



# **UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA  
ESCUELA DE CONSTRUCCIÓN CIVIL**

## **PLASTIFICANTES PARA EL HORMIGÓN**

TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE  
CONSTRUCTOR CIVIL

PROFESOR GUIA: JOSÉ ARREY

**César Augusto Hernández Preisler**

VALDIVIA

-2005-

## DEDICADA A ...

*Todas las personas quienes confiaron en mi para cumplir con esta meta, en especial a mi cuñado Marcos Gatica Acuña quien en conjunto con mi hermana Regina financiaron esta cruzada, también a mi mamá, hermanos, hermanas, cuñados, amigos y compañeros de quienes obtuve un permanente apoyo durante todo el período de estudio.*

*Y en especial referencia esta tesis esta dedicada a mi hermosa hija Solange, en quien deposito todo mi amor y amistad incondicional, es la persona quien me trajo un modo diferente de ver la vida, con un sentido de renovación, constancia y responsabilidad, es la personita a quien más admiro y respeto, ya que tiene un inmenso corazón y unas ganas de mejorar el mundo con una sonrisa en los ojos.*

*Es mi hija en conjunto con mi polola a quien amo mucho, las personas que más influyeron en el logro de esta tarea, ya que confiaron en mi y me dieron las fuerzas que necesitaba, para ellas mi eterno agradecimiento...*

## **AGRADECIMIENTOS**

- A la empresa MBT (Master Builders Technologies) por su cooperación en la disponibilidad que tuvieron en ayudarme en la recopilación de información, en especial don Javier Thumm.
- Al personal del Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, con quienes tengo una gran admiración por el trabajo que realizan y que a su vez, demostraron interés desde un comienzo en apoyarme en esta tarea.
- A la empresa SIKA S.A. Chile. En especial Don Rodrigo Vernal A. representante en Santiago, y a don Alex Silva, con quien mantuve contacto durante este proceso en la ciudad de Puerto Montt.
- A Don José Arrey, quien confió en esta propuesta desde un comienzo, y promovió la investigación de este tema en particular.
- A la empresa Grace, quienes facilitaron folletos y boletines con respecto al tema tratado en esta tesis.

## **RESUMEN**

Esta tesis tiene por objetivo dar a conocer la importancia que tiene la utilización de los diferentes tipos de aditivos en la elaboración del hormigón, en especial de los Plastificantes y Superplastificantes.

A través del desarrollo de esta tesis, se tratará de demostrar los beneficios que se pueden obtener con la utilización de estos productos, tanto económicamente, como la mejora en el aspecto productivo de las diferentes etapas constructivas.

Además de los aspectos mencionados, se destaca que en la utilización de estos productos, se consiguen mayores capacidades de resistencia y fluidez en los hormigones, lo cual es muy indispensable en la actualidad.

## **SUMMARY**

This thesis has the objective to explain the importance the use of the different kind of admixture for concrete, especially to the water – reducing admixture and the Super plasticizing admixture.

Through to development of this thesis, I'm going to try to show the benefit that we can to obtain with the use of these products, both economical and the different stages of the construction.

Moreover, we can to emphasize that the use of this products, we can to get the best capacity of resistance and flowing of the concrete, that which is very important actually.

## ÍNDICE

	Pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1.- ANTECEDENTES DEL USO DE LOS ADITIVOS.</b>	3
1.1.- HISTORIA DE LOS ADITIVOS.	3
1.2.- ESTADO ACTUAL Y TENDENCIAS DE LOS ADITIVOS.	8
1.3.- ADITIVOS Y SUS CUALIDADES.	11
1.3.1-Relación Agua / cemento	12
1.4.- COMPOSICIÓN DE UN HORMIGÓN	14
1.4.1 Selección de Materiales.	16
1.4.2 Agregados.	21
1.4.3 Dosificación, mezclado, transporte, coloración y curado.	23
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2.- LOS ADITIVOS.</b>	30
2.1.- CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS ADITIVOS	30
2.2.- CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS.	32
2.3.- PRINCIPALES TIPOS DE ADITIVOS	37
2.3.1 Aditivos Acelerantes y Retardadores	37
2.3.1.1 Los Acelerantes.	37
2.3.1.2 Retardadores.	42

2.3.2 Aditivos Especiales.	46
2.3.2.1 Emulsiones Adhesivas.	46
2.3.2.2 Aditivos Combinados.	48
2.3.2.3 Colorantes.	49
2.3.2.4 Agentes Formadores de Espuma.	52
2.3.2.5 Aditivos Menos Requeridos	53
2.3.3 Aditivos Tensoactivos	54
2.3.3.1 Incorporadores de Aire	56
2.3.3.2 Expansores	60

### **CAPÍTULO III**

<b>3.- AGENTES REDUCTORES DE AGUA</b>	<b>62</b>
3.1.- PLASTIFICANTES	62
3.1.1 Modos de acción.	65
3.1.2 Productos de base.	66
3.1.3 Principales efectos y resultados obtenidos.	68
3.1.4 Aplicaciones y utilizaciones	70
3.2.- LOS SUPERPLASTIFICANTES	74
3.2.1 Componentes y requerimientos.	78
3.2.2 Mecanismos de acción.	80
3.2.3 Efectos de los Superplastificantes.	82
3.2.4 Requisitos de los Superplastificantes.	85
3.2.5 Campos de aplicación.	88
3.3.- LOS SUPERFLUIDIFICANTES.	92
3.3.1 Principales características	93
3.3.1.1 Ventajas del concreto en estado plástico.	93
3.3.1.2 Ventajas del concreto en estado endurecido.	93

3.3.1.3 Trabajabilidad.	94
3.3.1.4 Alta Cohesividad.	95
3.3.1.5 Baja relación agua/cemento.	95
3.3.1.6 Control de temperatura.	95
3.3.1.7 Confiabilidad	96
3.3.1.8 Incremento de resistencias.	96
3.3.1.9 Baja permeabilidad	97
3.3.1.10 Sin cloruros, no corrosivos	98
<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>99</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>101</b>

## **INTRODUCCIÓN**

Dada la importancia que tiene el conocimiento acabado de las ciencias de la construcción, sobre todo cuando esta ciencia avanza de una forma muy acelerada y a la vez que se descubren nuevas técnicas y nuevos insumos aplicables a la materia, es necesario comprender cada uno de estos elementos para poder desempeñar una buena labor al momento de plantearse un nuevo proyecto de construcción como también de obtener un buen desempeño al momento de dosificar y agregar aditivos al hormigón en el momento de su producción.

Es por esa razón que esta tesis se ideó para abordar la necesidad de contar con una recopilación de fácil comprensión, que abarque en forma general los diferentes tipos de Plastificantes que se usan en el mercado actual, lo que nos lleva a considerar dentro de la estructura de esta tesis los siguientes objetivos que se describen a continuación:

- Analizar la importancia de la relación agua-cemento
- Dar a conocer los distintos tipos de Aditivos y sus características
- Exponer los distintos criterios de clasificación de los aditivos
- Identificar los usos y características de los aditivos Plastificantes
- Describir en forma general las características de los aditivos Súper plastificantes.
- Establecer nivel de capacitación y experiencia en la utilización de los aditivos
- Establecer restricciones de uso.

Dentro del trabajo, se destaca el estudio en forma puntual de las distintas sustancias químicas de los que están compuestos los Plastificantes y con sus respectivos efectos al momento de ser utilizados. También se mostrarán ensayos de hormigones con distintas dosis de aditivos con sus respectivos resultados. Todo esto para el entendimiento más minucioso del tema.

La metodología empleada en esta tesis esta basada en la recopilación de información a través de distintas instituciones relacionadas con el tema como también de folletos informativos de los diferentes productos.

# CAPÍTULO I

## 1.- ANTECEDENTES DEL USO DE LOS ADITIVOS

### 1.1.- HISTORIA DE LOS ADITIVOS

Ha pasado bastante tiempo desde que se empezó a utilizar los aditivos para el hormigón, según la historia, la primera persona que descubrió las cales hidráulicas fue Jhon Smeaton, un hombre Inglés preocupado por las mejoras de los materiales de construcción, pero fue su coterráneo, llamado Joseph Aspdin de Leeds (1778-1855) quién patentó, con fecha 21 de octubre de 1824, un nuevo y novedoso producto al cual llamó "Cemento Portland", nombre por el cual quiso dar a entender de que éste cemento, una vez endurecido, tenía la misma resistencia y color que la piedra Portland, o sea, de un blanco amarillento y que todavía hoy se encuentra en Inglaterra.

Posteriormente, a medida de que el cemento va adquiriendo mayor importancia a través del tiempo como material de gran utilización en las construcciones de la época, se le van haciendo mejoras para optimizar tanto su docilidad como su desempeño en obra, es así como estas mejoras se ven muy reflejadas tanto para los hormigones como para los morteros frescos o endurecidos.

Es así como entre los años 1873 a 1890 se le incorpora al Cemento Portland un porcentaje de yeso crudo o cloruro de calcio, esto produjo un cambio muy importante en este tipo de cemento, ya que se obtuvo un fraguado más regular y uniforme. Los primeros en utilizar este método fueron los albañiles franceses, quienes en esa época añadían este yeso crudo o cloruro de calcio al pie de la obra justo en el momento de amasar el hormigón.

La máxima preocupación de quienes utilizaban este método fue la de poder llegar a regular la duración del fraguado del hormigón, lo cual era muy inestable en esos tiempos, pero además de esto, algo que también tenía importancia era poder lograr acelerar este fraguado, así mismo, al acelerar este fraguado, se aceleran también los sistemas de construcción, lo que benefició la rapidez y el desarrollo de la obra, lo que con el tiempo se pudo lograr.

De esta manera, la primera incorporación de cloruro de calcio como aditivo a los hormigones quedó registrada en el año 1873, pero aunque fue utilizada masivamente desde ese momento, ayudando a la calidad de los hormigones y de los morteros, recién en el año 1885 se le otorga la patente legal del producto.

A partir de esta fecha, el aditivo se fue incorporando en distintas facetas y necesidades de la construcción, por lo que también fueron variando los tipos de aditivos utilizados, es por eso que uno de los primeros aditivos que se comenzaron a usar, al mismo tiempo que los aceleradores de fraguado, fueron los aditivos hidrófugos, o también llamados repulsores de agua, los cuales tuvieron gran demanda a través del tiempo ya que éste tipo de aditivo es muy utilizado en hormigones que requieren disminuir la capacidad de absorción de agua, sobre todo en construcciones sometidas a una gran sollicitación hidráulica.

Avanzando un poco más en la historia, exactamente a principios del 1900, se comenzó a considerar la incorporación de otros tipos diferentes de aditivos en estudio, esta vez le correspondió hacer su aparición al silicato de sodio, en conjunto con diversos jabones que por sus características tenían como tarea la de impermeabilizar los diversos tipos de hormigones. A su vez, además de la impermeabilización de las diferentes construcciones de la

época, se comenzaron a utilizar diferentes tipos de polvos químicos, los cuales tenían como función colorear el hormigón en distintos tonos diferentes, lo que le daba al usuario bastantes alternativas para mejorar las terminaciones en su aspecto estético.

Se observa, a medida que vamos avanzando en la historia, que van aumentando la cantidad de aditivos que se van incorporando al hormigón, como también, los diferentes tipos de éstos, y es así que en el año 1905 se comienza la incorporación definitiva de los fluatos o fluosilicatos, los cuales tenían como importante función la de endurecer las superficies de las diferentes estructuras que se construían en la época.

Además de todos estos aditivos ya incorporados al mercado, nunca se dejó de estudiar nuevas alternativas para seguir mejorando la calidad de los sistemas constructivos y de los hormigones en general, es por ello que en esta época ya se empezó a denotar la característica especial que tenía el azúcar al ser incorporada a la mezcla del hormigón, el azúcar provocaba un retardo en el fraguado, con lo cual se abren nuevas opciones al momento de construir con grandes cantidades de hormigón.

Dado lo anterior los aditivos pueden definirse como sustancias químicas o minerales que se agregan a la mezcla de hormigón, mortero o pasta de cemento, para modificar varias de sus propiedades. La Norma NCh. 2182 define al aditivo como material agregado al hormigón en pequeñas cantidades para modificar alguna de sus propiedades por acción física, química o físico-química.

En Chile, la primera fábrica de aditivos químicos para el hormigón se instaló en el año 1942, comenzando con la comercialización de Acelerantes de fraguado e impermeabilizantes hidrófugos principalmente. Posteriormente, se incorporaron los primeros aditivos reductores de agua o los también llamados

aditivos **Plastificantes**, más adelante, se sumó a la lista de los aditivos los Incorporadores de aire, Retardadores de fraguado y finalmente los Aceleradores de fraguado.

Durante el transcurso del año 1960, se inició el uso masivo de los aditivos Plastificantes, producto que hoy en día es el más utilizado en todo el mundo, debido a su capacidad que tienen estos aditivos de reducir el agua de amasado y por consiguiente se obtienen hormigones mucho más resistentes, compactos y durables. Dentro de las obras más destacadas se encuentran la Central Hidroeléctrica Rapel además del Aeropuerto Pudahuel, los cuales son los ejemplos más claros del uso de los Plastificantes en obras de gran magnitud, pero también este aditivo fue utilizado en obras de edificación pública, claro ejemplo es el edificio de la CEPAL, construido en el año 1960.

Posteriormente, a comienzos del año 1970, se incorporó al mercado nacional un producto que revolucionó la tecnología del hormigón en esa época, con un nombre bastante sugerente llamado Superplastificante. Este nuevo producto logró producir hormigones mucho más fluidos y de alta resistencia para elementos prefabricados, para la elaboración de elementos que requieran una gran esbeltez y para estructuras que requieran una terminación muy compacta y de fina apariencia exterior.

Así mismo, en esta misma época, para la construcción de túneles, para la minería, y especialmente para las grandes centrales hidroeléctricas, se comenzó a utilizar la técnica del hormigón proyectado que, a su vez, requiere de Aditivos Acelerantes de muy rápido fraguado para obtener una construcción eficiente y a la vez segura.

En los comienzos del año 1980, se introdujo en Chile el uso masivo del Microsílice, material puzolánico que usado con los aditivos Superplastificantes permite tener la máxima resistencia y durabilidad del hormigón. Con este

material se confeccionan los hormigones de 70 Mpa de resistencia característica, pudiendo llegar incluso a superar los 100 Mpa. Estos extraordinarios hormigones se han utilizado en Chile en pavimentos sometidos a fuerte abrasión en minería y obras hidráulicas.

Dentro de las normativas de los aditivos para el hormigón, el primer conjunto de procedimientos y especificaciones data de 1950, y se relacionó al primer tipo de aditivo en regla que fue el aditivo Incorporador de aire. Ya en esta normativa se observa la necesidad de un grupo de procedimientos que consideran pruebas estándares, materiales controlados, equipos específicos y parámetros comparativos con una mezcla patrón sin y con el aditivo, para así tener una amplia cobertura de conocimientos con respecto a los diferentes comportamientos de los hormigones estudiados y ensayados para estas normativas.

En Europa, los primeros conjuntos de normas datan de 1958 en España y en 1963 en Inglaterra. En 1962, ASTM extendió la normativa de clasificación a otros tipos de aditivos.

A fines de la década de los 70, el Centro Tecnológico del Hormigón, al alero del Instituto del Cemento y Hormigón de Chile, confeccionó el primer Manual de Buenas Prácticas de uso de aditivos.

Para la Norma Chilena de clasificación de los aditivos, se debió desarrollar un importante conjunto de normas de procedimiento de ensayos, que permitieron medir los valores, que se establecerían en la clasificación de los aditivos. Finalmente en 1995, con el aporte del Instituto de Normalización,

la industria organizada en la Asociación de Fabricantes de aditivos, docentes universitarios destacados y experimentados ingenieros, se oficializó la NCh 2182, que establece la clasificación en siete tipos de aditivos para hormigón y morteros.

Por otro lado existe la NCh. 2281, que permite controlar la uniformidad de los aditivos para hormigones y morteros.

## **1.2.- ESTADO ACTUAL Y TENDENCIAS DE LOS ADITIVOS**

En los últimos años la industria de los aditivos químicos para hormigón ha seguido desarrollando nuevos productos e introduciéndolos en el mercado nacional, cabe mencionar los siguientes: Inhibidores de corrosión, Reductores de retracción y aditivos Reductores de agua de ultra alta eficacia. El uso en Chile de los diferentes Aditivos, especialmente los Reductores de agua, han permitido desarrollar eficiente y económicamente el hormigón premezclado y las diferentes técnicas de Hormigonado, tales como: hormigón bombeado, hormigón proyectado, hormigón fluido, hormigón prefabricado, hormigón bajo agua, etc.

En el año 1993 se construyó en Chile el primer proyecto portuario de gran envergadura ejecutado con inhibidor de corrosión. El proyecto corresponde a la construcción de los sitios 3, 2 y 1 Sur del Puerto de San Antonio, en el que se trataron 25.000 m<sup>3</sup> de hormigón con este tipo de producto. Estos hormigones también fueron tratados con Superplastificantes debido a la gran densidad y complejidad de las armaduras del proyecto.

Los hormigones tratados con el inhibidor de corrosión orgánico se usaron tanto para hormigones, para confeccionar prefabricados en obra, como para pilotes e infraestructura del proyecto. A partir de esta fecha varios de los proyectos que se han ejecutado con este tipo de productos.

Con los aditivos reductores de agua de última generación se introdujo en Chile en el año 2.000 la tecnología del "Hormigón Autocompactante". Este nuevo tipo de hormigón fue desarrollado a fines de la década de los ochenta en Japón y ha sido usado en la práctica en diferentes tipos de estructuras, incluyendo obras de gran envergadura, aprovechando las ventajas que otorga una tecnología que evita la pesada faena de vibración en la construcción con hormigón. En Chile, esta revolucionaria técnica de Hormigonado se está usando en obras de edificación, túneles, elementos prefabricados y otras aplicaciones.

La tecnología de aditivos ha desarrollado productos que disminuyen el potencial de retracción en el hormigón. La disminución de hasta 50% de la retracción en edades de más de un año, aportan el control del fenómeno de fisuramiento. La naturaleza del material acopiado, somete a la estructura a fuertes sollicitaciones térmicas, con el consiguiente stress para la estructura.

La aplicación de este tipo de aditivos es recomendable en la estructura, cuyo servicio se orienta en la contención y procesamiento de fluidos, que requiere de compacto e impermeabilidad, pavimentos industriales sometidos a sollicitaciones térmicas y mecánicas y toda estructura cuyo servicio requiera un importante control de fisuramiento.

Actualmente, los aditivos para el hormigón, presentan un buen crecimiento, producto de su acción para mejorar las propiedades del hormigón, aspecto que resulta conveniente tanto desde el punto de vista técnico como

económico. Su uso está destinado a producir hormigones más trabajables, de mejor terminación, resistentes, durables e impermeables.

Hoy se afirma que los aditivos se han transformado en un componente esencial, junto con el agua y los áridos, para la obtención de un hormigón de alta calidad.

Las industrias pertenecientes a la Asociación de Fabricantes de Aditivos – AFADI, cuentan con un amplio respaldo tecnológico internacional. Además han tenido la habilidad de desarrollar los aditivos para las características especiales de nuestros cementos Portland – puzolánicos. Los tratados de libre comercio, representan una nueva oportunidad para la industria, para proyectar las habilidades desarrolladas en el campo internacional, a través de las compañías matrices. El respaldo de las compañías internacionales aseguran contar en Chile con los desarrollos más recientes, así como un adecuado nivel de competitividad.

