

10.5.4.- Fluidificantes.

Desde un punto de vista teórico, la cantidad de agua a añadir para la obtención de un hormigón determinado (supuesto el estado saturado/superficie seca de los áridos) coincidirá con la estrictamente necesaria para hidratar las partículas de cemento portland. En el citado supuesto ideal, el agua de amasado reaccionaría con dichas partículas transformándose en un sólido de casi nula porosidad y, consecuentemente, de alta resistencia.

La situación real difiere sensiblemente del supuesto anterior y 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. 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 el agua y el 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 cuales poseen un gran número de iones en disolución en su superficie. Estos iones tienden a formar, debido a una afinidad electrostática, flóculos o capas de solvatación al entrar en contacto con el agua durante la operación de amasado (Figura 10.5.4.1).

Dichos flóculos ejercen dos efectos nocivos en la masa de hormigón:

- 1.- Impiden la dispersión uniforme de las partículas de cemento en la masa de hormigón.
- 2.- Retienen una determinada cantidad de agua en el interior de su masa que incidirá negativamente en la porosidad final del material.

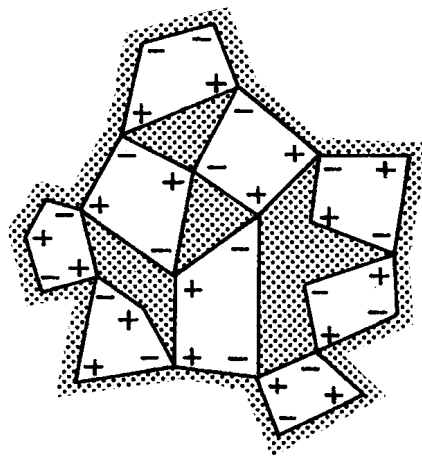


Figura 10.5.4.1.- Floculación de los granos de cemento en presencia de agua.

El agua retenida no es utilizable para lubricar la masa de hormigón ni para contribuir a la hidratación de los granos de cemento, lo que implica la necesidad de incorporar una cantidad adicional sustitutoria. Este agua adicionada, al no poder reaccionar con los granos de cemento anhidro, origina al evaporarse un incremento de la porosidad de la pasta de cemento que implica una cierta pérdida de resistencia del hormigón endurecido y un aumento de su permeabilidad.

Dado que la relación $\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}}$ de un hormigón tiene una importancia trascendental en las características del mismo, especialmente en sus resistencias mecánicas, interesa que en los hormigones esta relación sea lo más baja posible, pero esto conlleva ciertas dificultades como son un sistema de mezclado muy eficaz para conseguir una mezcla homogénea y el disponer de medios de compactación muy enérgicos. Con el empleo de estos aditivos pueden eliminarse estos inconvenientes sin necesidad de aumentar la cantidad de agua de amasado.

Los efectos nocivos de la floculación de las partículas de cemento pueden ser contrarrestados, al menos parcialmente, mediante la incorporación a la masa de hormigón de determinados aditivos, tales como los reductores de agua o fluidificantes. Estos productos añadidos a los morteros o a los hormigones, en el momento del amasado, aumentan la docilidad de los mismos, permitiendo colocar en obra masas de hormigón que de otra forma sería muy difícil o bien, reducen el agua necesaria para el amasado en beneficio de las resistencias mecánicas y de la durabilidad.

Los fluidificantes o reductores de agua son productos químicos de naturaleza orgánica formados por macromoléculas tensoactivas capaces de neutralizar las cargas eléctricas de los granos de cemento y, por consiguiente, su capacidad de floculación.

Dichas macromoléculas tensoactivas tienen un extremo de su cadena hidrófilo con afinidad por el agua y otro hidrófobo repulsor del agua (Grupos polares aniónicos), con lo cual quedan adsorbidas y orientadas en la superficie de los granos del cemento. Como resultado de la capa de dipolos de agua fijada se impide la reunión o coalescencia de los granos del cemento actuando como un lubricante y obteniéndose un sistema bien dispersado. Así mismo, liberan el agua atrapada entre los flóculos del cemento que queda disponible para aumentar la fluidez del hormigón (Figura 10.5.4.2).

