



Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# PROYECTO FINAL DE CARRERA DE INGENIERIA TECNICA EN QUIMICA INDUSTRIAL

**TÍTULO: Los aditivos del mundo del hormigón**

**AUTOR:** Amanda Rubio Aranda

**TITULACION:** INGENIERIA TECNICA EN QUIMICA INDUSTRIAL

**DIRECTOR:** Miquel Bernado Ortega

**DEPARTAMENT:** Ingeniería Química

**FECHA:** Junio 2007

**TÍTULO: Los aditivos del mundo del hormigón**

**APELLIDOS: Rubio Aranda**

**NOMBRE: Amanda**

**TITULACIÓN: Ingeniería Técnica**

**ESPECIALIDAD: Química Industrial**

**PLAN: 95**

**DIRECTOR: Miquel Bernado Ortega**

**DEPARTAMENTO: Ingeniería Química**

**QUALIFICACIÓ DEL PFC**

**TRIBUNAL**

**PRESIDENT**

**SECRETARI**

**VOCAL**

**DATA DE LECTURA:**

Este Proyecto tiene aspectos medioambientales:  Sí  No

## PROYECTO FINAL DE CARRERA

### RESUMEN:

El hormigón esta compuesto por varios elementos: cemento, agua, áridos y aditivos.

El cemento es un material formado por arcilla y materiales calcáreos sometidos a calcinación. Seguidamente este producto obtenido se moltura y se mezcla con yeso.

El agua juega un papel muy importante en el hormigón. Participa en las reacciones de hidratación del cemento y aporta la trabajabilidad necesaria al hormigón.

Como áridos podemos diferenciar entre, grava o arena. La grava es aquella cuya fracción es mayor a 4mm y la arena la fracción debe ser menor a 4mm. Los áridos confieren al hormigón resistencia y durabilidad, aunque también si no cumplen con las especificaciones requeridas dan dificultad a su puesta en obra.

Los aditivos producen en el hormigón las modificaciones deseadas de alguna de las características del hormigón. Sirven para dar mayor docilidad o bien regular el proceso de fraguado, además de otras acciones que pueden ser favorables o desfavorables.

Solo los hormigones bien dosificados o preparados mejoraran sus propiedades al añadir el aditivo.

Podemos encontrar una gran variedad de aditivos en el mercado, dependiendo de la característica o propiedad a modificar.

El aditivo más usado en estos tiempos es el superfluidificante, los cuales permiten una elevada trabajabilidad del hormigón. Estos también son llamados superplastificantes o reductores de agua.

Los superfluidificantes son básicamente lignosulfatos o bien naftalenos.

Se han desarrollado nuevos superfluidificantes que han permitido superar los inconvenientes que crea la pérdida de consistencia en el uso de los naftalenos.

Una vez tenemos producido en hormigón a este se le hacen las pruebas de fraguado y resistencia, con un ensayo patrón.

Por último comentar que los residuos de la construcción constituyen un amplio porcentaje de los residuos generados, y por este motivo se debería de incentivar el reciclaje del hormigón, ya que ninguna empresa en España recicla este producto. Pudiendo así volver a reutilizar los productos que de otra manera se tirarían directamente.

**Palabras clave:**

Hormigón	Aditivos	Construcción	Superfluidificante
Áridos	Cemento	Agua curado	Agua amasado

## INDICE

1. INTRODUCCION .....	8
2. EL CEMENTO .....	9
2.1. COMPONENTES DEL CEMENTO .....	9
2.2. CLASIFICACION .....	11
3. AGUA DE AMASADO Y DE CURADO .....	13
4. ARIDOS .....	16
4.1. LIMITACION DEL TAMAÑO .....	18
4.2. ENSAYOS .....	19
5. ADITIVOS.....	26
5.1. CLASIFICACIÓN .....	28
5.1.1. ADITIVOS QUE MODIFICAN LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y EL CONTENIDO EN AIRE .....	29
• Reductores de agua o fluidificantes .....	29
• Plastificantes, agentes de retención de agua .....	31
• Agentes inclusores de aire .....	33
5.1.2. ADITIVOS QUE MODIFICAN EL FRAGUADO Y EL ENDURECIMIENTO .....	34
• Los acelerantes .....	34
• Retardadores .....	35
5.1.3. ADITIVOS QUE MODIFICAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES FISICAS Y QUIMICAS .....	36
• Anticongelantes .....	36
• Hidrófugos de masa .....	36

5.1.4. ADITIVOS VARIOS .....	36
5.2. EVOLUCION HISTORICA DE LOS ADITIVOS .....	37
5.3. ADITIVOS SUPERFLUIDIFICANTES PARA HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES .....	40
5.3.1. INTRODUCCION .....	40
5.3.2. ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LOS SUPERFLUIDIFICANTES.....	41
5.3.3. DOSIFICACION .....	47
5.3.4. EFECTOS DEL SUPERFLUIDIFICANTE .....	47
5.3.5. ENSAYOS .....	48
5.3.6. MEJORA DE LA DURABILIDAD DEL HORMIGON .....	49
5.3.7. NORMATIVA DE LOS SUPERFLUIDIFICANTES .....	49
5.3.8. SELECCION DE UN SUPERFLUIDIFICANTE .....	50
5.3.9. NUEVAS POSIBILIDADES .....	51
5.4. ADITIVOS SUPERFLUIDIFICANTES DE NUEVA GENERACION .....	52
5.4.1. INTRODUCCION .....	52
5.4.2. MECANISMOS DE ACCION .....	52
5.4.3. TRABAJABILIDAD .....	53
5.4.4. REDUCCION DE AGUA .....	54
5.4.5. RETENCION DE AIRE .....	54
5.4.6. RESISTENCIAS MECANICAS .....	55
6. ADICIONES .....	55
7. CONTROL DEL HORMIGON .....	56
8. NORMATIVA .....	58
8.1. ESTADO ACTUAL DE LA NORMATIVA .....	60

9. METODOS DE RECICLADO DEL HORMIGON .....	62
10.MEDIO AMBIENTE .....	72
11.CONCLUSION .....	73
12.BIBLIOGRAFIA .....	75
13.VALORACION PERSONAL DELTRABAJO .....	76
14.ANEXOS .....	77
14.1.    NORNATIVA ESPAÑOLA UNE .....	78

## **1. INTRODUCCION**

El tema elegido ha sido los aditivos del mundo del hormigón, debido a que he estado haciendo prácticas en la empresa Uniland y después trabajando en Control Q, otro laboratorio de hormigón, además es un tema que toco a menudo y que es, a mi parecer, bastante interesante porque hoy en día la construcción es una de las ramas que mas trabajo da.

Este trabajo consta de una clasificación de estos aditivos junto con la explicación y características de cada uno de ellos, una pequeña historia y los ensayos que se practican en el laboratorio. Empezaremos introduciéndonos en el mundo del hormigón con una breve introducción de todos los productos que forman parte de el.

Nos centraremos en los aditivos superfluidificantes debido a que son los que mas se están utilizando hoy en día.

## **2. EL CEMENTO**

El cemento es un material básico en la construcción. Es una mezcla formada por arcilla y materiales calcáreos que es sometida a calcinación, en hornos rotatorios, a 1500°C, obteniéndose el clinker, producto intermedio en la fabricación del cemento.

El cemento se obtiene mediante la molturación fina del clinker, al que se añade yeso como regulador de fraguado y otro tipo de adiciones.

Los cementos están regulados por la instrucción para la recepción de cementos RC-97 y las normas UNE.

### **2.1. COMPONENTES DEL CEMENTO**

A continuación se indican los constituyentes de los cementos, que dosificados en distintas proporciones y molturados conjuntamente, dan origen a los distintos tipos de cementos.

- Clínteres Pórtland: son los productos que se obtienen al calcinar hasta fusión parcial mezclas preparadas artificialmente de calizas y arcillas, hasta conseguir la combinación prácticamente total de sus componentes.
- Clínteres aluminosos: son productos que se obtienen por fusión de una mezcla de calizas y bauxitas de composición y

granulometría adecuadas para conseguir un contenido mínimo de alúmina del 36%.

- Escorias: son granulados de horno alto, que se obtienen por enfriado brusco, con agua o con aire, de las impurezas fundidas procedente de procesos siderúrgicos. Deben poseer carácter básico.
- Puzolanas naturales: son principalmente rocas tobáceas, volcánicas vítreas. Finamente divididas no poseen ninguna propiedad hidráulica, pero contienen constituyentes (sílice y alumina) capaces de fijar cal a la temperatura ambiente en presencia de agua, formando compuestos de propiedades hidráulicas.
- Cenizas volantes: residuos sólidos que se recogen por precipitación electrostática o por captación mecánica, de los polvos que acompañan a los gases de la combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas con carbones pulverizados.
- Humo de sílice: es un subproducto de la obtención de silicio y del ferrosilicio. Se reduce en horno eléctrico cuarzo muy puro y carbón, recogiendo del humo generado, mediante filtro electrostático, partículas de muy pequeño diámetro formadas por sílice muy reactiva.
- Filleres calizos: son compuestos principalmente de carbonato cálcico en forma de calcita que molidos conjuntamente con el clinker Pórtland, en proporciones determinadas, afectan

favorablemente a las propiedades y comportamiento de los morteros y hormigones.