### 1.3.- ADITIVOS Y SUS CUALIDADES

Es evidente que el empleo de aditivos se contempla en las normativas vigentes locales, nacionales y supranacionales sobre hormigones morteros y pastas... pero... ¿por qué se utilizan los aditivos?

La preparación de un buen hormigón, o mortero, es consecuencia de una buena selección de los materiales arriba mencionados, también es imprescindible que las dosificaciones de estos materiales sean correctas así como su amasado, preparación y puesta en obra. Las propiedades que debe poseer un buen hormigón o mortero dependen de su estado físico, así se solicitan propiedades en su estado fresco (estado en el que se encuentran los hormigones y morteros desde su amasado hasta su fraguado inicial), como son:

- Trabajabilidad.
- Ausencia de exudación.
- Ausencia de segregación.
- Velocidad de fraguado.
- Retención de agua.

Y en estado de endurecimiento como son:

- Resistencias mecánicas.
- Resistencias a agresivos químicos.
- Impermeabilidad.
- Estabilidad dimensional.
- Ausencia de nidos

### 1.3.1 Relación Agua / Cemento

Al hormigón o mortero por último se le solicita “durabilidad” lo que viene a ser la manutención de sus propiedades con el transcurso del tiempo. Obviamente la durabilidad se ve afectada por todas y cada una de las propiedades del hormigón o mortero. En este punto es importante destacar que todas estas propiedades están afectadas por una relación proporción de componentes en la mezcla para amasar que es fundamental.

Se debe utilizar la menor cantidad de agua posible en el amasado de hormigones morteros, debido a que el agua sobrante de la hidratación saldrá de la masa generando un producto poroso, permeable con malas propiedades mecánicas y resistentes.

La regla de oro de la preparación de un buen hormigón o mortero es:

*“Ahorrar agua para el amasado y utilizarla para el curado”*

La mínima relación agua/cemento para un hormigón es de aproximadamente 0,25 o lo que es lo mismo: una parte de agua por cada cuatro partes de cemento. Amasadas con estas relaciones perfectamente mezcladas daría lugar a productos endurecidos de muy buena calidad.

Con esta proporción las masa de hormigón resultan intrabajables y hay que vibrarlas intensamente para que se compacten o amolden a los encofrados. Asimismo se hace muy difícil que todo el cemento sea mojado por la pequeña cantidad de agua, formándose grumos indeseables y empleándose tiempo y esfuerzo en el amasado y colocación. Si se aumenta la relación agua/cemento, bien añadiendo agua, disminuyendo la cantidad de cemento o haciendo ambas cosas a la vez, las masas de hormigón se mezclan con más

facilidad pero por el contrario provocan que las propiedades del producto en estado endurecido se deterioren. Por lo tanto existe un compromiso al seleccionar la cantidad agua en relación a la cantidad de cemento:

Si la relación (A/C) agua/cemento es BAJA se obtiene:

En estado fresco:

- Trabajabilidad deficiente.
- Coloración dificultosa en obra.
- Mala protección de armaduras.

En estado endurecido si se compacta adecuadamente:

- Resistencias mecánicas altas.
- Alta resistencia a agresivos.
- Impermeabilidad.
- Durabilidad.

Si la relación (A/C) es por el contrario ALTA, se obtiene:

En estado fresco:

- Trabajabilidad buena.
- Fácil coloración en obra.
- Posible exudación o sangrado.
- Posible segregación de componentes.

En estado endurecido se obtiene:

- Bajas resistencias mecánicas.
- Impermeabilidad deficiente.
- Porosidad.
- Resistencias bajas a agentes agresivos, químicos y biológicos.

El papel fundamental de los aditivos reductores de agua es el de romper el compromiso de selección de una relación agua/cemento determinada, pues el uso de los aditivos permite preparar hormigones y morteros dóciles, trabajables, sin exudación ni segregación de componentes y de muy fácil colocación y compactación a partir de masas con baja relación agua/cemento. Además de los reductores de agua, existen otros tipos de aditivos para mejorar o modificar otras características del hormigón o mortero, como la densidad, el tiempo de fraguado, la impermeabilidad, resistencia a las heladas, etc.

#### **1.4.- COMPOSICIÓN DE UN HORMIGÓN**

El progreso en el campo de la tecnología del hormigón y del control de calidad, conjuntamente con los nuevos requerimientos de las estructuras, han conducido al desarrollo de hormigones de resistencias cada vez más elevadas o también llamados hormigones de alto desempeño (HAD).

Revisando un poco la historia se puede notar que en los primeros años del siglo XX poseía una resistencia de aproximadamente 14 Mpa. En los años 30 este valor se había casi duplicado.

Al comienzo de los años 50, un hormigón con resistencia a la compresión de 30 Mpa., era considerado de Alta Resistencia. En la década del 60, hormigones con valores de resistencia entre 41 y 52 Mpa., eran de uso comercial en EE.UU. Al comienzo de los 70 se produjeron hormigones de 62 Mpa.

En los últimos diez años se observa un desarrollo notable, tanto en lo que respecta a medios de producción y dosificación como al conocimiento más acabado de las características reológicas y propiedades mecánicas del hormigón.

En los EE.UU. por ejemplo ya se comercializa hormigón con una resistencia especificada en 120 Mpa. O aún mayor. En Europa numerosos puentes y otras estructuras se diseñan con hormigones de 60 Mpa. y más.

También en Japón se construyen estructuras con resistencias especificadas a la compresión del orden de 80 Mpa. o superior.

Estos avances han permitido la obtención de propiedades mecánicas, Trabajabilidad y durabilidad superiores a las habitualmente usadas en hormigones convencionales.

Según el Workshop sobre Hormigones de Alto Desempeño (HAD) realizado en 1990 por el NIST, el ACI y otras instituciones, se lo define como *“el hormigón que, teniendo las propiedades y uniformidad deseadas, no puede ser obtenido por métodos de mezclado, colocación y curado tradicionales”*.

Hay que reconocer que la definición de alta resistencia es una función de la región geográfica. En regiones donde se produce comercialmente hormigón de 60 Mpa. de resistencia a la compresión, alta resistencia podría estar en el rango de 80 a 100 Mpa.

Sin embargo en regiones donde el tope de resistencia para los hormigones comercializados sea de 43 Mpa., se podrá llamar Hormigón de Alto Desempeño a uno de 60 Mpa. De resistencia a la compresión.

#### **1.4.1 Selección de Materiales**

##### Cemento:

La elección de cemento para HAD es extremadamente importante como material constituyente es por eso que se le debe brindar a sus características y propiedades, la mayor atención antes y durante la construcción de la estructura respectiva.

Es muy importante que el cemento empleado tenga una elevada resistencia y uniformidad.

La cantidad de cemento por  $m^3$  que se utilizará en la mezcla debe ser determinada mediante factores de prueba. Estos contenidos generalmente están comprendidos entre los 400 y 550 Kg./ $m^3$  aunque se han realizado estudios con contenidos mayores.

Usualmente se realiza el estudio dosificando factores de prueba a una igual consistencia.

Existen algunos factores que resultan limitantes en la determinación del máximo contenido de cemento en una mezcla de hormigón.

La resistencia puede dejar de aumentar si se adiciona cemento pasado este límite óptimo, también depende de la eficacia de los agentes dispersantes para evitar la floculación de partículas finas.

En lo que se refiere a la Trabajabilidad, un alto contenido de cemento incrementará la cohesión a niveles difíciles de manejar, con pérdida creciente de aquella.

También hay que considerar factores de origen térmico, en los HAD se utilizan mayores cantidades de cemento, produciéndose un aumento de temperatura en el interior del hormigón.

Una forma posible de reducir el calor de hidratación y ganar resistencia y economía, es reemplazar parte del cemento por adiciones activas de minerales Puzolánicos.

Los contenidos de cemento menores son deseables para manejar con mayor facilidad las dificultades en obra: pérdida de consistencia o tiempo de fraguado.

### **Adiciones minerales:**

Se han utilizado en los HAD cementos de escoria y adiciones minerales muy finas consistiendo éstas principalmente en cenizas volantes y humo de sílice.

Por medio de éstas adiciones minerales de extrema finura y químicamente reactivos, se logran llenar los microvacíos del empaquetamiento granular conformados por agregados y cementos, mejorando la capacidad del material y a la vez, las propiedades reológicas de la mezcla fresca. Se deduce aquí que la cantidad de agua necesaria puede ser reducida mejorando la resistencia del hormigón.

Por otra parte, estas adiciones reaccionan a mediano y largo plazo con el hidróxido de calcio producido en la hidratación del cemento, dando como resultado compuestos de mucha mayor resistencia.

#### Ceniza Volante:

Esta ceniza se divide, para su utilización en dos clases:

*Ceniza volante de clase F.* es la que se produce normalmente de la combustión de la antracita o carbón bituminoso, la cual posee propiedades puzolánicas, pero poca o ninguna propiedad cementicia.

*La Ceniza volante de clase C.* resulta de la combustión de la lignita o carbón sub bituminoso la cual además de las propiedades puzolánicas, posee propiedades apreciables en las propiedades de los HAD.

Dichas variaciones pueden ser minimizadas por medio de ensayos apropiados y por el aumento de la frecuencia de los mismos.

Es muy importante que a estas adiciones minerales se les realice ensayos de aceptación y uniformidad, se investiguen minuciosamente sus propiedades en el desarrollo de resistencias y su compatibilidad con los otros materiales de la mezcla de hormigón, antes de su utilización en la estructura respectiva.

#### Humo de Sílice:

El humo de sílice, llamado también microsílíce y los aditivos que lo contienen han sido utilizados en hormigones para propósitos estructurales,

aplicaciones superficiales y como material de reparación en situaciones en donde se requiere resistencia a la abrasión y baja permeabilidad.

Es un subproducto que resulta de la reducción del cuarzo de alta pureza con carbón en calderos de arco eléctrico en la producción de silicio y aleaciones de ferrosilicio. El humo, formado por partículas esféricas muy finas es extraído de los gases de escape de los calderos.

El humo de sílice, con respecto a sus partículas, tiene una dimensión menor a un Micrón, específicamente 0.1 Micrón. Esta materia, a causa de su extrema finura cumple un papel muy importante en la estructura de la pasta de cemento.

La característica fundamental que presenta este aditivo mineral son un alto contenido de sílice, entre un 85% y un 95%, y su elevada superficie especificada que llega a los 200.000 cm<sup>2</sup> / gr.

Actúa como relleno físico o filler, aumentando la compacidad de la mezcla. Reduce considerablemente la exudación en el hormigón fresco debido a su gran superficie específica y capacidad para retener agua.

Se convierte en agente para la nucleación de los hidratos de cementos reaccionando puzolánicamente con la cual durante su hidratación para formar los compuestos cementicios estables de silicato de calcio hidratado (S-C-H).

La disponibilidad de reductores de agua de alto rango ha facilitado el uso del humo de sílice como parte del material cementante para la producción de los HAD. Los contenidos normales varían entre el 5 y el 15% del peso del cemento, acompañados con un 2 a 4% de aditivo Superplastificante. Lo que fundamentalmente se obtiene con la combinación de microsílíce y aditivo Superplastificante es una reducida porosidad en la pasta de cemento, con una muy baja porosidad la resistencia mecánica y la impermeabilidad de la mezcla es considerablemente aumentada.

En investigaciones realizadas en laboratorios, se han obtenido resistencias del orden de 1.000 Kgs./ cm<sup>2</sup> a los 28 días con cementos de alta resistencia confeccionados en el país y con áridos normales.

La utilización del humo de sílice en la producción de los HAD se incremento notoriamente en los años 80 y 90.

Otras experiencias de laboratorio y en obra indican que el hormigón con humo de sílice tiene una tendencia a desarrollar fisuras por contracción plástica. Entonces, se hace necesario cubrir rápidamente las superficies expuestas del hormigón con humo de sílice para prevenir pérdidas rápidas de agua por evaporación.

#### Cemento de Escoria:

Este cemento se fabrica donde existen altos hornos para la producción del acero. La escoria apropiada para el hormigón es un producto no metálico que se desarrolla en la fundición simultáneamente con el acero de un alto horno.

Correctamente fabricada y procesada, la escoria actuará hidráulicamente en el hormigón en reemplazo parcial del cemento.

La escoria puede ser molida conjuntamente con el cemento o utilizada como material adicional.

La investigación en uso de estas escorias ha demostrado un futuro muy promisorio para su utilización en Hormigones de Alto Desempeño.

### Evaluación y Selección:

Las adiciones minerales y cemento de escoria, como cualquier material en los HAD, deben ser evaluados utilizando mezclas de ensayo de laboratorio para establecer las cualidades deseables óptimas.

Generalmente se utilizan factores de prueba variando el factor de cemento y cantidad de aditivos para establecer curvas que puedan servir determinar cantidades óptimas de los mismos, para así obtener determinados resultados.

Una alta finura, uniformidad de producción, alta actividad puzolánica y compatibilidad con los otros ingredientes de la mezcla son propiedades de primordial importancia.

#### **1.4.2 Agregados**

##### Agregado Fino:

Un agregado fino con partículas de forma redondea y textura suave ha demostrado que requiere menos agua de mezclado, y por lo tanto es preferible en los HAD.

Se acepta habitualmente, que el agregado fino causa un efecto mayor en las proporciones de la mezcla que el agregado grueso.- Los primeros tienen una mayor superficie específica y como la pasta tiene que recubrir todas las superficies de los agregados, el requerimiento de pasta en la mezcla se verá afectado por la proporción en que se incluyan éstos.

Una óptima granulometría del árido fino es determinada por su requerimiento de agua en los HAD, más que por el acomodamiento físico

La experiencia indica que las arenas con un módulo de finura (MF) inferior a 2,5 dan hormigones con consistencia pegajosa, haciéndolo difícil de compactar.

Arenas con un módulo de finura de 3.0 han dado los mejores resultados en cuanto a Trabajabilidad y resistencia a la comprensión.

La granulometría del agregado fino tiene, entonces un rol importante. Por ejemplo, un exceso en el pasante de los tamices N° 100 incrementará la Trabajabilidad pero se hará necesario aumentar el contenido de pasta para cubrir la mayor superficie de estas partículas, además de generar el riesgo de tener que incluir más agua a la mezcla.

#### Agregado Grueso:

Numerosos estudios han demostrado que para una resistencia a la comprensión alta con un elevado contenido de cemento y baja relación agua-cemento el tamaño máximo de agregado debe mantenerse en el mínimo posible (12,7 a 9,5)mm.

En principio el incremento en la resistencia a medida que disminuye el tamaño máximo del agregado se debe a una reducción en los esfuerzos de adherencia debido al aumento de la superficie específica de las partículas.

Se ha encontrado que la adherencia a una partícula de 7,6 mm. Es apenas un 10% de la correspondiente a una de 12,5 mm, y que excepto para agregados extremadamente buenos o malos, la adherencia es aproximadamente entre el 50 a 60% de la resistencia de la pasta a los 7 días.

Las fuerzas de vínculo dependen de la forma y textura superficial del agregado grueso, de la reacción química entre los componentes de la pasta de cemento y los agregados.

Otro aspecto que tiene que ver con el tamaño máximo del agregado es el hecho de que existe una mayor probabilidad de encontrar fisuras o fallas en una partícula de mayor tamaño provocadas por los procesos de explotación de las canteras (dinamitado) y debido a la reducción de tamaño (trituración), lo cual lo convertirá en un material indeseable para su utilización en hormigón.

También se considera que la alta resistencia producida por agregados de menor tamaño se debe a una baja en la concentración de esfuerzos alrededor de las partículas, la cual es causada por la diferencia de los módulos elásticos de la pasta y el agregado.

Se ha demostrado que la grava triturada produce resistencias mayores que la redondeada. Esto se debe a la trabazón mecánica que se desarrolla en las partículas angulosas.

Sin embargo se debe evitar una angulosidad excesiva debido al aumento en el requerimiento de agua y disminución de la Trabajabilidad a que esto conlleva.

El agregado ideal debe ser limpio, anguloso, triturado 100%, con un mínimo de partículas planas y alongadas.

Resulta obvio destacar que un HAD requiere agregados de resistencia elevada. No serviría de nada obtener una pasta de cemento muy resistente con una zona de transición con características similares, si el agregado que se utiliza es débil y de mala calidad.

#### **1.4.3 Dosificación, mezclado, transporte, colocación y curado**

La dosificación, mezclado, transporte, colocación y procedimiento de control para los HAD, en principio, son similares a los utilizados para el hormigón convencional, sin embargo, es necesario puntualizar ciertos

aspectos: mantener el contenido unitario de agua de la mezcla se toma como crítico en estos hormigones ya que ligeras variaciones en el incremento de ésta, repercute en pérdidas grandes de resistencia.

También, por causa de los altos contenidos de cementos involucrados, hay que tener en cuenta las recomendaciones de orden térmico.

Además, la producción y control de los hormigones requiere de personal calificado.

De acuerdo con lo anterior, para las dosificaciones de los HAD se siguen los siguientes pasos:

- 1) Elección del asentamiento, si no se ha especificado previamente.
- 2) Selección del tamaño máximo del agregado.
- 3) Elección de la relación agua-cemento o agua–materiales cementicios.
- 4) Cálculo del contenido de materiales cementicios.
- 5) Estimación del contenido de agregado grueso.
- 6) Estimación del contenido de agregado fino.
- 7) Ajuste por humedad y absorción de agregados.
- 8) Ajuste en los pastones de prueba.

#### Requerimiento de Resistencia:

Habitualmente, el hormigón se proporciona de tal manera que el promedio de los resultados de la resistencia exceda a la especificada en una cantidad suficientemente alta.

En los HAD se nota una alta variabilidad en los resultados de los ensayos, esto se debe a que es más difícil ensayar éste hormigón que uno convencional.

La selección de las proporciones de la mezcla puede ser influenciada por la edad a la que se ensayará el hormigón. Esta edad varía dependiendo de los requerimientos de la construcción respectiva.

En general, para un HAD, se prefiere determinar edades de ensayo mayores a los 28 días, para aprovechar el aumento de resistencia a largo plazo característico de éstos hormigones.

La vinculación existente entre la relación agua-cemento y la resistencia a la comprensión, ya identificada en hormigones convencionales, resulta válida para los HAD

La resistencia a la comprensión que se desarrollará para una determinada relación agua-cemento variará ampliamente dependiendo del cemento, agregados y tipo de adición utilizada.

Cuando se utilizan materiales puzolánicos se usa también una relación agua - cemento + puzolana en peso.

Las relaciones típicas para los HAD varían entre 0.27 a 0.35. Debe incluirse siempre la cantidad de agua contenida en el aditivo reductor de agua.

Es conveniente destacar la importancia de realizar ensayos en laboratorio con los materiales que se utilizarán en la obra.

#### Control, manejo y almacenamiento de materiales:

Todas las operaciones no difieren notoriamente de las realizadas con hormigones convencionales. Hay que asegurar el correcto acopio de los agregados, uniformidad en la humedad de los materiales durante el proceso de dosificación y un muestreo correcto.