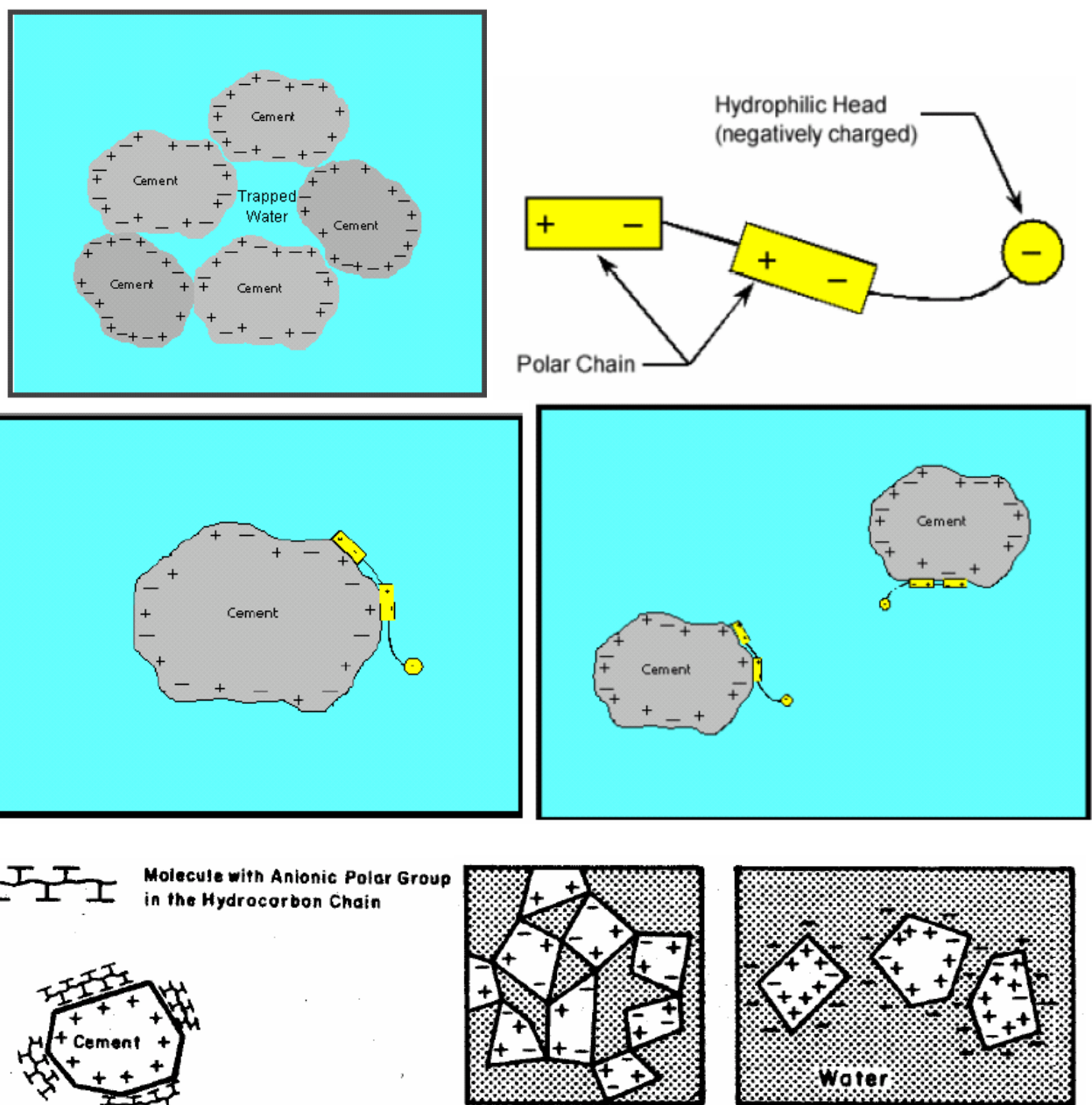


Figura 10.5.4.2.- Modo de actuación de los fluidificantes.

Los fluidificantes son, en general:

- 1.- Lignosulfonatos extraídos de los desechos de pasta de papel (Figura 10.5.4.3.a).
- 2.- Ácidos hidroxicarboxílicos y sales. Por ejemplo, Ácido cítrico (Figura 10.5.4.3.b) y Ácido gluconico (Figura 10.5.3.3.c).
- 3.- Hidratos de carbono: polisacáridos y azúcares.

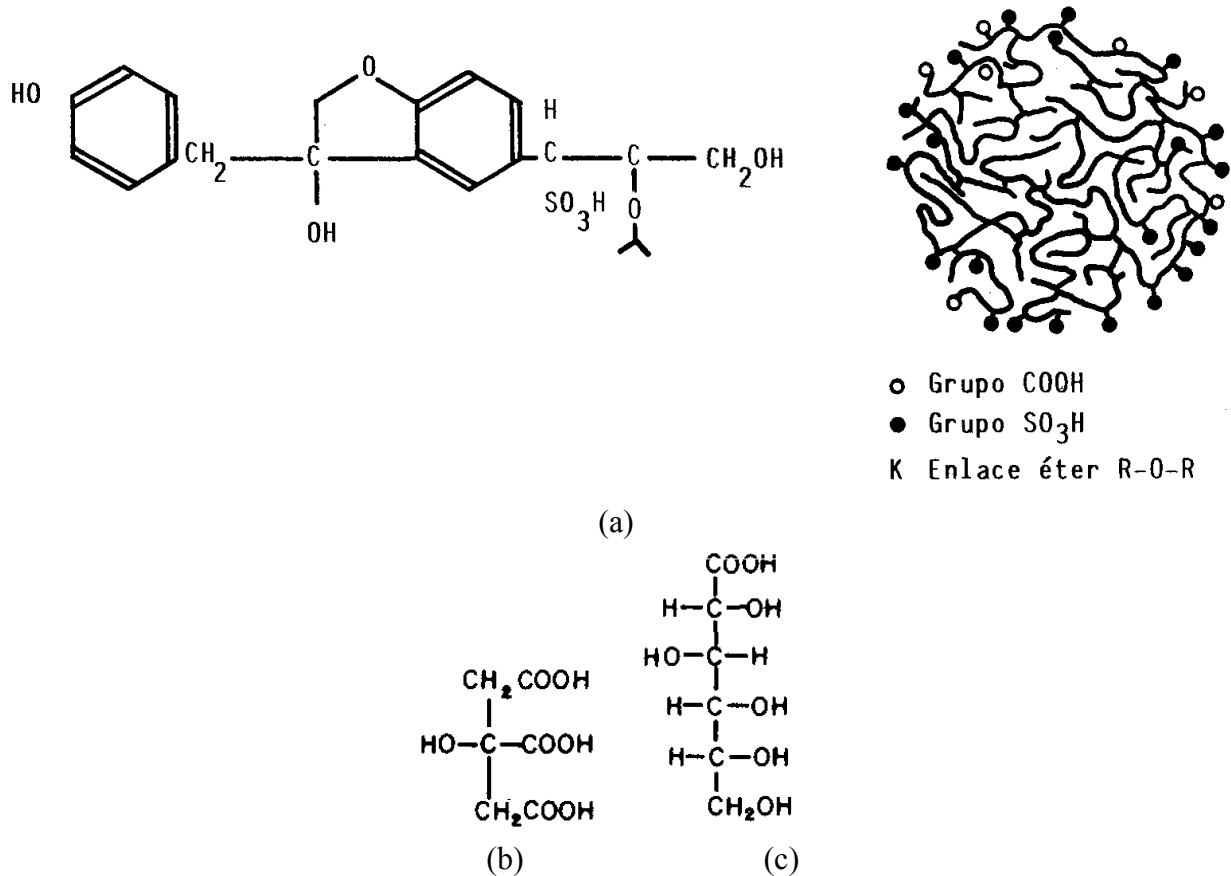


Figura 10.5.4.3.- Formulas de fluidificantes típicos:

(a).- Lignosulfonato (b).- Ácido cítrico (c).- Ácido gluconico

Debido al carácter dispersante de estos compuestos se obtienen mezclas de menor viscosidad que si se emplea la misma cantidad de agua o bien, mezclas en las que se puede reducir la cantidad de agua a igualdad de viscosidad. La máxima capacidad de reducción de agua de un fluidificante puede llegar a ser del 15 por 100, dependiendo del tipo de éste.

Las moléculas de los fluidificantes son adsorbidas con mayor intensidad por el C₃A y C₄AF de los cementos portland y por esta razón, tienden a disminuir la velocidad de hidratación del cemento ocasionando un cierto retraso en su fraguado, especialmente al frenar la formación de cristales de C₃A hidratado.

