lechadas a grandes distancias o, (3) retrasar el fraguado para la ejecución de técnicas de acabado especiales, tales como superficies con agregados expuestos.

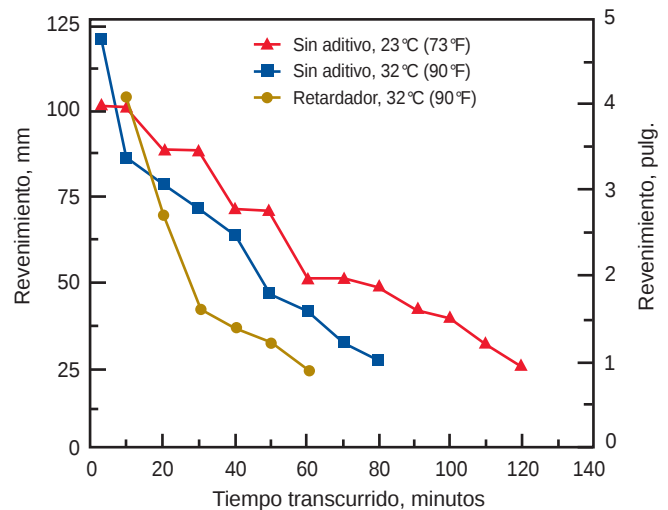


Fig. 6-15. Pérdida del revenimiento, en varias temperaturas, de concretos convencionales preparados con y sin aditivos retardadores de fraguado (Whiting y Dziezic 1992).

La reducción del agua obtenida con el aditivo retardador tipo B ASTM C 494 (AASHTO M 194) es normalmente menor que aquella obtenida con el reductor de agua tipo A. Los aditivos tipo D se crearon para dar ambos, reducción y retraso.

En general, alguna reducción en la resistencia a edades tempranas (de uno a tres días) puede acompañar el uso de los retardadores. Los efectos de estos materiales sobre otras propiedades del concreto, tales como contracción (retracción), pueden ser impredecibles. Por lo tanto, se deben hacer ensayos de aceptación de los retardadores con los materiales de la obra bajo las condiciones de la obra. La clasificación y los componentes de los retardadores se presentan en la Tabla 6-1.

ADITIVOS DE CONTROL DE LA HIDRATACIÓN

Los aditivos de control de la hidratación se tornaron disponibles al final de los años 80. Consisten en un sistema químico de dos partes: (1) un estabilizador o retardador que básicamente detiene la hidratación de los materiales cementantes y (2) un activador que, cuando es adicionado al concreto estabilizado, reestablece la hidratación y el fraguado normales. El estabilizador puede suspender la hidratación por 72 horas y el activador se adiciona al concreto poco antes de que se lo use. Estos aditivos pueden suspender el fraguado por toda la noche, posibilitando la reutilización de concretos retornados al camión de concreto premezclado. Este aditivo también es útil en la mantenimiento del concreto estabilizado, sin endurecer, durante el transporte por largos periodos. En este caso, se reactiva el concreto cuando llega a la obra. Este aditivo actualmente no tiene una norma de especificación (Kinney 1989).

ADITIVOS ACELERADORES

Los aditivos aceleradores (acelerantes) se usan para acelerar la tasa de hidratación (fraguado) y el desarrollo de la resistencia del concreto en edades tempranas. El desarrollo de la resistencia del concreto también se puede acelerar por otros métodos: (1) usando el cemento de alta resistencia inicial, (2) bajando la relación agua-cemento, a través de la adición de 60 a 120 kg/m³ (100 a 200 lb/yd³) de cemento, (3) usando un reductor de agua o (4) curando el concreto a altas temperaturas.

El cloruro de calcio (CaCl₂) es el compuesto químico más comúnmente empleado en aditivos aceleradores, especialmente en concretos sin armadura (refuerzo) y debe cumplir con los requisitos de la ASTM D 98 (AASHTO M 144) y NMX C 356.

El uso difundido de los aceleradores a base de cloruro de calcio ha proporcionado muchos datos y experiencia sobre su efecto sobre las propiedades del concreto. Además de acelerar el desarrollo de resistencia, el cloruro de calcio

promueve un aumento de la contracción por secado, corrosión potencial de la armadura, decoloración (oscurecimiento del concreto) y un aumento del potencial de descascaramiento.