- Reguladores de fraguado: son materiales naturales o productos artificiales que añadidos a los clinkers y a otros constituyentes del cemento, en pequeñas proporciones, y molidos conjuntamente, proporcionan cementos con fraguado adecuado.
- Aditivos de los cementos: productos que pueden emplearse en la fabricación del cemento, para facilitar el proceso de molienda o bien para aportar al cemento o a sus derivados algún comportamiento específico. No deben confundirse con los aditivos del hormigón.

## **2.2. CLASIFICACION DE LOS CEMENTOS**

Los cementos se clasifican según sus componentes y en clases según su resistencia. El número que identifica a la clase corresponde a la resistencia mínima de compresión, a 28 días, expresada en  $Nw/mm^2$ .

En la tabla 1.1 podemos observar los diferentes tipos de cementos más comunes junto con su composición. También en la tabla 1.2 podemos ver su clasificación según resistencias.

**TABLA 1.1 CEMENTOS COMUNES**

CEMENTOS COMUNES									
Tipos de cemento y composiciones: porcentajes en masa <sup>(1)</sup>									
Tipo de cemento	Denominación	Designación	Clinker K	Escoria de horno alto S	Humo de sílice D	Puzolanas naturales P	Cenizas volantes V	Caliza L	Componentes minoritarios Adiciones <sup>(2)</sup>
CEM I	Cemento portland	CEM I	95-100	—	—	—	—	—	0-5
	Cemento portland con escoria	CEM II/A-S CEM II/B-S	80-94 65-79	6-20 21-35	—	—	—	—	0-5 0-5
CEM II	Cemento portland con humo de sílice	CEM II/A-D	90-94	—	6-10	—	—	—	0-5
	Cemento portland con puzolana	CEM II/A-P	80-94	—	—	6-20	—	—	0-5
		CEM II/B-P	65-79	—	—	21-35	—	—	0-5
	Cemento portland con ceniza volante	CEM II/A-V	80-94	—	—	—	6-20	—	0-5
		CEM II/B-V	65-79	—	—	—	21-35	—	0-5
	Cemento portland con caliza	CEM II/A-L	80-94	—	—	—	—	6-20	0-5
	Cemento portland mixto <sup>a</sup>	CEM II/A-M	80-94	← 6-20 <sup>(1)(3)</sup> →					
CEM II/B-M		65-79	← 21-35 <sup>(1)(3)</sup> →						
CEM III	Cemento de horno alto	CEM III/A	35-64	36-65	—	—	—	—	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	—	—	—	—	0-5
CEM IV	Cemento puzolánico	CEM IV/A	65-80	—	← 11-35 <sup>(4)</sup> →				0-5
		CEM IV/B	45-64	—	← 36-55 <sup>(4)</sup> →				0-5
CEM V	Cemento compuesto	CEM V/A	40-64	18-30	—	← 18-30 →			0-5

(1): Los valores de la tabla se refieren al cemento, es decir, el clinker y las adiciones

**TABLA 1.2 CLASIFICACION SEGÚN RESISTENCIAS**

PRESCRIPCIONES MECÁNICAS DE LOS CEMENTOS COMUNES, SEGÚN LA INSTRUCCIÓN RC-97				
Clase resistente	Resistencia a compresión N/mm <sup>2</sup>			
	Resistencia inicial		Resistencia normal	
	2 días	7 días	28 días	
32,5	—	≥ 16,0	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5R <sup>(1)</sup>	≥ 13,5	—		
42,5	≥ 13,5	—	≥ 42,5	≤ 62,5
42,5R <sup>(1)</sup>	≥ 20,0	—		
52,5	≥ 20,0	—	≥ 52,5	—
52,5R <sup>(1)</sup>	≥ 30,0	—		

<sup>(1)</sup> R = Alta resistencia inicial

Los cementos deben pasar unas especificaciones relativas a las características químicas. Los ensayos correspondientes deben efectuarse de acuerdo con la norma EN 196-1:1996 y normas UNE concordantes. A continuación podemos observar una tabla con estas prescripciones.

PRESCRIPCIONES QUÍMICAS DE LOS CEMENTOS COMUNES			
Características	Tipo de cemento	Clase resistente	Porcentaje en masa %
Pérdida por calcinación	CEM I CEM III	Todas	≤ 5,00
Residuo insoluble	CEM I CEM III	Todas	≤ 5,00
Contenido de sulfatos (expresado en SO <sub>3</sub> )	CEM I CEM II <sup>(1)</sup>	32,5	≤ 3,50
		32,5R <sup>(2)</sup>	
	CEM IV CEM V	42,5	≤ 4,00
		42,5R <sup>(2)</sup>	
		52,5 52,5R <sup>(2)</sup>	
CEM III	Todas		
Contenido de cloruros (CF)	Todos <sup>(3)</sup>	Todas	≤ 0,10
Puzolanicidad	CEM IV	Todas	Satisfacer el ensayo

<sup>(1)</sup> Esta indicación afecta a todos los cementos CEM II/A y CEM II/B, incluidos los cementos portland compuestos que contienen un solo componente principal, por ejemplo, II/A-S o II/B-V.

<sup>(2)</sup> R = Alta resistencia inicial.

<sup>(3)</sup> El cemento tipo III puede contener más de 0,10% de cloruros pero, en tal caso, se debe consignar en los envases y albaranes de entrega el contenido real de cloruros.

### 3. AGUA DE AMASADO Y AGUA DE CURADO

El agua de amasado juega un doble papel en el hormigón. Participa en las reacciones de hidratación del cemento y por otro lado confiere al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra.

La cantidad real de agua de amasado es superior a la teóricamente necesaria para hidratar todo el cemento desde un punto de vista estrictamente químico, ya que una parte se consume en mojar los áridos y otra parte por razones de trabajabilidad.

La cantidad de agua de amasado debe limitarse al mínimo estrictamente necesario, ya que el agua en exceso se evapora y crea una serie de huecos en el hormigón (capilares) que disminuyen su resistencia y durabilidad. Por otra parte no puede disminuirse excesivamente el contenido en agua ya que podrían obtenerse masas poco trabajables. De ahí que el hormigón deba amasarse con la menor cantidad posible de agua y curarse con la mayor posible, pudiendo tener la idea de que cada litro de agua de amasado añadido de más a un hormigón equivale a una disminución de 2Kg de cemento.

El agua de curado, durante el proceso de fraguado y primer endurecimiento del hormigón tiene como objetivo evitar la desecación y mejorar la hidratación.

Tanto el agua de curado como el de amasado deben cumplir unas especificaciones para ser eficaces en su función.

En general, las Normas obligan a analizar las aguas solamente cuando no se posean antecedentes de su utilización o en caso de duda. Las limitaciones incluidas en las Normas suelen ser prudentes y conservadoras.

En la siguiente tabla se ofrecen las limitaciones de la Instrucción española para el agua de amasado y curado.

**TABLA 2.1. ANALISIS DE AGUA**

ANALISIS DE AGUA			
Determinación	Limitación impuesta por la instrucción Española	Riesgos que se corren si no se cumple la limitación	Observaciones
<i>pH</i>	$\leq 5$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alteraciones en el fraguado</li> <li>- Disminución de resistencia y de durabilidad</li> </ul>	- La norma soviética admite hasta un pH igual a 4.
<i>Sustancias disueltas totales</i>	$\geq 15 \text{ gr/l}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aparición de eflorescencias u otro tipo de manchas</li> <li>- Pérdida de resistencia</li> </ul>	- Por sustancias disueltas se entiende el residuo salino seco que se obtiene por evaporación del agua
<i>Contenido en sulfatos, expresados en SO<sub>4</sub></i>	$\geq 1 \text{ gr/l}$	- Alteraciones en el fraguado, pérdidas de resistencia.	
<i>Contenido en ión cloruro</i>	$\geq 6 \text{ gr/l}$	- Corrosión de armaduras u otros elementos metálicos.	
<i>Hidratos de carbono</i>	<i>No deben apreciarse</i>	- El hormigón no fragua.	- La sacarosa, glucosa y sustancias análogas, alteran profundamente el mecanismo de fraguado de los cementos.
<i>Sustancias orgánicas solubles en éter</i>	$\geq 15 \text{ gr/l}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- graves alteraciones en el fraguado.</li> <li>- Fuertes caídas de resistencias.</li> </ul>	- El ensayo pone de manifiesto la presencia de aceites y grasas de cualquier origen, humus y otras sustancias orgánicas vegetales.

#### 4. ARIDOS

Como áridos para la confección de hormigones pueden emplearse arenas y gravas naturales que reúnan en igual o superior grado las características de resistencia y durabilidad que se le exijan al hormigón.

Desde el punto de vista de durabilidad en medios agresivos, deben preferirse los áridos de tipo silicio (gravas y arenas de río o cantera) y los que provienen de machaqueo de rocas volcánicas o de calizas sólidas o densas.

Se denomina grava o árido grueso a la fracción mayor de 4mm y arena o árido fino a la fracción menor de 4mm. La arena suele dividirse, a partir de los 2mm en arena gruesa y arena fina, llamándose polvos o finos de la arena a la fracción inferior a 0,08mm. Los áridos se suministran en fracciones y se denominan por su tamaño mínimo 'd' y máximo 'D' expresados en milímetros, para ello se utiliza la expresión "árido d/D". A continuación podemos observar un árido grueso el cual se denomina 6/12 mm.