Las funciones principales que estos aditivos comunican a los morteros y hormigones son:

- 1.- Aumentar la docilidad sin incrementar la cantidad de agua de amasado,
- 2.- Reducir la relación $\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}}$ a igualdad de docilidad

y las secundarias:

- 1.- Reducir la tendencia a segregar del hormigón durante el transporte y disminuir la exudación
- 2.- Mejorar la adherencia a las armaduras
- 3.- Incrementar la resistencia a compresión (10-20 % a los 28 días), al permitir reducir el agua de amasado.
- 4.- Aumentar la durabilidad y resistencia a la abrasión
- 5.- Retardar ligeramente el fraguado

En la figura 10.5.4.4 puede verse la acción de los fluidificantes sobre las características de los hormigones.

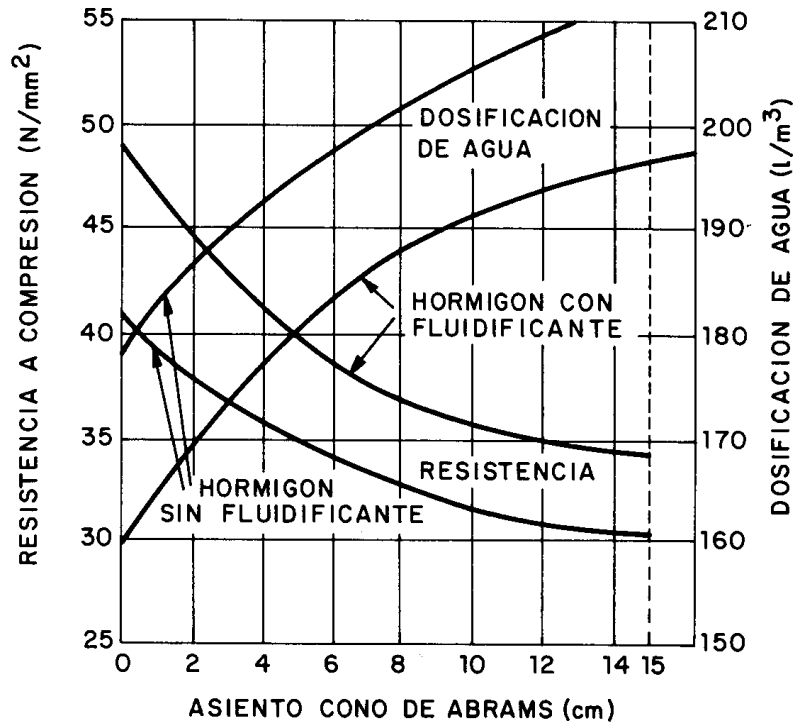


Figura 10.5.4.4.- Acción de los fluidificantes sobre las características de los hormigones.

Los efectos secundarios son:

- 1.- Posible aumento de la retracción.
- 2.- Inclusión de aire, sobre todo por los lignosulfonatos.

Limitaciones y precauciones.

Debe controlarse la dosificación del aditivo. Con sobredosificaciones pueden presentarse retardos muy importantes en el fraguado y disminuciones de las resistencias iniciales, agravándose en temperaturas bajas.

Se debe controlar el aire incluido, que no ha de superar el 6 % del aire total.

Factores principales que modifican el comportamiento, son también el tipo de cemento y la utilización de cenizas volantes. Los cementos de alto contenido en C_3A y álcalis disminuyen la capacidad reductora del agua.

Los fluidificantes deben utilizarse con hormigones secos o seco-plásticos debido a que su eficacia es tanto mayor cuanto menor es la relación $\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}}$.

El empleo de fluidificantes es muy conveniente en el caso de hormigones bombeados, hormigonado bajo el agua por la gran cohesión que proporcionan, en hormigones premasados, en el hormigonado de piezas muy armadas o con formas complicadas, en los hormigones reforzados con fibras de acero, en hormigones vistos, en hormigones para pavimentos, hormigones inyectados, etc.

Este tipo de aditivos retardan en ocasiones, el principio de fraguado y a veces el endurecimiento; en otras, dan lugar a una especie de "falso fraguado" especialmente cuando se emplean dosis altas de los mismos o cuando el cemento contiene poco yeso. Si los aditivos son plastificantes a base de polvos finos no presentan éstas posibles alteraciones.

En el cuadro 10.5.4.1 pueden observarse los efectos de cambiar la dosificación con o sin reductor en un hormigón control para obtener objetivos similares.

Cuadro 10.5.4.1.- Efectos de cambiar la dosificación con o sin reductor en un hormigón control.

SIN REDUCTOR

AUMENTAR RESISTENCIA (+ C)

HORMIGÓN I

- + resistencia y durabilidad
- relación a/c
- + retracción y calor de hidratación

AUMENTAR TRABAJABILIDAD (+ A + C)

HORMIGÓN II

- = resistencia
- + trabajabilidad
- + retracción y calor de hidratación

CON REDUCTOR

AUMENTAR RESISTENCIA (- A)

HORMIGÓN I

- + resistencia y durabilidad
- = trabajabilidad
- relación a/c

AHORRAR CEMENTO (- A - C)

HORMIGÓN II

- = resistencia y durabilidad
- = trabajabilidad
- retracción y calor de h.

*AUMENTAR TRABAJABILIDAD
(SIN CAMBIOS)*

HORMIGÓN III

- = resistencia algo menor a corto plazo
- + trabajabilidad

en donde:

- + es mayor.
- es menor.
- = es igual.
- C es la cantidad de cemento.
- A es la cantidad de agua.

Así mismo, en la tabla 10.5.4.1 pueden verse los beneficios que pueden lograrse mediante el uso de los fluidificantes.

Tabla 10.5.4.1.- Beneficios que pueden lograrse mediante el uso de los fluidificantes.