Se recomienda limitar la temperatura del cemento en el momento de la dosificación (<65°C para climas cálidos). En lo posible, es conveniente localizar los acopios y plantas de elaboración lo más próximo al sitio de la obra para reducir los tiempos de transporte.

#### Medición y pesaje:

La correcta medición es esencial para obtener buenos resultados. Para mantener la relación agua - cemento necesaria para el desarrollo de alta resistencia se debe realizar determinaciones lo más precisas posibles de la humedad de los agregados.

#### Carga de los materiales:

El procedimiento de carga de los materiales influye en el correcto mezclado de hormigón tanto en las mezcladoras estacionarias como en camiones mezcladores.

Generalmente, la uniformidad del hormigón en planta se obtiene mediante alimentación por cintas transportadoras cargando agregados cemento y agua simultáneamente.

Cuando al mezclado se realiza en camiones y las distancias de transporte sean largas, para controlar la hidratación del cemento y fraguado del hormigón se puede utilizar un procedimiento que consiste en parar el tambor mezclador después de cargar todos los agregados, luego, al llegar a la obra, arrancar nuevamente el mezclador. Los problemas de asentamiento pueden reducirse de esta manera.

### Mezclado en sitio:

Los HAD pueden ser mezclados totalmente en la planta, en un camión mezclador o en una combinación de ambos. En general se deben seguir las recomendaciones tanto de los fabricantes de los componentes de los HAD como de las normas que los rigen.

### Tiempo de mezclado:

El tiempo de mezclado requerido está limitado por la eficacia de la mezcladora para producir un pastón correcto. Según normas y recomendaciones generales, se debe mezclar un minuto por cada 0.75 m<sup>3</sup> más un cuarto de minuto por cada 0.75 m<sup>3</sup> de capacidad adicional. Por otra parte se puede establecer el tiempo de mezclado en base a los resultados obtenidos en pruebas de eficacia.

### Transporte:

Puede ser transportado por distintos equipos, cada método tiene su ventaja y desventaja dependiendo de la localización de la obra, de la facilidad de ingreso a la misma, clima, etc. y estas circunstancias deben ser tenidas en cuenta al momento de decidir el tipo de transporte a usar.

### Colocación:

Antes de empezar la colocación del hormigón se debe tener en cuenta el hecho de que el tiempo para manipular será más reducido que lo habitual, por lo que una correcta planificación del Cronograma de Hormigonado y disponibilidad de los equipos será indispensable.

El hormigón debe descargarse lo más próximo al lugar donde quedará definitivamente, se pueden usar carretillas, carritos homigoneros, baldes de todo tipo y volquetas, entre otros equipos.

Habrà que tener en cuenta que una permanencia larga del hormigón en dichos recipientes hará más dificultosa su descarga por causa del alto contenido de cemento y mayor cohesión.

La manera más efectiva de compactar el hormigón de alto desempeño es mediante vibración interna.

### Curado:

El curado es el proceso necesario para mantener el contenido de humedad adecuado y la temperatura favorable en el hormigón durante el periodo de hidratación de los materiales cementicios para que así se puedan desarrollar completamente las propiedades del hormigón deseadas.

El curado si es esencial en la producción del hormigón convencional de calidad es notoriamente crítico en la producción de los HAD.

La resistencia potencial necesaria y la durabilidad del hormigón se desarrollan por completo, solamente si es curado correctamente durante un periodo adecuado antes de ponerlo en servicio.

Se usan diversos tipos de curado: mediante inundación superficial, con mantos húmedos o con cubiertas que impidan la evaporación del agua; el más aconsejable, sin embargo, es el curado con agua debido a las bajas relaciones agua-cemento de los hormigones de alto desempeño.

## **CAPÍTULO II**

### **2.- LOS ADITIVOS**

#### **2.1.- CONCEPTUALIZACIÓN DE LOS ADITIVOS**

Los aditivos son sustancias que se agregan al hormigón. A través de sus acciones químicas y/o físicas, estas sustancias modifican determinadas características del hormigón fresco y del endurecido, como el fraguado, la Trabajabilidad, el endurecimiento.

Los aditivos son “Productos que, agregados en pequeña proporción en pastas, morteros y hormigones en el momento de su fabricación, mejoran o modifican una o varias de sus propiedades”.

Los aditivos constituyen una ayuda eficaz y muchas veces indispensable para obtener un hormigón que satisfaga los requerimientos en muy variadas aplicaciones, para lo cual, obviamente, deberá partirse siempre de una adecuada dosificación, ya que no es posible transformar un hormigón deficiente en uno bueno por el solo expediente de agregar un aditivo.

Se presentan en forma de polvo, líquido o en pasta y la dosis varía según el producto y efecto deseado, entre un 1,0% y un 5,0% del peso del cemento.

Generalmente se emplean diluidos en el agua de amasado, aunque en el caso de algunos productos en polvo, se prefiere que sean agregados directamente al cemento.

Cualquiera que sea el aditivo a emplear, el usuario debe tener presente que la dosificación adecuada es la que en definitiva ofrece garantías de un trabajo óptimo; así pues, la dosis a utilizar debe ser estrictamente indicada en

los catálogos técnicos a menos que en los ensayos previos con los materiales y condiciones propias de las faenas en particular se haya determinado una distinta.

A menos que se indique otra cosa, los aditivos líquidos deben agregarse diluidos en el agua de amasado; los aditivos en polvo, junto con el cemento o la arena.

Deben tomarse en cuenta también las medidas recomendadas en los folletos para los aditivos líquidos y en polvo en cuanto a su almacenamiento y su vida útil, se debe evitar que se contaminen en la obra y, en caso de almacenamiento prolongado, proceder a homogeneizar el producto en los envases mediante revoltura.

Para la dosificación de los aditivos deben utilizarse los dosificadores incorporados a la planta de hormigón o en su defecto se deben utilizar recipientes con la medida exacta para cada amasada.

La justificación del empleo de un aditivo se puede clasificar en uno de los dos siguientes grupos:

- Razones económicas.
- Razones técnicas.

En el primer grupo, razones de costo, se persigue obtener una dosificación lo más económica posible o una construcción de hormigón de menor costo. La influencia del aditivo en el costo no está relacionada solamente con la dosificación del hormigón sino que en la mayoría de las veces la justificación de uso del aditivo está dada por la economía lograda en la disminución de costo en la faena de Hormigonado, en la disminución de costos de encofrados o en el acortamiento de los plazos de construcción.

En el segundo grupo, las razones técnicas, se incluye la modificación o mejoramiento de las propiedades del hormigón tanto en estado fresco como en estado endurecido.

## **2.2.- CRITERIOS PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS**

La norma ASTM C 494 “Chemical Admixtures for Concrete” distingue siete tipos:

Tipo A: Reductor de agua.

Tipo B: Retardador de fraguado.

Tipo C: Acelerador de fraguado.

Tipo D: Reductor de agua y retardador.

Tipo E: Reductor de agua y acelerador.

Tipo F: Reductor de agua y alto efecto.

Tipo G: Reductor de agua de alto efecto y retardador.

Los aditivos Incorporadores de aire se encuentran separados de este grupo, e incluidos en la norma ASTM C 260 “Specifications for Air Entraining Admixtures for Concrete”.

Por su parte, el Código de Buena Práctica “Aditivos: Clasificación, requisitos y Ensayos”, elaborado por el Centro Tecnológico del Hormigón (CTH), establece la siguiente clasificación:

- Retardador de fraguado.
- Acelerador de fraguado y endurecimiento.
- Plastificante.

- Plastificante-retardador.
- Plastificante-acelerador.
- Superplastificante.
- Superplastificante retardador.
- Incorporador de aire.

Finalmente la norma Francesa AFNOR P 18-123 “Betons: Definitions et Marquage des Adjuvants du Betons” establecen una clasificación más amplia, que es la siguiente:

- Aditivos que modifican las propiedades reológicas del hormigón fresco:
  - Plastificantes – reductores de agua.
  - Incorporadores de aire.
  - Polvos minerales plastificantes.
  - Estabilizadores.
- Aditivos que modifican el fraguado y endurecimiento:
  - Aceleradores de fraguado y/o endurecimiento.
  - Retardadores de fraguado.
- Aditivos que modifican el contenido de aire:
  - Incorporadores de aire.
  - Antiespumantes.
  - Agentes formadores de gas.
  - Agentes formadores de espuma.
- Aditivos que modifican la resistencia a las acciones físicas:
  - Incorporadores de aire.

- Anticongelantes.
- Impermeabilizantes.

Debido a que esta clasificación está hecha desde el punto de vista de su influencia en determinadas propiedades del hormigón, algunos productos utilizados para confeccionar estos aditivos se repiten en más de un grupo.

En el mercado se dispone también de aditivos de efecto combinado, los que se emplean cuando se requiere obtener ambos efectos en forma simultánea, evitando la mayor inseguridad que significa usar en obra dos aditivos cuya dosis puede ser diferente, lo que podría inducir a errores.

La ionización de los filamentos del aditivo produce la separación de los granos de cemento entre sí, conduciendo a una efectiva defloculación. Los granos de cemento quedan individualizados y defloculados, facilitándose aún más el mojado, lo que produce una hidratación y reducción del esfuerzo de cizalle necesario para poner en movimiento el hormigón fresco, lo que implica su efecto como plastificante.

Por otro lado las moléculas del 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. Este mecanismo puede producir incorporación de aire en forma de micro burbujas esféricas, al evitar que el aire atrapado se disuelva o salga a la superficie, actividad que aumenta con la longitud de la cadena molecular. El efecto de incorporación de aire no siempre se ve expresado en un mayor volumen de aire al hacer e ensayo en un aerímetro, pues se supone que el aditivo convierte el aire atrapado en burbujas microscópicas retenidas en su masa, las que actúan como rodamiento entre las partículas sólidas, contribuyendo al aumento de la docilidad del hormigón.

El uso de los aditivos se justifica por razones técnicas y económicas. Determinadas características del hormigón fresco y endurecido no pueden realizarse sin el agregado de aditivos. Estos pueden contribuir a disminuir el costo de la mano de obra y de los materiales. Además permite el ahorro de energía y facilitan la colocación del hormigón.

Las dosis en las que se utilizan los aditivos en el hormigón están generalmente relacionadas con un porcentaje pequeño del peso del cemento, con excepciones en las cuales se prefiere dosificar el aditivo en una proporción respecto del agua de amasado.

Normalmente, según la naturaleza del efecto que producen los aditivos se distinguen los siguientes tipos:

- Incorporadores de aire.
- Acelerantes de fraguado.
- Retardadores de fraguado.
- Plastificantes o reductores de agua.
- Expansores.
- Superplastificantes o reductores de agua de alta capacidad.
- Impermeabilizantes.
- Emulsiones adhesivas.
- Aditivos minerales en base a microsílíce.
- Otros tales como: Fungicidas, inhibidores de corrosión, pigmentos, espumantes, formadores de gases y aditivos “antilavado”.

Considerando los tipos de aditivos mencionados anteriormente, se pueden considerar los efectos principales de estos en la siguiente tabla:

**Tabla I.** *Ejemplo de efectos principales de algunos aditivos.*

Aditivo	Efectos Principales
Plastificantes	Reducción de la necesidad de agua y/o mejoramiento de la Trabajabilidad.
Superplastificante	Pronunciada reducción de la necesidad de agua y/o mejoramiento de la Trabajabilidad para la obtención de un hormigón más dócil.
Incorporadores de Aires	Producción y dispersión de minúsculas burbujas de aire en la masa del hormigón para una mejor resistencia al ciclo hielo-deshielo
Retardadores de Fragüe	Demora en el inicio del fraguado del hormigón.
Aceleradores de Fragüe	Aceleración del fraguado y del endurecimiento del hormigón, sobre todo a bajas temperaturas.

Se tendrá presente la cantidad de aire introducida a la mezcla por medio de aireadores. Es necesario evitar las dosificaciones inferiores al nivel de precisión de las balanzas convencionales. La dosificación en efecto se manifiesta en la disminución rápida del efecto deseado, mientras que la dosificación en exceso puede tener efectos indeseables como demoras en el fraguado, la segregación o la pérdida de resistencia a la comprensión.

## **2.3.- PRINCIPALES TIPOS DE ADITIVOS**

### **2.3.1. Aditivos Acelerantes y Retardadores**

Estos productos, los **Aceleradores** y **Retardadores** de fraguado son productos solubles en agua, que actúan químicamente modificando las velocidades de disolución de los diversos constituyentes del cemento. A partir del momento en que el cemento se mezcla con agua, ésta se satura, principalmente de cal y de sulfatos procedentes del yeso y de los álcalis. El aluminio tricálcico se hidrata rápidamente produciendo un aluminato cálcico hidratado y un sulfoaluminato, posteriormente se hidratan los silicatos tricálcico y bicálcico, dando lugar a diversos compuestos hidratados.

Estos fenómenos que son de gran complejidad en el cemento, lo son aún más cuando el cemento contiene alguna adición o cuando se ha agregado algún aditivo químico.

#### **2.3.1.1 Los Acelerantes**

Los **Acelerantes** aceleran el inicio del fraguado y liberan más rápidamente el calor de hidratación, permitiendo, de esta forma, la obtención de resistencias más altas a edades más tempranas.

La mayor parte de estos aditivos aceleran también el endurecimiento del hormigón. Estos permiten además desencofrar, someter a cargas o también exponer el hormigón al hielo dentro de un intervalo de tiempo bastante más corto.

El efecto de aceleración depende en gran medida de su constitución química y del cemento utilizado. Prácticamente, éstos causan siempre una pérdida más o menos importante de la resistencia final del hormigón.

Las investigaciones han demostrado que los aceleradores inorgánicos actúan principalmente acelerando la hidratación del silicato tricálcico, y, en algunos casos, también del aluminato tricálcico, como ocurre con algunos aceleradores capaces de producir un fraguado casi instantáneo.

Los aceleradores producen un aumento de la resistencia inicial del hormigón, principalmente en los primeros días, acortando, además, los tiempos inicial y final de fraguado.

Por estas características, los aceleradores son utilizados con los siguientes fines:

- Cuando se desea reducir el periodo de espera para la puesta en servicio de un elemento estructural.
- Para atenuar el efecto retardador producido sobre las resistencias iniciales del hormigón en los periodos de baja temperatura.

El efecto producido por un acelerador depende de la dosis de cemento, por lo que no es posible dar valores medios sobre su efecto, el cual debe ser estudiado en cada caso en particular.

**Tabla II.** Efecto sobre el tiempo de fraguado.

% Ca Cl <sub>2</sub>	Tiempo de Fraguado	
	Principio (h)	Fin (h)
0	4,45	11,0
1	3,0	8,0
2	1,5	5,0

**Tabla III.** Efecto sobre las resistencias.

%	Resistencias a la compresión (Kg. /cm <sup>2</sup> ).			
	A las edades y temperaturas que se indican.			
	1 día		7 días	
Ca Cl <sub>2</sub>	5°C	20°C	5°C	20°C
0	7	80	375	495
1	40	130	420	530
2	70	160	425	540

Como puede verse, las resistencias mecánicas a la compresión se ven fuertemente aumentadas en las primeras edades (1 día), efecto que tiende a disminuir a edades superiores (7 días), por lo que puede preverse que tenderán a igualarse a edades superiores, pudiendo incluso esperarse resistencias más bajas a edades sobre 28 días.

La retracción hidráulica posterior al fraguado de la pasta de cemento se ve aumentada por la adición de cloruros, con lo que también aumenta el riesgo de fisuración.

Los acelerantes a base de cloruros usados en el pasado no se emplean más, debido a que la experiencia ha demostrado que la adición de cloruros puede favorecer la corrosión de las armaduras del hormigón armado manteniendo un ambiente húmedo. Debido a ello las normas establecen valores límites de contenido totales de cloruros en este tipo de hormigones.

En el caso de una dosificación excesiva, se observa una demora más que una aceleración del fraguado y el endurecimiento (efecto contrario).

Siendo difícil cuantificar su efecto, los acelerantes son utilizados sólo en casos particulares:

- Hormigón proyectado.
- Hormigonado a bajas temperaturas.
- Intervalo de desencofrado muy corto.
- Hormigonado en contacto con aguas en escurrimiento.
- Anclajes.
- Trabajos de reparación.
- Impermeabilización rápida de infiltraciones de agua.

No obstante que el agregado de los aditivos permite a menudo obtener interesantes prestaciones, no se debe olvidar el hecho que estos introducen una mayor complejidad en el sistema “agregado – agua – cemento”. Por esta razón es que el uso de aditivos requiere mucha atención por parte del usuario.

La mezcla de determinados aditivos puede también producir reacciones no deseadas. Por este motivo se aconseja no mezclar los aditivos que provienen de distintos productores.

Entre los productos más empleados por los fabricantes se destacan:

- Cloruros cálcico, sódico, amónico, de aluminio, de hierro.
- Bases alcalinas tales como soda, potasa, amoníaco.
- Sales derivadas de las anteriores, especialmente carbonatos, silicatos, fluosilicatos y boratos de sodio o de potasio.
- Nitrato o nitrito de calcio.

- Trietanolamina [ $N(CH_2-CH_2)_3$ ], la cual actúa como retardador en algunos cementos, debido a que acelera la hidratación del aluminato tricálcico, pero retarda la del silicato tricálcico.
- Ácido oxálico [ $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ ].
- Fluosilicato sódico [ $Na_2SiF_6$ ].
- Alunita [ $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ ].

Estos cuatro últimos son componentes de algunos aditivos comerciales y no se emplean en forma directa como sucede ocasionalmente con los restantes.

La dosis habitual varía entre el 1 y el 5% del peso del cemento, con excepción de productos y/o situaciones en que se requiere un fraguado extremadamente rápido, como es el caso de obturación de vías de agua, en el que se puede emplear el producto en forma concentrada y en dosis del 10 al 40% del peso del cemento, sustituyendo una parte importante o la totalidad del agua de amasado cuando el aditivo es líquido.

De los aditivos mencionados anteriormente, el cloruro cálcico es el de empleo más frecuente y universal.

Se encuentra en el comercio bajo forma de escamas cristalizadas, a diferencia de la mayoría de los aceleradores que se expenden en forma líquida, con dos moléculas de agua ( $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ ) en una concentración mínima del 77% de  $CaCl_2$ , para ser empleado habitualmente en dosis del 2% del peso del cemento, con lo que se logran incrementos en resistencia de 100% a 200% al día uno.

El mecanismo que produce el efecto de aceleración no es totalmente conocido aún, pero se concuerda que su efecto se manifiesta como una aceleración de la hidratación del  $C_2S$  y del  $C_3S$  contenidos en el cemento.

Una de las teorías al respecto explica que el ión cloruro producido en la disolución del cloruro cálcico es capaz de penetrar la capa molecular que rodea a los granos de cemento en el proceso de hidratación, permitiendo que este proceso se acelere debido a que origina una modificación de la estructura molecular del gel de tobermorita, la cual la hace más poroso.

El cloruro cálcico se emplea habitualmente en dosis de 1 al 2% del peso del cemento contribuyendo a adelantar el principio de fraguado y aumentar las resistencias a temprana edad.

El efecto del cloruro cálcico es menos violento que el de otros aceleradores, pero a la vez más regular, manteniéndose relativamente constante el período entre principio y fin de fraguado.