El cloruro de calcio no es un agente anticongelante. Si es usado en las cantidades permitidas, el cloruro de calcio no va a reducir el punto de congelación del concreto más que unos pocos grados. Los intentos de proteger el concreto de la congelación por este método son imprudentes. En vez de esto, se deben tomar precauciones comprobadamente fiables durante el clima frío (Consulte el Capítulo 14, Colado en Clima Frío).

Cuando es usado, el cloruro de calcio se debe añadir al concreto en la forma de solución, como parte del agua de mezcla. Si es adicionado en la forma de hojuelas secas, ni todas las partículas secas se van a disolver durante el mezclado. Los terrones no disueltos pueden causar reventones, descascarillamiento o manchas oscuras en el concreto endurecido.

La cantidad de cloruro de calcio adicionada al concreto no debe ser mayor que la necesaria para la producción de los efectos deseados y nunca mayor que 2% de la masa del material cementante. Al calcularse el contenido de cloruro de los cloruros de calcio comercialmente disponibles, se puede asumir que:

1. Una hojuela regular contiene un mínimo de 77% de CaCl₂
2. La hojuelas concentradas, en la forma de esferas o en la forma granular, contienen un mínimo de 94% de CaCl₂

Una sobredosis puede resultar en problemas en el colado (colocación), en endurecimiento rápido, en un gran aumento de la contracción (retracción) por secado, en corrosión del refuerzo y en pérdida de resistencia a lo largo del tiempo y, por lo tanto, puede ser perjudicial al concreto (Abrams 1924 y Lackey 1992).

Se recomienda prudencia en el uso de cloruro de calcio en las siguientes condiciones:

1. Concretos sujetos al curado a vapor
2. Concretos que tengan metales distintos inmersos, principalmente si estuvieren conectados a la armadura de refuerzo
3. Losas de concreto soportadas por cimbras (encofrados) permanentes de acero galvanizado
4. Concretos coloridos

No se deben usar cloruros de calcio o aditivos conteniendo cloruros solubles en los siguientes casos:

1. Construcción de estacionamientos
2. En concreto pretensado debido al riesgo de la corrosión del acero
3. En concreto con aluminio inmerso (por ejemplo tubo-conductos), pues puede ocurrir corrosión severa del aluminio, especialmente si el aluminio está en contacto con la armadura inmersa de acero y el concreto está en un ambiente húmedo

4. En concreto que contenga agregados que, bajo las condiciones de ensayos normalizados, se han mostrado potencialmente reactivos
5. En concreto expuesto a suelos o agua que contengan sulfatos
6. En losas de pisos que se van a acabar en seco con llanas (fratas, flotas) metálicas
7. Durante el clima caluroso en general
8. En la colocación de concretos masivos

La Tabla 6-3 presenta las recomendaciones del ACI 318 – código de construcción – para el contenido máximo de iones cloruro para la protección contra la corrosión de la armadura pretensada y de la de refuerzo. Se mejora mucho la resistencia a la corrosión del acero inmerso con el aumento del espesor de la capa de recubrimiento del concreto y con la disminución de la relación agua-cemento. Stark (1989) demostró que los concretos producidos con 1% de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, con relación a la masa de cemento, desarrollaron corrosión activa del acero cuando son almacenados continuamente en niebla. Cuando se usó 2% de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, se detectó la corrosión activa en concretos almacenados en la cámara de niebla con humedad relativa de 100%. El riesgo de corrosión se disminuyó grandemente cuando la humedad relativa bajó para 50%. Gaynor (1998) mostró como calcular el contenido de cloruros del concreto fresco y como compararlo con los límites recomendados.

Muchos aceleradores sin cloruros y no corrosivos están disponibles para el uso en concretos donde no se recomiendan los cloruros (Tabla 6-1). Sin embargo, algunos aceleradores sin cloruros no son tan eficientes como los cloruros de calcio. Ciertos aceleradores sin cloruro se formulan especialmente para el uso en aplicaciones en climas fríos, con temperatura ambiente menor que -7°C (20°F).

Tabla 6-3. Contenido Máximo de Iones Cloruro para la Protección de la Armadura contra la Corrosión*

Tipo de elemento	Contenido máximo de iones solubles en agua (Cl^-) en el concreto, porcentaje de la masa de cemento
Concreto Pretensado (presfuerzo, presforzado, precomprimido)	0.06
Concreto reforzado (armado) expuesto a cloruros durante su servicio	0.15
Concreto reforzado que va a secar o va a estar protegido de la humedad durante su servicio	1.00
Otras construcciones de concreto reforzado	0.30

* Requisitos del ACI 318 ensayados por la ASTM C 1218.

