



ADITIVOS QUÍMICOS



1. Reseña Histórica

La historia del uso de aditivos químicos en hormigones se remonta al siglo pasado, tiempo después que Joseph Aspdin patentó, en Inglaterra el 21 de octubre de 1824, un producto que llamó “Cemento Pórtland”, queriendo mostrar que este cemento, una vez endurecido, tenía la misma resistencia y color que la piedra de Pórtland de un blanco amarillento, que todavía es posible encontrar en Inglaterra.

Posteriormente, en 1826 se instaló la primera fábrica de cemento Pórtland, en Wakefield, ahora bien, la incorporación de yeso crudo o cloruro de calcio para obtener fraguados más regulares en el cemento Pórtland se remonta a los años 1873 a 1890. Los albañiles franceses de esa época añadían al cemento un poco de yeso crudo, a pie de obra, en el momento de amasar el hormigón. La primera adición de cloruro de calcio como aditivo a los hormigones fue registrada en 1873 obteniéndose su patente en 1885.

Las primeras preocupaciones de los usuarios del hormigón fueron las de regular la duración del fraguado y, sobre todo, poder acelerarlo, así como confeccionar hormigones más impermeables.. Hacia 1895 Candlot en Francia y Dyckhoff, en Alemania practicaron adición de cal a fin de mejorar la plasticidad; Ferret hizo ensayos a principios de siglo con un gran número de productos finos, inertes o que se hinchaban y también con adiciones de aceite de linaza y de aceite de máquinas.

Igualmente a principios de siglo se ensayó la incorporación de silicatos de sodio y de diversos jabones para mejorar la impermeabilidad; en ese entonces se comenzaron a añadir polvos finos para colorear el hormigón. Los fluatos o fluosilicatos se emplearon desde 1905 como endurecedores de superficie. La acción retardadora de la azúcar también ya había sido observada.

Entre 1910 y 1919 se realizó el primer gran trabajo de impermeabilización en 5 túneles de la línea San Gotardo en Suiza.

En 1929, Rengade demostró que amasando un cemento sobre una lámina de zinc podían introducirse indicios de zinc, que actuaban como un poderoso retardador de fraguado.

Posteriormente en 1934 aparece en el mercado el primer plastificante conocido en el mundo como Plastiment. Este producto fue el primer aditivo capaz de producir una fluidificación del hormigón permitiendo para una misma trabajabilidad, una disminución de la razón agua/cemento, lo que daba como resultado un hormigón de compacidad y densidad más elevada.

Los agentes incorporadores de aire aparecieron en el año 1939 y su utilización en Europa no empezó hasta después de la segunda guerra mundial. Por otro lado los estudios hechos en Alemania condujeron a la utilización de ácido fosfórico para retardar el fraguado del hormigones. Estos retardos del fraguado eran necesarios para poder interrumpir el trabajo de las obras de hormigón durante los ataques aéreos.

Varios años mas tarde, en la década de los 70, se introduce en el mercado los primeros superplastificantes, que logran reducir fuertemente la relación agua cemento y que permite fabricar hormigones altamente fluidos. En nuestro país, el empleo de aditivos a gran escala se



inicio en el año 1950 y ha tenido gran importancia en el desarrollo de muchas obras y procedimientos constructivos.

2. Definición

Según el reglamento Cirsoc¹ el aditivo para hormigón se define como un: “material diferente del cemento, agua, agregados, adiciones o fibras para refuerzo, que se puede incorporar al pastón inmediatamente antes o durante su mezclado como un componente más del hormigón o mortero, con el objeto de modificar alguna de sus propiedades.”

3. Uso de los Aditivos, dosis y forma de empleo

El comportamiento del hormigón, en su estado fresco y/o endurecido, suele ser influidos y modificados por diversos factores intrínsecos y extrínsecos. Los intrínsecos se relacionan fundamentalmente con las características de los componentes y las cantidades en que éstos se encuentran en el hormigón. En cuanto a los extrínsecos, pueden citarse principalmente: las condiciones ambientales que prevalecen durante la elaboración y la colocación del hormigón, las prácticas constructivas que se emplean desde su elaboración hasta el curado y las condiciones de exposición y servicio a las que permanecerá sujeta la estructura durante su vida útil.

Algunos factores pueden ser objeto de maniobra por parte del usuario del hormigón, pero otros no. Por ejemplo, los aspectos relativos a la composición del hormigón y a las prácticas constructivas son factores susceptibles de ajustes y adaptación, en tanto los que corresponden al medio ambiente y a las condiciones de servicio a la cual esta expuesto el hormigón, por lo general son factores fuera de control

De acuerdo con este planteamiento, para influir en el comportamiento y las propiedades del hormigón, a fin de adaptarlo a las condiciones extremas, se dispone principalmente de dos recursos:

- Selección y uso de componentes idóneos en el hormigón, combinados en proporciones convenientes.
- Empleo de equipos, procedimientos, y prácticas constructivas en general, de eficacia comprobada y acordes con la obra que se construye.

