



# Química en Morteros y Hormigones

alquimia contemporánea al servicio de la construcción

La química aplicada ha encontrado en el sector de la construcción un campo infinito donde desarrollar soluciones específicas. Entre ellas son de especial relevancia las que intervienen en la fabricación, reparación y protección del hormigón, la fabricación de morteros especiales, el sellado de juntas, la impermeabilización estructural y el pegado rígido o elástico de distintos elementos. De entre todas estas aplicaciones destacan los desarrollos de múltiples aditivos para la fabricación del hormigón, a fin de producir o modificar sus características. Los aditivos, junto con las adiciones, se utilizan para alterar las propiedades de éste tanto en estado fresco como sólido. Existen una gran variedad de ellos: Aceleradores, retardadores de fraguado, fluidificantes, impermeabilizantes, colorantes, etc.

análisis

Fotos Reportaje: Sika

## Construimos derechos



Arquitectos Sin Fronteras

Si deseas colaborar o ser socio/a envíanos la ficha adjunta a : ASF Vía Laietana 12, 2º 4ª- 08003 Barcelona o al fax 93 310 79 42

Nombre y Apellidos \_\_\_\_\_ DNI/NIF \_\_\_\_\_  
 Dirección \_\_\_\_\_ Localidad \_\_\_\_\_ Código Postal \_\_\_\_\_  
 Provincia \_\_\_\_\_ Teléfono \_\_\_\_\_ Fax \_\_\_\_\_ E-mail \_\_\_\_\_

Marcar con X la forma de colaboración

donación de soporte de:  
 150 €     300 €     otros \_\_\_\_\_ €     una sola vez     semestral     anual

Ingreso en cuenta ASF-E Caja Arquitectos: 3183/0800/80/0000125324.

socio/a de Arquitectos Sin Fronteras:  
 cuota anual general 100 €     cuota anual estudiante 30 €     otros \_\_\_\_\_ €

Orden de pago: señores, por favor, atiendan hasta nuevo aviso los recibos que presentará Arquitectos Sin Fronteras con cargo a mi cuenta o libreta.

Titular de la cuenta \_\_\_\_\_ Entidad \_\_\_\_\_ Oficina \_\_\_\_\_ D.C. \_\_\_\_\_

Nº cuenta \_\_\_\_\_

Fecha y firma del titular: \_\_\_\_\_

Recuerda que puedes desgravar el 25% de tus aportaciones a Arquitectos Sin Fronteras (ASF) en la declaración de la renta.

ASF-E se compromete a salvaguardar la privacidad de los datos personales de su base social, a efectos de lo previsto en la LOPD de 15/99 de 13 de diciembre de 1999, y a garantizar que los datos que lo desee podrá acceder, actualizar o borrar su información. Sólo tiene que ponerse en contacto con nosotros mediante solicitud escrita y firmada dirigida a: ASF-E, Vía Laietana 12, 2º 4ª, 08003 Barcelona, teléfono: 93.310.79.42, o mediante correo electrónico a: asf@arquitectos.es

entra en [www.asfes.org](http://www.asfes.org)  
 ... y únete a este esfuerzo colectivo.



La fabricación de cada tipo de hormigón, como material diseñado “ex profeso” para cada uso, precisa de una correcta selección de sus componentes. Éstos, además, deben ser dosificados en las proporciones adecuadas, amasados de forma homogénea, preparados y puestos en obra en unas condiciones limitadas, para dar respuesta, en cada caso, a las tres fases principales de la vida de un mortero u hormigón, esto es la puesta en obra, la edad contractual y, a partir de ésta, la vida útil. Esto se traduce en requisitos de trabajabilidad, de resistencia y de durabilidad, respectivamente.

Las propiedades asociadas a un buen mortero u hormigón dependerán de aquellas atribuibles tanto a su estado fresco como a su estado endurecido, aquí el papel de los aditivos es fundamental. Así, intervendrán desde su amasado hasta su fraguado inicial, coadyuvando a la trabajabilidad, a la ausencia de exudación y de segregación de componentes, a la correcta velocidad de fraguado y a una determinada retención de agua.

En estado fresco, el empleo de aditivos influirá decisivamente en la trabajabilidad, que engloba las principales propiedades requeridas para el hormigón, esto es, la consistencia, la compactabilidad y la estabilidad o cohesión de la mezcla. Cuando se halle en estado endurecido, los aditivos habrán colaborado en la obtención de la resistencia mecánica requerida, en la

resistencia a agentes agresivos de toda índole, a la estabilidad dimensional, a la ausencia de eflorescencias y de coqueas, y a la impermeabilidad.

No menos importante es el mantenimiento de estas propiedades a lo largo del tiempo, lo que se conoce como “durabilidad”, que no debe ser asociada a la resistencia.

### Morteros y Hormigones

El mortero es una mezcla de cemento y arena cuya proporción, calidad, pureza y naturaleza de las materias primas, determinan su calidad. Como se verá más adelante, la relación agua/cemento es clave para asegurar la calidad y el comportamiento de la mezcla; así una menor cantidad de agua implica unas mayores resistencias mecánicas y una mayor cantidad de agua, mejor trabajabilidad.