#### **2.3.1.2 Retardadores.**

Su función principal es retardar el principio de fraguado de la pasta de cemento, manteniendo constante en lo que sea posible el tiempo de fraguado y las resistencias a las distintas edades. Se utilizan sobre todo para la confección de hormigones con características particulares.

El mecanismo de acción de los retardadores no es totalmente conocido. Sin embargo se supone que el aditivo es absorbido por los granos de cemento, produciéndose una capa relativamente impermeable, la cual posterga el proceso de hidratación normal, en particular del aluminato tricálcico.

Esta capa es finalmente penetrada por el agua, iniciándose el fraguado de acuerdo a su mecanismo habitual.

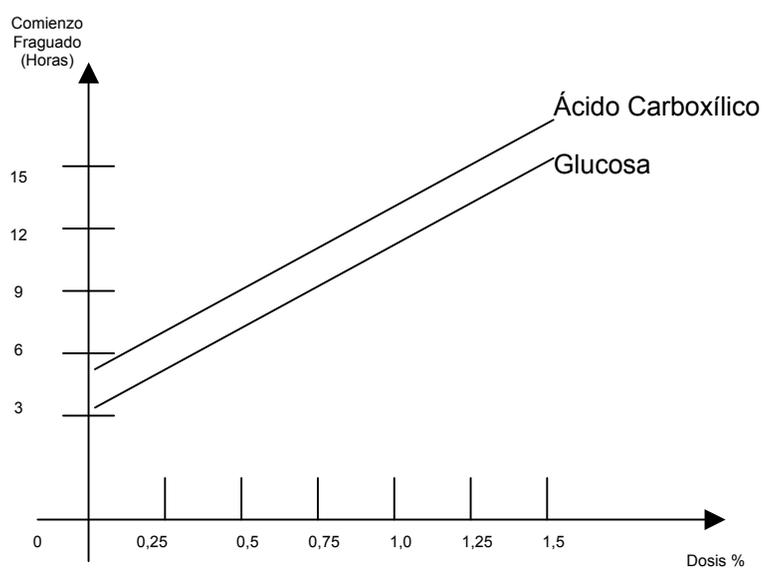
El efecto varía según el producto y la dosis empleada como se aprecia en la siguiente tabla.

**Tabla IV. Efecto del Aditivo.**

Producto	Dosis	Principio de Fraguado (h)	Fin de Fraguado (h)
Sin aditivo	0	3,10	7,00
Sacarosa	0,5 %	5,30	13,00
	1,0 %	10,00	16,00
Glucosa	1,0 %	9,0	15,00
	2,0 %	14,00	22,30
Ácido fosfórico	0,5 %	4,5	12,00
	1,0 %	6,0	14,00
	2,0 %	8,0	20,00

Por otra parte en la siguiente figura, se observa la influencia de la dosis de dos productos retardadores sobre el comienzo de fraguado, el que como puede verse se modifica en forma aproximadamente lineal con la dosis de aditivo utilizada.

**Figura 1. Efecto de dos diferentes componentes sobre el tiempo de fraguado.**



Los antecedentes presentados permiten observar que el efecto de cada tipo de aditivo retardador es significativamente diferente, lo cual confirma la recomendación de estudiar cada aditivo en las condiciones que se va a utilizar.

En general, las experiencias demuestran que el calor desprendido en las primeras 24 horas es tanto más bajo cuanto mayor sea el retardo producido. Sin embargo, el calor total desarrollado es igual después de algunos días y a la semana puede ser incluso superior el del mortero con el retardador que sin él.

En general las experiencias indican que las resistencias mecánicas son inferiores hasta los tres días, pero después de esta edad tienden a igualarse para superarse a los 28 y 90 días, efecto que es tanto más notorio cuanto mayor sea retardado.

Tal como se manifiesta con las otras características del hormigón, algunas experiencias efectuadas indican que aparentemente el empleo de un aditivo retardador disminuye la retracción inicial, pero el valor final de esta puede aumentar por sobre el del hormigón sin aditivo. Sin embargo debe señalarse que este punto no ha sido lo suficientemente investigado para establecer su plena validez.

En general los retardadores tienen un efecto plastificante sobre el hormigón fresco, mejorando la docilidad o permitiendo una reducción del agua de amasado.

Las principales aplicaciones de los retardadores son las siguientes:

- Transporte a larga distancia.
- Hormigonado de grandes volúmenes o superficies extensas.

- Supresión de juntas de trabajo en caso de pausas de trabajo programadas (ninguna discontinuidad entre las etapas de trabajo).
- Atenuación en la liberación de calor derivado de la hidratación en el hormigón masivo.
- Hormigonado bajo el agua.
- Hormigonado en épocas de calor, el retardo permite compensar el efecto acelerante producido por las altas temperaturas.
- Hormigón bombeado.
- Trabajos de inyección.
- Para aumentar el tiempo disponible para la correcta colocación del hormigón en la obra.

Un hormigón con agregado retardante endurece más lentamente en la fase inicial, pero desarrolla resistencias después de los 28 días a menudo levemente más elevadas que el hormigón convencional. A causa del endurecimiento inicial retardado, el hormigón con agregado de retardadores necesita de un cuidado particular.

Dado que el efecto deseado depende fuertemente del tipo de retardante como también del cemento utilizado y de la temperatura ambiental, es absolutamente indispensable la ejecución de exámenes preliminares a diversas temperaturas.

En caso de una dosificación en exceso, el efecto de los retardadores, puede llegar a inhibir el fraguado o, por el contrario, ser invertido, transformándolos en acelerantes.

## **2.3.2 Aditivos Especiales.**

### **2.3.2.1. Emulsiones Adhesivas.**

Son aditivos formulados específicamente para utilizarse en mezclas de cemento para resaltar en primer término las propiedades adhesivas, por lo que en general, consisten en polímeros orgánicos. Las emulsiones están formadas por una fase continua (agua) y una fase discontinua (partículas extrafinas, generalmente resinas), que no se mezclan íntimamente entre sí, pero que permanecen en régimen estable durante todo el lapso de su empleo.

Si su composición es la adecuada, su principal aporte lo constituye el aumento de la cohesión entre partículas de cemento, lo cual se traduce en una mayor resistencia a la tracción.

La combinación de ambos componentes, cemento y resina, realza las propiedades que poseen por si mismos los aglomerantes hidráulicos, pero para que su utilización en combinación con el cemento sea efectiva, las partículas de resina deben ser lo mas pequeñas posibles ( $\leq 0.1\mu$ ). Dichas partículas se dispersan dentro de la masa de la pasta de cemento, ubicándose en los micro poros que dejan entre si los granos de cemento. Se produce así la reacción normal de endurecimiento por contacto entre cemento y agua, quedando todos los poros rellenos con resina, formando un tejido que atrapa la masa del cemento.

Esta aleación tiene mejores características que el cemento solo en lo que se relaciona con la adhesividad, resistencia a la abrasión, al proceso de hielo-deshielo, resistencia a la flexotracción y a compresión.

## **Efectos**

Los aditivos de cohesión actúan tanto en las propiedades de los morteros frescos como endurecidos, siendo sus principales efectos los siguientes:

### - Efecto sobre mortero fresco

- Aumenta la necesidad de agua en la mezcla
- Disminuye la exudación
- Aumenta la incorporación de aire
- Retarda el fraguado

### - Efecto sobre el mortero endurecido

- El módulo de elasticidad disminuye, aumentando el alargamiento de rotura.
- La fisurabilidad disminuye como consecuencia de la disminución del módulo de elasticidad y aumento de la resistencia a tracción.
- Aumenta significativamente la adherencia de un hormigón fresco al colocarlo sobre una base de mortero a un hormigón endurecido.
- Aumenta apreciablemente la resistencia al desgaste y a la abrasión.

### - Los efectos de los aditivos de cohesión dependen básicamente de:

- La composición del polímero
- La dimensión de las moléculas

- La presencia de otros aditivos
- La proporción polímero / cemento, la edad del mortero y la temperatura ambiente.

Las aplicaciones de los aditivos de cohesión derivan de su efecto sobre la adherencia de los morteros colocados en capas delgadas, tales como:

- Afinados de superficies
- Capas de nivelación
- Capas de desgaste
- Estucos de fachadas
- Morteros de albañilerías
- Morteros de reparación

#### **2.3.2.2. Aditivos Combinados.**

Normalmente cuando se desea modificar o mejorar mas de una propiedad en el hormigón es posible utilizar dos aditivos de distintos efectos, siempre que estos sean compatibles entre si. Una forma más sencilla consiste en utilizar un solo aditivo que produzca en el hormigón los dos o más efectos que se buscan. Estos productos combinan los efectos de dos o más de los aditivos antes descritos, destacándose entre ellos: Plastificantes - retardadores, plastificantes - aceleradores, plastificantes - Incorporadores de aire, Superplastificante - retardador, etc.

Para ellos son validos los mismos conceptos que se han dado sobre cada uno independientemente. Presentan la ventaja de actuar simultáneamente sobre distintas propiedades del hormigón, sin tener que

recurrir al empleo de dos aditivos en forma conjunta, lo que puede inducir a errores de aplicación, especialmente cuando su dosis es muy diferente.

Sin embargo, como consecuencia de los efectos secundarios que se derivan de los aditivos componentes, deben ser formulados para que su efecto sea más bien moderado. Ello puede constituir una limitación para algunos casos particulares en que sea necesario un efecto mayor de uno de los aditivos componentes, no siendo posible actuar independientemente sobre él.

Por ejemplo, un plastificante retardador tiene un efecto limitado sobre el retardo y en los casos en que se necesita un retardo mayor que el que puede producir un aditivo combinado, será necesario emplear un plastificante y un retardador separadamente.

#### **2.3.2.3. Colorantes.**

El color de los morteros y hormigones, depende del color de los áridos y del cemento, siendo este último el que le confiere el color gris que le es característico, siendo la tonalidad mas o menos oscura según sea su composición, principalmente en lo que concierne al contenido de adiciones, presencia de óxidos metálicos, especialmente óxidos de hierro, etc.

En comparación con los cementos Pórtland, el contenido de escoria de alto horno (cementos siderúrgicos) le confiere una tonalidad tanto mas clara cuanto mayor es el contenido de escoria. Por el contrario, los hormigones fabricados con cementos puzolánicos resultan con una tonalidad algo más oscura.

Una coloración más clara puede obtenerse empleando cementos blancos, los que se obtienen mediante una fabricación especial en la que se cuida particularmente la composición y el contenido de óxidos.

En las obras de hormigón a la vista, en la prefabricación o en algunos tipos de recubrimientos en base a cemento, la coloración es un aspecto significativo lo que lleva a elegir el cemento y los áridos según la tonalidad deseada. Estos casos resulta adecuado preocuparse también de la confección de las mezclas y cuidar los procedimientos de vaciado, colocación y compactación del hormigón para obtener un tono uniforme, sin manchas y defectos locales como segregaciones, porosidades, nidos de piedra, chorreaduras de lechada, etc.

En algunos casos especiales, las preocupaciones anteriores deben complementarse, si por razones arquitectónicas o de otra índole se requiere incorporar un color diferente del normal a la masa de morteros y hormigones, caso en el cual es necesario recurrir al empleo de aditivos colorantes.

Los colorantes o pigmentos son polvos finos constituidos generalmente por óxidos metálicos. Su granulometría suele estar comprendida entre 0.01 y 10  $\mu$  lo que se traduce en una superficie específica Blaine entre 5.000 y 20.000  $\text{cm}^2/\text{g}$ .

Algunos requisitos que deben cumplir los pigmentos para ser utilizados en mezclas de cemento, son las siguientes:

- Poder colorante y regularidad de tono. En general se requiere que el producto confiera el color deseado aplicado en dosis de 1 a 3% del peso del cemento y no mayor que 5%, ya que en este caso podría afectar las resistencias mecánicas al producir un mayor requerimiento de agua.
- Mojabilidad y fácil dispersión. Los colorantes que se mojan con dificultad o tienden a flotar hacen difícil su incorporación uniforme a las mezclas.
- Estabilidad a los agentes atmosféricos y a la luz, como también frente a la cal y los álcalis del cemento.

- Limitado contenido de sales para evitar eflorescencias.
- Neutralidad química con el cemento.

Su incorporación no debe afectar al fraguado y endurecimiento ni provocar hinchamientos en el hormigón.

**Tabla V.** Lista de Pigmentos recomendados.

Colores		Naturaleza de los pigmentos utilizados		Observaciones
Nombres	Medida (nanómetros)	Nombres	Fórmulas	
Rojo	680	-Oxido férrico -Ocre rojo	- $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ (tierra coloreada)	
Pardo (tostado)	630	-Oxido férrico -Tierra de siena -Tierra de sombra tostada	- $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$ + $\alpha\text{FeOOH}$ (tierra coloreada)	Tierra que conviene evitar
Amarillo	570	-Hidróxido de hierro -Cromato bórico -Ocre amarillo	- $\alpha\text{FeOOH}$ - $\text{BaCrO}_4$ (tierra coloreada)	Desconfiar del amarillo de cinc
Verde	530	-Oxido de cromo hidratado -Oxido de cromo -Tierra de Verona	- $\text{CrOOH}$ $\alpha\text{Cr}_2\text{O}_3$ (tierra coloreada)	No utilizar verde de cobalto ni verde de cromo.
Azul	470	-Óxido de cobalto -Azul cobalto	- $\text{Co}_2\text{O}_3$ - $\text{CoOAl}_2\text{O}_3$	Evitar el azul ultramar
Violeta	420	-Violeta de manganeso -Violeta ultramar		
Blanco		-Dióxido de titanio	- $\text{TiO}_2$ Cal, cemento blanco Caliza molida	No usar ni el blanco de cinc, ni el albayalde.
Negro		-Óxido de hierro	- $\text{Fe}_2\text{O}_3$ FeO Oxido magnético Oxido de manganeso	Algunos pueden virar a café.

$$1 \text{ nanómetro} = 10\text{Å} = 1/1.000 \mu$$

## **- Recomendaciones para el empleo de Pigmentos**

El Pigmento colorante debe agregarse como un material adicional durante la fabricación del mortero u hormigón que se desea colorear. Para lograr una buena homogeneidad es recomendable dispersar primero el pigmento en el cemento, mezclándolo luego con los áridos para finalmente incorporar el agua. Para la elección de un pigmento, debe considerarse que algunos pigmentos se decoloran por efecto de la luz, de la temperatura, o por reacción con algún compuesto del cemento.

Por las razones expuestas, previamente a su empleo en obras de hormigón visto, es conveniente reunir antecedentes respecto de su empleo en otras aplicaciones anteriores, verificar su aplicabilidad en las mismas condiciones de obra y, si es necesario, confeccionar muros de prueba, con el fin de someterlos a la aprobación de los responsables de las especificaciones técnicas de arquitectura.

### **2.3.2.4. Agentes Formadores de Espuma.**

Se utilizan para confeccionar hormigones celulares, incluyendo burbujas de diámetro entre 0.5 y 4 mm que reemplazan a los áridos con el fin de obtener una mezcla de baja densidad. Con este procedimiento la densidad puede variar de 0.4 a 1.0 Kg. /dm<sup>3</sup> según sea la cantidad de espuma incorporada.

Los agentes espumantes deben producir burbujas estables y resistentes a la presión que por sobre ellos ejercen los componentes del hormigón durante el periodo en que este permanece en estado fresco.

Los espumantes, al ser agitados en agua, producen espuma, la cual al ser dispersada durante el amasado en la masa del hormigón, incorpora las burbujas, de aire para disminuir la densidad.

Para lograr este objetivo, los morteros u hormigones celulares se confeccionan agregando primero la espuma, preparada agitando el aditivo espumante en agua, a una lechada de cemento o a un mortero fino, a los cuales posteriormente se les agrega el resto de los componentes del hormigón.

#### **- Efectos**

La incorporación de las burbujas de aire tiene como consecuencia que las resistencias mecánicas disminuyan considerablemente, en función de la dosis de aditivo y, consecuentemente, de la densidad aparente resultante.

#### **2.3.2.5. Aditivos Menos Requeridos**

##### Componentes de Resistencia al Agua:

Reducen la absorción de agua al provocar dificultad para la penetración de este líquido en el concreto. La materia prima más usual en su fabricación es el estearato de calcio.

##### Aditivos Para Retener agua:

Son estabilizadores que previenen el “sangrado” del concreto y mejoran la fuerza de cohesión mediante la retención de agua. Normalmente utilizan éteres de celulosa y almidón como materias primas.

### Componentes para lechada:

Estos componentes sirven para rellenar completamente cualquier cavidad. El efecto de expansión deseado se obtiene partiendo de aluminio metálico en un medio alcalino para producir hidrógeno.

### Antiespumantes:

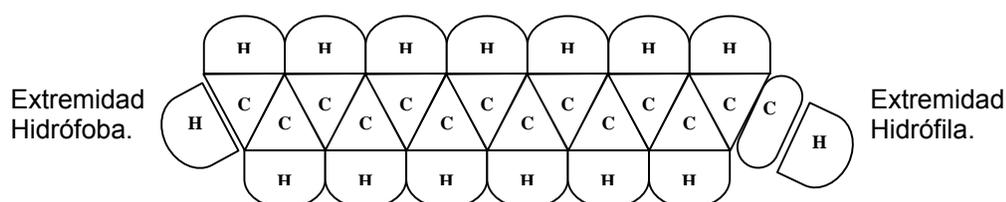
Los principales antiespumantes son el tributil fosfato (inhibidor de espuma T) y los antiespumantes de silicón (Baysilone), que sirven para eliminar las burbujas de aire que quedan atrapadas.

### **2.3.3 Aditivos Tensoactivos**

Los productos Tensoactivos son, entre los que modifican las propiedades reológicas del hormigón, probablemente los más empleados por sus múltiples efectos.

La estructura molecular de estos productos es muy compleja, pero se puede esquematizar como una molécula larga de carbonos con una extremidad hidrófoba y la otra hidrófila, en la forma representada en la siguiente figura.

**Figura 2.** *Esquema de una molécula tensoactiva.*



La parte hidrófila, que generalmente es ionizable, está formada por grupos de tipo carboxilato o sulfonato. La parte hidrófoba es rechazada al exterior de la superficie del agua, orientándose perpendicularmente a la superficie de separación agua – aire. Esto quiere decir que la extremidad  $\text{CH}_3$  de cada cadena es hidrófoba y la extremidad  $\text{COOH}$  es hidrófila, en resumen, los átomos H ligados directamente al carbono son Hidrófobos, mientras que los átomos H ligados al carbono por medio de un átomo de oxígeno son hidrófilos.

De este mecanismo derivan dos efectos principales: por una parte, la ionización de los filamentos del aditivo produce la separación de los granos de cemento entre sí, conduciendo a una efectiva defloculación.

Los granos de cemento quedan individualizados y defloculados, facilitándose aún más el mojado, lo que produce una mejor hidratación y reducción del esfuerzo del cizalle necesario para poner en movimiento el hormigón fresco, lo que explica su efecto como plastificante.

Por otra parte, las moléculas del 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.