El uso de aditivos queda comprendido dentro del primer recurso y normalmente representa una medida opcional, para cuando las otras medidas no alcanzan a producir los efectos requeridos, en función de las condiciones externas actuales o futuras. Es decir, la práctica recomendable para el uso de aditivos en el hormigón, consiste en considerarlos como un medio complementario y no como sustituto de otras medidas primordiales, tales como el uso de un cemento adecuado, una mezcla de hormigón bien diseñada, o prácticas constructivas satisfactorias. En síntesis las principales razones por las que resulta conveniente utilizar aditivos son:

1. Reducción del costo de la construcción.
2. Obtención de ciertas propiedades de manera más efectiva que otras.



3. Manutención de la calidad del hormigón durante las etapas de mezclado, transporte, colado (c colocación) y curado en condiciones de clima adverso.

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

Las dosis en que se utilizan los aditivos en el hormigón están generalmente relacionadas con un porcentaje pequeño del peso del cemento. Los aditivos líquidos se agregan generalmente junto con el agua de amasado mientras que los aditivos en polvo se agregan junto al cemento o con el agregado fino.

4. Clasificación de los aditivos

La creciente diversificación en el campo de aplicación de los aditivos y el continuo incremento en el número de sustancias o productos que se desarrollan e incorporan en este campo, hacen que cualquier intento de clasificación de aditivos pierda actualidad con rapidez. Sin embargo una primera clasificación en relación a la función que cumplen puede ser:

- a) Aditivos incorporadores de aire.
- b) Fluidificante.
- c) Superfluidificante.
- d) Aditivos retardadores de fraguado.
- e) Aditivos aceleradores de fraguado.
- f) Impermeabilizante
- g) Inhibidores de corrosión.
- h) Aditivos colorantes.
- i) Reductores de retracción.
- j) Inhibidores de reacción álcali-agregado.
- k) Aditivos diversos.

4.a. Incorporador de Aire

Generalidades

En 1932 se observó en los Estados Unidos que algunos tramos de carretera resistían mejor el efecto del hielo que otros. Analizando este hormigón al microscopio, se observó que contenía una gran cantidad de micro burbujas de aire, determinándose que habían sido confeccionado con cemento procedente de fábricas que usaban en la molienda aditivos a base de aceite vegetal o de jabón.

Esta experiencia hizo resaltar el efecto del aire incorporado sobre la resistencia del hormigón a los procesos de hielo-deshielo, lo que fue confirmado en experiencias posteriores.

El hormigón, además de sus componentes sólidos, contiene un porcentaje de vacíos de formas y dimensiones variadas, provenientes del aire atrapado y de la fracción del agua de amasado que se evapora. En cambio, al utilizar un incorporador de aire se producen micro burbujas esféricas cuyos diámetros oscilan entre 0.05 a 1.25 mm con una distancia entre ellos que debe ser menor a 0.25 mm.

Para otorgar resistencia a las heladas interesa particularmente que las burbujas sean pequeñas. La pasta de cemento está protegida contra los efectos del hielo-deshielo, si el factor de distancia es menor a 0.20 mm.



Mecanismo de Acción

Durante el amasado del hormigón se forman burbujas de aire de diferentes tamaños, debido al aire que queda atrapado con los movimientos internos de los materiales del hormigón.

Mientras más pequeña es la dimensión de las burbujas, mayor es la presión ejercida sobre ellas, por lo que éstas tienden a disolverse en el agua. Por su parte, las burbujas de mayor dimensión, debido a la menor presión que experimentan, tienden a crecer, son más deformables y pueden escapar especialmente durante la compactación del hormigón. Las que no se escapan pueden aumentar de volumen, alimentadas por las más pequeñas, formando huecos que permanecen indefinidamente en el hormigón.

De lo anterior se deduce que un hormigón convencional, sin aditivo plastificante, prácticamente no puede contener burbujas inferiores a 0.1 o 0.2 mm. puesto que éstas se disuelven en el agua. Sin embargo, con aditivo, aún cuando la cantidad de aire sea similar, sus características serán muy distintas desde el punto de vista reológico y de su resistencia al hielo.

Los incorporadores de aire son productos de naturaleza aniónica que, al introducirse en una pasta de cemento, quedan adsorbidos sobre la superficie de las partículas de cemento formando una delgada capa de filamentos de naturaleza hidrófoba, orientados desde la superficie de éstas últimas hacia la fase acuosa entre granos sólidos y con su fase polar adherida a la superficie de los granos de cemento.

Por otra parte, una pequeña proporción del producto se disuelve en fase líquida y, durante el amasado del hormigón, produce burbujas de aire que quedan distribuidas en dicha fase sin unirse entre sí debido a que en ellas los filamentos se orientan hacia el interior de las burbujas con su fase polar sobre dicha superficie.

La cantidad y características del aire incorporado dependen de numerosos factores, entre los cuales pueden dimensionarse:

- Tipo y cantidad del aditivo

Intervienen tanto sobre la cantidad como sobre el tamaño, distribución y estabilidad de las burbujas de aire incorporadores.

- Tipo y dosis de cemento

La cantidad de aire incorporado disminuye cuanto más fino es el cemento y más alta es su dosis en el hormigón.