INHIBIDORES DE CORROSIÓN

Los inhibidores de corrosión se usan en concreto de estructuras de estacionamientos, estructuras marinas y puentes donde las sales de cloruro estén presentes (Fig. 6-16). Los óxidos ferrosos, aunque estables en el ambiente alcalino del concreto, reaccionan con los cloruros para formar complejos que se alejan del acero para formar polvo. Los iones cloruro continúan a atacar el acero hasta que la capa de óxidos pasivadora se destruya. Los aditivos inhibidores de la corrosión detienen químicamente la reacción de corrosión.



Fig. 6-16. Los daños en esta estructura de estacionamiento en concreto son resultado de la corrosión de la armadura, inducida por cloruros. (IMG12322)

Los aditivos inhibidores de corrosión comercialmente disponibles incluyen: nitrito de calcio, nitrito de sodio, etanolamina dimetil, aminas, fosfatos y esteraminas. Los inhibidores anódicos, tales como los nitritos, bloquean la reacción de corrosión y estabilizan la película pasivadora de protección del acero. Esta película de óxido férrico se crea por el ambiente de pH alto en el concreto. Los iones nitrito ayudan a estabilizar los óxidos férricos. En realidad, se previene la penetración de los iones cloruro en la película pasivadora y su contacto con el acero.

Una cierta cantidad de nitrito puede detener la corrosión hasta un cierto nivel de iones cloruro. Por lo tanto, el aumento en los niveles de iones cloruro requiere un aumento en los niveles de nitritos para paralizar la corrosión.

Los inhibidores catódicos reaccionan con la superficie del acero para interferir en la reducción del oxígeno. Esta reducción es la principal reacción catódica en ambientes alcalinos (Berke y Weil 1994).

ADITIVOS REDUCTORES DE CONTRACCIÓN (RETRACCIÓN)

Los aditivos reductores de contracción (retracción), introducidos en el mercado en los años 80, tienen su uso potencial en tableros de puentes, losas de pisos críticos y edificios donde se deban minimizar las fisuras (grietas) y la deformación por razones de durabilidad y estéticas (Fig. 6-17). El éter alquil polioxialkileno y el propileno glicol se usan como reductores de contracción. Ensayos en laboratorio han mostrado reducciones de la contracción por secado entre 25% y 50%. Estos aditivos tienen efectos insignificantes sobre el revenimiento (asentamiento) y la pérdida de aire, pero pueden retardar el fraguado. Normalmente son compatibles con otros aditivos (Nmai, Tomita, Hondo y Buffenbarger 1998 y Shah, Weiss y Yang 1998).



Fig. 6-17. Fisuras por contracción, tales como las enseñadas en este tablero de puente, se pueden reducir con prácticas adecuadas de colocación, acabado y curado de concreto y con el uso de aditivos reductores de contracción. (IMG12418)

ADITIVOS QUÍMICOS PARA LA REDUCCIÓN DE LA REACTIVIDAD ÁLCALI-AGREGADO (INHIBIDORES DE RAS)

Los aditivos químicos para el control de la reactividad álcali-agregado (expansión álcali-agregado) se introdujeron en el mercado en los años 90 (Fig. 6-18). Nitrito de litio, carbonato de litio, hidróxido de litio, silicato de aluminio y litio (espodumenio calcinado) y sales de bario han reducido la reacción álcali-sílice (RAS) en ensayos de laboratorio (Thomas y Stokes 1999 y AASHTO 2001). Algunos de estos materiales tienen su uso potencial como aditivos para cemento (Gajda 1996). Hay poca experiencia de campo disponible sobre la eficiencia de estos materiales.