ENSAYOS	CONTENIDO CEMENTO $\left(\frac{Kg}{m^3..HORMIGON}\right)$	RELACION $\frac{AGUA}{CEMENTO}$	ASENTAMIENTO (SLUMP) (mm)	RESISTENCIA A LA COMPRESION MECANICA (MPa)	
				7 días	28 días
A).-REFERENCIA (No adición fluidificante)	300	0.62 186 litros	50	25	37
SE AÑADE UNA DETERMINADA CANTIDAD DE UN REDUCTOR DE AGUA CON EL FIN DE:					
B).- AUMENTO TRABAJABILIDAD	300	0.62 186 litros	100	26	38
<p>ALTA TRABAJABILIDAD MISMA RESISTENCIA MECANICA</p> <p>UTILIDAD: Bombeo del hormigón y colocación del hormigón en secciones de geometría complicada que están fuertemente reforzadas con armaduras</p>					
C).- AUMENTO RESISTENCIA	300	0.56 168 litros (≈ 10..%..menos)	50	34	46
<p>ALTA RESISTENCIA MECANICA MISMA TRABAJABILIDAD</p> <p>UTILIDAD: Hormigones de alta resistencia</p>					
D).- AHORRO CEMENTO	270	0.62 167.4 litros	50	25.5	37.5

10.5.5.- Superfluidificantes o superplastificantes.

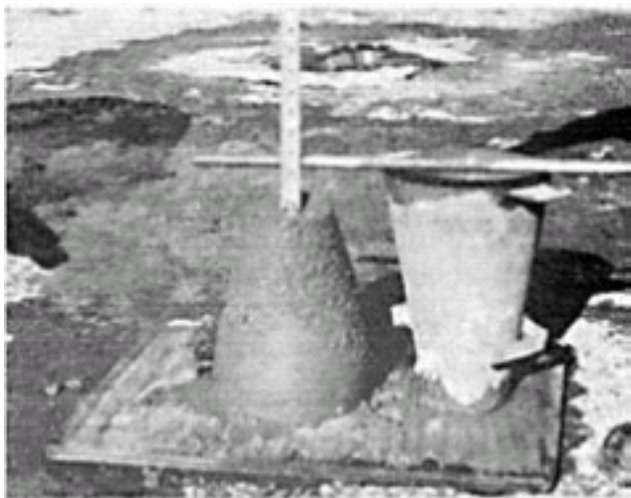
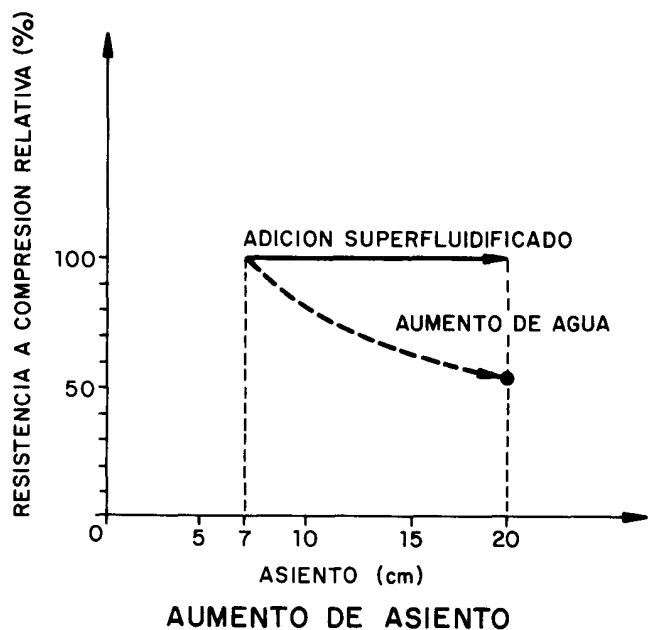
Normalmente, los fluidificantes anteriormente indicados permiten conseguir reducciones máximas de agua del 15 %, dependiendo del tipo de fluidificante empleado. Si se quieren conseguir reducciones superiores hay que utilizar grandes cantidades de este aditivo con los consiguientes efectos secundarios, no deseables, de aire ocluido, exudación, segregación, retraso importante en el fraguado y variación de las características de endurecimiento del hormigón.

Los superfluidificantes son productos que se han desarrollado en estos últimos años y que permiten conseguir reducciones de agua de amasado de hasta el 30 % (o 4 veces más que los fluidificantes), sin tener los inconvenientes reseñados. Este tipo de aditivos también se conocen con los nombres de "superplastificantes" y "reductores de agua de alta actividad".

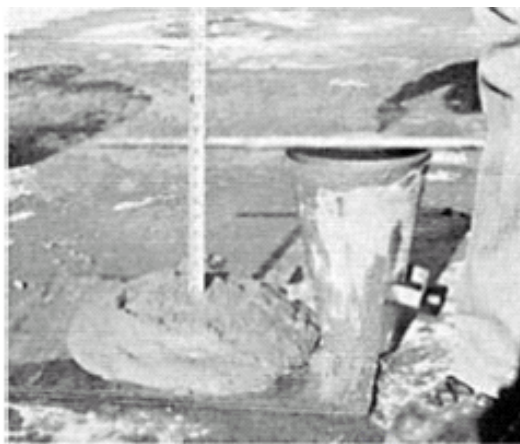
Aun cuando patentes americanas atestiguan el conocimiento en la década de los años 30 de las propiedades dispersantes de ciertos policondensados de formaldehído y de naftaleno sulfonado, es en 1970 cuando la industria del hormigón se beneficia plenamente de los reductores de agua de alto efecto. Prácticamente en la misma época, comienzan a utilizarse dos policondensados de formaldehído y melamina sulfonada (Alemania), o de formaldehído y naftaleno sulfonado (Japón).

Los superfluidificantes modifican la reología de los hormigones permitiendo conseguir mezclas muy dóciles y fáciles de poner en obra, sin reducir, sus resistencias, hormigones de docilidad normal pero con muy bajo contenido de agua, hormigones en los que se conjuguen las dos características anteriores, es decir, buena docilidad y menor cantidad de agua de la normal, hormigones con reducida dosificación de cementos pero que poseen resistencias y docilidad normales.

Por supuesto que un sistema de aumentar la trabajabilidad de un hormigón consiste en incrementar el contenido de agua del mismo, pero este sistema, que es económico, repercute desfavorablemente en las resistencias mecánicas, durabilidad, permeabilidad, etc, del hormigón. El otro sistema consiste en emplear la misma cantidad de agua y añadir un superfluidificante con lo cual no quedan afectadas las resistencias, ni las otras características (Figura 10.5.5.1).



5SK mix with 2" slump.



The same 5SK mix with 10 oz. Per 100# cement of superplasticizer added made a 9" slump.

Figura 10.5.5.1.- Acción fluidificante

La otra posibilidad de empleo de estos aditivos radica en, manteniendo la trabajabilidad del hormigón, introducir el superfluidificante con lo que se puede reducir la relación $\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}}$ y conseguir incrementar las resistencias mecánicas (Figura 10.5.5.2).