- Características del hormigón

Las principales características del hormigón inciden en la cantidad de aire son:

- Proporción de mortero en el hormigón
- Tamaño máximo del árido grueso
- Contenido de granos finos entre 0,2 y 0,8 mm
- Relación a/c

Razón agua/cemento	Tamaño de las burbujas
0.35	10 - 100 μ (10^{-6} m)
0.55	20 - 200 μ
0.75	50 - 500 μ



Condiciones de fabricación y puesta en obra del hormigón

Las condiciones más influyentes en la cantidad de aire incorporado en el hormigón son:

- Tiempo de amasado: un amasado muy prolongado hace perder parte del aire, el remanente es de un diámetro más pequeño puesto que las burbujas más grandes son más inestables, tendiendo a romperse o a salir a la superficie.
- Condiciones de transporte: mientras más trepidaciones y traspasos experimenta el hormigón en su transporte mayor es la cantidad de aire perdido.
- Condiciones de compactación: una cierta cantidad de aire puede perderse por efecto de la compactación si su energía es muy elevada y el tiempo de vibración prolongado, especialmente si la docilidad del hormigón es alta.

Por las razones expuestas, la cantidad de aire incorporado debe controlarse sistemáticamente, midiéndolo mediante métodos adecuados. La medición se puede realizar por el Método de Presión, que está normalizado en la Norma IRAM 1602 o por el Método Volumétrico, normalizado en IRAM 1511, que se desarrollaron en el capítulo de ensayos sobre hormigón fresco. En el hormigón endurecido, el contenido de aire, distancia entre burbujas y otros parámetros pueden ser determinados mediante observación microscópica efectuada según ASTM C-457.

Efectos

La incorporación de aire en el hormigón produce diversos efectos sobre éste, tanto mientras se mantiene en estado fresco como cuando ya ha endurecido. Debe señalarse que el efecto principal buscado con el uso de los incorporadores de aire es el aumento de la resistencia del hormigón frente a los ciclos alternados de hielo-deshielo, que pueden producirse en los períodos en que las temperaturas ambiente descienden bajo 0 °C, caso en el cual su empleo debe considerarse imprescindible. Sin embargo, la incorporación de aire tiene también otros efectos secundarios de importancia, algunos de características favorables para el uso del hormigón, los cuales se analizan en los párrafos que siguen.

- *Frente a los ciclos alternados de hielo-deshielo*

Cuando existen bajas temperaturas ambiente que conducen a procesos de hielo y deshielo alternativos, las burbujas de aire incorporado en el hormigón actúan como cámaras de expansión frente al aumento de volumen que experimenta el agua al transformarse en hielo. Ello permite reducir las presiones hidráulicas y, con ello, las tensiones internas que se originan por este motivo, impidiendo así el deterioro progresivo que se produciría en un hormigón que no contenga aire incorporado.

Debe señalarse que, para que este proceso destructivo se produzca, es necesario que el hormigón esté saturado de agua, al menos hasta una cierta profundidad. No basta, en consecuencia, la existencia de las bajas temperaturas, sino que éstas deben ir unidas a la existencia de humedad en el hormigón, derivada ya sea del ambiente o del terreno adyacente.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que la eficacia de un aditivo incorporador de aire depende tanto de la cantidad total de aire incorporado, como del tamaño y distancia entre burbujas, siendo más efectivo mientras más pequeñas sean y próximas se encuentren. En relación con el primero, la experiencia práctica acumulada indica que, para asegurar la



protección de hormigones expuestos a ciclos de hielo-deshielo, deberá incorporarse del orden de 3 a 6% de aire según el tamaño máximo del árido.

Tamaño máximo del agregado grueso	Total de aire natural e intencionalmente incorporado al hormigón, de acuerdo al tipo de exposición o para hormigones especiales (Capítulo 2, Tablas 2.5. y 2.9.)	
	Exposición tipo C1 y Hormigón a colocar bajo agua	Exposición tipo C2
Mm	% en volumen	% en volumen
13,2	5,5 ± 1,5	7,0 ± 1,5
19,0	5,0 ± 1,5	6,0 ± 1,5
26,5	4,5 ± 1,5	6,0 ± 1,5
37,5	4,5 ± 1,5	5,5 ± 1,5
53,0	4,0 ± 1,5	5,0 ± 1,5

Tabla 1. Fuente: Cirsoc 201- M

C1: Elementos en contacto frecuente con agua, o zonas con humedad relativa ambiente media en invierno superior al 75%, y que tengan una probabilidad mayor que el 50% de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5°C.

C2: Estructuras destinadas al tráfico de vehículos o peatones en zonas con más de 5 nevadas anuales o con temperatura mínima media en los meses de invierno inferior a 0°C

1. En los hormigones de grado superior a H 35, el contenido de aire se puede reducir en un punto porcentual.
2. Las cifras indicadas tienen una tolerancia de ± 1.5 puntos porcentuales.

- ***Sobre la trabajabilidad del hormigón.***

Las burbujas de aire formadas en el hormigón fresco actúan al mismo tiempo como un fluido, aumentando su docilidad, y como un inerte, ya que, por su tamaño, equivalen a partículas de tamaño inferior a 2 mm, con la ventaja de tener un mejor coeficiente de forma, de ser elásticas y deformables, lo que les permite deslizarse sin rozamiento. Varían, por lo tanto, las propiedades reológicas del hormigón, aumentando la cohesión, con lo cual se reduce la tendencia a la segregación y la exudación, lo que facilita su puesta en obra. Por otra parte, al disminuirse la exudación se evita la acumulación de agua bajo las barras de acero y los áridos gruesos, mejorando su adherencia, así como también disminuye la formación de lechada en las superficies.