Los áridos pueden estar rodados o bien machaqueados. Los rodados proporcionan al hormigón más docilidad y la característica de ser más trabajable. En cambio, los áridos machaqueados confieren al hormigón fresco dificultad a su puesta en obra además de una mayor resistencia.

Este árido machacado debe estar provisto de polvo del machaqueo, el cual influye en un aumento de los finos en el hormigón, una mayor cantidad de agua de amasado, menor resistencia y mayor riesgo de fisuras en las primeras edades. A este respecto, en la tabla 3.1 podemos observar el contenido máximo en finos preescrito en la instrucción española.

**TABLA 3.1. CONTENIDO EN FINOS**

CONTENIDO MÁXIMO DE FINOS EN EL ÁRIDO		
Tamaño del árido	Porcentaje máximo que pasa por el tamiz 0,063 mm	Tipo de árido y ambiente
Árido grueso	1 %	Tipo 1: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Áridos redondeados</li> <li>• Áridos de machaqueo no calizos</li> </ul>
	2 %	Tipo 2: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Áridos de machaqueo calizos</li> </ul>
Árido fino	6 %	Tipo 3: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Áridos redondeados</li> <li>• Áridos de machaqueo no calizos para estructuras marinas o en contacto con agua de elevado contenido en cloruros</li> </ul>
	10 %	Tipo 4: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Áridos de machaqueo calizos para estructuras marinas o en contacto con agua de elevado contenido en cloruros</li> <li>• Áridos de machaqueo no calizos para estructuras en ambiente normal</li> </ul>
	15 %	Tipo 5: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Áridos de machaqueo calizos para estructuras en ambiente normal</li> </ul>

También decir, que los áridos deben cumplir las siguientes condiciones físico-mecánicas:

- Absorción de agua no superior al 5%, normas UNE83.133:90 y 83.134:90
- Friabilidad <sup>1</sup> de la arena no superior a 40, norma UNE EN 1097-1:97.
- Resistencia al desgaste de la grava no superior a 40, norma UNE EN 1097-2:98

Las mejores arenas son las de río ya que son de cuarzo puro. Esta no debe contener sustancias perjudiciales para el hormigón. Una característica importante de la grava es su coeficiente de forma.

#### **4.1. LIMITACION DEL TAMAÑO**

La distribución de los distintos tamaños de los granos que componen un árido tiene una importancia decisiva en las características del hormigón. El estudio de dicha distribución suele efectuarse mediante una curva granulométrica, que se realiza cribando el árido a través de una serie normalizada de tamices.

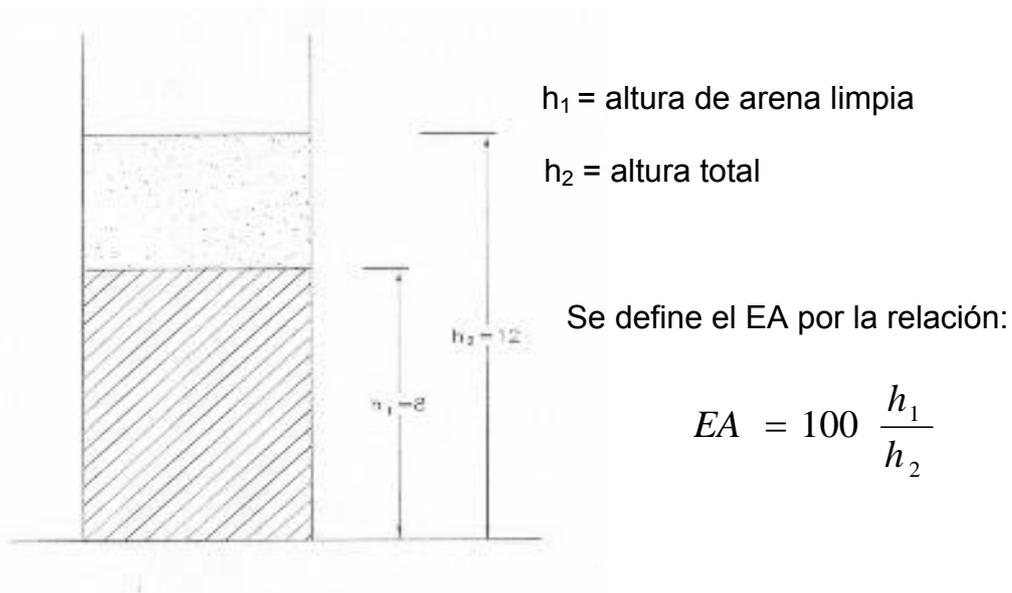
1. Friabilidad: Un árido friable es aquel que se desmenuza fácilmente, incluso con los dedos.

## 4.2. ENSAYOS

### EQUIVALENTE DE ARENA

Es un ensayo sencillo que sirve para obtener un índice del contenido en finos arcillosos. Una primera comprobación fácil consiste en tomar la arena con la mano apretada y ver si se pega en tu mano.

El ensayo de equivalente de arena consiste en agitar una muestra en una solución de lavado dentro de una probeta de vidrio. Luego se deja decantar y se miden las alturas como se muestra en la siguiente figura.



Con lo que su valor variara entre 0 (cuando todo son finos arcillosos) y 100 (cuando todo es arena limpia).

- Valores de 65 corresponden a arenas arcillosas, que presentan riesgo de producir retracciones excesivas.
- Entre 65 y 75 se colocan las arenas ligeramente arcillosas.
- Entre 75 y 85 las arenas son limpias, perfectamente adecuadas para hormigones de calidad.
- Por encima de 85 la arena es demasiado limpia y otorga muy poca plasticidad al hormigón por la falta de finos arcillosos, lo que obliga a un aumento de agua.

En la foto que se muestra a continuación podemos observar la maquinaria y utensilios utilizados para este ensayo.

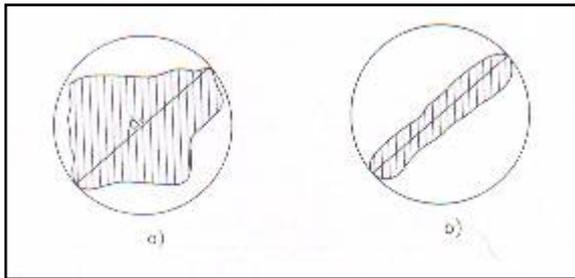


## COEFICIENTE DE FORMA

Este es un parámetro que mide cuanto más próximo o cuanto más alejado se encuentra un grano de grava de la forma esférica.

$$\alpha = \frac{V_1}{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{d_1}{2}\right)^3} = \frac{V_1}{\frac{\pi}{6}d_1^3}$$

$d_1$  = diámetro mayor medido en una dirección cualquiera.



Al  $d_1$  circunscribimos una esfera de igual diámetro. El cociente de forma es el cociente entre ambos volúmenes, que

resultara siempre menor que uno. Si el grano tiene forma de aguja será muy próximo a cero.

Cuanto más alto resulte el valor de  $\alpha$  más fácil será conseguir un hormigón compacto.

## CURVA GRANULOMETRICA

Como ya hemos mencionado, este se hace mediante el cribado del árido a través de una serie normalizada de tamices, tal y como podemos ver en la siguiente figura.

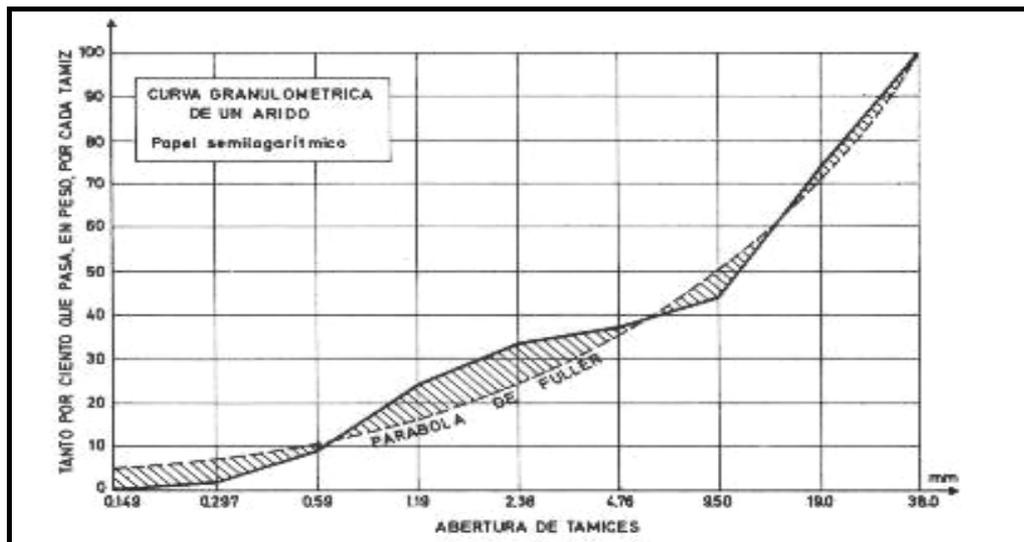


Los tamices normalmente empleados corresponden a las series ISO-565, UNE-7050 o serie americana Tyler. Donde sus valores en milímetros vienen dados en la tabla 4.1.