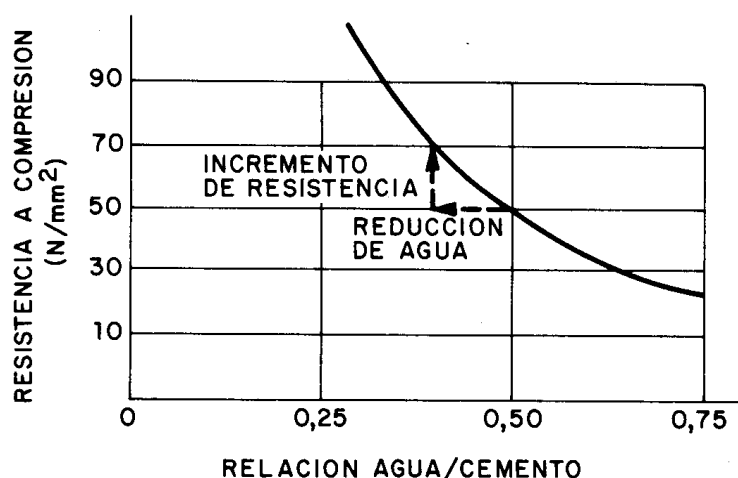


Figura 10.5.5.2.-.Acción reductora de agua

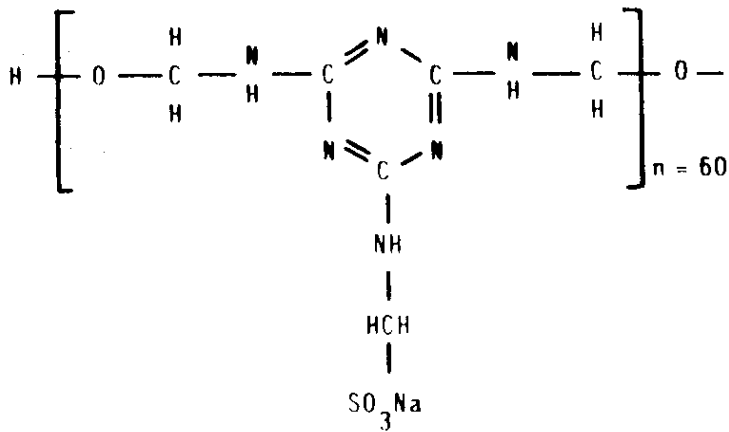
Los superfluidificantes se clasifican en tres grupos fundamentales:

- Condensados de formaldehído melamina sulfonados (SMF).
- Condensados de formaldehído naftaleno sulfonados (SNF).
- Lignosulfonados modificados (MSL).

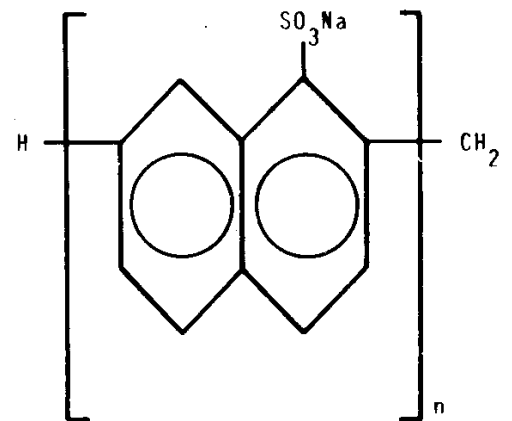
Existen variantes de cada uno de estos grupos e, incluso en la composición de estos pueden entrar otros productos. Quizás, los superfluidificantes más empleados sean los de los dos primeros grupos, aunque los del tercero tienen la ventaja de su menor costo al ser, como los fluidificantes normales, subproductos de la industria papelera que, sin embargo, se han modificado para eliminar el efecto secundario de retardar el fraguado del cemento que es típico del lignosulfonato.

La figura 10.5.5.3 muestra la representación esquemática de una molécula de policondensado de formaldehído y melamina sulfonada y de formaldehído y naftaleno sulfonado. Consisten en largas cadenas hidrocarbonadas lineales, de alto peso molecular (20000-30000), con un gran número de grupos polares en ella.

Cuando se absorben sobre las partículas de cemento les imparten una carga negativa, que disminuye de forma considerable la tensión superficial del agua que las rodea, además de producir una repulsión entre ellas evitando su floculación, con lo que se mejora la fluidez del sistema.



a) Molécula de policondensado de formaldehído y melamina sulfonada



b) Molécula de formaldehído y naftaleno sulfonado

Figura 10.5.5.3.- Representación esquemática de moléculas de superfluidificantes.

La figura 10.5.5.4 muestra la forma de actuación de una molécula de superfluidificante, mostrando como la forma lineal y alargada de estas moléculas, permite el recubrimiento total de las partículas de cemento incorporándolas cargas de signo negativo que, neutralizando las fuerzas de atracción electrostáticas existentes entre dichas partículas, dificultan extraordinariamente el fenómeno de floculación.