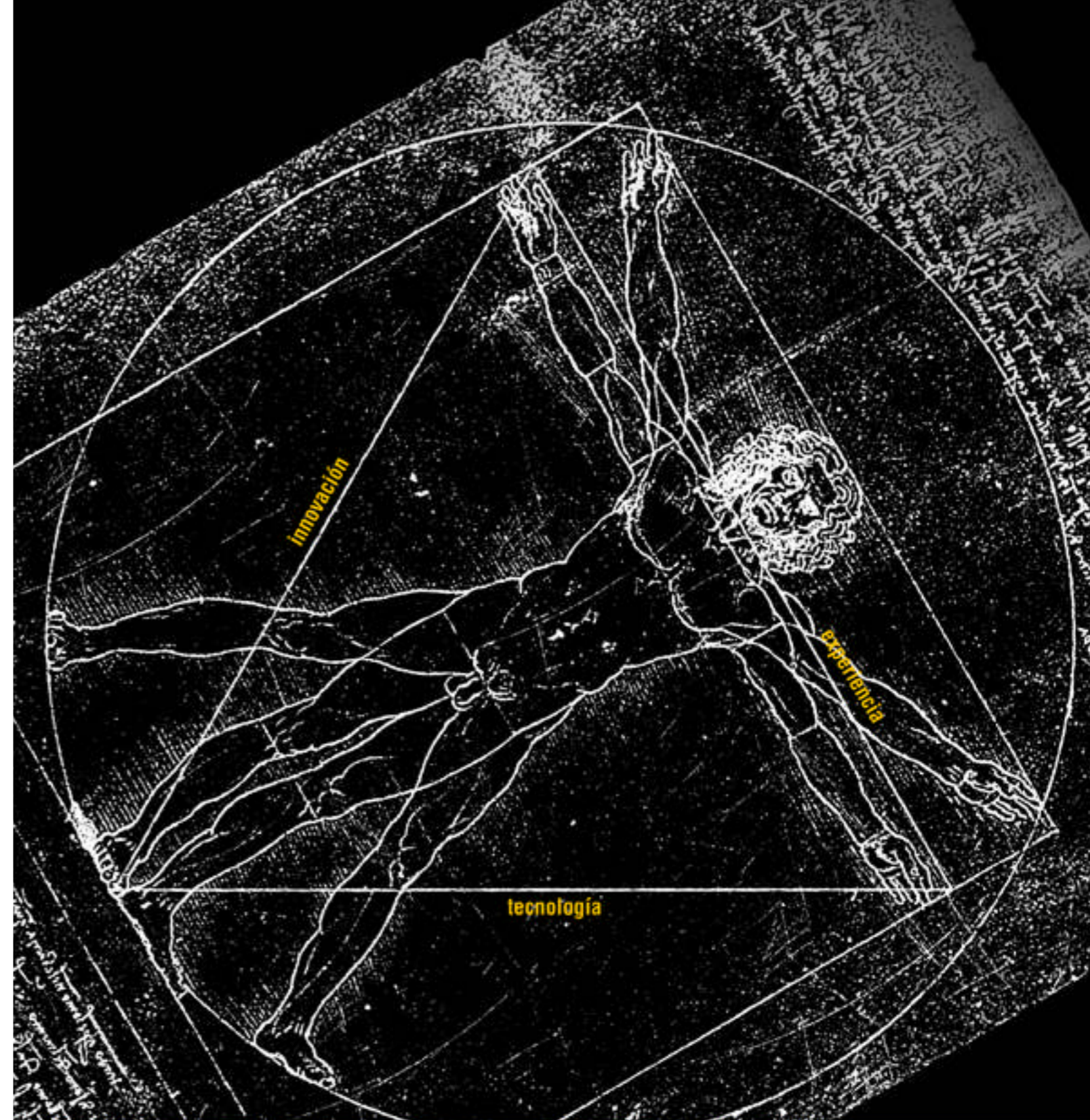
Para la producción de morteros de albañilería, de enfoscado, de solado, de impermeabilización, de nivelación, etc., se utilizan conglomerantes inorgánicos, aditivos, adiciones, áridos, fibras (acero, polipropileno, etc.) y agua. En cuanto a los conglomerantes inorgánicos, se emplean cementos comunes, blancos y resistentes al agua de mar y cales aéreas (vivas o apagadas) e hidráulicas.

Los aditivos para morteros y hormigones suelen ser productos líquidos o en polvo que modifican o mejoran sus propiedades. Los más usuales son: plastificantes, que reducen el agua de amasado o

aumentan la consistencia, mejorando la trabajabilidad; los llamados “polivalentes”, que actuarán como plastificantes o superplastificantes, dependiendo de su dosificación; aireantes u oclusores, que incorporan burbujas de aire haciendo que la mezcla sea más manejable, impermeable y resistente a los ciclos de hielo-deshielo; cohesionantes, que impiden la disgregación, especialmente durante el bombeo; retardantes, que retrasan el fraguado; y anticongelantes, que disminuyen el punto de congelación del agua de amasado para evitar el deterioro de la mezcla en tiempo frío.

En estado fresco, los aditivos más comúnmente usados para morteros (uno o varios compatibles entre ellos), suelen ser: acelerantes de fraguado, para dotar cuanto antes al material de las propiedades mecánicas requeridas, y para el gunitado del hormigón proyectado; anticongelantes (o aditivos con ambas funciones); y plastificantes; superplastificantes y aireantes (o combinaciones de ellos) para favorecer la cohesión, disminuir la exudación, reducir el agua de amasado, retrasar el tiempo de fraguado, aumentar la trabajabilidad y mejorar el autonivelado.

En estado endurecido, los morteros pueden incorporar líquidos de curado y barnices selladores; resinas acrílicas y fibras de polipropileno o metálicas, para la disminución de la retracción; colorantes, impermeabilizantes; y resinas acrílicas y plastificantes-aireantes, para mejorar la adherencia, la resistencia a corto plazo,



En el sector de la Química especializada, Sika significa calidad e innovación.

Suministrador líder de productos químicos especializados a nivel mundial, Sika desarrolla, fabrica y comercializa sistemas y soluciones específicas para la construcción, en edificación y obra civil, y en la industria, en los sectores de transporte: automoción, marina y electrodomésticos y equipos.