- ***Sobre la Resistencia del hormigón.***

Se debe considerar que la incorporación de aire produce disminuciones en las resistencias mecánicas del orden de 3 a 5% por cada 1 % de aire incorporado. Esta pérdida de resistencia se compensa en parte al bajar la razón agua-cemento por el efecto plastificador antes descrito. Sin embargo, debe considerarse que un efecto más significativo se obtiene con un aditivo plastificante-incorporador de aire

- ***Efecto sobre la impermeabilidad***

- En el hormigón endurecido, las microburbujas producidas por el aditivo incorporador de aire se interponen en la red de canalículos interna que existe en todo hormigón, lo cual permite limitar la ascensión de agua por capilaridad. El hormigón resultante es,



en consecuencia, más impermeable e, indirectamente, por ello más resistente a la acción de agentes agresivos.

4. b Fluidificante

Los aditivos fluidificante se usan para:

- Disminuir la cantidad de agua de mezcla necesaria para la producción de un hormigón con asentamiento específico.
- Reducir la relación agua-cemento, para disminuir el contenido de cemento y para aumentar el asentamiento.
- Los fluidificantes también llamados reductores de agua típicos, disminuyen el contenido de agua aproximadamente del 5% al 10%..

Se obtiene un aumento de la resistencia porque se disminuye la relación agua-cemento.

- **Fluidificante de mediano rango**

Estos aditivos pueden producir una reducción de agua de hasta el 12% , en algunas casos también modifica el tiempo de fraguado como se indica el grafico

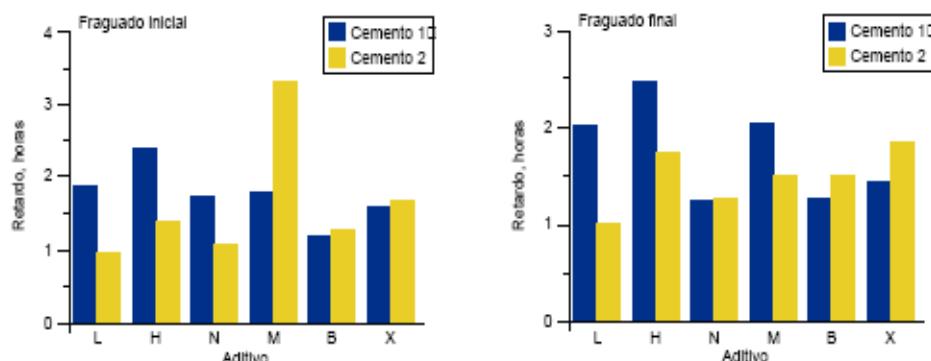


Fig. 6-5. Retraso del fraguado en mezclas con aditivo reductor de agua con relación a la mezcla de control. Los concretos L y H contienen reductores de agua convencionales y los concretos N, M, B y X contienen reductores de agua de alto rango (Whiting y Dziedzic 1992).

4.c Superfluidificantes

Son a base de productos melamínicos o naftalínicos, constituyen una evolución de los aditivos reductores de agua, que en la adsorción y capacidad de dispersión del cemento es mucho más acentuada.



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. (69924)



Los efectos principales que se derivan de la incorporación de algún componente tensoactivo son por una parte la ionización de los filamentos del aditivo que produce la separación de los granos de cemento entre sí, conduciendo a una efectiva desfloculización, y, por otra parte, las moléculas de aditivo son absorbidas y se orientan en la superficie de los granos de cemento en un espesor de varias moléculas, de lo que resulta una lubricación de las partículas.

Para entender mejor el funcionamiento de estos aditivos se hace preciso recordar el comportamiento agua-cemento en el proceso de mezclado y fraguado del hormigón. Como sabemos, primero se forma la pasta aglutinante producto de la lubricación de las partículas de cemento y de árido tras la adsorción del agua, y luego esta pasta se vuelve cementante producto de la reacción química que se lleva a cabo entre ambas al iniciarse el fraguado.

En la primera de estas etapas es cuando se produce la mezcla de los componentes y las primeras reacciones electroquímicas entre agua y cemento, apareciendo las características del hormigón fresco como trabajabilidad, docilidad, consistencia, etc.

Estas características están gobernadas principalmente por las reacciones electroquímicas producidas entre las moléculas de agua y los granos de cemento, los que poseen un gran número de iones en disolución en su superficie. Estos iones tienden a formar, debido a una afinidad electroestática, flóculos o capas de solvatación al entrar en contacto con el agua durante la operación de amasado. Dichos flóculos ejercen dos efectos nocivos en la masa de hormigón:

- Impiden la dispersión uniforme de las partículas de cemento en la masa de hormigón.
- Retienen cierta cantidad de agua en el interior de su masa que incide negativamente en la porosidad final del material por no ser utilizable para lubricar la masa ni para la lubricación de los granos de cemento.