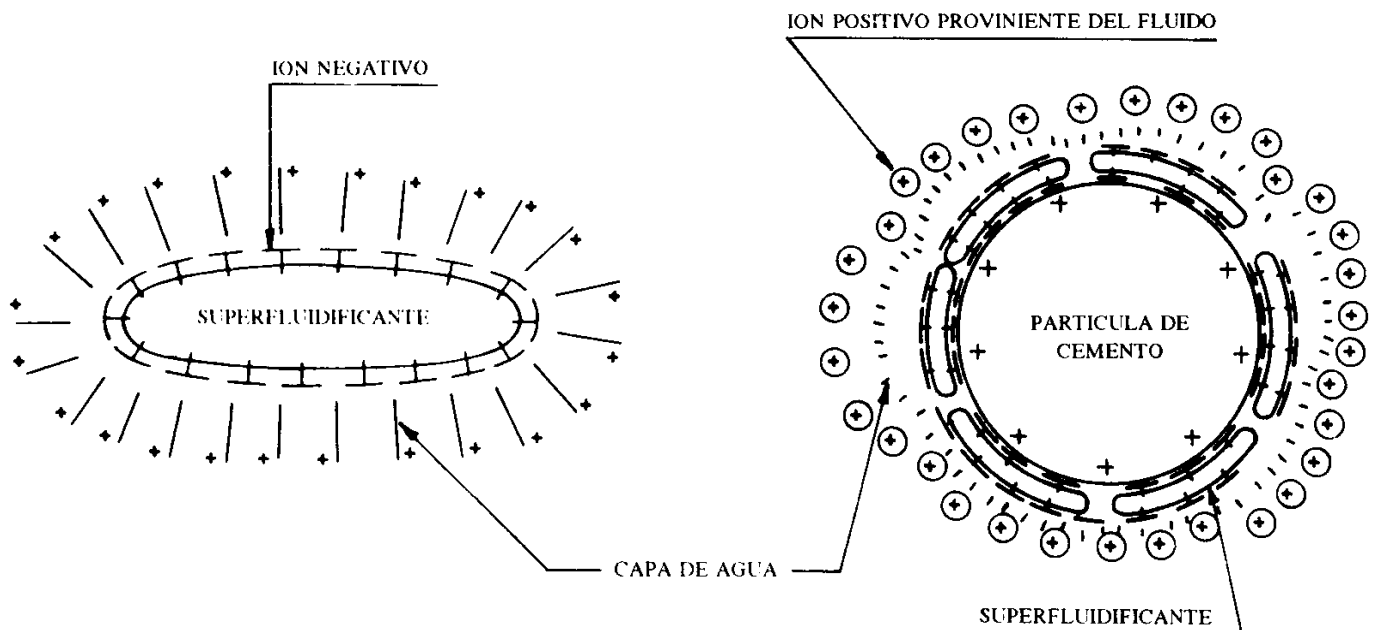


Figura 10.5.5.4. - Forma de actuación de una molécula de superfluidificante.

El principal efecto de los superfluidificantes es provocar una excelente dispersión entre las partículas de cemento (Figura 10.5.5.5) con lo cual, aparte del efecto reológico, se produce una alta velocidad inicial de hidratación del cemento al existir más contacto entre sus partículas y el agua, por lo que el retardo en el fraguado raramente es observado.

No obstante, la hidratación a edades más tardías se retrasa con respecto a los hormigones sin adición debido a la formación de una capa, más impermeable y de mayor espesor, de productos de reacción que la producida en los hormigones sin aditar.

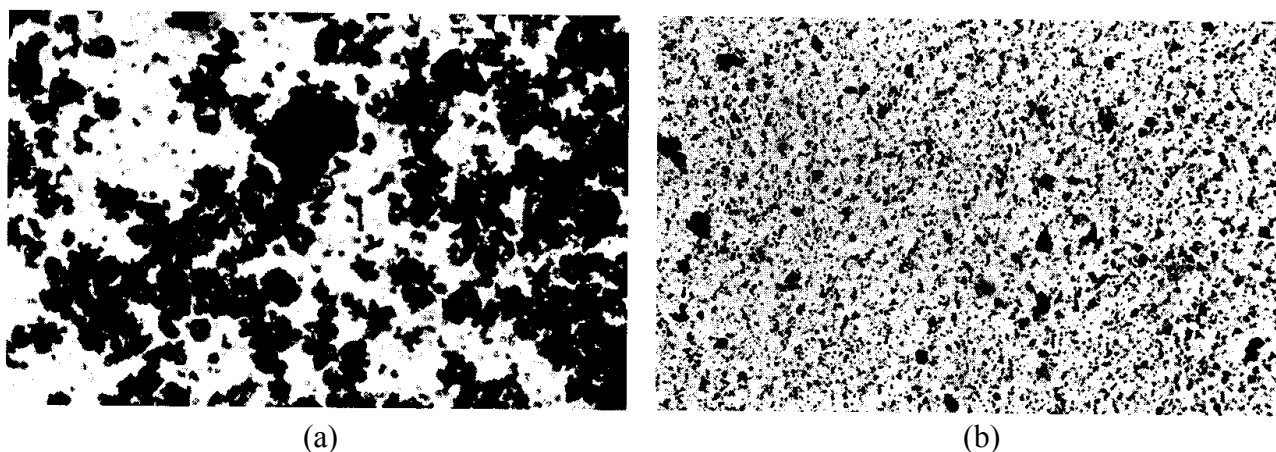


Figura 10.5.5.5. – (a).- Microfotografía de partículas de cemento floculadas en una suspensión de cemento en agua sin adición de superfluidificante (b).- Microfotografía del sistema después de la adición de superfluidificante.

Con frecuencia, debido a una mayor velocidad de hidratación del cemento en el sistema bien dispersado, los hormigones que contienen superfluidificantes muestran resistencias a la compresión a 1, 3, y 7 días, que los hormigones de referencia que tienen la misma relación $\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}}$, como se muestra en la tabla 10.5.4.1. Esto tiene gran importancia en la industria de prefabricados de hormigón, donde requieren altas resistencias iniciales para una mayor capacidad de producción por un desmoldado más rápido

Tabla 10.5.5.1.- Ejemplos de hormigones de altas resistencias iniciales mediante el uso de superfluidificantes.

Test	Cement content (kg/m ³)	Water/cement ratio	Slump (mm)	Compressive strength (MPa)			
				1-day	3-day	7-day	28-day
Ⓐ Reference concrete (no admixture)	360	0.60	225	10	21	32	45
Ⓑ Concrete of same consistency as Ⓐ but containing less water and 2% superplasticizer by weight of cement	360	0.45	225	20	35	43	55
Ⓒ Concrete of same water/cement ratio as Ⓑ but containing no superplasticizer, and having lower slump	360	0.45	30	16	28	37	52

El efecto de los superfluidificantes varía mucho con el tipo de cemento empleado y así, por ejemplo, observando la pérdida de trabajabilidad de un hormigón superfluidificado con el tiempo, es decir, su efectividad, se ha visto que los cementos con contenido de C_3A superior al 9 % pierden con mayor rapidez la trabajabilidad que aquellos que los poseen en menor cantidad, conservándose más tiempo el efecto en cementos con contenidos de C_3A inferiores al 5 %.

La mayor eficacia de estos aditivos se obtiene empleando dosificaciones de cemento superiores a $300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

La pérdida de efectividad puede disminuirse incorporando al superfluidificante un aditivo retardador de fraguado.

En los cementos con adición de puzolana el efecto de los superfluidificantes es más reducido que en los cementos sin esta adición. Sin embargo, con los cementos siderúrgicos se ha comprobado que para conseguir una determinada trabajabilidad se precisa menor cantidad de aditivo.

Funciones secundarias.