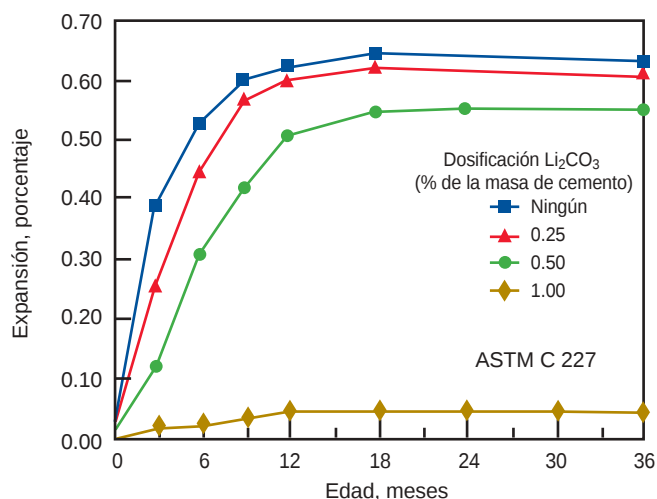


Fig. 6-18. Expansión de probetas producidas con aditivos de carbonato de litio (Stark 1992).

ADITIVOS COLORANTES

Se usan materiales naturales y sintéticos para colorear el concreto sea por razones estéticas, sea por seguridad (Fig. 6-19). El color rojo se usa alrededor de líneas eléctricas subterráneas o líneas de gas como una advertencia a cualquier persona cerca de las instalaciones. El concreto amarillo se usa en las guías de seguridad en los pavimentos. Generalmente, la cantidad de pigmentos usada en concreto no debe exceder 10% de la masa del cemento. Los pigmentos usados en cantidades inferiores a 6% no afectan las propiedades del concreto.

El negro de humo no modificado reduce significativamente el contenido de aire. La mayoría de los negros de humo para la coloración del concreto contiene un aditivo para compensar este efecto sobre el aire. Antes de usar el aditivo colorante en un proyecto, se debe ensayar su estabilidad bajo la luz del sol y autoclave, su estabilidad



Fig. 6-19. Se emplearon pigmentos rojos y azules para colorear este piso de terrazo. (IMG12208)

química en cemento y su efecto sobre las propiedades del concreto. No se debe usar el cloruro de calcio con pigmento para que se eviten distorsiones del color. Los pigmentos deben estar de acuerdo con las normas ASTM C 979, NMX-C 313 y NTC 3760.

ADITIVOS A PRUEBA DE AGUA

El pasaje del agua a través del concreto normalmente es una evidencia de la existencia de fisuras o de áreas con consolidación incompleta. El concreto sano y denso, producido con relación agua-cemento menor que 0.50 es estanco si es adecuadamente colado (colocado) y curado.

Los aditivos conocidos como agentes a prueba de agua incluyen ciertos jabones, estearatos y productos del petróleo. Pueden reducir, pero generalmente no lo hacen, la permeabilidad del concreto con bajo contenido de cemento, alta relación agua-cemento o deficiencia de finos en los agregados. Su empleo en mezclas bien proporcionadas puede aumentar el agua necesaria y, en realidad, resulta en un aumento de la permeabilidad.

Los aditivos a prueba de agua se usan, a veces, para reducir la transmisión de humedad a través del concreto que esté en contacto con el agua o con el suelo húmedo. Muchos de los llamados aditivos a prueba de agua no son eficientes, especialmente cuando son usados en concretos en contacto con agua bajo presión.

ADITIVOS IMPERMEABILIZANTES

Los aditivos impermeabilizantes reducen la tasa en la cual el agua bajo presión se transmite a través del concreto. Uno de los mejores métodos para disminuir la permeabilidad del concreto consiste en el aumento del tiempo de curado húmedo y la reducción de la relación agua-cemento para menos de 0.50. La mayoría de los aditivos que reducen la relación agua-cemento, como consecuencia, reducen también la permeabilidad.

Algunos materiales cementantes suplementarios, principalmente el humo de sílice, reducen la permeabilidad durante el proceso de hidratación y de la reacción puzolánica. Otros aditivos que actúan para bloquear la capilaridad del concreto se muestran eficientes en la reducción de la corrosión en ambientes químicamente agresivos. Tales aditivos, diseñados para el uso en concretos con alto contenido de cemento y baja relación agua-cemento, contienen ácido graso alifático y una emulsión acuosa de glóbulos poliméricos y aromáticos (Aldred 1988).

AUXILIAR DE BOMBEO

Los auxiliares de bombeo se adicionan al concreto para mejorar la bombeabilidad. El auxiliar de bombeo no puede solucionar todos los problemas de bombeo, pero se usa de

manera más eficiente para transformar concretos con poca bombeabilidad en concretos bombeables. Estos aditivos aumentan la viscosidad o la cohesión del concreto, reduciendo la separación del agua de la pasta que está bajo la presión de la bomba.