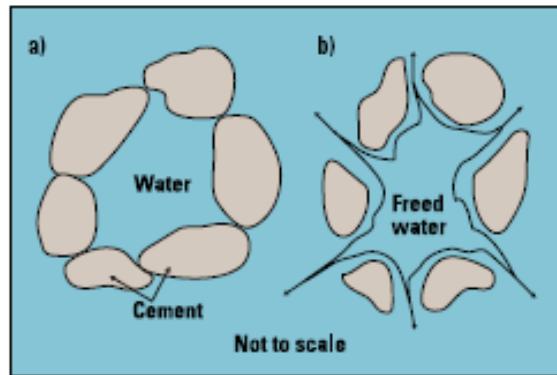
Los efectos nocivos de la floculación pueden ser contrarrestados, al menos en parte, mediante la incorporación a la masa de hormigón de ciertos compuestos químicos tales como policondensados de naftaleno y formaldehído, también llamados superplastificantes, reductores de agua de alto rango o superfluidificantes. Estos actúan neutralizando las cargas eléctricas que se encuentran sobre la superficie de las partículas de cemento y, por consiguiente, evitando la formación de flóculos. La forma lineal y alargada de estas moléculas orgánicas les permite recubrir por completo la superficie de los granos de cemento incorporándole cargas de signo negativo, provocando una fuerza de repulsión entre las partículas de cemento dificultando el fenómeno de la floculación. Sin embargo como consecuencia del efecto envolvente de estas moléculas puede ocurrir que, en altas dosis se produzca un efecto de retardo de la hidratación de los granos.

En el modo de acción de los superplastificantes pueden considerarse tres etapas consecutivas:

- Adsorción de los polímeros por parte de las partículas de cemento en la etapa de transición sólido-líquido.
- Carga de la superficie de los granos con fuerzas electroestáticas de repulsión por tener el mismo signo.



- Aparición de tensiones superficiales que aumentan la distancia entre partículas.



Aplicaciones:

- Reducción de la demanda de agua está entre 12% y 30%, lo que permite producir hormigones con: (1) resistencia a compresión última mayor que 715 kg/cm² o 70 MPa.
- Desarrollo mayor de las resistencias tempranas.
- Menor penetración de los iones cloruro.
- Otras propiedades beneficiosas asociadas a baja relación agua- cemento de los hormigones.
- Puede disminuir considerablemente la exudación.
- Puede agravar la fisuración por retracción plástica si no hay protección y curado correctos.

Superplastificantes para hormigones fluidos (autocompactantes)





Aplicaciones :

- (1) colado en secciones muy delgadas.
- (2) Áreas con poco espaciamiento del acero de refuerzo.
- (3) Colado bajo el agua.
- (4) Bombeado, para reducir la presión de bombeamiento.
- (5) Áreas donde no se pueden usar los métodos convencionales de consolidación.
- (6) Para la reducción de los costos de manejo.

4.d. Aditivos retardadores de fraguado

Los retardadores pueden ser sustancias inorgánicas solubles como: cloruro de aluminio, nitrato cálcico, cloruro de cobre, sulfato de cobre, cloruro de zinc, bórax soluble, fosfatos y fluoruros, ácido fosfórico, ácido bórico, óxidos de zinc y de plomo, etc., u orgánicas entre las cuales se encuentra la glucosa, sacarosa, almidón, celulosa, lignosulfonatos con azúcares, aminas y aminoácidos, etc., que en pequeñas proporciones pueden frenar el fraguado y endurecimiento del hormigón.

Los retardadores pueden actuar de dos formas distintas según su naturaleza; una es favoreciendo la solubilidad del sulfato cálcico, que de por sí es retardador de fraguado y, la otra, formando sales cálcicas que son adsorbidas, por las partículas de cemento, retrasando de esta forma su hidratación.

Se ha comprobado que los retardadores de fraguado influyen en el tamaño de los cristales formados de portlandita, ettringita, etc.

El empleo de retardadores es delicado debido a que, si se emplean en dosis incorrectas, pueden inhibir el fraguado y endurecimiento del hormigón; por esta razón se utilizan con más frecuencia fluidificantes o reductores de agua de amasado, que al mismo tiempo actúan como retardadores.

Aplicaciones

La acción principal de los retardadores es aumentar el tiempo durante el cual el hormigón es trabajable permitiendo: el transporte del mismo sin que se produzca un endurecimiento prematuro o la segregación, que es importante en el transporte a largas distancias, en hormigones bombeados, en inyectados, etc; controlar el principio de fraguado de una masa para conseguir que una pieza hormigonada en varias fases fragüe al mismo tiempo sin dar lugar a discontinuidades o juntas; hormigonar en tiempo caluroso al hacer al cemento menos activo en su hidratación con lo cual desprenderá menos calor los primeros 7 días; lograr un acabado adecuado en hormigones de áridos vistos al aplicar el retardador a la superficie de los encofrados con lo cual el hormigón en contacto con ellos endurece más lentamente y puede tratarse con cepillo una vez realizado el desencofrado, etc.