Este mecanismo puede producir incorporación de aire en forma de micro burbujas esféricas, al evitar que el aire atrapado se disuelva o salga a la superficie, actividad que aumenta con la longitud de la cadena molecular. El efecto de incorporación de aire no siempre se ve expresado en un mayor volumen de aire al hacer el ensayo en un aerímetro, pues se supone que el aditivo convierte el aire atrapado en burbujas microscópicas retenidas en su masa, las que actúan como rodamientos entre las partículas sólidas, contribuyendo al aumento de la docilidad del hormigón.

Los productos Tensoactivos suelen distinguirse también por sus características electrolíticas, pudiendo ser iónicos. Los reductores de agua más utilizados son de carácter aniónico, que son más activos y eficaces que los catiónicos y éstos a su vez que los no iónicos.

Muchos aditivos Tensoactivos provienen de la fabricación del papel a partir de la madera, de la cual se elimina la lignina, que representa el 20% a 30% de su composición, disolviéndola con soda y, eventualmente, con sulfuro de sodio, bisulfito de sodio o de calcio y ácido sulfuroso. Se obtienen así lignosulfonatos complejos.

#### **2.3.3.1. Incorporadores de Aire.**

El rol de estos aditivos es introducir en el hormigón millones de pequeñas burbujas de aire, en su mayoría de un tamaño comprendido entre 0,01 y 1 mm., con una distribución uniforme de las masas del hormigón.

La proporción de burbujas recomendable depende del tamaño del árido grueso del hormigón, empleándose por regla general los siguientes valores:

**Tabla VI.** *% de Aire Recomendado para el total del volumen del hormigón con ciclos hielo-deshielo.*

Tamaño Máximo	40 mm	25 mm	20 mm	12 mm	10 mm
% Aire Recomendado	4.5	4.5	5.0	5.5	6

El empleo de los Incorporadores de aire está orientado básicamente a aumentar la resistencia del hormigón frente a los ciclos alternados de temperaturas bajo y sobre cero (hielo y deshielo), que puedan conducir al congelamiento del agua contenida en el hormigón.

Sin embargo, hacen también efecto sobre otras propiedades del hormigón, entre las cuales pueden citarse las siguientes:

- Reducción de la permeabilidad del agua y líquidos en general.
- Aumento de la consistencia del hormigón, en una forma similar al obtenido por la adición de granos finos.
- Aumento de la fluidez del hormigón.
- Disminución de la exudación del agua de amasado del hormigón.
- Disminución de la resistencia.

Este último efecto debe ser especialmente considerado, pues la disminución de la resistencia provocada por la incorporación de burbujas no alcanza a ser compensada por la disminución de la cantidad de agua de amasado posible de producir por efecto de la mayor fluidez.

La incorporación de aire en el hormigón produce diversos efectos sobre éste, tanto mientras se mantiene en estado plástico 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 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 siguientes puntos:

- *Efecto 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 producirá en el hormigón que no contenga aire incorporado.
- *Efecto sobre la Trabajabilidad del hormigón:* las burbujas de aire formadas en el hormigón fresco actúan al mismo tiempo como un fluido aumentando su docilidad, 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. Se 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. 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 mencionado.

- *Efecto sobre la impermeabilidad:* En el hormigón endurecido, las micro burbujas producidas por el aditivo incorporador de aire se interponen en la red de canaliculos 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.

*Regla Práctica:* El 1% de aire introducido en el hormigón corresponde a una disminución de la cantidad de agua de amasado igual a 51 Lt. /m<sup>3</sup> y produce una Trabajabilidad similar a la que se obtendría con el agregado de 10 – 15 Kg. de agregados finos.

La pérdida de resistencia es un efecto indeseable que se produce con el uso de los Incorporadores de aire

*Regla Práctica:* A cada porcentaje de aire incluido corresponde una pérdida de resistencia entre 1 y 3 Mpa.

Las burbujas introducidas en el hormigón fresco persisten en el hormigón endurecido. En caso de hielo, éstas acumulan parcialmente el agua en movimiento en los capilares, reduciendo así el riesgo de disgregación del conglomerado que resulta de la formación del hielo.

En la mayor parte de los casos, es suficiente una pequeña cantidad de aditivo para obtener el tenor deseado de aire introducido. Este representa 3 – 6% del volumen de hormigón. En cada caso se establece que el tenor de aire contenido en el hormigón no depende solamente del tipo y de la dosificación del aditivo sino también de otros factores: tipo de cemento, naturaleza del agregado y curva granulométrica de la arena, consistencia, temperatura, intensidad y duración del mezclado, presencia de ulteriores aditivos o materiales agregados. La compatibilidad de nuevas combinaciones debe ser absolutamente probada mediante exámenes preliminares.

#### **2.3.3.2. Expansores.**

Al producirse el fraguado y el endurecimiento de la pasta de cemento en el hormigón se originan fenómenos de retracción, lo cual produce efectos desfavorables en muchas aplicaciones del hormigón. Para contrarrestar este problema, se utilizan los aditivos Expansores agregados a la pasta de cemento, morteros u hormigones.

La cantidad y evolución de la expansión dependen de factores tan diversos como, dosis del aditivo, tipo y cantidad del cemento, tamaño máximo del árido, contenidos de agua, condiciones ambientales. Etc.

Estos aditivos forman burbujas de gas por reacción de algunos de sus compuestos entre sí o con los productos de la hidratación del cemento.

Esta reacción se produce en el interior del hormigón mientras este se mantiene fresco, de manera que, al quedar atrapadas las burbujas producidas, se genera una expansión del hormigón, motivo por el cual el empleo de este tipo de aditivos se puede orientar a producir dos efectos:

- Si el hormigón está libre para expandirse, el aumento de volumen generado permite compensar la disminución de volumen que normalmente experimenta el hormigón por efecto de la retracción hidráulica.
- Si el hormigón está confinado, el aumento de volumen puede generar un efecto de compresión, el cual puede compensar las tensiones de tracción que experimenta el hormigón por efecto de la retracción hidráulica.

Como se ha indicado anteriormente, los aditivos Expansores producen un aumento de volumen en el hormigón mientras este se mantiene aún en estado fresco. Posteriormente se produce una retracción hidráulica y como efecto secundario debe mencionarse que la formación de burbujas se traduce en la disminución de la resistencia.

Estos aditivos se utilizan generalmente en los siguientes casos:

- Inyecciones en vainas de postensado, relleno de grietas, consolidación de rocas fisuradas.
- Reparación de nidos en piedra.
- Grouting, morteros y hormigones de relleno.

A continuación se dará a conocer los aditivos Tensoactivos que modifican las propiedades reológicas del hormigón más utilizados en el mercado, como son los Plastificantes y los Superplastificantes.

## **CAPITULO III**

### **3.- AGENTES REDUCTORES DE AGUA**

#### **3.1.- PLASTIFICANTES**

Los Plastificantes son materiales que aumenta la docilidad para un determinado contenido de agua o, permite reducir el agua libre requerida para obtener la docilidad dada.

Los plastificantes o aditivos reductores de agua incrementan, en principio, la resistencia del hormigón sin alterar la velocidad de fraguado. El uso de ellos debe basarse en el desarrollo de las resistencias.

Estos aditivos permiten disminuir la cantidad de agua en el hormigón, manteniendo la Trabajabilidad, con la consiguiente reducción agua/cemento y el aumento de la resistencia mecánica. Otra forma de utilizar los aditivos plastificantes es aumentando la Trabajabilidad del hormigón sin aumentar la cantidad de agua; en este segundo caso la resistencia prácticamente no varía.

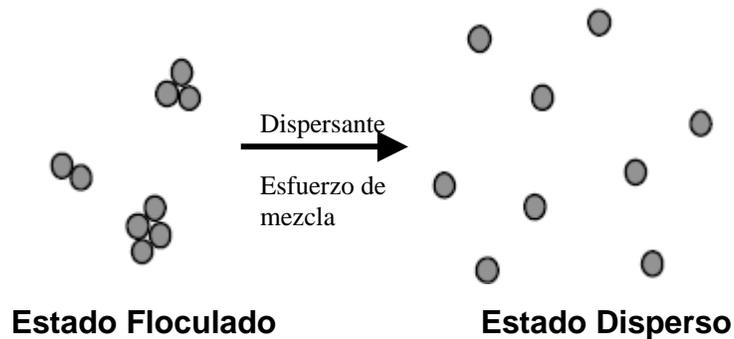
Los aditivos plastificantes son ampliamente utilizados debido a su influencia favorable en el mayor número de propiedades en el hormigón. En el hormigón fresco se mejora la docilidad, se obtienen masas más homogéneas, se disminuye la segregación y exudación y se favorece la hidratación completa del cemento.

El hormigón endurecido permite aumentar considerablemente la resistencia mecánica, reducir la retracción, la porosidad, la capilaridad, la permeabilidad y por lo tanto aumentar la durabilidad.

## Química Básica de Reductores

**Agentes Dispersantes:** Material que evita la floculación de partículas individuales suspendidas en un líquido.

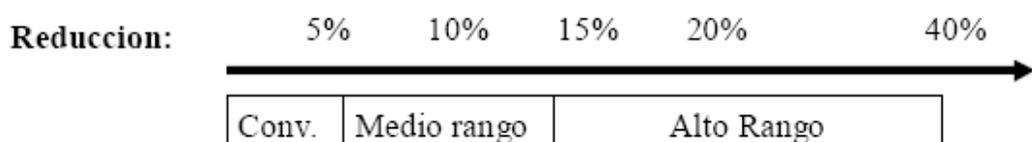
**Figura 3.** Estado de los materiales.



Con los aditivos plastificantes es posible reducir la cantidad de agua en un hormigón entre un 7 y un 14% del agua de amasado, referido a un hormigón patrón, esa reducción de agua significa aumento de resistencia que va desde un 10 a un 30% dependiendo del tipo de cemento y del resto de los materiales que componen el hormigón.

## Reductores de Agua

**Figura 4.** Tipos de reductores de agua

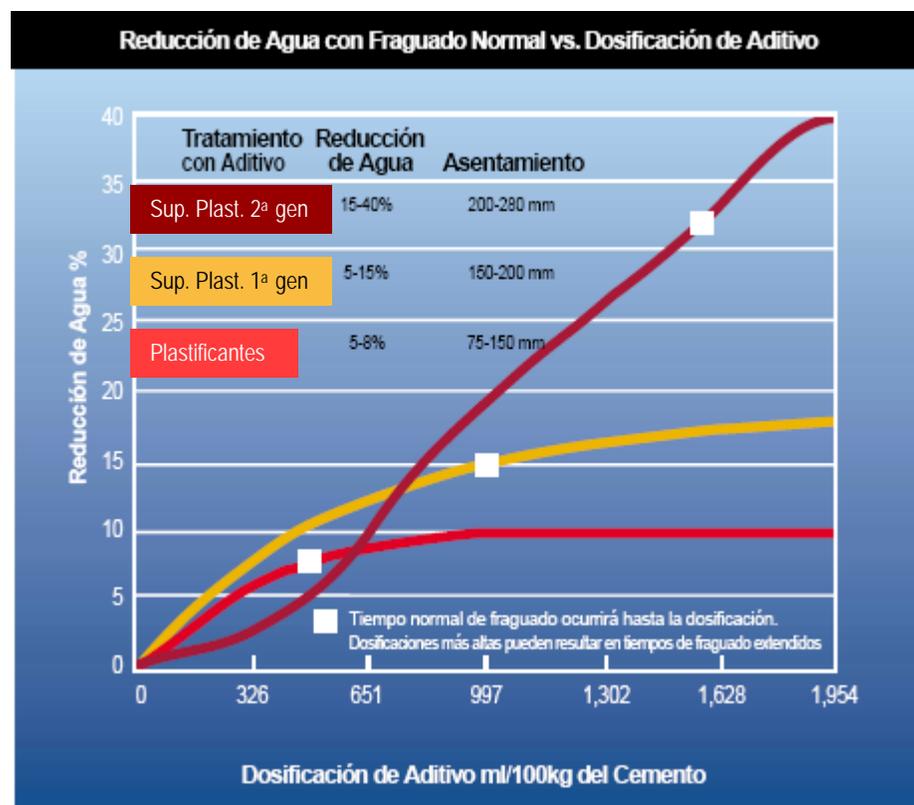


Los aditivos plastificantes se utilizan en todo tipo de hormigones:

- Obras de hormigón en general.
- Hormigón de alta resistencia.
- Hormigón bombeado.
- Hormigón premezclado.
- Hormigón a la vista.
- Elementos con alta densidad de armadura o esbeltos.
- Prefabricados.

La evolución de los aditivos reductores de agua ha tenido un desarrollo relativamente reciente y creciente en el tiempo.

**Cuadro I** Reducción v/s Aditivos



Los primeros reductores de agua surgieron alrededor de 1930, utilizándose lignosulfonatos como medio para mejorar la Trabajabilidad de los hormigones sin necesidad de recurrir al siempre perjudicial agregado de agua.

### **3.1.1. Modo de acción.**

Los agentes de retención de agua, mejoran:

#### *En los Plastificantes*

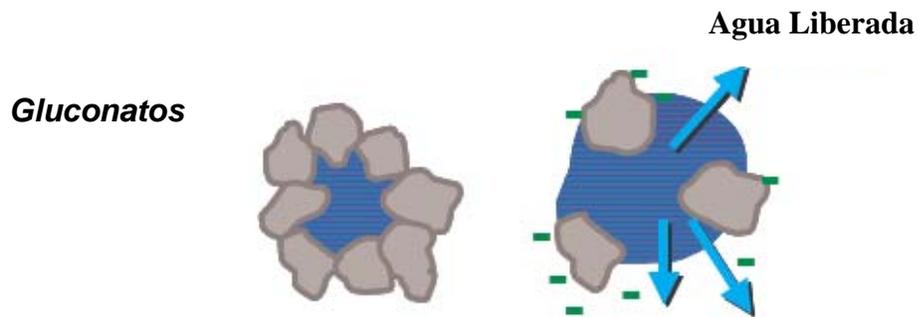
- *La estabilidad:* la exudación disminuye, la retención de agua aumenta.

*La homogeneidad:* La cohesión es más enérgica. En efecto, la pasta pura adicionada con estos productos más finos que el cemento, tendrá un umbral de cizallamiento más elevado, y los granos de arena y de gravilla tendrán una velocidad de sedimentación más reducida. Estos aditivos comprenden frecuentemente productos muy finos que vienen a completar la granulometría de los cementos y, por lo tanto, la de los morteros y hormigones.

- Actúan mecánica y físicamente, a dosis tanto más débiles cuanto más finos son los productos. Gracias a su finura mejoran la impermeabilidad del hormigón fresco y, a veces, la del hormigón endurecido, desempeñando el papel de hidrófugos (muchas veces se vuelven a encontrar en estos últimos los mismos productos básicos). Si se multiplica la superficie total de los gramos por  $n$ , la segregación de agua queda dividida por  $n^2$ . Estos

aditivos que, por otra parte, son químicamente inertes casi siempre, alteran poco las restantes propiedades de los hormigones.

**Figura 5** *Gluconatos*



### **3.1.2. Productos de base.**

Los productos de base son:

- Polvos finos:

- Kieselguhr: harina fósil de diatomeas silificadas.
- Bentonita: arcilla coloidal, cales grasas o hidráulicas finas, cenizas volantes y puzolanas molidas y pulverizadas, calizas molidas y pulverizadas.

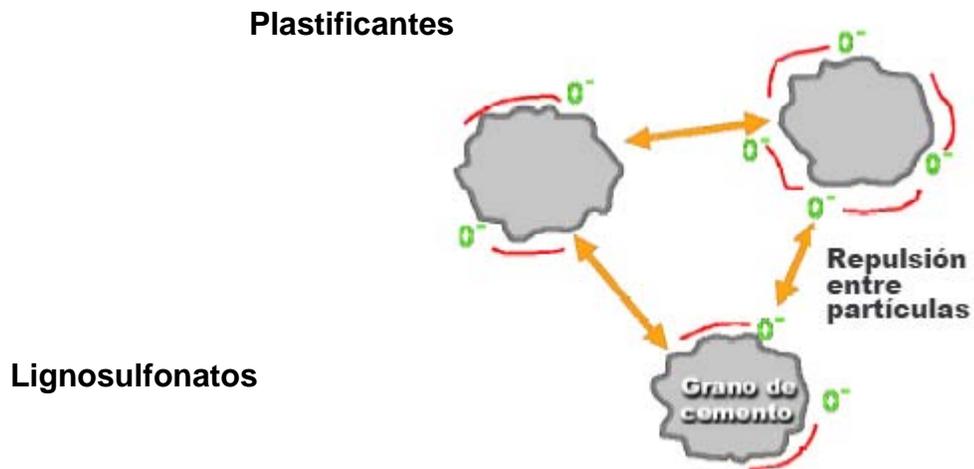
- Productos coloidales:

- Alginato, caseína, fécula.
- *Acetatos de polivinilo y estearatos.*

- Productos inclusores de aire:

- Lignosulfonatos, abietato de calcio.

**Figura 6** *Lignosulfonatos*



Los aditivos comerciales encierran, a veces, cemento Pórtland (caso de los aditivos en polvo).

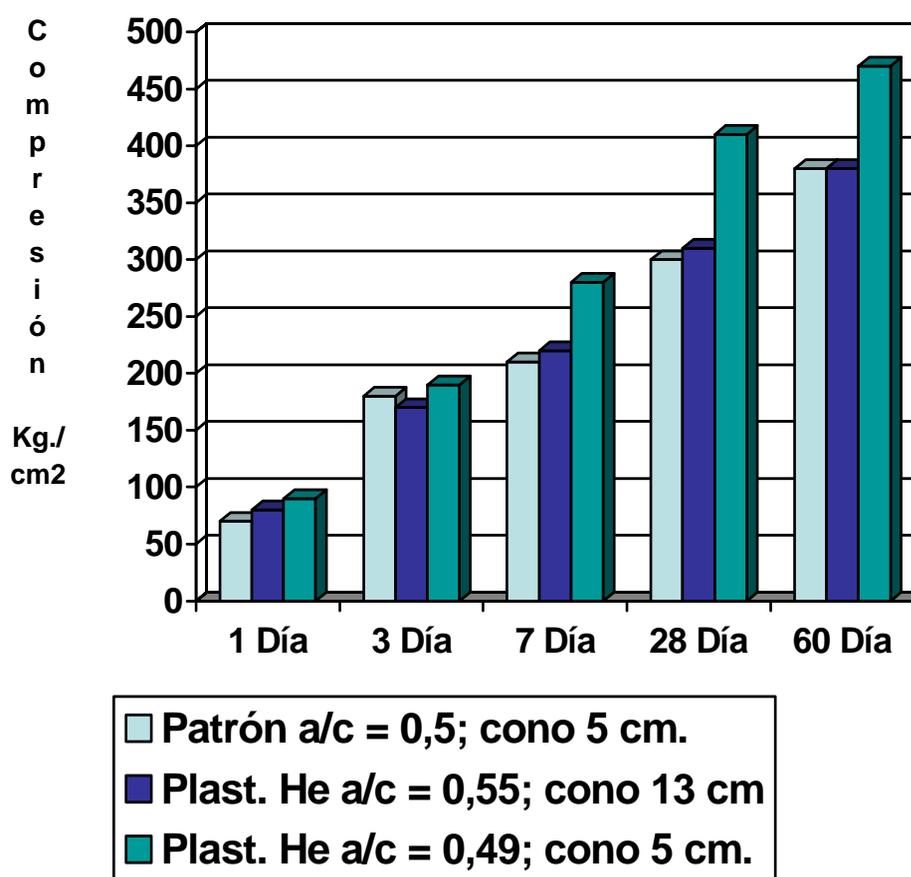
**Tabla VII.** *Efecto retardador de algunos componentes de los aditivos.*

<b>Tipo de Aditivo</b>	<b>Dosis</b>	<b>Retardo producido</b>
Lignosulfonatos de Calcio de alta graduación.	Normal	4 horas
	Doble	10 horas
	Triple	16 horas
Lignosulfonatos de Calcio normal	Normal	0.5 horas
	Doble	2.0 horas
	Triple	3.5 horas

### 3.1.3. Principales efectos y resultados obtenidos

En la bibliografía se encuentran muy pocos resultados de ensayos con estos productos empleados como adiciones al cemento a elevadas dosis (casos de las cenizas volantes, de la cal, etc.). En cuanto a los aditivos comerciales, suelen encerrar muchos productos de acción múltiple, de manera que es difícil disociar la influencia de éstos, tomados por separado.