**TABLA 4.1. SERIES NORMALIZADAS DE TAMICES.**

SERIES NORMALIZADAS DE TAMICES										
Tamices	Abertura en milímetros									
ISO-565	0,125	0,250	0,50	1,00	2,00	4,00	8,00	16,00	31,50	63,00
UNE-7050	0,160	0,320	0,63	1,25	2,50	5,00	10,00	20,00	40,00	80,00
Serie Tyler	0,149	0,297	0,59	1,19	2,38	4,76	9,50	19,00	38,00	76,00

Una vez efectuado el cribado del árido, puede dibujarse su curva granulométrica tomando en abscisas las aberturas de los tamices y, en ordenadas, los porcentajes que pasan por cada tamiz, como podemos observar en el siguiente gráfico.



No es posible establecer una curva granulométrica óptima única, ya que en cada caso hay que tener en cuenta las resistencias, medios de transporte, puesta en obra, compactación del hormigón, propiedad, forma de los granos, etc.

### TAMAÑO MAXIMO DEL ARIDO (D)

Se denomina a la mínima abertura del tamiz UNE 7050-2:85 por el que pasa mas del 90% en peso.

Cuanto mayor sea el tamaño máximo del árido, menores serán las cantidades necesarias de cemento y agua del hormigón.

### OTROS ENSAYOS

ENSAYOS DE LA ARENA Y ÁRIDOS			
Determinación	Limitación impuesta por la instrucción española	Riesgos que se corren si no se cumple la limitación	Observaciones
<i>Terrones de arcilla</i>	$\geq 1\%$ (Arena) $\geq 0.25\%$ (Árido)	- hormigón poco resistente.	- Se entiende por terrones de arcilla las partículas que se deshacen bajo la presión de los dedos.
<i>Finos que pasan por el tamiz 0.063mm</i>	$\geq 15\%$ (Arena) $\geq 2\%$ (Árido)	- Falta de adherencia. - Hormigón poco resistente.	- los finos incluyen arcillas, sales solubles y otras impurezas.
<i>Material que pasa por el tamiz 0.063mm y flota en un liquido de peso especifico 2</i>	$\geq 0.5\%$ (Arena) $\geq 1\%$ (Árido)	- Anomalías en el fraguado. - Hormigón poco resistente.	- No es corriente encontrar áridos que incumplan este ensayo.

Compuestos totales de azufre expresado en $\text{SO}_3^{=}$	$\geq 1\%$	- Alteraciones en el fraguado. - Perdida de resistencia y durabilidad.	- Suelen provenir de sulfatos o de sulfuros.
Sulfatos solubles en ácidos expresados en $\text{SO}_3^{=}$	$\geq 0.8\%$	- Procesos expansivos que destruyen el hormigón.	- Puede protegerse el hormigón utilizando un cemento resistente a los sulfatos.
Cloruros expresados en Cl	Exentas	- Corrosión de armaduras.	
Partículas blandas	$\geq 5\%$	- Hormigón poco resistente.	- El ensayo mide la resistencia de los granos de la grava al rayado con latón.
Coefficiente de forma	$\geq 20\%$	- Hormigón poco trabajable. - Escasa resistencia.	- Se admiten valores inferiores, previos ensayos de comprobación del hormigón en laboratorio.
Índice de lajas	$\geq 35$	- Hormigón poco trabajable. - Escasa resistencia.	- Se admiten valores inferiores, previos ensayos de comprobación del hormigón en laboratorio.

## 5. ADITIVOS

Aditivos son aquellas sustancias o productos (inorgánicos o orgánicos) que, incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo, o en el transcurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento (facilitar su puesta en obra, regular su proceso de fraguado y endurecimiento, aumentar su durabilidad, etc.).

Su influencia se determina de acuerdo al agua y a la cantidad del agua que es necesario añadir a la mezcla para obtener la docilidad y compactación necesaria.

Nos sirven para:

- Una mejor trabajabilidad.
- Para regular el proceso de fraguado del hormigón.

Son útiles para:

- Hormigones secos.
- Hormigones bombeados.
- Hormigones vistos.
- Hormigones fuertemente armados.

Existen en el mercado multitud de aditivos que, con el nombre de aceleradores, retardadores, plastificantes, etc., ponen a disposición del técnico un medio útil para la confección de hormigones de las mas variadas características.

Los fabricantes de aditivos están obligados a etiquetar correctamente estos productos, según la norma UNE 83275:89 EX. La designación de los aditivos y su definición figura en la norma UNE EN 934-2:98.

Además de su acción principal o específica, los aditivos suelen ejercer otras acciones secundarias, favorables o desfavorables. Como tales acciones dependen fundamentalmente del resto de los componentes del hormigón y de las condiciones ambientales, conviene realizar en cada caso ensayos previos de carácter comparativo, confeccionando amasadas de prueba con dosis de 0; 0,5; 1 y 3 veces la dosis media prevista de aditivo.

También debe tenerse en cuenta que los aditivos mejoran ciertas propiedades de aquellos hormigones que de por si están bien dosificados y preparados, no teniendo sentido su aplicación en hormigones de malos componentes o mal confeccionados de origen.

## **5.1. CLASIFICACIÓN**

Atendiendo a su campo de acción los aditivos se clasifican en:

1. Aditivos que modifican las características físicas y el contenido en aire.
  - Fluidificantes o reductores de agua.
  - Plastificantes o agentes de retención de agua.
  - Agentes inclusores de aire.
  
2. Aditivos que modifican el fraguado y el endurecimiento.
  - Acelerantes.
  - Retardadores.
  
3. Aditivos que modifican la resistencia a las acciones físicas y químicas.
  - Anticongelantes.
  - Hidrófugos de masa.
  
4. Aditivos varios.
  - Expansivos.
  - Agentes generadores de gases.
  - Aditivos de cohesión.
  - Colorantes.
  - Inhibidores de corrosión.
  - Etc.

### **5.1.1. ADITIVOS QUE MODIFICAN LAS CARACTERISTICAS FISICAS Y EL CONTENIDO EN AIRE.**

- **Reductores de agua o fluidificantes.**

Son aditivos que aumentan la docilidad y trabajabilidad del hormigón. Esto permite emplear masas que de otra forma sería casi imposible colocar en obra, o bien reducir el agua de amasado de los hormigones en beneficio de su resistencia o de la dosificación del cemento. Actúan mediante procesos físico-químicos.

Se trata de productos orgánicos de molécula muy compleja, con una extremidad hidrófuga y otra hidrófila. Actúan como lubricantes de la pasta, produciendo en los granos un efecto como de cepillo, que facilita el deslizamiento y evita la formación de grumos, al individualizar a los granos de cemento. El efecto general, es una disminución de la tensión superficial del agua, y por consiguiente, de la relación agua/cemento para una misma plasticidad.

Sus productos base son jabones de resina y el lignosulfato sódico o calcico (subproducto de la fabricación de la pasta de papel). En general, coinciden con los inclusores de aire, con excepciones.

Las características que confieren a los hormigones, mejorando sus propiedades tanto en fresco como endurecidos, son las siguientes:

- aumentan la plasticidad de las masas;
- a igualdad de docilidad, reducen la relación agua/cemento de un 5 a 15 por cien;
- a igualdad de agua/cemento mejoran la docilidad;
- disminuyen la tendencia a la segregación durante el transporte;
- mejoran la adherencia del hormigón a las armaduras;
- mejoran la resistencia al disminuir el agua necesaria y forzar la hidratación a fondo del cemento;
- aumentan la durabilidad y resistencia a la abrasión del hormigón.

Los fluidificantes suelen retrasar ligeramente el fraguado del hormigón, sobre todo si se emplean en dosis elevadas, por lo que deben tomarse precauciones y retrasar el desencofrado cuando se utilicen en tiempo frío.

No deben emplearse con hormigones blandos o fluidos sino con los secos, ya que su eficacia es mayor cuanto menor es la relación agua/cemento. Están especialmente especificados para hormigones bombeados y preamasados, para piezas muy densamente armadas, para hormigones vistos y, en general, para cualquier obra que se requiera un hormigón de calidad. Su aplicación es en hormigones que requieren fluidez inicial y buena resistencia final. En general, para todos estos productos de adición, la dosificación viene ya sugerida por el fabricante.

Como se ha citado anteriormente el empleo de fluidificantes puede tener efectos secundarios sobre el hormigón. Ahora se están utilizando los llamados superfluidificantes que no generan estos efectos secundarios además de permitir una reducción del 30 por 100 de agua.

Los superfluidificantes tienen muchas propiedades, de las que destacan aumentar la docilidad de la masa de hormigón fresco sin variar la relación de agua/cemento y aumentar también la resistencia del hormigón sin variar esta docilidad.

Estas características resultan muy útiles para el hormigonado de piezas de geometría complicada, así como para bombear hormigón. Además permiten una puesta en obra rápida y económica, al no ser necesario vibrar la masa de hormigón, dada la gran fluidez de la misma.

También debe tenerse en cuenta que pierden eficacia rápidamente, así las masas deben colocarse antes de pasados treinta a sesenta minutos después de añadir el aditivo.

- **Plastificantes, agentes de retención de agua.**

Los plastificantes también son, como los fluidificantes, aditivos que aumentan la docilidad y trabajabilidad del hormigón. En cambio estos actúan mecánica y físicamente, permitiendo una cierta retención de agua.

Son productos a base de polvos muy finos que añadidos al hormigón, completan la granulometría del cemento y facilitan el deslizamiento de los granos haciendo las mezclas mas trabajables. Mejoran también la impermeabilidad del hormigón y, al ser químicamente inertes, alteran poco sus restantes propiedades. Exigen también aumentar el agua de amasado, por lo que no permiten mejorar la resistencia y durabilidad del hormigón.