4.e. Aditivos aceleradores de fraguado

Son productos que, al contrario de los retardadores, favorecen la disolución de los constituyentes anhidros del cemento, su disolución o su velocidad de hidratación; su acción



no está muy bien definida, aunque parece ser que provocan una cristalización rápida de silicatos y aluminatos cárnicos en la pasta del cemento hidratada. En una gran parte de ellos se encuentra el cloruro de calcio que es el acelerante por excelencia; sin embargo, también actúan como aceleradores o acelerantes el cloruro sódico, amónico, y férrico. las bases alcalinas, hidróxidos de sodio, de potasio y de amonio, los carbonatos, silicatos y fluosilicatos, aluminatos, boratos de sodio o potasio, el ácido oxálico, la alunita, la dietanolamina, trietanolamina etc.

El CaCl_2 , incrementa la velocidad de hidratación dando lugar a resistencias iniciales altas y a una gran liberación de calor en sus primeras horas, al actuar como catalizador en las reacciones de hidratación del aluminato del cemento, y acelerando la reacción entre el yeso y el C_3A y el C_4AF .

Con el cloruro de calcio el tiempo de iniciación del fraguado puede reducirse a menos de la mitad del normal. Al ser mayor la velocidad de desprendimiento de calor en las primeras horas del hormigón, este acelerante permite el hormigonado en tiempo frío, debido a que el calor desprendido contrarresta en parte el frío exterior. La velocidad de endurecimiento aumenta de tal forma que un 1 por 100 de cloruro de calcio sobre el peso de cemento, es equivalente, desde este punto de vista, a una elevación de temperatura de 6°C , dependiendo del tipo y dosificación de cemento.

Aparte de estas ventajas, el cloruro de calcio mejora la trabajabilidad de los hormigones y aumenta su compacidad, no alterando las resistencias finales de los mismos y no produciendo regresión de ellas, como ocurre con otros cloruros.

Este tipo de aditivo tiene el inconveniente de que puede dar lugar a eflorescencia y ha producir corrosión de las armaduras, especialmente si el hormigón se encuentra en ambiente húmedo, de aquí que en hormigón armado y en hormigón pretensado esté totalmente prohibido su empleo, al igual que en cualquier producto en cuya composición intervengan cloruros, sulfuros, sulfitos u otros componentes químicos que ocasionen o favorezcan la corrosión de armaduras.

El cloruro de calcio se emplea exclusivamente en hormigón sin armar y la dosis normal de uso oscila entre el 1 y 2 por 100, aunque, en casos especiales, se puede llegar al 3 por 100, debiendo tenerse en cuenta que dosis altas pueden dar lugar a fraguados excesivamente rápidos que pueden crear dificultades en la puesta en obra, aunque, en ocasiones, como en el taponamiento de vías de agua sean útiles estas dosis. El cloruro de calcio incrementa la retracción del hormigón e incluso la fluencia, sin embargo, aumenta la resistencia a la abrasión de los hormigones de una forma permanente. El cloruro de calcio puede emplearse con cualquier cemento Pórtland pero no con morteros de cal o con cemento aluminoso.

El cloruro de sodio tiene un comportamiento similar al de calcio aunque más moderado en el calor de hidratación. Se han observado pérdidas de resistencias en los hormigones en los que se ha utilizado y esto ha motivado el que se prescinda de su empleo.

La vigente Instrucción española del hormigón indica que el porcentaje máximo total de ion cloro aportado por todos los componentes del hormigón no debe exceder de 0,2 por



100 con respecto al peso de cemento, en hormigón pretensado, de 0,4 por 100, en el caso de hormigón armado y en hormigón en masa que posea armadura para reducir la fisuración.

Otro acelerante empleado frecuentemente es el carbonato de sodio; su dosificación debe ser estrictamente controlada debido a que en pequeñas dosis puede actuar como retardador. En cualquier caso produce un aumento considerable de la retracción.

Actualmente se están utilizando mucho los acelerantes a base de aluminato de sodio por su gran eficacia y carencia de efectos secundarios; sin embargo, cuando el hormigón vaya a estar en contacto con terrenos ricos en sulfatos hay que tener en cuenta que la cantidad de aluminato será, en este caso, la suma de la del cemento y la del aditivo, pudiendo darse el caso de que el hormigón sea sensible al ataque aunque se haya empleado un cemento resistente a los sulfatos.

Generalmente los acelerantes clásicos producen altas resistencias a edades cortas, pero las resistencias pueden disminuir a edades mayores. Actualmente se han desarrollado aditivos acelerantes ecológicos, libres de álcalis, a base de sales orgánicas en los que no se dan estas disminuciones de resistencias a largo plazo.

Los acelerantes pueden ir asociados con otros aditivos formando combinaciones binarias con hidrófugos, plastificantes, aireantes, etc.

Dada la influencia que la temperatura tiene en las reacciones químicas se comprende la importancia que esta tiene en la eficacia de dichos aditivos.

Los acelerantes encuentran su principal aplicación en el hormigonado en tiempo frío en prefabricación al permitir los desencofrados rápidos, cuando se requiere reducir el tiempo de curado, para disminuir las presiones sobre los encofrados, obturación de escapes de agua a través de fisuras, trabajos en túneles y galerías con paredes húmedas, en trabajos marítimos entre dos mareas, en hormigones y morteros proyectados, etc.