Algunos auxiliares de bombeo pueden aumentar la demanda de agua, reducir la resistencia a compresión, atrapar aire o retardar el tiempo de fraguado. Se pueden corregir estos efectos colaterales con el ajuste de las proporciones de la mezcla o con la adición de otros aditivos que los compensen.

Una lista parcial de los materiales que se emplean como auxiliares de bombeo se encuentra en la Tabla 6-1. Algunos de los aditivos que tienen otros propósitos principales, pero que también mejoran la bombeabilidad, son los agentes inclusores de aire y algunos reductores de agua y retardadores.

ADITIVOS DE ADHERENCIA Y AGENTES DE ADHERENCIA

Los aditivos de adherencia son normalmente emulsiones de agua de materiales orgánicos incluyendo hule, cloruro de polivinilo, acetato de polivinilo, acrílicos, copolímeros de butadieno estireno y otros polímeros. Se adicionan a las mezclas de cemento portland para aumentar la resistencia de adherencia entre el concreto viejo y el concreto nuevo. La resistencia a flexión y la resistencia al ingreso de iones cloruro también se aumentan. Estos aditivos se adicionan en proporciones que varían del 5% al 20% de la masa del material cementante. La cantidad real depende de las condiciones de la obra y del tipo de aditivo empleado. Algunos aditivos pueden aumentar el contenido de aire. Los aditivos del tipo no emulsionantes son resistentes al agua y más apropiados en aplicaciones exteriores y usados en sitios donde haya humedad.

El resultado final obtenido con el aditivo de adherencia va a ser, en el mejor de los casos, tan bueno como la superficie a la cual esté aplicado. La superficie debe estar seca, limpia, sana, libre de suciedad, polvo, pintura y grasa y en la temperatura adecuada. Los concretos orgánicos o modificados se aceptan para remiendos y recubrimientos con capas delgadas, principalmente donde se deseen remiendos con bordes adornados.

Los agentes de adherencia no se deben confundir con los aditivos de adherencia. Los aditivos son ingredientes del concreto, mientras que los agentes se aplican a la superficie del concreto existente inmediatamente antes que se coloque el concreto nuevo. Los agentes de adherencia ayudan a pegar el material existente y el nuevo material y se usan en trabajos de restauración y reparaciones. Consisten en lechadas de cemento portland o de cemento portland modificado con látex o polímeros tales como las resinas epoxi (ASTM C 881 o AASHTO M 235, NMX C 241) o látex (ASTM C 1059).

ADITIVOS PARA LECHADAS

Las lechadas de cemento portland se usan para una gran variedad de propósitos: estabilizar cimientos (fundaciones), bases de máquinas, rellenar fisuras y juntas de concreto, cementar pozos de petróleo, rellenar el núcleo de los muros de mampostería, cementar tendones de pretensado y pernos de anclaje y rellenar vacíos en concretos con agregados precolocados. Se usan varios aditivos inclusores de aire, aceleradores, retardadores y aditivos sin contracción (retracción) para modificar las propiedades de la lechada en aplicaciones específicas.

ADITIVOS FORMADORES DE GAS

El polvo de aluminio y otros materiales formadores de gas se adicionan algunas veces al concreto y a la lechada en cantidades muy pequeñas para causar una pequeña expansión de la mezcla antes de su endurecimiento. Esto puede ser benéfico donde sea necesaria la cementación completa de un espacio confinado, tal como bajo las bases de máquinas o en ductos de postensados en concretos pretensados. Estos materiales se usan también en mayores cantidades para producir concretos celulares en autoclave. La cantidad de expansión que ocurre depende de la cantidad de material formador de gas que se emplee, la temperatura de la mezcla fresca, el contenido de álcali del cemento y otras variables. Donde la cantidad de expansión sea crítica, se deben controlar cuidadosamente las mezclas y las temperaturas. Los agentes formadores de gas no van a superar la contracción (retracción) causada por secado o carbonatación, después del endurecimiento.

PURGADOR DE AIRE

Los aditivos purgadores (reductores) de aire reducen el contenido de aire en el concreto. Se usan cuando no se puede reducir el contenido de aire con el ajuste de la proporción o con el cambio de la dosis del agente inclusor de aire y de otros aditivos. Sin embargo, los aditivos purgadores de aire se emplean muy raramente y su eficiencia y dosis se deben establecer en mezclas de prueba antes de su empleo en las mezclas de obra. Los materiales usados en los agentes purgadores de aire se presentan en la Tabla 6-1.