Su experiencia y su presencia en los cinco continentes hacen de la empresa un referente dentro del sector.



Química para la Construcción e Industria

Sika, S.A.U. - Tel.: 916 57 23 75 - Fax: 916 62 19 38 - info@es.sika.com - www.sika.es

la resistencia a la abrasión, la resistencia a la intemperie y a los ciclos hielo-deshielo, la resistencia a la flexotracción y la resistencia a la fisuración.

En cuanto a las adiciones (una o varias, siempre que sean compatibles entre ellas) suelen ser a base de: filleres calizos; materiales puzolánicos (naturales y artificiales como cenizas volantes, humo de sílice); escorias siderúrgicas; etc.

Los áridos (uno o varios, siempre que sean compatibles entre ellos) serán naturales o artificiales y reciclados.

A diferencia del mortero, el hormigón incorpora grava en su formulación. De la misma manera, las proporciones, calidad y pureza de las materias primas y la naturaleza y granulometría de los áridos empleados, son decisivos en la calidad tanto de la mezcla como del producto endurecido.

Además de una adecuada relación agua/cemento, ha de respetarse una correcta granulometría de los áridos y una correcta dosificación del cemento, para que el resultado final ofrezca unas adecuadas resistencias mecánicas, una óptima trabajabilidad, una durabilidad tal que le permita resistir a la degradación a medio y largo plazo, una ausencia total de coqueas y la impermeabilidad necesaria.

Para la producción de hormigones, el desarrollo de nuevos aditivos y de tecnologías innovadoras ha llevado a una notable mejora de las prestaciones mecánicas del conglomerado de cemento que constituye su base.

En estado fresco, los hormigones pueden incorporar acelerantes de fraguado, que pueden ser anticongelantes; aditivos polivalentes o superplastificantes, para aumentar la cohesión, disminuir la exudación, aumentar la trabajabilidad o reducir el agua de amasado; aireantes; cohesionantes y superplastificantes, para facilitar el bombeo e impedir la disgregación; y acelerantes, para el unitado.

En estado endurecido, se emplean líquidos de curado y barnices selladores; aditivos polivalentes y superplastificantes, para



disminuir la retracción, desencofrantes; colorantes; retardadores superficiales, para obtener un acabado rugoso; impermeabilizantes; anticongelantes-acelerantes, para obtener una mayor resistencia a corto plazo; y resinas acrílicas, para favorecer la adherencia, aumentar la resistencia química, o mejorar la resistencia a la abrasión.

La utilización de fibras metálicas y poliméricas permite mejorar la tenacidad y la ductilidad del material, así como mejorar su resistencia a la fisuración. La utilización de revestimientos elásticos de polímero-cemento, como protección de los cubre-hierros, prolonga la vida útil de servicio de las obras de hormigón incluso en los ambientes más hostiles y en las condiciones de servicio más difíciles.

### La Relación Agua-Cemento

El proceso de amasado de morteros y hormigones, si bien precisa de agua que facilite la homogeneización y trabajabilidad de la masa, debe observar que, en general, debe aportar la menor cantidad posible de ésta, ya que toda agua excedente de la hidratación del cemento

será exudada dando como resultado un producto endurecido final poroso, permeable y con unas propiedades mecánicas y resistentes disminuidas. La proporción idónea que minimiza el riesgo de exudación (relación agua/cemento de aproximadamente 0'25, o lo que es lo mismo, 1 parte de agua por 4 partes de cemento), produce masas intrabajables que necesitan de un vibrado duradero e intenso para eliminar grumos y posibilitar la compactación, el amoldeo y el recubrimiento de las armaduras.

Si se aumenta la relación agua/cemento, en estado fresco, se mejora la trabajabilidad y la colocación en obra, pero se favorece la exudación y segregación de componentes; y en estado endurecido, empeora sus propiedades mecánicas, aumenta la porosidad y disminuye tanto la impermeabilidad como la resistencia a agentes agresivos.

Si por el contrario se disminuye la proporción agua/cemento, se aumenta la resistencia mecánica y a agentes agresivos, la durabilidad y la impermeabilidad, en estado endurecido, pero a partir de un producto que, en

estado húmedo, resulta intrabajable a la par que proporciona una deficiente protección de las armaduras por su difícil puesta en obra.

Así, esta contradicción invita al empleo masivo de aditivos reductores de agua (fluidificantes) para poder alterar la relación agua/cemento, posibilitándose el preparar hormigones y morteros muy trabajables, de fácil colocación, sin exudaciones ni segregación de componentes, de óptima compactación e inmejorables propiedades mecánicas y de resistencia a agentes agresivos. Con ello se consigue una baja relación agua/cemento, óptima para el resultado endurecido, sin menoscabo de la trabajabilidad y facilidad de puesta en obra de la masa en estado húmedo, que asegura, además, una mejor protección de las armaduras.

### Aditivos y Adiciones: uso y descripción

Como se ha comentado, los aditivos se emplean para modificar favorablemente la consistencia o alguna de las características, comportamientos o

propiedades habituales de hormigones o morteros en cualquiera de sus fases, especialmente en condiciones límites de hormigonado (en lugares fríos o cálidos), controlando las propiedades de trabajabilidad y exudación en estado fresco, a través de plastificantes, reductores de agua, incorporadores de aire, polvos minerales plastificantes y estabilizadores; de tiempo de fraguado y resistencia inicial, a través de aceleradores de fraguado y/o endurecimiento y retardadores de fraguado; y la resistencia, impermeabilidad y durabilidad en estado endurecido, por medio de incorporadores de aire, anticongelantes e impermeabilizantes.