**Cuadro II** Resistencia de distintos tipos de aditivos



Según Bruce Foster, estos elementos finos, inertes o puzolánicos, mejoran las características de los hormigones frescos en la medida en que estos hormigones carecen de elementos muy finos.

En este caso la exudación disminuye y las resistencias mecánicas pueden quedar aumentadas. Por el contrario, si el hormigón está bien compuesto y es rico en cemento, la adición de estos elementos finos puede no producir efecto alguno o incluso rebajar las resistencias mecánicas a igualdad de plasticidades (por la cantidad suplementaria de agua que es necesario añadir).

**Tabla VIII.** *Requisitos Físicos exigidos a los Aditivos Plastificantes*

<b>Aditivo</b>	<b>Máx. Cont. Agua (1)</b>	<b>Tiempo de Fraguado Inicial</b>	<b>Resist. A Comp.</b>	<b>Resist. A Flexotracc.</b>
Plastificante	95 %	No más de 1 hrs. Menos No más de 2 hrs. Más	3D=110% 7D=110% 28D=110%	7D=100% 28D=100%
Plastificante- Retardador	95 %	Mínimo 1 hrs. Más Máximo 6 hrs. Más	3D=110% 7D=110% 28D=110%	7D=100% 28D=100%
Plastificante- Acelerador	95 %	Mínimo 1 hrs. Menos Máximo 3.5 hrs. menos	3D=125% 7D=110% 28D=110%	3D=110% 7D=100% 28D=100%

Nota: (1) Agua de amasado con áridos saturados superficialmente secos.

R. Feret escribía en 1926: “Generalmente las adiciones de *harinas* (polvos finos) son muy favorables a los morteros u hormigones demasiado pobres en fracciones finas. La mejora conseguida puede llegar a ser *considerable* y repercute a la vez en la plasticidad, la compacidad, la resistencia y la impermeabilidad”.

Papadakis y Bomble han demostrado que en papillas de pasta pura o de micro-mortero para inyecciones, ciertos productos finos mejoran su inyectabilidad.

Un amasado violento de alta turbulencia aumenta igualmente la inyectabilidad, en parte por el hecho “del aumento de la superficie específica del sólido (en este caso, el cemento) al crearse elementos muy finos y activos a causa de la abrasión de los granos gruesos.

Los plastificantes de retención de agua son tanto más eficaces cuanto mayor es su finura (la mayoría de los granos no debería rebasar las 10 micras). Su eficacia depende igualmente de la composición de los hormigones a los que están incorporados. Su acción es muy beneficiosa cuando contiene áridos de machacadora o áridos con un defectuoso coeficiente de forma. Estos aditivos aumentan la cohesión interior y disminuyen la permeabilidad al agua del hormigón fresco. Pero una dosificación excesiva puede hacer que disminuyan las resistencias mecánicas (por la necesidad de agua complementaria) y que aumente la retracción hidráulica.

#### **3.1.4. Aplicaciones y utilizaciones.**

Las aplicaciones derivan de sus propiedades. Entre los empleos posibles, se encuentran:

- La puesta en obra del hormigón en piezas de poco espesor y muy armadas (tendencia que va acentuándose por el hecho que se puede así hacer trabajar los hormigones a cargas cada vez mayores.
- El Hormigonado en gran masa: es el caso de las presas donde la necesidad de disminuir el desprendimiento de color obliga, a veces, a rebajar la dosificación de cemento prevista.
- Para mejorar el desencofrado y el aspecto del hormigón visto (menos fugas de agua posibles a través de las juntas del encofrado).
- El hormigón pobre (por escasez de cemento) o áspero (por falta de arena fina), como, por ejemplo, en los bloques prefabricados.
- El hormigón vertido bajo el agua (para evitar el deslavado).
- El hormigón transportado a larga distancia (para reducir la segregación y la heterogeneidad: es el caso de los hormigones de transporte preparados en centrales.
- El hormigón bombeado (que exige una granulometría conveniente de los áridos, con agua suficiente).
- En inyección (cables pretensados, suelo, lechada para el procedimiento “colcrete”).

- En hormigón y mortero de galerías de mina y túneles puestos en obra por proyección (en ciertos casos, los plastificantes pueden contener aceleradores de fraguado).

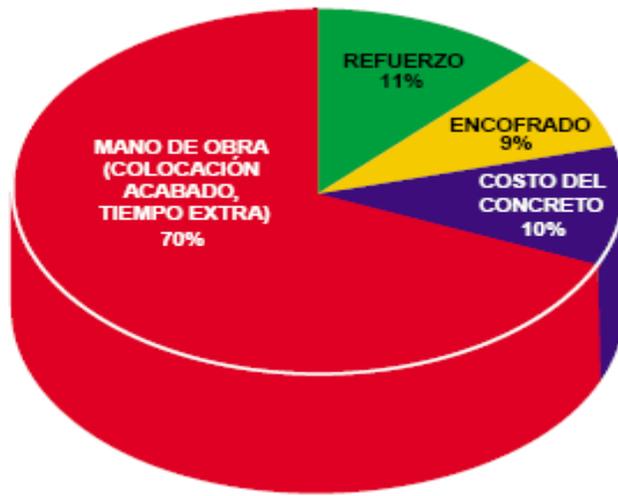
En general, las dosis a utilizar son del orden del 2 ó 3% del peso del cemento. Los productos son, a veces, suministrados en polvo, en cuyo caso hay que resguardarlos de la humedad.

Cuando se entregan en solución acuosa puede producirse un sedimento importante (y es necesaria una rehomogenización cuando vayan a ser empleados).

Está escrito en el manual de cotizaciones de los Estados Unidos que el 70% del costo del concreto colocado es el costo de obra para vaciar, acabar y tiempo extra, por lo que con un aditivo colocado a un concreto por metro cúbico, puede acabarse y vaciarse más fácilmente, hasta un 50% más rápido, reduciendo sus costos de mano de obra y el desgaste (costo de mantenimiento) en sus llanas mecánicas para el acabado.

Con un reductor de agua convencional o de rango medio, se facilita el vaciado y se puede lograr con mayor rapidez mientras que mantiene los tiempos de fraguados normales.

**Figura 7** Costo de un metro cúbico de hormigón colocado.



Esto reduce los costos de acabado en tiempo extra causados por largos tiempos de fraguado.

### **3.2.- LOS SUPERPLASTIFICANTES.**

Los Superplastificantes decididamente son los aditivos más utilizados para la elaboración del hormigón.

Este tipo de aditivos permiten, para una misma docilidad, una reducción de la cantidad de agua en un hormigón dado a que, para una misma cantidad de agua aumenta considerablemente esta docilidad o, incluso permiten obtener estos dos efectos simultáneamente.

El aumento de docilidad permite la colocación del hormigón en estructuras complicadas, con alta densidad de armadura o con efectos superficiales especiales sin necesidad de incrementar cantidad de agua de amasado y por consiguiente la dosis de cemento para obtener las resistencias especificadas.

La disminución de la dosis de agua y en consecuencia de la razón agua – cemento, manteniendo una determinada Trabajabilidad, permite aumentar la compacidad del hormigón y, por consiguiente, su resistencia, impermeabilidad y durabilidad. Por la misma razón, la retracción y en consecuencia, la tendencia a la fisuración se ven disminuidas.

La acción de los aditivos Superplastificantes puede ser causada por el efecto combinado de acciones de tipo físico – químico, dependiendo la preponderancia de la composición de alguna de ellas.

Los Superplastificantes mejoran la Trabajabilidad del hormigón en presencia de una relación A/C constante (cantidad de agua de mezcla inalterada).

Se puede además, si bien en forma controlada, conjugar los dos efectos, mejorando la Trabajabilidad y reduciendo la relación A/C.

Finalmente y no por esto menos importante, se citan las ventajas económicas, la mejor Trabajabilidad y las mejores características finales del hormigón que derivan del agregado de Superplastificante.

Un posible efecto secundario que se puede dar seguidamente al uso de estos Aditivos es una cierta demora en el fraguado. Aquí entran en juego las características del cemento y de los agregados usados. Por esto se recomienda verificar la compatibilidad entre los constituyentes y los aditivos, sobre todo en el caso de las dosificaciones elevadas de aditivos o también cuando se trabaja con más de un aditivo simultáneamente.

**Tabla IX.** Efectos de cuatro tipos principales de Aditivos:

Efectos sobre	Super Plastificante	Acelerantes de fragüe	Retardadores de fragüe	Incorporadores de aire
Trabajabilidad	++	-	+	+
Segregación / bleeding	+		-	+
Fraguado – aceleración		++		
Retardo			++	
Comportamiento frente al bombeo	+			
Resistencia inicial	+	++	-	-
Resistencia final	+	-	+	-
Resistencia al hielo en presencia de sales anti-hielo	+	-	-	++
Hormigonado a bajas temperaturas	+	+	-	
Hormigonado a temperaturas elevadas.		-	+	

++ = Efecto deseado.      + = Efecto positivo.      - = Riesgo de efectos no deseados.

El Superplastificante es un material que mediante su acción otorga una alta docilidad o, permite una gran disminución del agua libre para una docilidad dada.

Los Superplastificantes corresponden a una nueva generación de aditivos Plastificadores en base a productos melamínicos o naftalínicos, constituyendo una evolución a los aditivos reductores de agua, en que la absorción y capacidad de dispersión del cemento es mucho más acentuada.

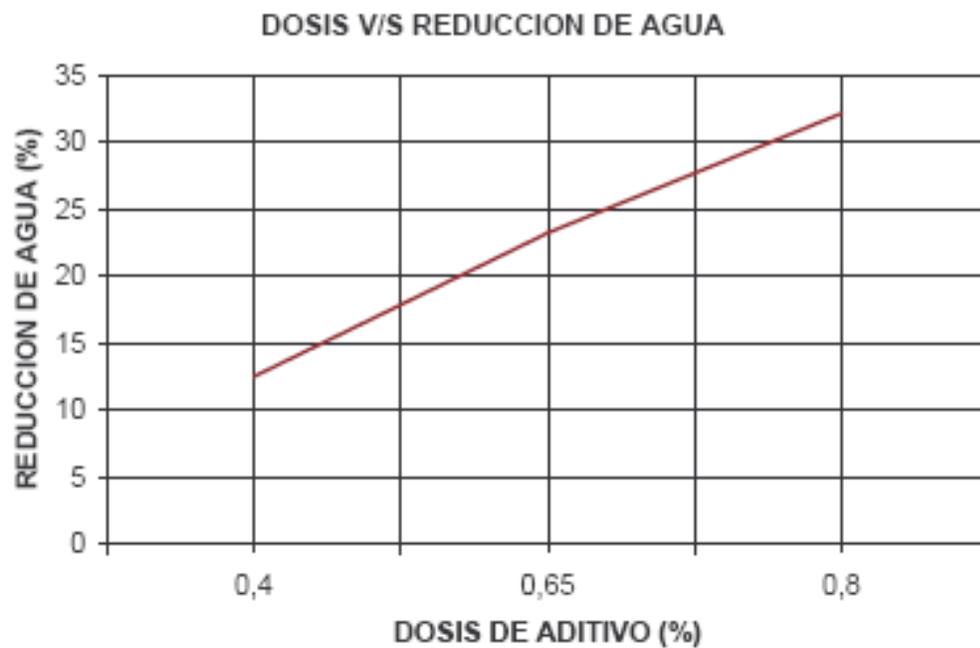
Esto se traduce en un enorme aumento de la Trabajabilidad del hormigón, sin modificar la cantidad de agua. El resultado es un hormigón más fluido, de baja tendencia a la segregación y, por lo tanto, se reduce el trabajo de colocación y minimizando la necesidad de vibrar, salvo en zonas densamente armadas. En los hormigones prefabricados y pretensados principalmente, los Superplastificantes se han utilizado desde hace muchos años para la obtención de hormigones de mejor calidad y mucho más trabajables.

Los Superplastificantes se distinguen de los plastificantes por su estructura química y su utilización en dosis elevadas sin producir efectos secundarios como retardo o aire excesivo.

Estos aditivos se han utilizado ampliamente bajo el nombre genérico de Superplastificante o reductor de agua de alto rango, este último término tiende a confundirlos con los aditivos plastificantes.

Pueden utilizarse también como reductores de agua, siendo posible en este caso, dado su apreciable efecto, alcanzar disminuciones en la cantidad de agua entre 20 y 30%. Ello permite obtener un fuerte incremento en las resistencias, especialmente en las primeras edades, por lo que pueden utilizarse como aceleradores de endurecimiento o aditivos para hormigones de alta resistencia (HAD).

**Cuadro III.** Reducción de agua de un Superplastificante, 350kg.de cemento por m<sup>3</sup> de hormigón.



Los aditivos reductores de agua de alto rango o Superplastificantes, son compuestos sin los cuales no se hubieran desarrollado los HAD (hormigones de alto desempeño) hasta los niveles actuales.

Excepto por la magnitud de su acción, plastificantes y Superplastificantes tienen efectos similares sobre la Trabajabilidad y comportamiento de la mezcla fresca y de las propiedades mecánicas de la mezcla endurecida. En una escala microscópica, la acción del Superplastificante difiere claramente de la del plastificante por una mucho más efectiva defloculación y una muy alta dispersión de las partículas de cemento.

### 3.2.1. Componentes y requerimientos.

Desde el punto de vista químico existen diversos productos que tienen esta propiedad, pero en la práctica se reconocen tres grupos principales que tienen como productos base para su confección:

- Condensados de melamina – formaldehído sulfonado.
- Condensado de naftaleno – formaldehído sulfonado.
- Lignosulfonatos modificados (alto peso molecular).

En 1970, con la aparición de los Superplastificantes la tecnología produjo un salto cualitativo. A partir de allí, fue posible agregar dosis elevadas de aditivos, con los consiguientes beneficios al obtenerse reducciones de agua considerables (hasta 20 – 25%), sin producir efectos secundarios no deseados en las mezclas. Aquellos primeros Superplastificantes estaban basados en polímeros de melamina formaldehídos, presentando como principal limitación la reducida permanencia del efecto plastificante en el tiempo.

Finalmente, hace algo más de 5 años, una última generación de Superplastificantes basados en polímeros acrílicos, llamados también policarboxilatos, incrementó drásticamente la capacidad reductora de agua o el poder plastificante. Sin embargo la principal ventaja no es de orden cuantitativo (hasta 40% de reducción de agua), sino cualitativo: a través de estos aditivos es factible lograr una mayor permanencia en el tiempo de las propiedades reológicas del hormigón. Así aumenta el tiempo en que el hormigón se mantiene trabajable según los parámetros de diseño de mezcla, relación agua/cemento, tipo de cemento, condiciones ambientales, etc. Con el

empleo de estos aditivos, surge mucho más factible de llevar a cabo una nueva tecnología de hormigones, los denominados autocompactantes.

A diferencia de los Superplastificantes basados en melaminas o naftalenos, con este tipo de polímeros es más fácil correlacionar propiedades intrínsecas de los mismos (peso molecular, longitud de cadena, potencial Z), con los efectos específicos que se desean obtener en su interrelación con el cemento (docilidad, mantención de la Trabajabilidad, tiempo de fraguado, etc.).

De este modo, un mayor entendimiento del comportamiento del polímero, permite el desarrollo de nuevos productos y soluciones específicas para cada requerimiento.

Actualmente existen polímeros adaptados a distintas condiciones ambientales (verano, invierno) como a distintas necesidades de aplicación y/o clientes (plantas de hormigón elaborado, plantas de premoldeado) o tipos de hormigones (de alta resistencia inicial, con humos de sílice, etc.). En particular, es de reciente aparición en nuestro país un nuevo aditivo específicamente desarrollado para la industria del hormigón premoldeado.

Este producto induce en los hormigones aquellas características que son importantes para la industria de la prefabricación, pero que también permiten usar este nuevo aditivo para aplicaciones con requerimientos técnicos similares:

- Elementos prefabricados.
- Elementos pre y postensados.
- Hormigón fast – track.
- Colocación de hormigón en encofrados deslizantes y trepadores.

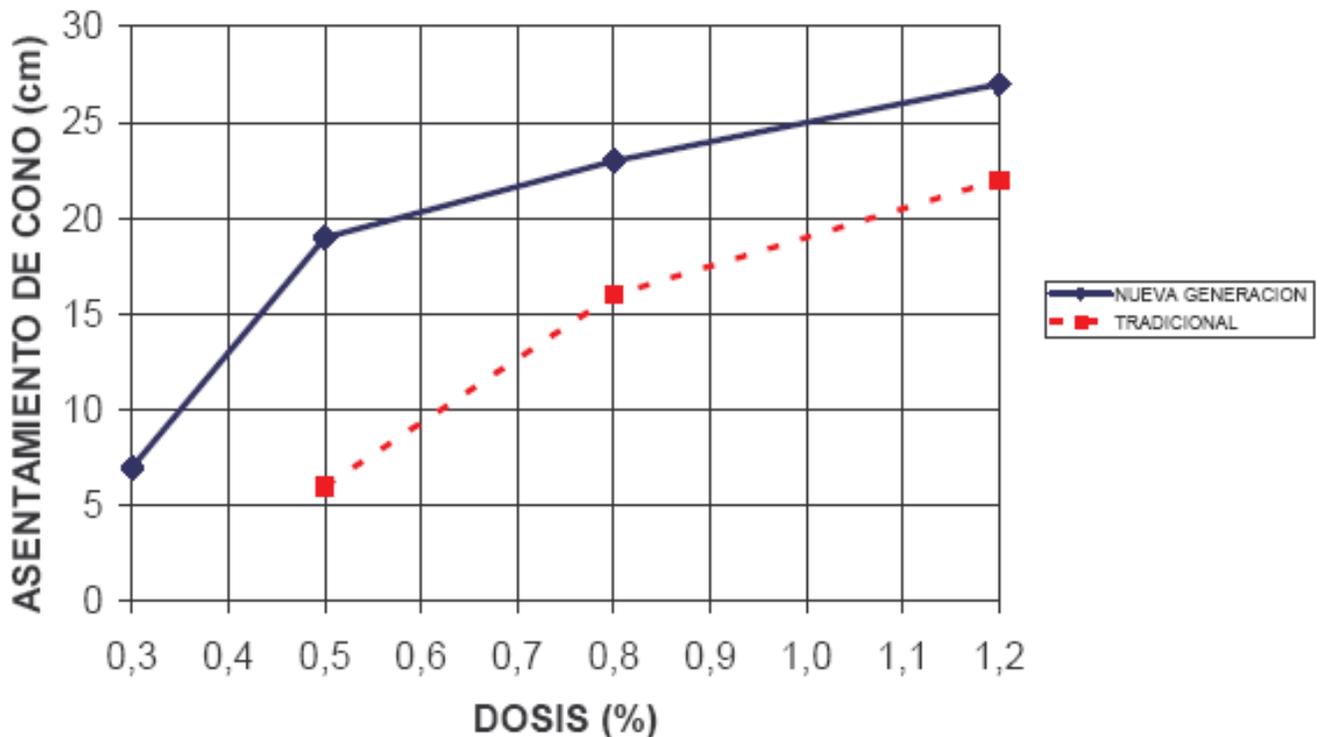
Estas propiedades principales del nuevo polímero se relacionan con un muy alto poder plastificante y/o reductor de agua, una moderada mantención

de Trabajabilidad, no producir demoras en los tiempos de fraguado y a una mayor resistencia a compresión a edad temprana (24 horas o menos).