ADITIVOS FUNGICIDA, GERMICIDA E INSECTICIDA

El crecimiento de bacterias y hongos en el concreto endurecido se puede controlar parcialmente a través del empleo de aditivos fungicida, germicida e insecticida. Los materiales más eficientes son los fenoles polihalogenados, las emulsiones de dieldrin y los compuestos de cobre. La

eficiencia de estos materiales generalmente es temporal y, si son empleados en grandes cantidades, pueden reducir la resistencia a compresión de concreto.

ADITIVOS ANTI-DESLAVE

Los aditivos anti-deslave aumentan la cohesión del concreto hasta un nivel que permita su exposición limitada al agua, resultando en poca pérdida de cemento. Esto permite el colado (colocación) del concreto en agua y bajo el agua sin el uso de tubos sumergidos (tubo tremie). Estos aditivos aumentan la viscosidad del agua en la mezcla, resultando en una mezcla con mayor tixotropía y resistencia a la segregación. Normalmente, estos aditivos consisten en éter de celulosa soluble en agua o polímeros acrílicos.

COMPATIBILIDAD DE LOS ADITIVOS Y LOS MATERIALES CEMENTANTES

Los problemas en el concreto fresco muchas veces resultan de la incompatibilidad entre el cemento y el aditivo o entre los aditivos. La incompatibilidad entre los materiales cementantes suplementarios y los aditivos o cementos también puede ocurrir. Tales incompatibilidades pueden resultar en pérdida de revenimiento (asentamiento), pérdida de aire, fraguado rápido y otros factores. Como estos problemas afectan principalmente el concreto en el estado fresco, el desempeño a largo plazo del concreto endurecido también se puede modificar adversamente. Por ejemplo, el fraguado rápido puede dificultar la consolidación del concreto, comprometiendo su resistencia.

Aún no se encuentran disponibles ensayos fiables para la determinación de las incompatibilidades debidas a variaciones en los materiales, equipos de mezcla, tiempo de mezclado y factores ambientales. Las pruebas realizadas en laboratorio no reflejan las condiciones experimentadas por el concreto en la obra. Cuando se descubre la incompatibilidad en la obra, normalmente la solución usada es el cambio del aditivo o del material cementante (Helmuth, Hills, Whiting y Bhattacharja 1995, Tagni-Hamou y Aïtcin 1993 y Tang y Bhattacharja 1997).

ALMACENAMIENTO Y DOSIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS QUÍMICOS

Los aditivos químicos se pueden almacenar en toneles o cisternas. Los aditivos en polvo se pueden poner en cajas especiales y algunos están disponibles en bolsas plásticas con las proporciones preestablecidas. Los aditivos adicionados a los camiones mezcladores en la obra, normalmente están en bolsas. Los aditivos en polvo, como algunos superplastificantes o los toneles de aditivos se deben almacenar en obra.

Las cisternas en las plantas de concreto se deben identificar adecuadamente para que se evite la contaminación o

el mezclado del aditivo errado. La mayoría de los aditivos líquidos no se deben congelar, por lo tanto se deben almacenar en ambientes calientes o calentados. Consulte al fabricante del aditivo sobre la temperatura de almacenamiento adecuada. Los aditivos en polvo normalmente son menos sensibles a las temperaturas, pero pueden ser sensibles a la humedad.

Los aditivos químicos líquidos normalmente se dosifican separadamente en el agua de la mezcla de manera volumétrica (Fig. 6-20). Los aditivos líquidos y en polvo se pueden medir en masa, pero los aditivos en polvo no se deben medir en volumen. Se deben tomar algunas precauciones para no combinar ciertos aditivos antes de su dosificación, pues algunas combinaciones pueden neutralizar el efecto deseado. Consulte a los fabricantes de los aditivos sobre las combinaciones de aditivos compatibles o sobre los ensayos de laboratorio que comprueben su desempeño.



Fig. 6-20. El dosificador de aditivo líquido en una planta de concreto premezclado da una medida volumétrica precisa de los aditivos. (IMG12323)

REFERENCIAS

AASHTO, "Portland Cement Concrete Resistant to Excessive Expansion Caused by Alkali-Silica Reaction (Resistencia del Concreto de Cemento Portland a la Expansión Excesiva Causada por la Reacción Álcali-Sílice)," Section 56X, *Guide Specification For Highway Construction*, <http://leadstates.tamu.edu/ASR/library/gspec.stm>, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C., 2001.