Los aditivos para hormigón, morteros y pastas son, según la UNE-EN 934-2, productos que, introducidos en pequeña proporción en el material, antes, durante o después del amasado, modifican algunas de las propiedades originales de la mezcla en estado fresco y/o endurecida. Se presentan en forma de polvo, líquido o pasta, y la dosis varía según el producto y el efecto deseado entre un 0,1% y 5% del peso del cemento.

### Los plastificantes-reductores de agua

Se utilizan para aumentar la consistencia para un mismo contenido de agua, permitiendo una reducción del 5% de ésta. Con ello se mejora y se mantiene durante más tiempo la trabajabilidad del hormigón fresco, sin alterar la proporción agua/cemento, y se facilita la puesta en obra sin disminuir la resistencia.

Este aumento de consistencia se hace posible mediante la adición de materiales inertes tales como el humo de sílice, que completan la granulometría de la masa facilitando así el movimiento relativo de los granos, mejorando la docilidad del material fresco. En su contra tiene que pueden aumentar la fisuración del hormigón por retracciones.

### Los fluidificantes, superfluidificantes o reductores de agua de alta actividad:

Tienen las mismas funciones que los anteriores, pero de forma más intensa. Esto es, pueden reducir de 12 a 20% de agua, a igualdad de consistencia, o bien, transformar la consistencia de un hormigón, de plástica a fluida, sin adición suplementaria de agua. Consiguen aumentar la fluidez de las pastas de cemento, y con ello la de los morteros y hormigones, de forma que para una misma cantidad de agua, se obtienen morteros y hormigones más dóciles y trabajables, que permiten una puesta en obra mucho más fácil y segura, a la par que mejoran la resistencia del hormigón endurecido, por precisar de menos agua. Además, disminuyen la dosis requerida de cemento.

Las ventajas que aportan al hormigón este tipo de productos son, para el estado fresco: La gran facilidad de bombeo y de relleno de encofrados muy armados (trabajabilidad), un menor riesgo de presencia de zonas mal compactadas, un desarrollo rápido de las resistencias, la ausencia de segregación, una mejora



de la durabilidad, unos acabados más estéticos (que compensan la presencia de áridos poco idóneos), el prolongar el tiempo de puesta en obra, y la obtención de una pasta cementante más densa y homogénea.

Una vez endurecido, su estructura tendrá menos fisuraciones y una menor porosidad, una mayor impermeabilidad, una mejor adherencia en la interfase pasta-árido y pasta-armadura, y una superficie exterior de ruptura más lisa, con menos "descarnamiento" de los áridos. Asimismo, aumentarán las resistencias mecánicas, se producirán menores deformaciones, se garantizará una mayor durabilidad, una mayor resistencia a los ciclos hielo-deshielo, una menor permeabilidad al agua y gases (menos ataques de cloruros, carbonatación, etc.), una mayor resistencia a la abrasión y una importante mejora de la resistencia al fuego.

La incorporación de aditivos fluidificantes se realiza en la última fase de amasado, requiriéndose un amasado suplementario de un par de minutos, para que el agua arrastre el aditivo hacia el hormigón y asegure el mezclado homogéneo. Inmediatamente se produce un efecto dispersante, que se mantiene durante un tiempo cercano a una hora, por el que aumenta la trabajabilidad del hormigón o del mortero.

La incorporación de aditivos fluidificantes se realiza en la última fase de amasado, requiriéndose un amasado suplementario de un par de minutos, para que el agua arrastre el aditivo hacia el hormigón y asegure el mezclado homogéneo

En el mercado se encuentran aditivos fluidificantes-reductores de agua de muy buen efecto con la práctica totalidad de los cementos. En muchas ocasiones se recurre al uso de aditivos de efecto combinado, en los que además del efecto reductor de agua, se obtiene un efecto retardante, acelerante, oclisor de aire, etc.

Los superfluidificantes básicamente tienen los mismos efectos sobre el hormigón que los fluidificantes, pero en grados mayores. Con su aplicación se alcanzan reducciones de hasta un 60% del agua requerida en la mezcla del hormigón. Son usados con profusión en la elaboración de hormigones super-resistentes y autocompactantes.

Al actuar directamente sobre el cemento, de forma tensio-activa, reconduciendo el agua por la pasta y produciendo la defloculación de los gránulos de cemento, los fluidificantes y superfluidificantes basan su eficacia en función de la composición del mismo, sobre todo su contenido en C3A y alcalinos.

La cantidad a poner oscila entre el 1% y el 3%, en relación al peso de cemento, en función de los resultados requeridos. No obstante, y teniendo en cuenta que estos productos no retrasan el fraguado y endurecimiento del hormigón, hay casos en los que puede subirse esta dosificación hasta el 5%, sobre todo para fabricar hormigones de altas resistencias o prestaciones especiales. En cualquier caso, y esto podemos citarlo como único inconveniente, ha de tenerse en cuenta que el tiempo de mantenimiento de la trabajabilidad que proporcionan es relativamente corto, y dependerá del cono de partida, antes de la adición del aditivo, del cemento y áridos empleados, la temperatura ambiente, etc. La composición de estos aditivos reductores de agua puede ser variable, aunque en ella suelen aparecer sustancias de origen natural, como los lignosulfonatos o las sales de ácidos hidroxicarboxílicos. Las formulaciones de estos productos están basadas en sales de melamina formaldehído sulfonada y sales de naftaleno formaldehído sulfonado.



Un efecto secundario que suele aparecer con la adición de este tipo de aditivos es un ligero retraso en el inicio del fraguado. Esto puede suponer una ventaja, en cuanto a que prolonga el tiempo abierto para la puesta en obra, especialmente cuando se trata de elementos difíciles de hormigonar o cuando las temperaturas elevadas reducen el tiempo abierto de los morteros u hormigones.