En resumen su eficacia es grande cuando el hormigón esta falto de finos o contiene áridos de bajo coeficiente de forma, pero una dosificación excesiva de estos aditivos puede disminuir las resistencias mecánicas del hormigón debido al exceso de agua.

El empleo conjunto de plastificantes y fluidificantes puede mejorar no solo la docilidad sino también la resistencia.

Son prácticos para hormigonado de grandes masas, pues disminuyen la proporción de cemento manteniendo la de finos. También para aquellas aplicaciones en que se debe evitar la perdida de agua o la falta de homogeneidad.

- **Agentes inclusores de aire**

Son aditivos que producen burbujas esféricas de aire, uniformemente repartidas y siguiendo una granulometría continua similar a la del cemento y finos de la arena. Mejoran la resistencia a las heladas y a los agentes agresivos.

Los aireantes son análogos a los citados para los plastificantes, son sustancias orgánicas del tipo resinas o aceites que al ser batidos con el hormigón fresco en dosis convenientes, incorporan a su masa un volumen de aire comprendido entre el 3 y 6 por ciento.

El hormigón, con este aditivo, tiene las siguientes ventajas:

- Son mas dóciles y trabajables.
- Son más homogéneos, presentando mayor estabilidad durante el transporte.
- Mejor aspecto al ser desencofrados (poros).
- Más impermeables y menos absorbentes.
- Gran resistencia a las heladas.
- Mayor resistencia a las aguas agresivas.

La cantidad de aire depende del tipo de aditivo y del cemento. Cuando menos álcalis tenga el cemento hace falta mas aditivo para una misma cantidad de aire, y cuanto más fino sea el cemento, pasa lo mismo.

Los hormigones con aire ocluido presentan menor resistencia mecánica. El contenido de aire ocluido debe ser objeto de control en obra, haciendo la toma de muestra después del transporte para tener en cuenta las pérdidas por este efecto.

Sus aplicaciones son en hormigones de áridos ligeros, en hormigones preamasados y para pavimentos (autopistas y aeropuertos).

### **5.1.2. ADITIVOS QUE MODIFICAN EL FRAGUADO Y EL ENDURECIMIENTO**

- **Los acelerantes**

Son productos que añadidos al hormigón adelantan el fraguado y endurecimiento del mismo. Tienen como objeto reducir el tiempo de desencofrado.

Estos suelen tener como productos base cloruros, o bien, bases o sales alcalinas. Debe decirse también que el calor es un acelerador, así como la cantidad de agua de amasado, cuya disminución acelera el fraguado.

Los acelerantes mas conocidos son los alcalinos, que disminuyen las resistencias mecánicas en proporción a la dosis. Un efecto fundamental del empleo de acelerantes, es el aumento de calor producido en la reacción, más rápida, de hidratación de los cementos.

Su utilización es para: hormigonado en tiempo frío, desencofrado rápido, trabajos marítimos...

Ahora bien, como la presencia de cloruros en el hormigón provoca, a veces, fenómenos de corrosión en el acero, las instrucciones prohíben su empleo en hormigón armado.

- **Retardadores**

Suelen ser sustancias orgánicas. En general las resistencias a compresión muy tempranas pueden verse disminuidas, pero en cambio las de 28 o 90 días incluso pueden ser más elevadas que el hormigón sin aditivo.

Estos son de utilidad en tiempo caluroso o cuando la distancia de transporte del hormigón fresco es grande. Conviene realizar ensayos previos en obra, ya que su acción puede variar sensiblemente de unas a otras condiciones.

Debido a que el empleo de retardadores es delicado, hoy día se recomienda sustituirlos por fluidificantes que, al mismo tiempo permiten reducir el agua de amasado.

### **5.1.3. ADITIVOS QUE MODIFICAN LA RESISTENCIA A LAS ACCIONES FISICAS Y QUIMICAS**

- **Anticongelantes**

Estos coinciden con los agentes inclusores de aire, que anteriormente ya han estado citados.

- **Hidrófugos de masa**

Son útiles siempre que se trate de un buen hormigón.

Son materias finas o bien sales de ácidos grasos.

Normalmente, los hidrófugos de masa se combinan con otros aditivos, como acelerantes, inclusores de aire... que solo podrían usarse en proporciones tan bajas, que resultaría difícil conseguir un reparto uniforme en todo el hormigón.

### **5.1.4. ADITIVOS VARIOS**

Existen multitud de otros productos, con los que pueden conseguirse variados efectos. Entre ellos: los expansivos, los de cohesión, gasificantes, colorantes, inhibidores de corrosión... La técnica de aditivos se encuentra en continua evolución y mejora.

## **5.2. EVOLUCION HISTORICA DE LOS ADITIVOS.**

La historia del uso de aditivos químicos en los hormigones se remonta al siglo pasado, tiempo después que Joseph Aspdin patentó en Inglaterra el 21 de octubre de 1824, un producto que llamó «Cemento Portland».

La primera adición de cloruro de calcio como aditivo a los hormigones fue registrada en 1873, obteniéndose su patente en 1885. Al mismo tiempo que los aceleradores, los primeros aditivos utilizados fueron hidrófugos. Igualmente, a principios de siglo se ensayó la incorporación de silicato de sodio y de diversos jabones para mejorar la impermeabilidad. En ese entonces, se comenzaron a añadir polvos finos para colorear el hormigón. Los fluosilicatos se emplearon a partir de 1905 como endurecedores de superficie. La acción retardadora del azúcar también había sido ya observada.

En la década de los 60 se inició el uso masivo de los aditivos plastificantes, productos que hoy en día son los más utilizados en todo el mundo, debido a su capacidad para reducir el agua de amasado y por lo tanto para obtener hormigones más resistentes, económicos y durables. También se inició el uso masivo de los plastificantes en la edificación.

En la década de los 70 se introdujeron en Chile los primeros aditivos superplastificantes, revolucionando la tecnología del hormigón en esa época, por cuanto se logró realizar hormigones fluidos y de alta resistencia para

elementos prefabricados y para la construcción de elementos esbeltos y de fina apariencia.

Paralelamente, para la construcción de túneles, especialmente para las grandes centrales hidroeléctricas y la minería, se utilizó la técnica del hormigón proyectado que, a su vez, requiere de aditivos acelerantes de muy rápido fraguado para obtener una construcción eficiente y segura.

En la década de los 80 se introdujo en Chile el uso de micro sílice, material puzolánico que usado en conjunto con los aditivos superplastificantes permite obtener la máxima resistencia y durabilidad del hormigón. Con este material se confeccionan hormigones de 70 Mpa de resistencia característica, pudiendo llegar incluso a superar los 100 Mpa.

El primer conjunto de procedimientos y especificaciones data de 1950 y se relacionó al primer tipo de aditivo, incorporadores del aire. Ya en esta normativa se observa la necesidad de crear un grupo de procedimientos que consideran pruebas estándares, materiales controlados, equipos específicos y parámetros comparativos con una mezcla patrón sin el aditivo, para clasificar un producto como aditivo incorporador de aire.

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

- PLASTIFICANTES

En los años 30 se desarrolló la primera generación de aditivos para el mundo del hormigón a partir de lignosulfatos. Estos se obtienen del proceso secundario de la extracción de la celulosa de la madera para la industria del papel y sus características dependen de un gran número de factores como el tipo y edad de la madera empleada, el proceso de fabricación de la pulpa del papel... Tienen que ser tratados con el fin de reducir su contenido de azúcares para contrarrestar su efecto retardador.

Estos aditivos se han estado utilizando de manera generalizada en los últimos años, aunque ya se están sustituyendo por otros de nuevas tecnologías.

- SUPERPLASTIFICANTES

En los años 60 de manera casi simultánea se desarrolla la segunda generación de aditivos. En Japón aparecen los naftalenos - sulfonatos con la intención de reducir la relación agua/cemento y en Alemania los condados de melamina – sulfonato con la idea de mejorar la fluidez del hormigón sin variar la relación de agua/cemento.

Los naftalenos son productos resultantes del proceso de refinado del carbón. Como características principales decir que permiten reducir el agua de amasado de hormigón en un 20%, le confieren una buena manejabilidad y

mejora considerablemente las resistencias. Tienen como efecto negativo que pueden ocluir aire en el hormigón.

Los condensados de melaminas están basados en polímeros sintéticos. Confieren una reducción similar de agua a la de aditivos basados en naftalenos y como característica fundamental podemos destacar que las resistencias a edades tempranas (a 7 días) son más elevadas.

Los aditivos superplastificantes vienen a suponer una revolución en el mundo del hormigón pues nos permiten confeccionar hormigones de altas resistencias y altas prestaciones.

Modernamente han aparecido en el mercado superfluidificantes basados en copolímeros vinílicos en los que la efectividad aumenta de una forma considerable.

### **5.3. ADITIVOS SUPERFLUIDIFICANTES PARA HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES**

#### **5.3.1. INTRODUCCION**

Un hormigón de altas prestaciones (HAP) se puede definir como un hormigón cuyas propiedades mecánicas y de durabilidad han sido mejoradas gracias a la incorporación de aditivos. Esta mejora de las cualidades se obtiene

con una baja relación agua/cemento posibles por la presencia de superfluidificantes.

Determinar en que manera el superfluidificante afecta a las propiedades del hormigón es fundamental para obtener una dosificación óptima y un control adecuado en la fabricación y puesta en obra.