4.f Impermeabilizante

En determinadas construcciones como pueden ser tuberías, depósitos, canales, etc., además de precisar hormigones de buenas resistencias mecánicas, es necesario que estos sean impermeables a fin de impedir que el agua pase a través de ellos.

Por otra parte, en obras o estructuras que han de estar en contacto con agua o con terrenos húmedos es conveniente que el hormigón se oponga a que el agua ascienda por él valiéndose de sus conductos capilares.

La permeabilidad de los hormigones depende de varios factores relacionados entre sí y que pueden resumirse en los siguientes:

- Compacidad, que, es influenciada por: forma y granulometría de los áridos, de la dosificación de cemento, de los medios de puesta en obra empleados y del curado.



- Estructura de la pasta de cemento hidratada en la cual se encuentran microcristales de silicatos y aluminato de calcio que presentan una red de conductos capilares formados al evaporarse parte del agua durante el proceso de hidratación.

El volumen capilar formado suele ser del 28 por 100 del volumen total de la pasta hidratada aunque depende de la relación agua/cemento y de las condiciones de curado. Este volumen es tanto menor, cuanto más baja es la relación agua/cemento, dentro de un límite, y cuanto más eficaz haya sido el curado del hormigón, a ser posible realizado en ambiente saturado de vapor de agua.

Si el hormigón se ha fisurado, por cualquier razón de origen químico, térmico, hidráulico o mecánico, la estanqueidad del mismo quedará afectada.

Se pueden emplear diferentes aditivos que mejoren la permeabilidad del hormigón, bien entendido que si los poros y conductos son de diámetros grandes, será imposible con estos productos conseguir un hormigón impermeable.

Se pueden considerar dos tipos de aditivos para este fin: los reductores de penetración de agua y los hidrófugos. Los primeros, aumentan la resistencia al paso del agua a presión sobre un hormigón endurecido; los segundos, disminuyen la absorción capilar o el paso de agua a través de un hormigón saturado. Ambos suelen solapar sus efectos.

Los aireantes tienen un papel notable sobre la impermeabilidad al interrumpir con burbujas de aire la red capilar de los hormigones. Los plastificantes también son beneficiosos porque disminuyen de la red capilar. Sin embargo, aquí se hace referencia a productos que se emplean con la función principal de impermeabilizar, al colmatar los capilares de la pasta de cemento hidratada.

El primer material empleado para este fin fue el polvo de sílice; este polvo reacciona, aunque muy lentamente a la temperatura ambiente, con la cal liberada en la hidratación del cemento para formar silicato de calcio insoluble. La actividad puzolánica de este material es muy escasa y los resultados de la impermeabilización muy variables. Este material está indicado en el caso de hormigones pobres en cemento o con pocos finos, de lo contrario carece de interés, teniendo además el inconveniente de requerir mayor cantidad de agua en el amasado.

El empleo de microsílice o de cenizas volantes adecuadas, mejora los resultados y posee además la ventaja de fijar la cal liberada y de aumentar la resistencia del hormigón.

La tierra de infusorios, bentonita, filler calizo y otras materias finas se emplean también como impermeabilizantes.

Otros impermeabilizantes de naturaleza orgánica o inorgánico actúan reaccionando con la cal del cemento dando lugar a la formación de sales cárnicas insolubles, con radicales fuertemente hidrófugos que taponan los capilares existentes en la pasta y proporcionan un efecto tensoactivo impermeabilizante que evita la absorción de agua por los capilares.



Los jabones son sales inorgánicas de ácidos grasos, como estearatos y oleatos de calcio y amonio, actúan produciendo simultáneamente la impermeabilización y la reducción de la capilaridad, estando indicados en hormigones sometidos a moderadas presiones de agua.

Los aceites minerales pesados se emplean con este mismo fin, incluso en hormigones sometidos a fuertes presiones de agua.

Los aditivos impermeabilizantes y los hidrófugos, pueden modificar el tiempo de fraguado del hormigón, disminuir las resistencias mecánicas si llevan incorporado un aireante, y aumentar la retracción, siendo, por consiguiente aconsejable, a falta de datos precisos sobre estos puntos, realizar ensayos previos con ellos.

Como se ha indicado estos productos son eficaces en hormigones compactos. Nunca debe pretenderse que el impermeabilizante tapone los huecos de un hormigón malo; en este caso, lo mejor sería taparlos con cemento y con finos en un hormigón bien estudiado, en definitiva, haciendo un buen hormigón.

4. g. inhibidores de corrosión

Los inhibidores de corrosión se usan en hormigones de estructuras de estacionamientos, marinas y puentes donde las sales de cloruro estén presentes. Los óxidos ferrosos, aunque estables en el ambiente alcalino del H, 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 aparcamiento en concreto son resultado de la corrosión de la armadura, inducida por cloruros. (50051)



4. h. Aditivos colorantes

Se utilizan para colorear el hormigón. La demanda de hormigón coloreado en EE.UU. estimada en el 2001 fue 3 a 4,6 millones de m³, 1,5 % de la producción total. Existe una gran expectativa de crecimiento del a demanda de este tipo de hormigón de aproximadamente el 25% anual.