#### Los aceleradores

Son aquellos aditivos cuya función principal es adelantar el tiempo de fraguado del cemento, con lo que se acelera el endurecimiento del hormigón. Permiten aumentar la resistencia del hormigón a edades tempranas (primeros 28 días), logrando una disminución de los tiempos de obra. Con ello se consigue un desarrollo rápido de las resistencias iniciales. Su uso se recomienda en tiempo frío para que el hormigón sea más resistente y así poder soportar los posibles daños que pudieran causarle las heladas. También se emplean para permitir una puesta en servicio más rápida.

Además del hormigonado en tiempo frío, las aplicaciones principales de un acelerante de fraguado están en aquellos hormigones que necesitan un desencofrado rápido, se hayan sumergidos o en presencia de agua (hormigonado de sótanos, obturación de vías de agua, etc.), y en todos los casos en que necesitan ponerse en servicio rápidamente.

Los acelerantes de fraguado se dividen en dos grupos, aquellos en los que en su composición base incluyen cloruros

y los exentos de cloruros. Los primeros pueden atacar a las armaduras con una mínima presencia de humedad, por lo que sólo se deben emplear en hormigones en masa.

La dosificación de aditivo acelerante de fraguado debe hacerse junto con el agua de amasado y nunca directamente sobre el hormigón, de esta forma se facilita una mayor homogeneidad de su efecto en toda la masa.

Dado que la reacción del aditivo acelerante con el cemento es exotérmica, y ésta se produce en un espacio de tiempo corto, se debe extremar el curado de dicho hormigón y evitar de esta forma las fisuras que se podrían producir debido a la retracción térmica.

Interesa, en la medida de lo posible, a la hora de utilizar aditivos acelerantes, tener en cuenta una serie de recomendaciones que, en la I Jornada sobre Hormigón Projectado (Madrid, 24 de Octubre de 2006) realizó Alberto Rey, de Sika, tales como hacer uso de cementos CEM I 52,5 R y de aditivos superplastificantes libres de álcalis, de última generación, y reducir al máximo la relación agua/cemento. El uso de este tipo de acelerantes libres de álcalis tiene una influencia directa en el ahorro económico además de grandes ventajas en cuanto a garantizar la salud y la seguridad en el trabajo. Los acelerantes de fraguado, tanto en polvo como en líquido, se dosifican en un 4-5% del peso de cemento. La dosificación de superplastificantes y estabilizadores, condicionada por el tipo de áridos, de cemento y por el tiempo de manejabilidad requerido, requiere siempre la realización de pruebas de obra.

#### Los retardadores:

Son aditivos que incrementan los tiempos de fraguado para facilitar la colocación del hormigón, especialmente en aquellos que se coloquen en grandes volúmenes o en condiciones lentas de colocación, por dificultades de acceso o encofrados con volúmenes complejos. Son muy utilizados en hormigón premezclado, donde éste es transportado largas distancias y transcurre un tiempo considerable desde su preparación hasta su colocación. Normalmente produce menores resistencias en edades tempranas.

Con frecuencia, se usan en climas cálidos (compensando la caída rápida de trabajabilidad y evitando el revibrado), para disponer de más tiempo para la puesta en obra, disminuir las fisuraciones de origen térmico debidas al calor de hidratación o evitar juntas frías en la unión de distintas tongadas.

Al igual que en el caso de los acelerantes, la dosificación del aditivo retardador debe hacerse junto con el agua de amasado y no directamente sobre el hormigón. De esta forma se evita que el aditivo quede solo en una porción del hormigón, teniendo ésta un retraso en su fraguado mientras que otra parte de dicho hormigón tenga un fraguado normal. Una sobredosificación accidental del aditivo retardador trae consigo un retraso del fraguado, tanto más acusado cuanto mayor sea la sobredosificación. Si bien las resistencias iniciales se verán disminuidas, las finales no se verán afectadas por ello.

Debido a la gran cantidad de factores que influyen en el proceso de fraguado

## Ventajas de la Utilización de Aditivos

La utilización de aditivos se traduce en ventajas directas para todos los agentes de la construcción:

**Para el promotor.** Permite un ahorro en tiempos de ejecución, asegurando el cumplimiento de plazos; Posibilita la ejecución de estructuras durables, y de calidad controlada; Reduce tiempos de mano de obra y la cantidad necesaria de cemento; Permite acabados impecables y soluciones estéticamente novedosas.

**Para el constructor.** Reduce tiempos de ejecución al no depender de la climatología y facilitarse la puesta en obra; Facilita la ejecución de estructuras complejas; Asegura el control del comportamiento en cuanto a resistencias (homogeneidad

de comportamiento y resistencias elevadas); Minimiza la presencia de defectos superficiales; Asegura el comportamiento más allá de la garantía.

**Para el fabricante de hormigón preparado.** Reduce los costos de fabricación y la variabilidad y consistencia de los suministros (optimiza los procesos); Reduce el riesgo de reclamaciones y devoluciones; Permite suministros a mayores distancias y en todas las épocas (hormigonado en tiempo frío); Estandariza la composición de hormigones, con independencia de las estaciones; Permite una puesta en obra más rápida aumentando la capacidad de suministro por viaje; Posibilita el suministrar hormigones

con características especiales (valor añadido); Promueve el uso de materiales de bajo coste y rápida disponibilidad; Preserva el recurso natural a la par que minimiza el coste total de materias primas; Racionaliza la producción, ahorra energía y aumenta el rendimiento; Reduce la mano de obra; Reduce stock y aumenta su rotación; Mejora, por tanto, su posición en el mercado.