Es necesario conocer los mecanismos físico-químicos que rigen su modo de acción, los diferentes tipos de superfluidificantes presentes en el mercado y la manera optima de emplearlos.

### **5.3.2. ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LOS SUPERFLUIDIFICANTES**

Los superfluidificantes, también llamados superplastificantes o reductores de agua de alto rango, se emplean con el objetivo de reducir la cantidad de agua necesaria para obtener una determinada trabajabilidad.

La elevada trabajabilidad obtenida permite la puesta en obra del hormigón en zonas poco accesibles. Su empleo en prefabricados se debe gracias a que permite obtener mayores resistencias en tiempo menor. Es imprescindible para la producción de diferentes HAP: con cenizas volantes, escorias o humo de sílice. Algunos ejemplos que no hubieran sido posible sin superfluidificante son el puente de la Confederación, diseñado para una vida de servicio de 100 años a pesar de un ambiente marino y mas de 100 ciclos de

hielo-deshielo anuales y la plataforma costera Tiberina de 111 metros de altura, ambos en Canadá.

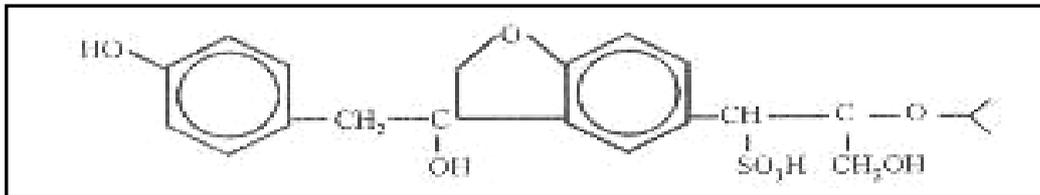
## 1) FORMULACION

Los superfluidificantes se caracterizan por poseer actividad superficial debido a que en su composición química incluyen grupos hidrófilos con afinidad hacia superficies polares que permiten su disolución en agua y otros no polares o hidrófobos. Los superfluidificantes usados en la industria del hormigón suelen ser surfactantes aniónicos de alto peso molecular.

Como ya se ha comentado, los primeros aditivos reductores de agua que se clasificaron como superfluidificantes fueron los lignosulfonatos modificados (LSM), sales de condensado de naftaleno sulfonado y formaldehído (SNF) y sales de condensado de melamina sulfonada y formaldehído (SMF). Estos tres se caracterizan por tener el mismo grupo funcional, el sulfonato. Su origen es muy diferente lo cual condiciona sus posibilidades de uso.

El SNF y el SMF, son productos sintéticos diseñados para un uso específico, sus condiciones vienen determinadas por las condiciones del proceso de fabricación. El LSM es aquel que ha sido tratado con el fin de reducir su contenido en azúcares, para contrarrestar su efecto retardador se suele añadir hasta un 15% de trietanolamina.

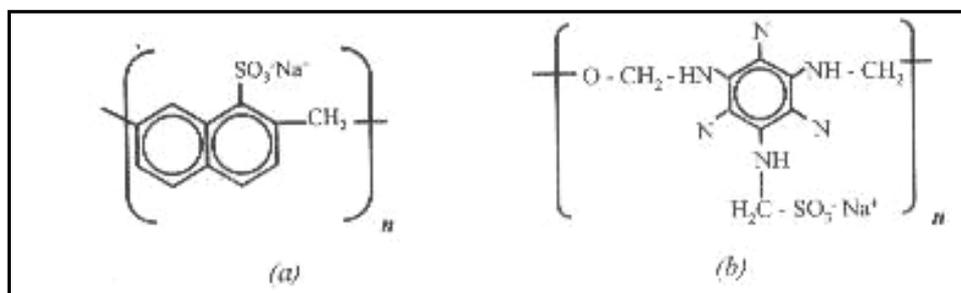
En la siguiente figura se muestra la unidad molecular cuya repetición da lugar a la molécula del LSM.



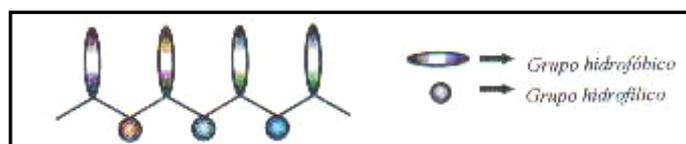
El SNF y SMF poseen numerosos grupos sulfonato capaces de conferir un carácter electrostáticamente negativo a la superficie de la partícula del cemento sobre la que se adsorben. Si la polimerización ha sido baja, el producto obtenido tiende a disminuir la tensión superficial de la fase acuosa del hormigón dando lugar a burbujas de aire atrapadas.

Los principales componentes secundarios que acompañan a un SNF suelen ser LSM y algunas sales inorgánicas o trietanolamina que actúan como acelerantes. También se pueden añadir anti-espumantes, como el fosfato de tributil con el fin de disminuir los poros causados por la inadecuada polimerización del condensado. El SNF se puede emplear sin componentes secundarios o bien mezclados con ácidos hidrocarboxílicos.

En la figura que se muestra a continuación se pueden observar las configuraciones químicas de la unidad cuya repetición  $n$  veces da lugar a SNF (a) y SMF (b).



Más recientemente se han empleado como superfluidificantes diferentes surfactantes poliméricos cuyos grupos funcionales responsables de su solubilidad en agua son de tipo carboxilo e hidroxilo. En los últimos años han proliferado diferentes formulaciones de polímeros que se caracterizan por poseer una larga cadena a modo de columna vertebral en la que están unidos los grupos hidrofílicos y los hidrofóbicos, como podemos observar en la siguiente figura.



Presentan gran flexibilidad para modificar su estructura y obtener unas propiedades determinadas en cuanto a dispersibilidad, retraso del fraguado y retención de la trabajabilidad variando el tamaño de los grupos hidrofóbicos, la composición y el peso molecular de la cadena principal o de los grupos colgantes o la relación cadena principal/grupos colgantes.

## 2) MECANISMOS DE ACCION

Las interacciones del superfluidificante con las partículas del cemento se clasifican en:

- INTERACCIONES FISICAS: la adsorción de superfluidificante sobre las partículas de cemento impide la floculación de estas debido a una generación de una fuerza repulsiva de origen electroestático.
- INTERACCIONES QUIMICAS: existencia de quimisorción, bloqueo de sitios reactivos en las partículas de cemento, formación de complejos con  $\text{Ca}^{2+}$ , etc.

### INTERACCIONES FISICAS

#### Adsorción de superfluidificante sobre el cemento

La principal propiedad de un surfactante es que presenta una mayor concentración en la superficie del sólido que en el seno del líquido. Este fenómeno, conocido como adsorción, ocurre en la interfase sólido/líquido. Al aumentar la concentración de surfactante, sus moléculas se van orientando en la superficie del sólido hasta que se forma una capa unimolecular. Esta

concentración corresponde al *punto de saturación*, y desde el punto de vista práctico tiene un gran interés, ya que representa la mínima concentración necesaria para obtener el máximo beneficio.

### *Generación de una fuerza repulsiva entre partículas de cemento*

*Repulsión electrostática:* las moléculas de superfluidificante se adsorben sobre la superficie del cemento formando una capa cuya parte más exterior posee carga eléctrica del mismo signo. Sobre esta se formará una segunda capa donde la concentración de iones de signo opuesto a las de la primera capa va disminuyendo gradualmente. Cuando la partícula se mueve en la solución es acompañada por los iones que están unidos a ella, y existe un plano de cizalladura que separa la segunda capa del seno de la solución.

*Impedimento eléctrico:* cuando las moléculas de superfluidificante son grandes y voluminosas crean una capa de adsorción de gran volumen que impide el acercamiento de las partículas de cemento.

### **INTERACCIONES QUIMICAS**

Se observa una distribución de la concentración de los componentes del aditivo (C y S) y del clínker (Ca) y no un cambio brusco como cabría esperar si solo hubiera adsorción física. Numerosos autores aseguran que la disminución de la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  en la solución es debida a la formación de complejos entre el aditivo y el  $\text{Ca}^{2+}$ . Este efecto es responsable del retraso del

fraguado que ocurre en presencia de superfluidificante, ya que la solución tarda más en sobresaturarse en  $\text{Ca}^{2+}$  y en iniciar el periodo aceleratorio.

### **5.3.3. DOSIFICACION**

Uno de los puntos clave es la dosis óptima de superfluidificante. El punto de saturación corresponde a un contenido óptimo de superfluidificante donde se obtiene el grado máximo de dispersión del sistema y se puede considerar como la dosis máxima para su empleo en hormigón, ya que una dosificación por encima de este punto no solo no modifica la fluidez de la pasta, sino que puede causar efectos negativos además de encarecer notablemente el coste del hormigón.

Con la incorporación de superfluidificante sobre el cemento prehidratado, es decir más tarde que el agua de mezclado, se obtienen mejoras significativas en la trabajabilidad.

### **5.3.4. EFECTOS DEL SUPERFLUIDIFICANTE**

La alta trabajabilidad que permite obtener el superfluidificante en la pasta de cemento es consecuencia de la dispersión homogénea de las partículas de cemento en la solución acuosa. La fluidez de la pasta en presencia de superfluidificante depende de la finura del cemento, naturaleza del superfluidificante y la secuencia del mezclado entre otros.