Como consecuencia del efecto envolvente de estos productos, el empleo de dosificaciones muy elevadas de aditivos puede retrasar la hidratación de los granos de cemento. La magnitud de dicho retraso depende del fluidificante empleado -melamina o naftaleno- del tipo de cemento y de la finura de molido de sus granos. Los de melamina pueden retardar el fraguado en un 3 % y los de naftalensulfonatos en un 20 %.

Efectos secundarios.

- Posible aumento de la retracción.
- Segregación con exceso de agua, sobredosificaciones o incorrecta granulometría (muy sensibles a los finos).
- Generalmente incompatibles con los inclusores de aire.

Dosificación y utilización.

Las dosificaciones varían entre el 0.5 y el 3 % en peso del cemento. Se añaden inmediatamente antes de la puesta en obra, directamente al hormigón o bien el agua de amasado.

Limitaciones y precauciones.

- Pérdida de asentamiento: se anula el efecto fluidificante después de 30-60 minutos, acentuándose con la temperatura, la cantidad de cemento y un segundo amasado.
- Se modifica la capacidad según el tipo de cemento. No utilizar con cementos aluminosos. Deben realizarse ensayos previos con los materiales que se utilizarán en la obra.
- En caso de utilizar con otros aditivos, comprobar que no exista interacción.
- No introducen aire.

Hormigones fluidos.

Este tipo de hormigones se caracteriza por poseer una aptitud excelente de puesta en obra con muy poca o nula energía de consolidación, poseyendo a su vez una cohesión satisfactoria. Es muy frecuente obtener con estos hormigones un ahorro en mano de obra de un, 25 - 30 %.

Con el empleo de los superfluidificantes puede conseguirse incrementar el asiento en cono de Abrams desde 5 cm hasta 20 cm, manteniendo las resistencias, con dosificaciones de aditivo del 0.75 al 3.0 %, sobre el peso de cemento. A los pocos minutos de la adición, el hormigón fluye fácilmente llegando a ser autonivelante pero manteniendo su cohesión y no presentando exudación, segregación, ni pérdida de sus características resistentes. A estos hormigones se los conoce como "hormigones fluidos", "autonivelantes" o "colapsados".

Este tipo de hormigones son ideales cuando hay que hormigonar piezas con grandes concentraciones de armaduras (Figura 10.5.5.6) y en zonas de difícil acceso, no precisando vibrado y adaptándose perfectamente el hormigón a los moldes. Son muy adecuados para la construcción de pisos, losas, pavimentos, tableros de puentes, etc, para el bombeo del hormigón, para colocar hormigón bajo el agua mediante tuberías, etc.

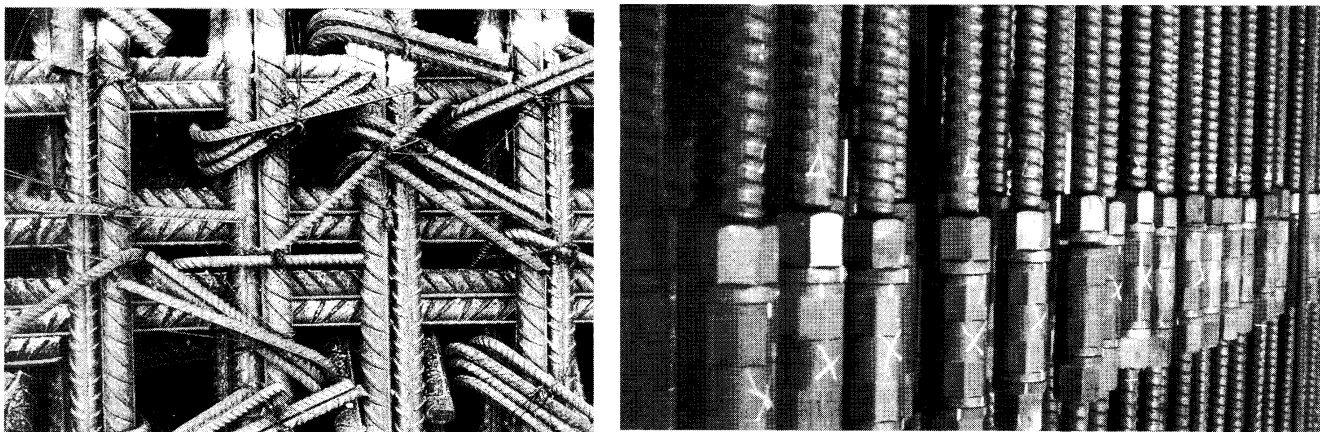


Figura 10.5.5.6.- Zonas con grandes concentraciones de armaduras.

A fin de conseguir la mayor eficacia del superfluidificante y la máxima cohesión de la mezcla, el porcentaje de granos finos en la arena debe incrementarse en un 4 o 5 %.

Una vez realizada la adición del superfluidificante, la mezcla debe emplearse lo antes posible debido a que es cuando presenta la máxima trabajabilidad. Esta se va perdiendo con el tiempo y a los treinta o sesenta minutos de haber realizado la adición, la masa vuelve a tener el mismo asiento inicial, es decir, ha perdido el efecto del aditivo, siguiendo una curva parecida a la figura 10.5.5.7. Actualmente hay superfluidificantes que mantienen su eficacia hasta los 120 minutos.

Las dosis altas de cemento ayudan a retener su trabajabilidad, e incluso hacen al aditivo más eficaz, lo cual es lógico pues dosis altas de cemento, por sí solas, dan lugar a hormigones trabajables.

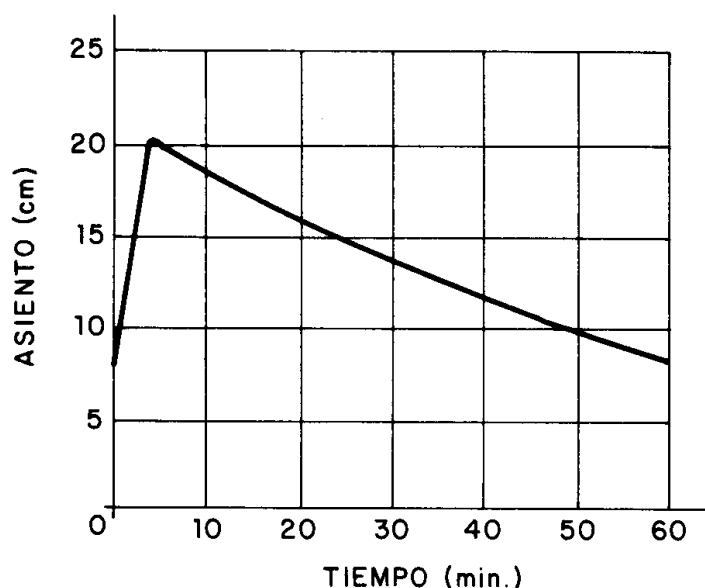


Figura 10.5.5.7.- Curva de la efectividad de un superfluidificante.