**Para proyectista y calculista.** Gracias al empleo de aditivos no existe límite para el diseño y ejecución de estructuras difíciles; Posibilita la creación de estructuras fiables en ambientes agresivos; Rentabiliza, desde proyecto, la creación de estructuras singulares por especificaciones de los hormigones al coste más bajo posible.

del cemento, como son dosificaciones y tipo de cemento, temperatura de los componentes del hormigón, temperatura ambiente, masa de hormigón, dosificación del acelerante o retardante, etc., no se puede saber a priori cuánto es el aceleramiento o deceleración obtenidos con una dosificación de aditivo correspondiente, por lo que es necesario hacer un ensayo previo con los mismos componentes y condiciones que se tengan en obra y de esta forma poder determinar la dosificación óptima para la aceleración o retardo de fraguado que se pretende conseguir.

### Los aireantes:

Incorporan, de forma uniforme, microburbujas (con diámetros entre 25 y 200 micras) dentro del hormigón, lo cual hace que éste sea más resistente a los ciclos hielo-deshielo, ya que el aire ocluido absorbe la expansión del agua sólida. Estas burbujas deben permanecer tanto en la masa del hormigón fresco como en el endurecido, mejorando la plasticidad y disminuyendo la segregación. Hay que tener en cuenta que, con altos contenidos de cemento, pueden llegar a reducir la resistencia a compresión hasta un 5% por cada 1% adicional de aire ocluido. Este efecto disminuye a medida que lo hace el contenido de cemento. Además, la incorporación de aire mejora la trabajabilidad del hormigón en estado fresco y la durabilidad en

estado endurecido. El aire incorporado por este mecanismo oscila entre un 2 y un 7%, dependiendo de la dosis de aditivo y la cantidad de áridos finos. También permiten obtener hormigones de menores densidades y con mejores propiedades en cuanto a aislamiento acústico y térmico.

Principalmente los aireantes están basados en resinas Vinsol, jabones sintéticos y jabones minerales.

Además los aireantes confieren al hormigón dos ventajas añadidas: en su estado fresco, mayor fluidez, debida a que el aire ocluido actúa como fino que no absorbe agua, y como rodamiento de bolas elástico, que mejora el deslizamiento entre los áridos; y en su estado endurecido, mayor durabilidad al cortar la red capilar y al actuar las burbujas como cámaras de descompresión en el caso de helarse el agua del capilar.

Los aditivos aireantes se emplean generalmente en aquellos hormigones que pueden estar sometidos a ciclos de hielo-deshielo (pavimentos o presas de alta montaña, etc.) o tengan un bajo contenido en finos.

La dosificación de los aditivos aireantes debe hacerse junto con el agua de amasado, ya que la cantidad a aditivar generalmente es muy pequeña y no se produciría un buen reparto en la masa

del hormigón. Ésta dependerá de la cantidad y tipo de cemento, la finura de molido de éste, de la cantidad de finos, de la granulometría, consistencia del hormigón y del tiempo de amasado, por lo que se deben hacer ensayos con los mismos componentes del hormigón y condiciones de la obra para determinar la dosificación óptima de aireante de acuerdo a las necesidades de la obra.

### Otros:

Además de los citados, existen otros aditivos que permiten solucionar cualquier requerimiento tales como reductores de agua, generadores de gas, generadores de espuma, desaireantes o antiespumantes, generadores de expansión, aditivos para bombeo, aditivos para hormigones y morteros proyectados, aditivos para inyecciones, colorantes, inhibidores de corrosión de armaduras y modificadores de la reacción álcali-áridos.

### Adiciones

La fabricación de morteros y hormigones puede hacer uso de cenizas volantes. Éstas están constituidas por un subproducto industrial formado los residuos sólidos que se recogen por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases de combustión de centrales termoeléctricas alimentadas por carbones pulverizados. Al no tenerse garantías de su regularidad, se ha de controlar la composición de los diferentes suministros para que no afecten al comportamiento de las distintas mezclas. Así, por ejemplo, si las cenizas presentan un alto contenido

de óxido de calcio pueden dar origen a problemas de expansión del hormigón.

La fabricación del hormigón con adiciones se realizará en central con control de producción, en cuyo caso será preceptivo la realización de los ensayos previos o bien en una central que esté en posesión de un Sello o Marca de Conformidad oficialmente homologado, u otro sello de calidad de un país miembro de la CEE que tenga un nivel equivalente. Asimismo, y con carácter previo, la central de hormigonado dispondrá de resultados de ensayos de permeabilidad, carbonatación y determinación del pH así como otros que puedan resultar de interés para la utilización del hormigón.

Se podrán utilizar cenizas volantes como adición en el momento de la fabricación del hormigón, cuando se utilice cemento del tipo I-0, admitiéndose también el tipo I cuando el componente adicional sea exclusivamente filler calizo.

## Producción de Hormigón Proyectado

Según Alberto Rey, del Dpto. de Constructoras y Grandes Obras de Sika, la utilización del hormigón proyectado, como elemento generalizado, tanto en el sostenimiento como en el revestimiento de túneles y obras subterráneas, ha motivado un continuo desarrollo tecnológico, tanto en los componentes del hormigón (cemento, áridos y aditivos) y en la maquinaria, como en su aplicación y control de calidad.

Alberto Rey aclara que se entiende por "gunitar" la puesta en obra de un hormigón o mortero proyectado con aire a presión a través de manguera, a gran velocidad sobre un soporte.

Este hormigón presenta un tamaño máximo de áridos superior a 8 mm. y es transportado, mediante aire a presión hasta una boquilla o pistola especial que va equipada con un distribuidor múltiple perforado, a través del cual, se pulveriza agua a presión (junto con acelerante líquido si se emplea), que se mezcla con el conjunto cemento/áridos. La mezcla ya húmeda se proyecta desde la boquilla sobre la superficie soporte que debe gunitarse.