La pérdida de trabajabilidad con el tiempo es uno de los problemas que mas preocupa en la actualidad en el ámbito del hormigón. El superfluidificante ha sido acusado durante los últimos años de ser responsable de este indeseable efecto, pero no hay conclusiones seguras al respecto.

### **5.3.5. ENSAYOS**

El comportamiento aditivo – cemento esta influenciado por muchos factores tales como las composiciones del aditivo y del cemento, superficie específica del mismo, etc. Esto hace que no se puedan dar reglas fijas, dado que las variedades de cementos y aditivos son muy amplias y la relación entre los diferentes tipos de aditivos y cementos sean muy dispares.

Por lo tanto, es recomendable hacer ensayos previos para determinar estos comportamientos y ver cuales son las dosificaciones óptimas de aditivo con respecto al tipo de cemento que pensamos emplear.

Algunos de los ensayos a realizar son:

- *Determinación del residuo seco:* se determina por pesada del producto sólido que se obtiene cuando el aditivo líquido se somete a la acción del calor a 105°C hasta constancia de masa.
- *Determinación de la pérdida por calcinación:* se determina por pesada de la muestra antes y después de someterla a la acción del calor a 1050°C hasta constancia de masa.

- *Determinación del contenido de compuestos de azufre:* el aditivo seco se calcina con una mezcla de carbonato de sodio y óxido de magnesio, en atmósfera oxidante con objeto de transformar a los compuestos de azufre en los sulfatos correspondientes y eliminar los posibles compuestos orgánicos. Los sulfatos se llevan a disolución para ser precipitados, y este precipitado ser calcinado para saber la cantidad de compuestos de azufre.
- *Determinación del peso específico de los aditivos:* este se determina por medio de un densímetro, a 20°C.

#### **5.3.6. MEJORA DE LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN**

Entre los aditivos que podemos considerar imprescindibles en determinados casos están los superfluidificantes. Es más, se puede asegurar que los hormigones de altas prestaciones surgieron al aparecer los aditivos superfluidificantes, ya que no sólo se trata de conseguir altas resistencias mecánicas sino además otras características como la alta durabilidad.

#### **5.3.7. NORMATIVA DE LOS SUPERFLUIDIFICANTES**

La norma UNE 83.200-84 “aditivos para hormigones, morteros y pastas” hace una definición bastante completa de lo que es un aditivo al indicar que se trata de: “Aquellas sustancias o productos que incorporados al hormigón, mortero o pasta antes o durante el amasado en una proporción no superior al 5% de peso de cemento produce la modificación deseada en dicho hormigón,

mortero o pasta de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento”.

El proyecto de norma europea prEN 206 dice que la cantidad total de aditivos no debe exceder la dosificación máxima indicada por el fabricante y no debe ser superior a 50g por Kg. de cemento.

Los aditivos utilizados en cantidades menores de 2g por Kg. de cemento, solamente se permiten si se dispersan en parte del agua del amasado. Si la cantidad de aditivos líquidos excede de  $3\text{l/m}^3$  de hormigón, su contenido en agua se debe tener en cuenta en el cálculo de la relación agua/cemento. Además cuando en el hormigón se utilice más de un aditivo, se debe comprobar la compatibilidad de los mismos mediante ensayos previos.

### **5.3.8. SELECCIÓN DE UN SUPERFLUIDIFICANTE**

La elección de un superfluidificante para conseguir la máxima eficacia y poder lograr hormigones muy trabajables con relaciones agua/cemento reducidas y por tanto altas resistencias, está muy relacionada con las características del cemento que se vaya a usar en el hormigón y con las propias características del aditivo. Junto con la cantidad de superfluidificante añadida, la adecuada elección de cemento-aditivo es fundamental para conseguir el máximo rendimiento cuando se trabaja con relaciones agua/cemento muy reducidas.

### **5.3.9. NUEVAS POSIBILIDADES**

Actualmente existe la posibilidad del empleo de dos componentes uno un superfluidificante muy energético que permite utilizar relaciones agua/cemento muy bajas dando buena cohesión y facilidad de bombeo y que se añade a la masa del hormigón. El otro componente, que no es un acelerante de fraguado convencional, se adiciona en la boquilla dosificadora dando lugar a que en los pocos segundos de su incorporación se provoque una caída de la consistencia y un cambio sin efectos secundarios en la resistencia mecánica o de pérdida de adherencia al soporte.

Con este sistema el hormigón queda muy bien adherido al soporte, da igual cual sea la inclinación de este a la vez que permite su acabado posterior dado que no existe aceleración en el proceso de fraguado.

Hoy en día es frecuente el empleo de aditivos polifuncionales, es decir, aditivos que se presentan como un solo producto pero que pueden tener varios comportamientos, así es frecuente encontrar aditivos que actúan como fluidificante-reductores de agua y como superfluidificantes-reductores de agua de alta actividad dependiendo de su dosificación lo que permite conseguir reducciones de agua variables de acuerdo con las necesidades.

## **5.4. ADITIVOS SUPERFLUIDIFICANTES DE NUEVA GENERACION**

### **5.4.1. INTRODUCCION**

En los últimos años las experiencias efectuadas con otros polímeros de nueva síntesis han permitido superar los inconvenientes que crea la pérdida de consistencia en el uso de los clásicos naftalenos y otros inconvenientes menores. El éxito de las investigaciones ha llevado al desarrollo de nuevos superfluidificantes comerciales que han tenido un fuerte impacto en el mercado de los hormigones de altas prestaciones, como en de los hormigones convencionales.

### **5.4.2. MECANISMOS DE ACCION**

Los clásicos actúan por dispersión de las partículas de cemento. Las moléculas del aditivo se adsorben sobre silicatos y aluminatos del cemento, en proporciones variables según las características moleculares del aditivo, su cantidad y el momento de introducción de este en el proceso de interacción agua/cemento. El efecto de repulsión electrostática que parece dominar el efecto de estos aditivos, disminuye progresivamente por depósito de sucesivas capas de productos de hidratación en la superficie del grano de cemento, lo que conlleva la pérdida de fluidez, trabajabilidad, que se traduce en un valor progresivamente menor en la consistencia.

Los nuevos tipos de aditivos basados en condensaciones de ácido poliacrílico y aminas polieter, con importantes y voluminosas cadenas laterales basan su efecto dispersante en ellas y mucho menos en la repulsión electrostática.

#### **5.4.3. TRABAJABILIDAD**

La variación del comportamiento disminuye con los nuevos aditivos. Para alcanzar una misma consistencia con distintos cementos las dosis del aditivo naftalensulfonado varían significativamente, en cambio para los de nueva generación el rango es mas estrecho. Hay sin embargo un nivel de dosis optimo distinto para cada aditivo. Esta dosis, en cualquier caso es notablemente más baja que para los superfluidificantes clásicos. El efecto más notable reside en el tiempo de mantenimiento de la consistencia.

Existen discrepancias en los resultados de los ensayos de estos aditivos con respecto al efecto retardante.

Los buenos acabados y la homogeneidad de los hormigones obtenidos no se ponen en duda con ninguno de los aditivos que se encuentra en el mercado.

#### **5.4.4. REDUCCION DE AGUA**

No hay duda respecto a la eficacia de los nuevos aditivos como reductores de agua. En ensayos comparativos para una trabajabilidad fija los más eficaces permiten alcanzar reducciones de agua/cemento superiores al 30%, frente al 18-25% que se cita para los sulfonados. Entre los distintos nuevos aditivos hay notables diferencias y para alguno de ellos el efecto resulta casi igual que los superfluidificantes clásicos.

La reducción de agua entraña una disminución de la porosidad que sin duda es el factor más invocado para garantizar la durabilidad del hormigón. La mejora que se consigue con los nuevos aditivos es comparable al efecto reductor de agua. Para los más eficaces la disminución de la porosidad respecto a un hormigón de referencia sin aditivos puede alcanzar el 50% y respecto a la comparación con los hormigones con superfluidificante clásico puede hablarse de un 20% de mejora.

#### **5.4.5. RETENCION DE AIRE**

Los hormigones con superfluidificantes presentan tamaños de burbujas algo mayores, lo que se traduce en cambios en el factor de espaciado que superan el límite para garantizar la resistencia al hielo-deshielo.

Los nuevos aditivos no parecen diferir sensiblemente de los clásicos en su efecto. Se señalan en experiencias comparativas, diferencias entre ellos del

doble de aire ocluido, lo que pondrían en duda la eficacia frente al hielo-deshielo de los aditivos extremos.

#### **5.4.6. RESISTENCIAS MECANICAS**

Al alcanzarse mayores reducciones de agua con los nuevos aditivos parece obvio que las resistencias para hormigones de altas prestaciones podrán ser mayores. Al ser menos retardantes cabe esperar además, mejores resistencias a corto plazo.

Cuando se compara el efecto a cortas edades con el de los clásicos se observan diferencias de hasta un 30%, mientras que a 28 días las resistencias son sensiblemente iguales.

### **6. ADICIONES**

Son aquellos materiales inorgánicos que pueden ser añadidos al hormigón para mejorar sus propiedades. Las adiciones más comunes son las cenizas volantes y el humo de sílice.

Las cenizas volantes son residuos sólidos que se recogen de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas por carbones pulverizados.

El humo de sílice es un subproducto originado en la reducción del cuarzo muy puro con carbón en horno eléctrico de arco, proceso utilizado en la producción de silicio y aleaciones de ferrosilíceo. Su empleo es casi obligado para hormigones de gran resistencia. La cantidad de humo de sílice adicionada no debe superar el 10% del peso del cemento.