Abrams, Duff A., *Calcium Chloride as an Admixture in Concrete (Cloruro de Calcio usado como Aditivo en el Concreto)*, Bulletin 13 (PCA LS013), Structural Materials Research Laboratory, Lewis Institute, Chicago, http://www.portcement.org/pdf_files/LS013.pdf, 1924.

ACI Committee 212, *Chemical Admixtures for Concrete (Aditivos Químicos para Concreto)*, ACI 212.3R-91, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1991.

ACI Committee 212, *Guide for the Use of High-Range Water-Reducing Admixtures (Superplasticizers) in Concrete (Guía para el Uso del Aditivo Reductor de Agua de Alto Rango (Superplastificante) en el Concreto)*, ACI 212.4R-93 (Reaprobado en 1998), American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1998.

ACI Committee 222, *Corrosion of Metals in Concrete (Corrosión de Metales en el Concreto)*, ACI 222R-96, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1996.

ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (Requisitos del Código de Edificios para el Concreto Estructural y Comentarios)*, ACI 318-02, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2002.

ACI E4, *Chemical and Air-Entraining Admixtures for Concrete (Aditivos Químicos e Incluidores de Aire para el Concreto)*, ACI Education Bulletin No. E4-96, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1999, 16 páginas.

Aldred, James M., "HPI Concrete (Concreto Impermeable de Alto Desempeño)," *Concrete International*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, Noviembre, 1988.

Berke, N. S., y Weil, T. G., "World Wide Review of Corrosion Inhibitors in Concrete (Revisión Mundial sobre los Inhibidores de Corrosión en el Concreto)," *Advances in Concrete Technology*, CANMET, Ottawa, 1994, páginas 891 a 914.

Chou, Gee Kin, "Cathodic Protection: An Emerging Solution to the Rebar Corrosion Problem (Protección Catódica: una nueva solución para el problema de la corrosión de las barras de refuerzo)," *Concrete Construction*, Addison, Illinois, Junio 1984.

Gajda, John, *Development of a Cement to Inhibit Alkali-Silica Reactivity (Desarrollo de un Cemento para Inhibir la Reactividad Álcali-Sílice)*, Research and Development Bulletin RD115, Portland Cement Association, 1996, 58 páginas.

Gaynor, Richard D., "Calculating Chloride Percentages (Cálculo de los Porcentajes de Cloruro)," *Concrete Technology Today*, PL983, Portland Cement Association, http://www.portcement.org/pdf_files/PL983.pdf, 1998, páginas 4 a 5.

Gebler, S. H., *The Effects of High-Range Water Reducers on the Properties of Freshly Mixed and Hardened Flowing Concrete (Los Efectos de los Reductores de Agua de Alto Rango sobre las Propiedades del Concreto Fluido Fresco y Endurecido)*, Research and Development Bulletin RD081, Portland Cement Association, http://www.portcement.org/pdf_files/RD081.pdf, 1982.

Helmuth, Richard; Hills, Linda M.; Whiting, David A.; y Bhattacharja, Sankar, *Abnormal Concrete Performance in the Presence of Admixtures (Desempeño Anormal del Concreto en la Presencia de Aditivos)*, RP333, Portland Cement Association, http://www.portcement.org/pdf_files/RP333.pdf, 1995.

Hester, Weston T., *Superplasticizers in Ready Mixed Concrete – A Practical Treatment for Everyday Operations (Superplastificantes en el Concreto Premezclado – un tratamiento práctico para las operaciones cotidianas)*, National Ready Mixed Concrete Association, Publication No. 158, Silver Spring, Maryland, 1979.

Kinney, F. D., "Reuse of Returned Concrete by Hydration Control: Characterization of a New Concept," *Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete (Reutilización del Concreto Devuelto para el Control de la Hidratación: Caracterización de un nuevo concepto)*, SP119, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1989, páginas 19 a 40.

Klieger, Paul, *Air-Entraining Admixtures (Aditivos Incluidores de Aire)*, Research Department Bulletin RX199, Portland Cement Association, http://www.portcement.org/pdf_files/RX199.pdf, 1966, 12 páginas.

Kosmatka, Steven H., "Discoloration of Concrete—Causes and Remedies (Descoloramiento del Concreto—Causas y Reparos)," *Concrete Technology Today*, PL861, Portland Cement Association, http://www.portcement.org/pdf_files/PL861.pdf, 1986.