Los aditivos que se adicionan al hormigón proyectado son productos líquidos o en polvo que una vez añadidos a los hormigones modifican y mejoran algunas de sus características. Los más usuales son los superplastificantes, que mejoran la trabajabilidad de los hormigones y su proyección; los acelerantes de fraguado, que reducen el rebote al disminuir el inicio del tiempo de fraguado y los aditivos estabilizantes tixotrópicos, que reducen el rebote diferencial (mejorar la compactación) y favorecen la proyección de los morteros al modificar la reología del hormigón proyectado.

La proyección del hormigón, frente al vibrado, puede dar lugar a estructuras muy porosas y, por tanto, con una resistencia a la compresión muy disminuida. La pérdida de cemento motivada por el rebote hace necesario aumentar los contenidos de cemento, del orden de 387 kg/m<sup>3</sup> en vía seca y 427 kg/m<sup>3</sup> en vía húmeda. Las relaciones agua/cemento son bajas, del orden de 0,35-0,55.

En el hormigón proyectado es habitual el uso de elementos adicionales tales como fibras de polipropileno o microsílíce, y aditivos, en general acelerantes de fraguado, superplastificantes y de autocurado.

En hormigones proyectados, los acelerantes de fraguado de vía seca (presentación en polvo) o vía húmeda (presentación en líquido), son usados para sostenimiento, revestimientos, entibaciones y consolidación en túneles y taludes, y en obras subterráneas, reparaciones de estructuras, saneamiento de juntas, y construcciones de vasos de piscinas, con cualquier tipo de cemento.

Las ventajas y efectos de los acelerantes en hormigones proyectados se pueden resumir en: un rápido fraguado, que acelera el desarrollo de las resistencias mecánicas; una reducción del rechazo; un aumento de la adherencia del proyectado, especialmente útil en techos y bóvedas, y un importante aumento de la impermeabilidad. Aquellos aditivos que no contienen cloruros y no son alcalinos no atacan a las armaduras, reducen los riesgos de fisuración por retracción (débil reacción exotérmica), eliminan el peligro de quemaduras y reducen la toxicidad de los aditivos acelerantes tradicionales.

Para el aumento de la trabajabilidad (vía húmeda) y mejora de la proyección, se emplean superplastificantes/estabilizadores de fraguado. Para aumentar la tixopía y colaborar, asimismo, en la facilidad de proyección, se emplean cohesionantes; y para mejorar el comportamiento del conjunto, se adicionan fibras de polipropileno y mixtas.

Los superplastificantes proporcionan al hormigón proyectado las siguientes propiedades: Retraso del tiempo de hidratación del cemento, que depende de la dosificación de aditivo utilizada; aumento de las resistencias; disminución de la retracción y de la segregación y, al estar exentos de cloruros, evitan la corrosión del acero.



Principalmente los aireantes están basados en resinas Vinsol, jabones sintéticos y jabones minerales

Las ventajas y efectos de los acelerantes de vía húmeda en los hormigones proyectados pueden resumirse en: una notable reducción de polvo en comparación con la proyección por vía seca; un considerable aumento de la impermeabilidad del hormigón proyectado (siempre que se escojan adecuadamente los áridos); una mejora de la adherencia entre el hormigón proyectado y el soporte, facilitando así las operaciones de proyección en bóvedas o techos; una reducción en un 10% el rebote del hormigón proyectado; un fraguado rápido y una velocidad de endurecimiento alta en las primeras 24 horas; un aumento de la impermeabilidad y, si están exentos de cloruros, no producir ataque al hierro de las armaduras.

Los efectos de los acelerantes de fraguado, tanto de vía seca como húmeda, dependen del contenido, de la clase y de la edad del cemento utilizado, de la temperatura y de la naturaleza del terreno, del espesor de capa aplicada y del procedimiento de aplicación.

### Impermeabilización y Sellado de Juntas

La correcta impermeabilización, tanto en obra nueva como en rehabilitación, requiere de sellantes de contrastada calidad.

#### Sistemas de impermeabilización de juntas de hormigonado y/o dilatación

Destacan los sistemas de impermeabilización y sellado de juntas de hormigonado y/o dilatación a base de perfiles hidroexpansivos; los que hacen uso de inyecciones de resinas hidrodilatables y las cintas de PVC.



La utilización de perfiles hidroexpansivos, además de garantizar el sellado impermeabilizador de juntas frías, facilita una buena y limpia puesta en obra a la par que aumenta la resistencia al envejecimiento.

La forma de funcionar de estos perfiles se basa en un aumento del volumen de su sección al contacto con el agua. Este aumento provoca una presión contra las paredes de la junta favorecida, por un lado, por una óptima estabilidad dimensional, y por otro lado, por unas magníficas propiedades elásticas que permiten una dilatación gradual y solidaria, coincidiendo con el proceso de fraguado del hormigón y evitando la aparición de coqueas entre el perfil y el hormigón, minimizándose la posibilidad de desgarro.

Además de las ventajas señaladas, incorporan la facilidad y rapidez de aplicación, incluso en vertical, que no precisa ni de soldaduras o empalmes ni del uso de una maquinaria especial.

La inyección de resinas para el sellado y control de estanquidad de juntas frías de hormigonado, exige combinar dos procesos, por un lado situar una manguera especial, antes del hormigonado, y por otro la inyección, tras el proceso de fraguado, de una resina hidroexpansible, de elevada resistencia química, que expande de una a dos veces su volumen. Este sistema es profusamente utilizado tanto en juntas de trabajo horizontales como en verticales, en segmentos durante la construcción de túneles, en pasos de tuberías, en reparación y sellado de juntas y en el relleno de perfiles metálicos, garantizando la estanquidad incluso tras movimientos o asentamientos diferenciales de la estructura.