Estos aditivos son generalmente pigmentos que se adicionan al hormigón durante el proceso de mezclado. Polvos y líquidos.

- Pigmento: Finas partículas, insolubles en un medio dado (H° en agua) que dotan de color al material al cual se añaden.(naturales ó artificiales).
- Pigmentos- Aditivos químicos



Fig. 6-19. Se emplearon pigmentos rojos y azules para colorir este piso de terrazo. (69873)

5. Otro tipo de aditivos

* **Aditivos reductores de retracción (contracción).** Aplicación: 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

* **Aditivos químicos para la reducción de la reactividad Álcali-agregado (inhibidores DE RAS):** 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)

ALMACENAMIENTO Y DOSIFICACIÓN DE 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
- Se dosifican En un % en peso del contenido de cemento



6. Principales aditivos, efectos y campo de aplicación

En la tabla 2, se señalan los principales aditivos, sus dosis, las propiedades que confieren al hormigón, las aplicaciones recomendadas y las limitaciones en su empleo. En

ADITIVO Y DOSIS USUAL	PROPIEDAD QUE CONFIERE AL HORMIGÓN	APLICACIONES RECOMENDADAS	LIMITACIONES
<u>Incorporador de Aire</u> 0.03% a 0.05% del peso del cemento	Incorpora microporos al hormigón produciendo: – Resistencia al hielo-deshielo. – Mayor docilidad – Eventual exudación	– Protección al hielo-deshielo. – Pavimentos. – Protección contra agentes químicos.	Menor resistencia mecánica
<u>Fluidificante o reductores de agua</u> 0.1% a 0.4% del peso del cemento	Mejorar la lubricación entre partículas, obteniéndose: – Mayor docilidad con agua constante. – Menor cantidad de agua para docilidad constante. – Mayor facilidad de colocación y compactación.	– Hormigones bombeados y premezclado. – Hormigonado de elementos estrechos o prefabricados. – Hormigones de alta resistencia.	
<u>Superplastificantes</u> Las dosis dependiendo del fabricante fluctúan desde 0.5% a 2% del peso del cemento. Aumentan las resistencias como reductores de agua, y como fluidificantes, aumentan la docilidad.	En general, actúan como reductores de agua o fluidificantes de medio rango otorgando: – Consistencia fluida sin disminución de resistencias. – Calidad homogénea, mínima segregación y exudación. – Disminución de retracciones y fisuración. – Facilidad de colocación y mayor rendimiento de la faena de hormigonado.	– Hormigón bombeado. – Hormigón pretensado. – Hormigón alta resistencia. – Hormigón de buena terminación. – Hormigón bajo agua. – Morteros y lechadas de inyección. – Hormigón para elementos esbeltos, con alta densidad de armaduras.	En sobredosis puede provocar segregación.

todo caso, siempre deben respetarse las indicaciones de los fabricantes.



ADITIVO Y DOSIS USUAL	PROPIEDAD QUE CONFIERE AL HORMIGON	APLICACIONES RECOMENDADAS	LIMITACIONES
<u>Aceleradores de fraguado</u>	Aumentan las resistencias iniciales.	<ul style="list-style-type: none">– Hormigonado en tiempo frío.– Hormigón proyectado.– Hormigones prefabricados.– Reducción plazo desmolde.– Reparaciones.	Usualmente contienen productos corrosivos, por lo que en el hormigón armado deben extremarse las precauciones.
<u>Retardadores de fraguado</u> 0.3% a 1.5% del peso del cemento.	<ul style="list-style-type: none">– Retrasan el inicio de fraguado manteniendo la docilidad por más tiempo.– Reducen el riesgo de fisuración al permitir la disipación del calor de hidratación por más tiempo.	<ul style="list-style-type: none">– Hormigón en tiempo caluroso.– Hormigón premezclado.– Hormigón en masa.– Transporte a gran distancia.– Evitar juntas frías.– Hormigón bombeado.	Sobredosificación puede originar una demora excesiva.
<u>Impermeabilizante</u> 0.5% a 4% del peso del cemento	<ul style="list-style-type: none">– Disminuyen la absorción de humedad:– Aumentan la impermeabilidad.	<ul style="list-style-type: none">– Hormigones subterráneos.– Losas de cubiertas.– Estanques de hormigón.– Estucos exteriores.– Pisos impermeables.	El uso debe unirse a una buena dosificación, compactación y curado.
<u>Expansores reductores de agua</u> 2 a 3 gr. por saco de cemento.	Producen una ligera expansión de la masa de hormigón, contrarrestando las retracciones de éste.	<ul style="list-style-type: none">– Relleno de cavidades o grietas.– Anclaje de pernos y estructuras.– Grouting.– Relleno de vainas en hormigón comprimido.	

Tabla 2

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Reglamento CIRSOC 201-M: 2004. Proyecto, cálculo y ejecución de estructuras de hormigón armado y pretensado. Argentina.
2. Neville Adam. (1999). “Tecnología del Concreto” Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. México.
3. Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi “Diseño y control de mezclas de concreto” Portland Cement Association. 2004 México.4. Normas IRAM