### 3.2.2. Mecanismos de acción.

Los Superplastificantes son absorbidos por las partículas de cemento y originan en la superficie de éstas una carga eléctrica del mismo signo. Una vez que las partículas se encuentran cargadas electrostáticamente, se repelen unas a otras, produciéndose así la defloculación, lo que lleva a que se hidraten más granos de cemento. Además se produce una reducción de los esfuerzos internos en la mezcla, permitiendo obtener hormigones más trabajables.

**Cuadro IV.** Dosis v/s Asentamiento de cono de distintos Superplastificantes



La razón por la cual los polímeros de tipo acrílico producen mejores propiedades que los polímeros de melamina o naftalénicos, radica en que mientras estos logran fluidificar porque producen un efecto dispersante en las moléculas de cemento al cargarlas electrostáticamente con polaridad negativa lográndose la repulsión esférica, debido a las formas de las moléculas del aditivo.

En efecto, estas moléculas están formadas por cadenas de mayor longitud, con importantes ramificaciones, que producen una mayor separación física entre las moléculas de cemento, reduciendo aún más la fricción entre las mismas y aumentando el efecto dispersante.

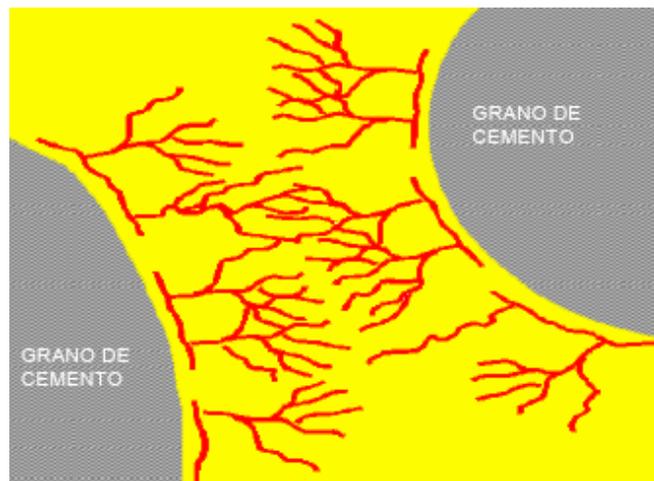
Además, esta mayor separación física, sumada a la menor velocidad de absorción por parte del cemento de la molécula de aditivo, es también la responsable de mantener la Trabajabilidad de la matriz cementícea por más tiempo. En la siguiente figura se ilustra el efecto dispersante de un polímero convencional.

**Figura 8.** *Repulsión Electroestática.*



La figura siguiente muestra el aporte agregado por medio de la repulsión esférica que otorga el polímero de base acrílica.

**Figura 9.** *Repulsión Esférica*



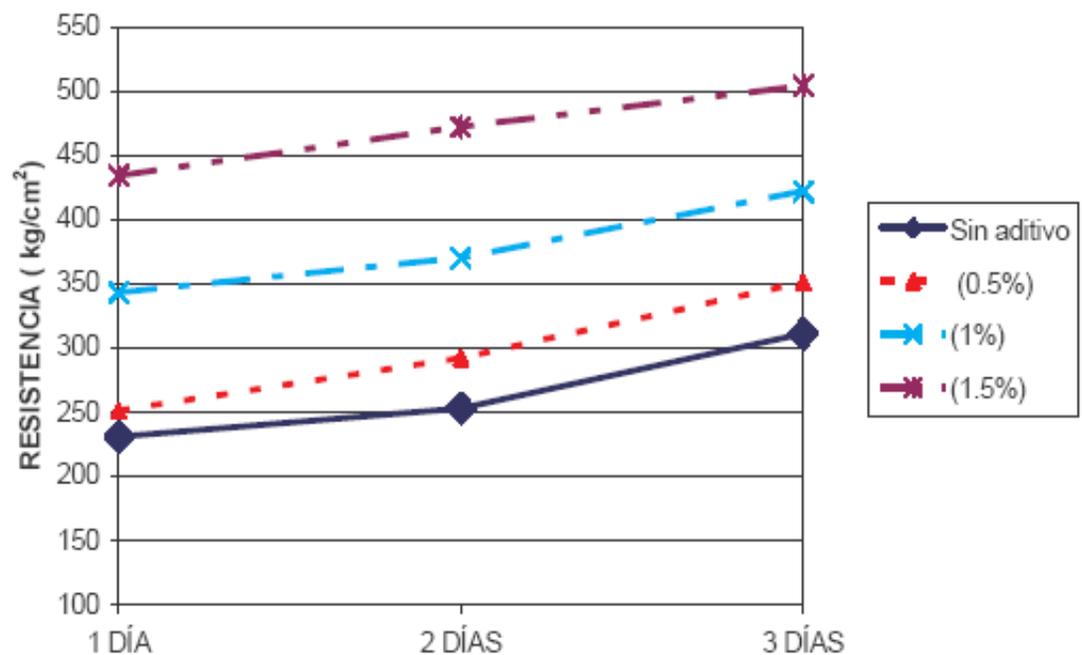
### **3.2.3. Efectos de los Superplastificantes**

Los Superplastificantes se emplean en dosis mayores que los plastificantes reductores de agua y pueden ser agregados al final del amasado sin diluir previamente el agua. Las dosis normales varían entre un 0,7 y un 2,0% con respecto al peso del cemento.

El efecto sobre la Trabajabilidad del hormigón se mantiene entre 30 y 60 minutos según el aditivo, característica que hace conveniente agregarlo inmediatamente antes del término del amasado y obliga a una rápida colocación.

El efecto se termina una vez transcurrido el tiempo señalado, volviendo el hormigón a su docilidad inicial. Eventualmente puede agregarse una nueva dosis, premezclando el hormigón con el fin de prolongar el efecto por otro período.

**Cuadro V.** Hormigón con cemento alta resistencia, 410kg/m<sup>3</sup>

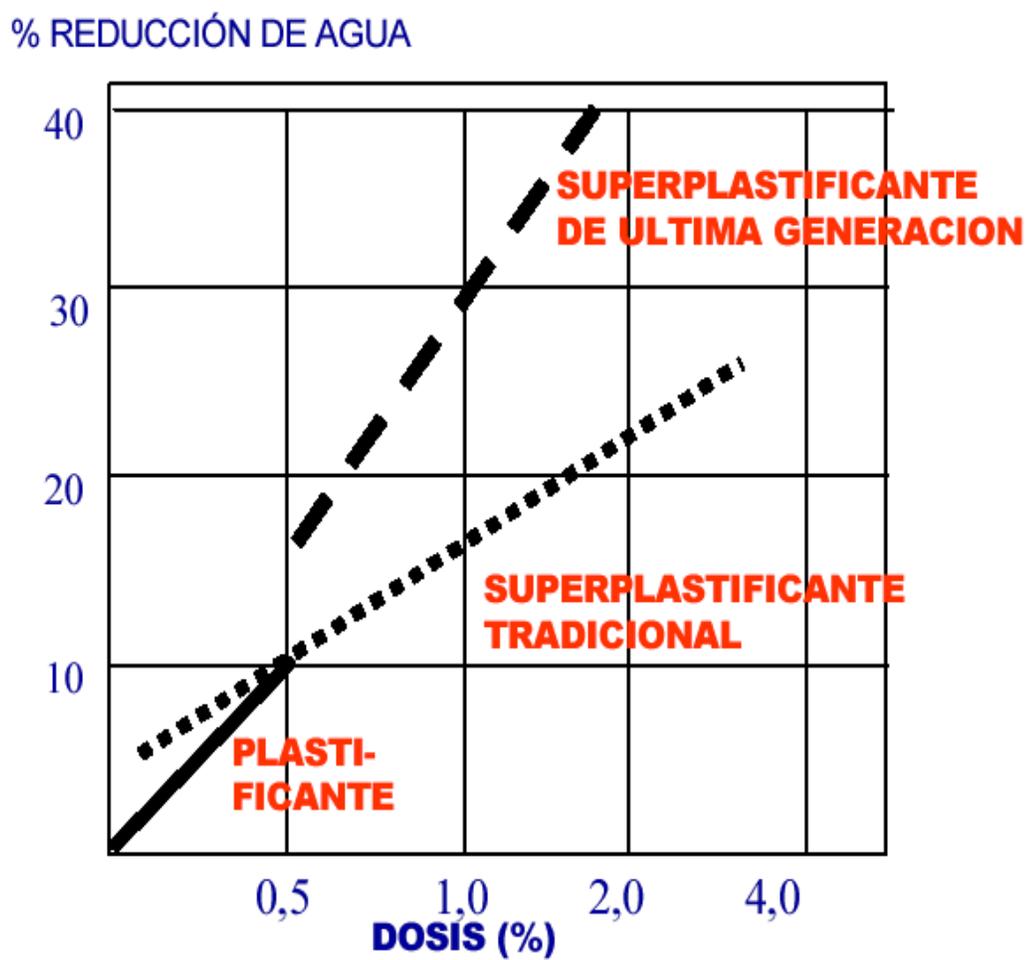


Cuando los aditivos Superplastificantes se emplean como reductores de agua se obtiene un incremento de algunas características del hormigón endurecido, especialmente de su resistencia, durabilidad e impermeabilidad. Al utilizarlos como reductores de agua permiten disminuirla considerablemente. Las reducciones de agua logradas con Superplastificantes varían entre un 17 y 25%, lo que implica un considerable aumento en la resistencia mecánica llegando a más de un 50% a una edad de 28 días. El alto porcentaje de reducción de agua permite un considerable aumento de la resistencia en las primeras edades, por lo que pueden calificarse también como aceleradores de endurecimiento, sin que esto signifique una disminución del tiempo de fraguado del cemento.

Por otra parte, debido a que no producen incorporación de aire, el efecto en las resistencias es superior al obtenido con los plastificantes-reductores de agua, especialmente en las primeras edades, lo que resulta muy

conveniente para su empleo en hormigones pretensados, prefabricados y obras en que se requiere desarrollo rápido de resistencias.

**Cuadro VI.** Diferencias en los diferentes tipos de plastificantes y Superplastificantes.



Las partículas de cemento Pórtland, tienen una marcada tendencia a flocular cuando se mezclan con agua, esto se debe a varios tipos de interacciones: entre ellas tenemos la relación entre las partículas, la electrostática entre cargas opuesta en sitios de presión, y fuertes interacciones que involucran las moléculas de agua o los hidratos.

El proceso de floculación conlleva a la formación de una red abierta de partículas.

Las redes de los huecos pueden atrapar parte del agua, la cual entonces no está disponible para la hidratación superficial de las partículas del cemento y para la fluidificación de la mezcla.

Para lograr una distribución homogénea del agua y un contacto óptimo del agua-cemento, las partículas del cemento deben estar apropiadamente defloculadas y mantenerse en un estado de alta dispersión.

El Superfluidificante es muy efectivo en la defloculación y dispersión de las partículas de cemento, son aditivos altamente eficientes cuando se utilizan adecuadamente, por medio de él es posible:

- 1) Aumentar la Trabajabilidad del hormigón sin adición de agua.
- 2) Dispersar las partículas del cemento de tal forma que los hormigones puedan fabricarse usando menos agua de la necesaria para una completa hidratación de la pasta.
- 3) Se pueden producir pastas de cemento hidratado lo suficiente estables y densas para unirse fuertemente a los agregados y al acero de refuerzo para producir un material compuesto muy resistente.
- 4) Hacer hormigones tan densos que pueden ser más resistentes y durables que muchas rocas naturales.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que la introducción de Superplastificantes en el hormigón involucra un nuevo compuesto químico en un complejo sistemas de aglutinantes hidráulicos el cual ya contiene varios añadidos químicos.

El Código de Buena Práctica emitido por el Centro Tecnológico del Hormigón establece los requisitos presentados en la siguiente tabla para que un aditivo pueda ser clasificado como Superplastificante.

**Tabla X. Aditivos y sus características**

<b>Aditivo</b>	<b>Máx. Cont. De agua (1)</b>	<b>Tiempo de fraguado inicial</b>	<b>Resist. A Comp. (% mínimo)</b>	<b>Resist. A Flexo. (% mínimo)</b>
<b>Superplast.</b>	88%	No más de 1 h menos. No más de 2 h más.	3 d: 125% 7d: 115% 28d: 110%	3d: 110% 7d: 100% 28d: 100%
<b>Superplast. Retardador</b>	88%	Min. 1 h más Máx. 6 h Más	3 d: 125% 7d: 115% 28d: 110%	7d: 100% 28d: 100%

Nota: (1) Agua de amasado con áridos saturados superficialmente secos.

#### **3.2.4. Requisitos de los Superplastificantes.**

Otro aspecto que merece ser considerado es la eliminación del ruido debido al vibrado del hormigón, que se evita cuando este es autocompactante.

Esto implica una sustancial mejora en las condiciones laborales, pero también una mejora ambiental para el vecindario, en particular en zonas densamente pobladas.

La durabilidad aumenta en modo considerable; la excelente cohesión de la mezcla fresca, y el evitar los efectos negativos del vibrado cuando este no es realizado correctamente, dan como resultado una superficie de recubrimiento de armaduras más homogéneas. Como se sabe la calidad del hormigón de recubrimiento es extremadamente importante para la durabilidad de la estructura. El aumento de la porosidad de esta capa puede ser causado por un excesivo contenido de finos y a una zona localizada de mayor razón agua/cemento cercana a la superficie. Un vibrado no adecuado muchas veces conlleva a incrementar la exudación y el lavado superficial, siendo estos factores los responsables de una reducción de la resistencia del hormigón de recubrimiento al ingreso de los cloruros, carbonatación y otros agentes agresivos.

Por otra parte, ensayos de laboratorio y aplicaciones en obra indican que la sobredosis de aditivo Superplastificante, o su aplicación en un hormigón de composición inadecuada puede producir una fuerte segregación, depositándose las partículas sólidas en una masa compacta y dura, mientras el agua de amasado sube a la superficie del hormigón.

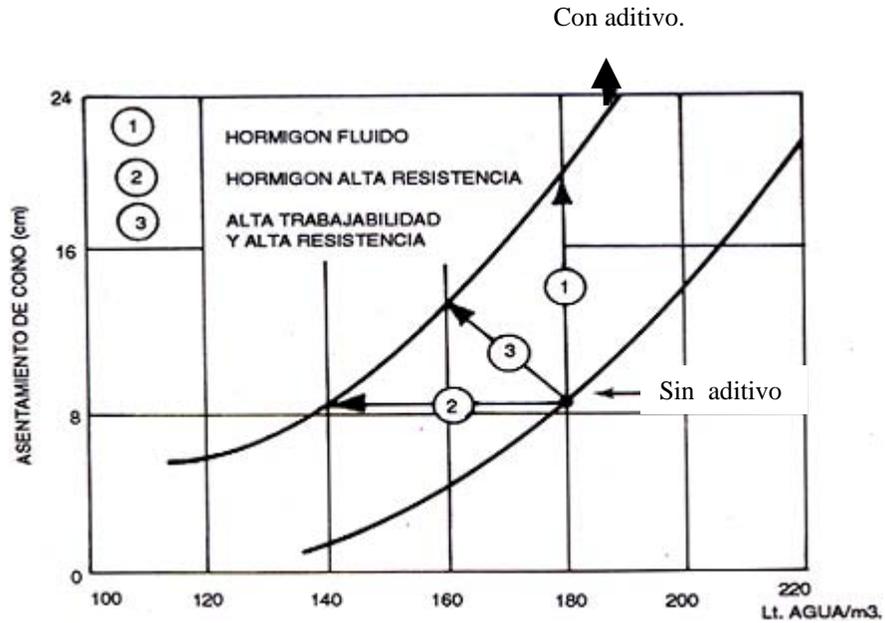
### 3.2.5. Campos de aplicación.

Se pueden diferenciar distintas aplicaciones en los cuales se pueden utilizar los Superplastificantes, dentro de los más importantes encontramos los siguientes;

- Hormigón de alta resistencia (HAD).
- Hormigón fluido y autonivelante.
- Hormigón a la vista.
- Hormigón con alta densidad de armaduras.
- Elementos pretensados.
- Hormigón impermeable de baja relación agua/cemento.
- Hormigón de alta resistencia inicial.
- Hormigón de rápida puesta en servicio.
- Hormigón en grandes masas.
- Hormigonado de elementos esbeltos o formas complicadas.
- Hormigón Fast-Track.
- Edificios de propiedad horizontal y viviendas.
- Prefabricación.
- Hormigones autocompactante fundaciones de plateas.
- Hormigón visto.
- Todos aquellos casos que se requiera hormigones de alta calidad.

En el siguiente gráfico se representa tres de los principales efectos logrados con los Superplastificantes.

**Cuadro VII. Efectos logrados por los Superplastificantes.**



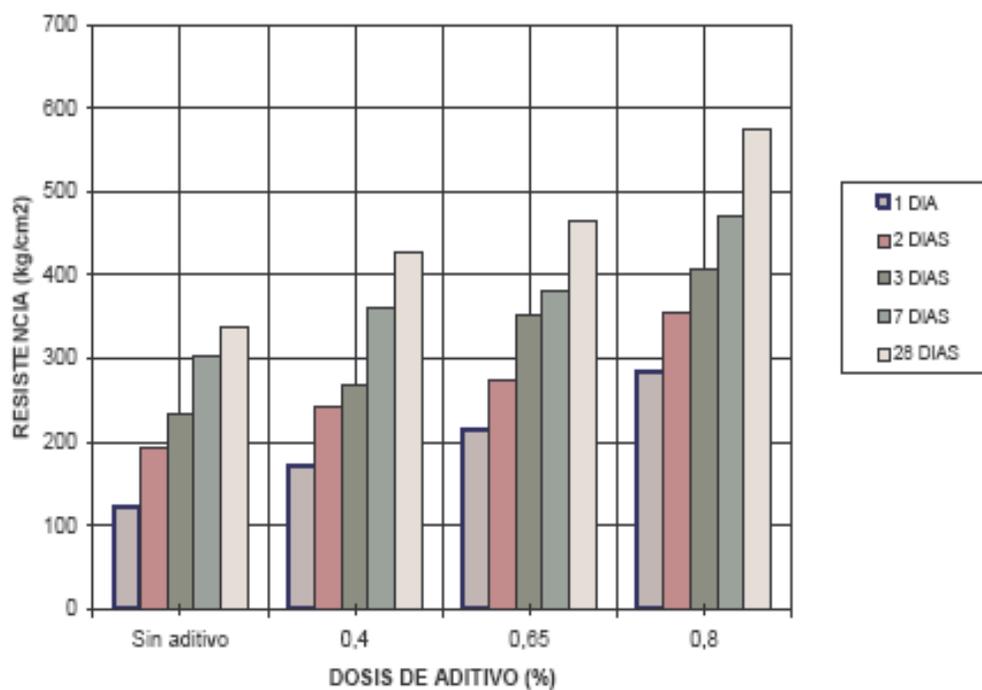
En él se indica que en un hormigón patrón, sin aditivo y que tiene 180 litros de agua por  $m^3$  para lograr un cono de 8 cm., podemos obtener, al agregar el aditivo, lo siguiente:

- 1) Una fluidez al mantener la cantidad de agua original, asentamiento de cono superior a 16 cm.
- 2) Hormigón de altas resistencias iniciales y finales al reducir considerablemente la cantidad de agua de amasado, manteniendo el cono original.
- 3) Lograr un efecto intermedio entre 1 y 2.