Su uso está especialmente indicado en estructuras singulares tales como las de plantas desalinizadoras, estructuras bajo el nivel freático, depuradoras, piscinas, túneles, presas, y, en general, donde sea imprescindible garantizar que nunca se va a producir una entrada o fuga de agua. Como ventajas añadidas, la inyección de resinas permite el control, e incluso la reinyección, en obra de la resina, con objeto de controlar totalmente la estanquidad de la junta y el sellado de todas las fisuras, grietas y coqueas, en contacto con la junta, todo ello por un procedimiento sencillo y rápido, aplicable sobre soportes húmedos, incluso en presencia de agua, incluso con temperaturas inferiores a  $-10^{\circ}\text{C}$ , que no precisa de empalmes, solapes, etc.

Las cintas de dilatación de PVC, fabricadas a partir de cloruro de polivinilo con contenido plastificante, de aplicación tanto interior como exterior, están indicadas para la impermeabilización de juntas frías y/o de dilatación (juntas con movimiento) en estructuras de hormigón tanto en el campo de la edificación como en el de la obra civil (cimentaciones, túneles, depuradoras, piscinas, etc.) en las que se requieren juntas por motivos técnicos constructivos, y para amortiguar movimientos de materiales contiguos y evitar así la aparición de fisuras y grietas producidas por tensiones debidas tanto a cargas soportadas (previas, debidas a asentamientos, etc.) como a las relacionadas con el propio material (retracción, cambios de volumen, etc.). Su función es la de impedir la entrada y salida de agua, manteniendo su función selladora absorbiendo movimiento de la estructura, durante toda su vida útil.

Existen diferentes tipos y tamaños de cintas a elegir atendiendo a la máxima deformación prevista. Siempre que sea posible, se recomienda hacer coincidir juntas de trabajo con juntas de dilatación para disminuir su número y dar así una mayor continuidad a la estructura. Las cintas, comercializadas en rollos, disponen de ojales o remaches metálicos, que facilitan su fijación mediante nervios y puntos de anclaje, y pueden ser hormigonadas total o parcialmente.

Los efectos de los acelerantes de fraguado, tanto de vía seca como húmeda, dependen del contenido, de la clase y de la edad del cemento utilizado



Otras aplicaciones de gran utilidad son las que permiten tanto el refuerzo como el pegado de elementos

Es exigible a las cintas de dilatación una adecuada resistencia al envejecimiento, a los rayos ultravioletas y al oxígeno y ozono, en concentraciones normales e incluso en bajas temperaturas, y una fácil soldabilidad.

#### Bandas impermeables de sellado

Las bandas impermeables de sellado pueden ser de tipo elástico, específicas para juntas de dilatación, construcción conexión, etc., y de tipo bituminoso autoadhesivas.

Las primeras se utilizan habitualmente en tanques de hormigón, tableros de puente, túneles, depósitos de agua potable, contenedores, etc., por su excelente adaptabilidad y elasticidad, incluso a bajas temperaturas. Garantizan la impermeabilidad en juntas con formas o cantos irregulares y de elevados movimientos, admitiendo humedad en el soporte, siendo termosoldables y resistentes tanto a raíces como a un amplio rango de sustancias químicas. De

excelentes características mecánicas, son de limpia y cómoda aplicación en frío sin precisar maquinaria especial. Las uniones entre bandas se realizan mediante un soldador manual de aire caliente.

Como aplicaciones frecuentes destacan la impermeabilización de juntas entre prefabricados, la reparación e impermeabilización de juntas constructivas y de dilatación, el refuerzo de impermeabilización en entregas perimetrales, encuentros, puntos singulares, la reparación puntual de tejas y la protección de elementos contra la corrosión.

#### Masillas elásticas de sellado y otros productos.

Las masillas elásticas de sellado a base de poliuretano se clasifican según si su módulo elástico es alto, medio o bajo. Según esta propiedad existe un tipo de masilla para cada aplicación. Ambas son de tipo monocomponente, presentan una elevada elasticidad, que influye en su capacidad de recuperación; una elevada resistencia al envejecimiento y a agentes químicos, pueden ser aplicadas con facilidad, con pistola manual o neumática, incluso para inmersión permanente; no se rigidizan, incluso en temperaturas extremas; y pueden ser aplicadas tanto en interiores como en exteriores.

Las imprimaciones especiales, con frecuencia a base de masillas de poliuretano monocomponente, se emplearán de acuerdo al tipo de soporte previa preparación del mismo. Presentan una excelente adherencia; gran poder de penetración y un aspecto transparente.

Los fondos de juntas aseguran una limitación uniforme de la profundidad de la junta. Se emplean en juntas exteriores de fachadas, entre pavimentos y elementos prefabricados de hormigón, en pistas de aeropuertos y canales y juntas de estanquidad en general.

Presentan una excelente flexibilidad, adaptabilidad y recuperación dimensional, una alta estabilidad dimensional, gran resistencia química y un amplio rango de temperatura de servicio, todo ello con una irrelevante absorción de agua y un fácil y rápido procedimiento de colocación.

Otras aplicaciones de gran utilidad son las que permiten tanto el refuerzo como el pegado de elementos, a base de adhesivos de resina epoxi (rígidos), de tipo elástico o de contacto; las específicas para el pavimentado, como imprimaciones y sellados; los rellenos; anclajes e inyecciones; las láminas de PVC, de protección y drenaje, anti-impacto o bituminosas, y las mallas geotextiles.