Para evitar la pérdida de eficacia del aditivo con el tiempo transcurrido desde su incorporación, se recurre, a veces, a no hacer toda la adición de una sola vez, sino a dividirla en varias de menor dosis efectuadas a intervalos de tiempo determinados. Algunas veces se recurre, también, a añadir retardadores con el fin de frenar la pérdida de fluidez. La mezcla de retardador y superfluidificante hace aumentar aún más la fluidez de la masa, reduciendo, al mismo tiempo, la pérdida de efectividad.

La velocidad de pérdida de fluidez depende no sólo del tipo de aditivo empleado, sino también de tipo de cemento, porcentajes de álcalis, yeso y ferritoaluminato tetracálcico, en él, finura de molido del mismo y temperatura del hormigón.

La retracción y fluencia de los hormigones no queda modificada por el empleo de estos aditivos.

El comportamiento frente a los ciclos hielo-deshielo, sulfatos, y otros agresivos físicos o químicos no experimenta ninguna alteración negativa con respecto a los hormigones tradicionales, observándose, por el contrario, una mejora en el comportamiento frente a las heladas.

Hormigones de resistencias mejoradas.

Por razones de trabajabilidad, los hormigones han de amasarse con mayor cantidad de agua de la necesaria para hidratar el cemento. El exceso de agua no preciso para la hidratación, da lugar a oquedades y poros en el hormigón y en definitiva reduce la resistencia del mismo. Se han obtenido mezclas con superfluidificantes en las que las resistencias a compresión a 28 días eran de $113 \frac{N}{mm^2}$ y a un día de $48 \frac{N}{mm^2}$, empleando una relación $\frac{Agua}{Cemento}$ de 0.25 y con asiento en cono de Abrams de 10 cm.

Para conseguir incrementar la resistencia de los hormigones se deben emplear relaciones $\frac{Agua}{Cemento}$ lo más bajas posibles sin que trabajabilidad deje, por esto, de ser la conveniente para el buen manejo del hormigón. Con los superfluidificantes se logran reducciones de agua que pueden alcanzar del 20 al 30 %, con la favorable repercusión que estas reducciones tienen sobre las resistencias iniciales y finales.

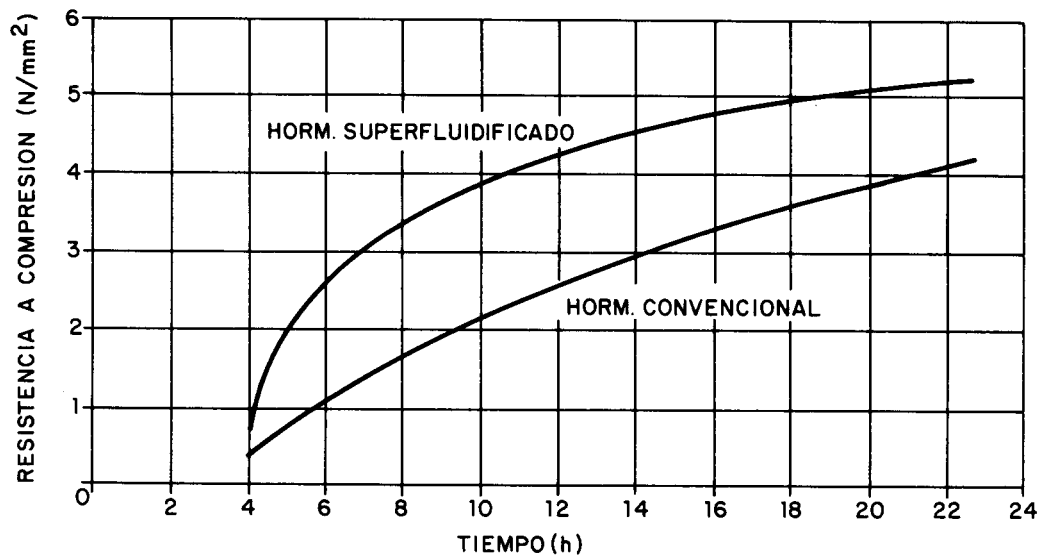
Estos hormigones son muy adecuados para prefabricación, en la fabricación de viguetas pretensadas donde se desmolda en tiempos cortos y se consigue una reducción importante en el tiempo y temperatura de curado, en la reparación de pavimentos de carreteras y aeropuertos por las altas resistencias iniciales que originan, en la construcción de cajones bajo el agua, en acueductos, puentes, pilotes, etc.

Las resistencias mecánicas a las pocas horas del amasado, de estos hormigones, con baja relación $\frac{Agua}{Cemento}$, son muy altas según puede apreciarse en la figura 10.5.5.8, llegando a obtenerse incrementos del 50 al 75 % en las resistencias a 24 horas; característica ésta muy interesante en prefabricación.

El alcanzar resistencias elevadas mediante el empleo de superfluidificantes puede inducir a reducir el contenido de cemento del hormigón lo cual no es recomendable e incluso algunos pliegos de condiciones oficiales lo prohíben.

La retracción de estos hormigones se reduce al emplear una relación $\frac{Agua}{Cemento}$ más baja, pero, este efecto beneficioso podría desaparecer al utilizar dosificaciones más altas de cemento; de aquí que éstas deban ser moderadas, a fin de obtener retracciones más bajas que en los hormigones tradicionales.

La durabilidad frente a las aguas agresivas y sulfatos es muy buena debido a la compacidad y altas resistencias mecánicas que se consiguen. Frente a los ciclos hielo-deshielo el comportamiento también es bueno a pesar de ser mayor el factor de espaciamiento entre burbujas de aire, especialmente, si la relación $\frac{Agua}{Cemento}$ es del orden de 0.3. Para valores próximos a esta relación es conveniente incorporar un aireante a fin de disminuir el factor de espaciamiento.



INCREMENTO DE RESISTENCIAS

Figura10.5.5.8.- Mejora de las resistencias a compresión de un hormigón por incorporación de un superfluidificante. Relación $\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}}$ constante.