Lackey, Homer B., "Factors Affecting Use of Calcium Chloride in Concrete (Factores que Afectan el Uso del Cloruro de Calcio en el Concreto)," *Cement, Concrete, and Aggregates*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, Invierno 1992, páginas 97 a 100.

Nmai, Charles K.; Schlagbaum, Tony; y Violetta, Brad, "A History of Mid-Range Water-Reducing Admixtures (Una Historia de los Aditivos Reductores de Agua de Medio Rango)," *Concrete International*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, Abril 1998, páginas 45 a 50.

Nmai, Charles K.; Tomita, Rokuro; Hondo, Fumiaki; y Buffenbarger, Julie, "Shrinkage-Reducing Admixtures (Aditivos Reductores de Contracción)," *Concrete International*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, Abril 1998, páginas 31 a 37.

Ramachandran, V. S., *Concrete Admixtures Handbook (Manual de Aditivos para Concreto)*, Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, 1995.

Rixom, M. R., y Mailvaganam, N. P., *Chemical Admixtures for Concrete (Aditivos Químicos para Concreto)*, E. & F. N. Spon, New York, 1986.

Shah, Surendra P.; Weiss, W. Jason; y Yang, Wei, "Shrinkage Cracking—Can it be Prevented? (La Fisuración por Contracción — ¿se la puede prevenir?)," *Concrete International*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, Abril 1998, páginas 51 a 55.

Stark, David, *Influence of Design and Materials on Corrosion Resistance of Steel in Concrete (Influencia del Diseño y de los Materiales sobre la Resistencia a Corrosión del Acero en el Concreto)*, Research and Development Bulletin RD098, Portland Cement Association, http://www.portcement.org/pdf_files/RD098.pdf, 1989, 44 páginas.

Stark, David C., *Lithium Salt Admixtures—An Alternative Method to Prevent Expansive Alkali-Silica Reactivity (Aditivos de Sales de Litio – Un método alternativo para prevenir la expansión por la reacción álcali-sílice)*, RP307, Portland Cement Association, 1992, 10 páginas.

Tagnit-Hamou, Arezki, y Aïtcin, Pierre-Claude, "Cement and Superplasticizer Compatibility (Compatibilidad entre el Cemento y los Superplastificantes)," *World Cement*, Palladian Publications Limited, Farnham, Surrey, Inglaterra, Agosto 1993, páginas 38 a 42.

Tang, Fulvio J., y Bhattacharja, Sankar, *Development of an Early Stiffening Test (Desarrollo de un Ensayo de Endurecimiento Prematuro)*, RP346, Portland Cement Association, 1997, 36 páginas.

Thomas, Michael D. A., y Stokes, David B., "Use of a Lithium-Bearing Admixture to Suppress Expansion in Concrete Due to Alkali-Silica Reaction (Uso de un Aditivo a base de Litio para Reprimir la Expansión en el Concreto resultante de la Reacción Álcali-sílice)," *Transportation Research Record No. 1668*, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1999, páginas 54 a 59.

Whiting, David, *Effects of High-Range Water Reducers on Some Properties of Fresh and Hardened Concretes (Efectos de los Reductores de Agua de Alto Rango sobre Algunas Propiedades del Concreto Fresco y Endurecido)*, Research and Development Bulletin RD061, Portland Cement Association, http://www.portcement.org/pdf_files/RD061.pdf, 1979.

Whiting, David A., *Evaluation of Super-Water Reducers for Highway Applications (Evaluación de los Súper Reductores de Agua para Aplicaciones en Carreteras)*, Research and Development Bulletin RD078, Portland Cement Association, http://www.portcement.org/pdf_files/RD078.pdf, 1981, 169 páginas.

Whiting, D., y Dziedzic, W., *Effects of Conventional and High-Range Water Reducers on Concrete Properties (Efectos de los Reductores de Agua Convencionales y del Alto Rango sobre las Propiedades del Concreto)*, Research and Development Bulletin RD107, Portland Cement Association, 1992, 25 páginas.

Whiting, David A., y Nagi, Mohamad A., *Manual on the Control of Air Content in Concrete (Manual del Control del Contenido de Aire en el Concreto)*, EB116, National Ready Mixed Concrete Association and Portland Cement Association, 1998, 42 páginas.