En este gráfico se ve el efecto de estos aditivos en las resistencias mecánicas con respecto a un hormigón patrón, en donde el efecto es superior

al obtenido con los plastificantes – reductores de agua, especialmente en las primeras edades.

**Cuadro VIII. Dosis v/s resistencia. Hormigón 350 Kg. /m3 de cemento alta resistencia**

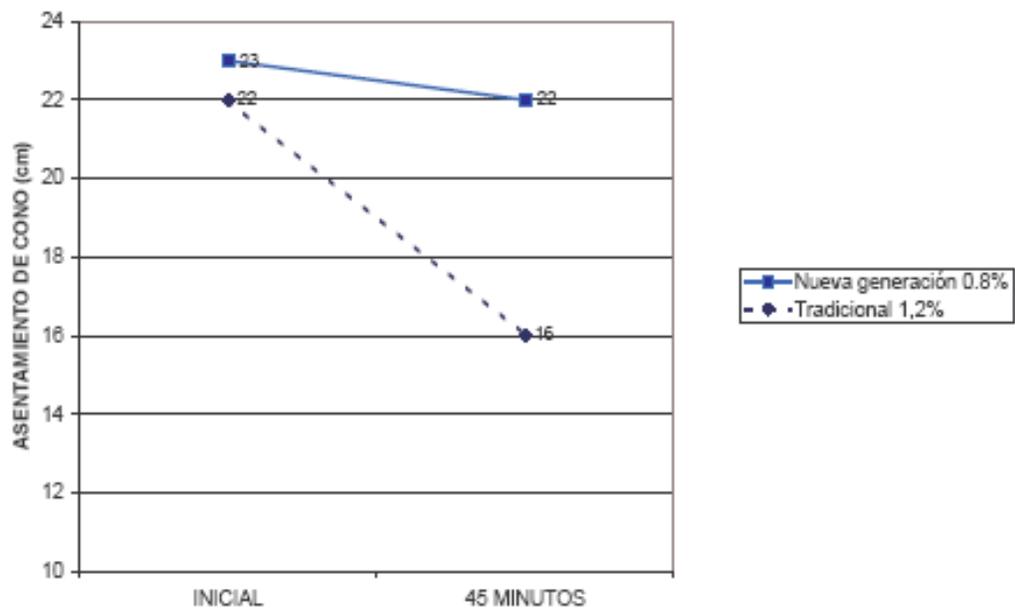


Otro de los usos importantes que tienen estos productos es recuperar el asentamiento de cono (la docilidad del hormigón) cuando éste se haya perdido, ya sea por un tiempo prolongado de transporte o de una lenta colocación en obra, obviamente sin afectar las propiedades de éste, como por ejemplo las resistencias.

No debe sorprender que, en estos complejos sistemas, en los cuales cada componente ha sido individualmente optimado, se pueden desarrollar problemas de incompatibilidad.

**Cuadro IX.** Aditivo Superplastificante como recuperador de cono.

### Pérdidas de docilidad



Debido a la variedad de formulaciones de aditivos, es difícil que en la industria existan reglas simples que especifiquen el uso adecuado de los Superplastificantes en presencia de otro tipo de aditivo.

### 3.3. LOS SUPERFLUIDIFICANTES.

Es una línea de aditivos reductores de agua de alto rango (Superfluidificantes). Dentro de ésta línea de productos se encuentra el superfluidificante de tercera generación. El concreto Rheoplástico fluye fácilmente, manteniendo alta plasticidad por períodos de tiempo inigualables por cualquier otro concreto súper plástico. Sin embargo, Tiene la baja relación agua/cemento de un concreto con cero asentamiento, ofreciendo excelentes propiedades de ingeniería (del concreto endurecido).



*Foto1; Efecto de un aditivo Superfluidificante*

### **3.3.1. Principales características.**

#### **3.3.1.1 Ventajas del concreto en estado plástico.**

- Rango de plasticidad de 20 a 28 cm (8 a 11")
- Amplia retención de asentamiento
- Tiempo de fraguado controlado
- Cohesivo y no segregante
- Agua de exudación mínima

#### **3.3.1.2 Ventajas del concreto en estado endurecido.**

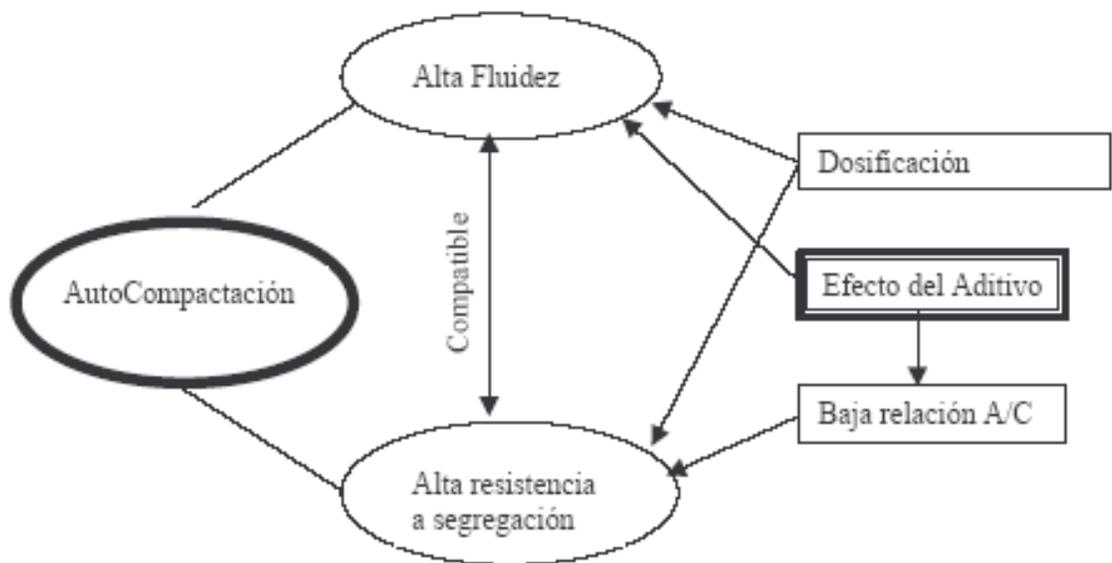
Gracias a mejor eficiencia de la hidratación del cemento, menos dependencia de energía en la consolidación, y posibles ajustes en la proporción de mezcla, el concreto tratado con los aditivos Superfluidificantes ofrece las siguientes propiedades;

- Resistencias tempranas más altas
- Incremento en resistencias finales a compresión
- Módulo de elasticidad mayor
- Adherencia al acero mejorada
- Baja permeabilidad
- Alta durabilidad
- Control de corrosión
- Retracción y fluencia reducida
- Integridad estructural altamente confiable

### 3.3.1.3 Trabajabilidad.

El añadir Aditivos Superfluidificante al concreto permite que el concreto se vacíe a un rango de plasticidad de 20 a 30 cm (8 a 11"). El concreto Rheoplástico que se obtiene es casi autonivelante, lo que permite un rápido vaciado, y mueve el concreto tan rápidamente a su lugar que solo se requiere de mínima vibración. Además, el concreto tratado con aditivos Superfluidificantes se nivela y termina fácilmente, ahorrando tiempo y mano de obra. Dependiendo de la temperatura del concreto, la dosificación y la formulación específica del Superfluidificante utilizado, se podrá mantener la Trabajabilidad por varias horas, y lo requiere el contratista o las condiciones específicas de la obra.

**Cuadro X.** Componentes de un hormigón Autocompactante.



#### **3.3.1.4 Alta Cohesividad.**

El agua de exudación es un indicador de la segregación interna del concreto. El concreto Rheoplástico exhibe poca o cero exudación y por lo tanto, poca o cero segregación interna. A segregación interna mínima se Traduce en concreto con muy alta cohesividad.

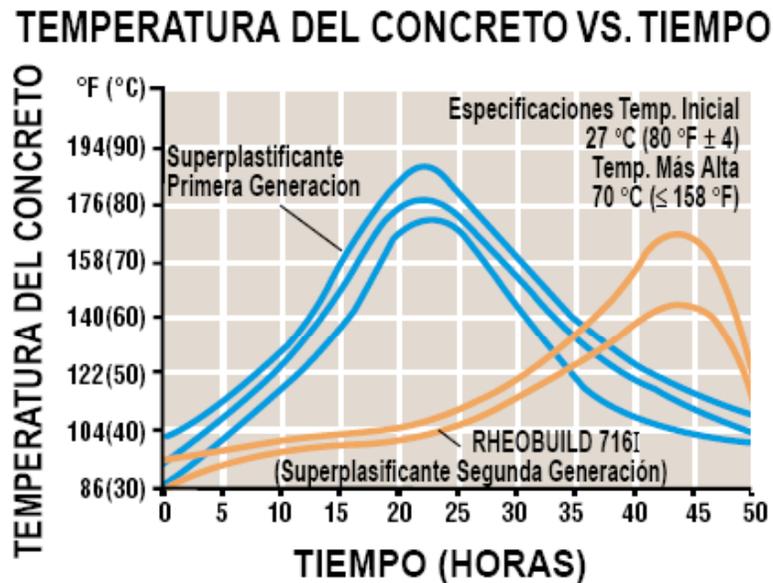
#### **3.3.1.5 Baja relación agua/cemento.**

El concreto que contenga aditivos Superfluidificantes puede tener la misma baja relación agua/ cemento que una mezcla de cero asentamiento, o menos en caso necesario. Esta característica indica una estructura de mezcla altamente compacta lo que proporciona excelentes propiedades del concreto en estado endurecido.

#### **3.3.1.6 Control de temperatura.**

Al seleccionar la formulación y dosificación adecuada de los aditivos Superfluidificantes, se puede lograr y mantener la consistencia adecuada, al mismo tiempo que se minimiza el ascenso de temperatura asociado con la hidratación del cemento.

**Cuadro XI. Temperatura del Concreto v/s Tiempo**



### 3.3.1.7 Confiabilidad.

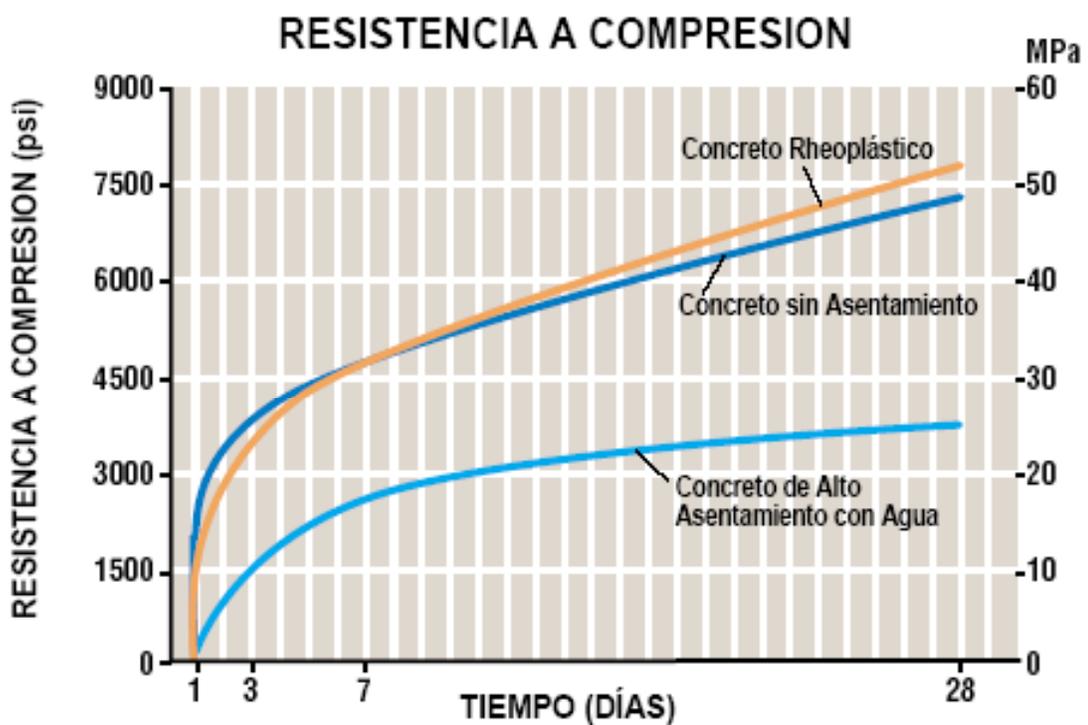
Las resistencias superiores del concreto Rheoplástico endurecido se deben a la homogeneidad interna que producen los Aditivos Superplastificantes. Aunque el concreto normal de bajo asentamiento puede exhibir buenas propiedades una vez endurecido, las características reales de una estructura dependen de la consolidación completa. Por lo tanto, el concreto de bajo asentamiento requiere de vibración intensa y de cuidado extremo en el vaciado para lograr alcanzar el desempeño del concreto Rheoplástico endurecido.

### 3.3.1.8 Incremento de resistencias.

Las resistencias a compresión del concreto con aditivos Superfluidificantes son iguales o excede la del concreto de cero asentamiento con la misma relación agua/cemento sin aditivos. La resistencia a edades

tempranas y últimas puede incrementarse de manera importante al reducir la relación agua/cemento en proporción con la dosificación de los aditivos Superfluidificantes.

**Cuadro XII. Resistencia a Compresión**



C

### 3.3.1.9 Baja permeabilidad.

En concreto con alto asentamiento con agua, existen espacios permeables en la estructura del concreto endurecido. Los Aditivos Superfluidificantes hacen al concreto menos permeable que el concreto normal con la misma trabajabilidad. Ya que el concreto Rheoplástico es más fácil de consolidar que el concreto con cero asentamiento, este es menos permeable. Gracias a su baja permeabilidad, el concreto con aditivos Superfluidificantes resiste el ataque químico y es mucho más durable.

**Cuadro XIII. Permeabilidad**

	PRESION (Atmósfera)	TIEMPO (Horas)	VOLUMEN DE AGUA A TRAVES DE LA MUESTRA (ml)
CONCRETO ALTO ASENTAMIENTO CON AGUA	5	1	40
	10	1	55
	15	8	675
CONCRETO SIN ASENTAMIENTO	5	1	0
	10	1	0
	15	8	320
CONCRETO RHEOPLÁSTICO	5	1	0
	10	1	0
	15	8	0

**3.3.1.10 Sin cloruros, no corrosivo.**

Los aditivos Superfluidificantes no iniciarán o promoverán la corrosión del acero de refuerzo dentro del concreto, del concreto pretensado, o del concreto vaciado sobre pisos acero galvanizado y sistemas de techos. Los aditivos Superfluidificantes cumplen con los límites más estrictos o mínimos de uniones de cloruro mínimos sugeridos por los estándares y prácticas de la industria de la construcción, en todas las aplicaciones de concreto.

## CONCLUSIÓN

Una vez finalizada esta tesis, se puede concluir que se lograron los objetivos que se propusieron desde un comienzo, dentro de los cuales se destaca la clara clasificación, usos y características de los diferentes tipos de Aditivos y Plastificantes, los distintos criterios de su clasificación, y además de las principales características de los Súper Plastificantes.

Se concluye también que el concepto denominado relación agua-cemento es un aspecto fundamental al momento de diseñar o dosificar una mezcla de hormigón, ya que es un concepto que en conjunto con otros elementos determina la calidad final del hormigón.

Otro punto a destacar es el grado de simpleza con que se trataron los temas aquí vistos, recordemos que esta tesis es una recopilación general para el uso de los Plastificantes, por lo que también necesariamente debía cumplir con esta condición.

Dada la importancia de este tema, queda demostrado que la utilización de estos productos esta muy relacionado a las diferentes condiciones o variables que se tengan al momento de diseñar un tipo de hormigón, dentro de esta variables podemos nombrar las condiciones climáticas, calidad de los materiales utilizados, una correcta dosificación y condiciones de tiempo necesario para la colocación del hormigón.

Si no son considerados estos aspectos anteriormente nombrados, no es recomendable la utilización de los aditivos. Por el contrario si cumple con estos

requisitos aún así se recomienda una supervisión de personal calificado en este tema , para así obtener un buen resultado en la aplicación del producto y por lo tanto una correcta elaboración del hormigón especificado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Norma Chilena Oficial NCh 2182. Of. 95 “Hormigón y mortero – Aditivos – Clasificación y Requisitos.
- De la Peña Riquelme, Bernardo. “Aditivos para el hormigón de alta resistencia”, Constructor Civil del Departamento técnico SIKA S.A. Chile.
- Rixom, M.R y Mailvaganam, N.P. “Chemical.R. Rixom and N Admixtures for Concret”, Second Edition, 1986, Gran Bretania.
- Zabaleta, Hernán y Montego, Jorge. “Manual del Aditivo”, Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, Noviembre de 1990, Santiago de Chile.
- De la Peña, Bernardo, “Hormigón Autocompactante, nueva tecnología para la construcción con hormigón”, Revista BIT, Cámara Chilena de la Construcción, Junio, 2000.
- Cipriano, Eduardo Humberto, Tesis “ El efecto de los Superplastificantes en la Trabajabilidad del Hormigón”,Universidad de Chile, Santiago 1981, Chile
- Venuat, Michael. “Aditivos y tratamientos de morteros y hormigones”, editores técnicos asociados S.A.1972, Barcelona, España.

- Okamura, H, Ouchi, M. "Self-Compacting Concrete. Development, present use and future" . First International RILEM Symposium on Self-Compacting concrete, 1999, Stockholm.
- Gokmale and Paranype. "Relevante of Concrete Superplasticizers in a Developing Economy Sp-68 ACI. Developments in the use of Superplasticizers 1981.
- Moreno, Jaime, 225 W. " Wacker drive" . Concrete Internacional January 1990.
- "Centro de investigaciones avanzadas en tecnología del hormigón". Universidad Nacional de Córdoba, Argentina
- SIKA S.A. "Información técnica, Aditivos para Hormigón.
- MBT. (Master Builders Technologies). "Información técnica, Aditivos para el Hormigón".