## **7. CONTROL DEL HORMIGÓN**

La calidad en la construcción ha venido siendo identificada con la vigilancia en la obra y la realización de algunos ensayos.

El ensayo que se le realiza al hormigón es principalmente por comparativa con un ensayo patrón. Con lo cual lo que debemos hacer es un hormigón patrón y el hormigón problema, es decir, el hormigón con el aditivo a ensayar. Los aditivos líquidos deben agregarse homogéneamente dispersos en el agua de amasado, aproximadamente el 75% del agua prevista. Debemos comparar las características del hormigón patrón con el hormigón con aditivo. Una vez fabricados miramos resistencias, cantidad de agua, cantidad de cemento...

- **Hormigón patrón**

1. La dosificación debe confeccionarse con los materiales indicados, sin el aditivo. La dosis de cemento debe ser de 300 +- 5 Kg. /m<sup>3</sup> y la proporción de los áridos a utilizar debe satisfacer la granulometría.

2. La dosis de agua debe ser tal, que la docilidad del hormigón determinada por asentamiento de cono de Abrams sea la deseada.
3. El contenido de aire atrapado, debe ser menor o igual a 2%.

- **Hormigón con aditivo**

1. La dosificación debe realizarse con los mismos materiales utilizados en el hormigón patrón. El volumen de aditivo forma parte del volumen total de agua. Cuando no se utiliza aditivo Incorporador de aire, el contenido de aire medido no debe ser mayor a 3%.
2. Cuando el aditivo sea un Incorporador de aire, la diferencia de volumen entre el aire estimado en el hormigón patrón y el estimado en el hormigón con aditivo, debe reemplazar a un volumen real equivalente de arena.

El laboratorio oficial deberá certificar los resultados de ensayos de clasificación indicando a lo menos:

1. Marca comercial del producto y nombre del fabricante
2. Fecha de muestreo y ensayo
3. Tipo y dosis de aditivo
4. Tipo de cemento y procedencia del árido
5. Resultados del hormigón patrón y resultados del hormigón con aditivos
6. Información sobre el cumplimiento de los requisitos especificados para clasificar el aditivo.

## 8. NORMATIVA

Hace unos años, el consumo de aditivos no superaba el 15% del hormigón producido en España. Actualmente, el porcentaje puede rondar entre el 90-95%. Este espectacular incremento se debe a diversas circunstancias, fundamentalmente a:

- Al desarrollo de los productos químicos de empleo de la fabricación de aditivos.
- Mejoramiento de las técnicas de fabricación, que llevan consigo unas formulaciones cada vez mas perfeccionadas, con unos mejores controles y en definitiva un producto de mejor calidad.
- Mejor conocimiento por parte de los sectores implicados en la tecnología del hormigón.
- A la idea cada vez más extendida de que el correcto empleo de los aditivos resulta muy adecuado para conseguir hormigones de calidad, durables e incluso económicos.

Se puede decir que muchos de los hormigones que hoy en día se utilizan no serian posible sin el empleo de aditivos. Así se pueden citar los hormigones de altas prestaciones u hormigones con una puesta en obra especial.

En todos los casos el papel del aditivo es modificar favorablemente una o varias características al hormigón al que se adiciona. Para conseguir este fin

es necesario la caracterización y control de los aditivos, para lo cual hay que recurrir a procedimientos de ensayo adecuados y disponer de las correspondientes normas de ensayo y especificaciones sobre estos materiales.

Así podemos decir que:

- Los aditivos que se utilicen en el hormigón estarán sujetos a la aprobación previa del ingeniero.
- Debe demostrarse que el aditivo es capaz de mantener esencialmente la misma composición y comportamiento en todo proceso que el producto usado, para establecer las proporciones del concreto.
- Los aditivos utilizados en el concreto que contenga cementos expansivos deberán ser compatibles con el cemento y no producir efectos nocivos.

Según el Artículo 29º de la EHE (Instrucción del hormigón estructural), es un componente del hormigón siempre que se justifique mediante los ensayos oportunos, que la sustancia agregada en las proporciones y condiciones previstas produce el efecto deseado sin perturbar excesivamente las restantes características del hormigón ni presentar peligro para la durabilidad del hormigón ni para la corrosión de las armaduras.

En ningún caso se emplearán aditivos sin el conocimiento del peticionario y sin la autorización de la Dirección de Obra (*Art. 69.2.8 EHE*).

## **8.1. ESTADO ACTUAL DE LA NORMATIVA**

El aumento progresivo del consumo de aditivos en los hormigones, ha hecho que la normativa de estos materiales se ocupen de una manera importante de los aditivos.

Actualmente, existen una serie de normas UNE que se refieren fundamentalmente a ensayos de caracterización que fueron elaboradas a mediados de los años 80, y otra serie de normas UNE-EN que son las correspondientes normas traspuestas de las europeas.

Por lo que respecta a las normas UNE (adjuntadas en el anexo) podemos observar:

UNE 83-282-90: Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Superfluidificantes (reductores de agua de alta actividad).

UNE 83-281-90: Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Reductores de agua/fluidificantes.

UNE 83-254-87: Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Toma de muestras.

UNE 83-225-86: Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Determinación del peso específico de los aditivos líquidos.

UNE 83-211-87: Aditivos para hormigones, morteros y pastas.  
Determinación del contenido de compuestos de azufre.

UNE 83-210-88: Aditivos para hormigones, morteros y pastas.  
Determinación el contenido de halogenuros totales.

UNE 83-207-85: Aditivos para hormigones, morteros y pastas.  
Determinación de la pérdida por calcinación a  $1050 \pm 25$  °C.

UNE 83-206-85: Aditivos para hormigones, morteros y pastas.  
Determinación de la pérdida de masa, a  $150 \pm 3$  °C, de los aditivos sólidos.

UNE 83-205-85: Aditivos para hormigones, morteros y pastas.  
Determinación del residuo seco a  $105 \pm 3$  °C de los aditivos líquidos.

UNE 83-275-89: Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Etiquetado.

Y por otro lado podemos observar la norma UNE-EN 934-2 que también podemos observar en el anexo.

Así los aditivos, para responder satisfactoriamente a las exigencias requeridas por los hormigones de todo tipo, deben poseer una calidad adecuada. Para conseguir este fin, además de todas las características relativas a las materias primas, proceso de fabricación y uso, es importante disponer de un cuerpo normativo adecuado y suficientemente amplio. En este

sentido la norma UNE-EN 934-2 y las otras partes de la misma cumplen satisfactoriamente este papel.

## **9. METODOS DE RECICLADO DEL HORMIGON**

Los residuos de la construcción, constituyen un amplio porcentaje del total de los residuos generados y, en cambio, siempre considerados de menor importancia que los residuos domiciliarios, posiblemente por ser teóricamente inertes y difícilmente eliminables. A continuación podemos ver las toneladas anuales de escombros en cada comunidad autónoma.

<b>PRODUCCION DE ESCOMBROS. 1.999 - 2.005</b>		
<b>Comunidad Autónoma</b>	<b>1.999 (Tm/año)</b>	<b>2.005 (Tm/año)</b>
Andalucía	2.098.113	2.224.000
Aragón	344.388	365.052
Asturias	315.487	334.416
Baleares	220.510	233.741
Canarias	465.895	493.849
Cantabria	152.957	162.134
Castilla la Mancha	496.633	526.431
Castilla León	727.464	771.112
Cataluña	1.464.158	1.552.007
Extremadura	310.371	328.993
Galicia	795.360	843.082
Madrid	1.456.464	1.543.852
Murcia	318.202	337.294
Navarra	150.966	160.024
Pais Vasco	617.927	655.003
La Rioja	76.833	81.443
Valencia	1.162.705	1.232.468
Ceuta y Melilla	37.228	39.462
<b>TOTAL</b>	<b>11.211.661</b>	<b>11.884.363</b>

Fuente: Plan nacional de residuos de construcción y demolición

En la comunidad de Madrid se estima que al año se generan 1000Kg de escombros por habitante. En el plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición los datos dicen que en Madrid los residuos procedentes principalmente del sector de la construcción y demolición son de 1670Kg/habitante/año. En la siguiente tabla podemos observar el porcentaje de residuos de la construcción generados en Madrid.

**- Composición de los Residuos en la Comunidad de Madrid**

Tipo de materiales de residuos	(%)
Escombros	75
Ladrillos, azulejos y otros, cerámicos	54
Hormigón	15
Piedra	5
Arena, grava	4
Madera	4
Vidrio	0,5
Plástico	1,5
Metales	2,5
Asfalto	5
Yeso	0,2
Papel	0,3
Basura	7
Otros	4

Factores medioambientales y últimamente también económicos están favoreciendo el desarrollo de sistemas de reciclado del hormigón.

La situación actual de la legislación no tiene en consideración la aplicación de materiales secundarios, es decir residuos reciclados, como materia prima.

Entre las dificultades del reciclado del hormigón se encuentran la heterogeneidad de los materiales de partida y el desconocimiento que se tiene de los orígenes y procedencia de los residuos. Además el árido reciclado también tiene que cumplir las especificaciones de la granulometría,

coeficiente..., la presencia de contaminantes debe evaluarse para controlar los efectos sobre el nuevo hormigón, donde a continuación encontramos una tabla con los diferentes contaminantes.

**Valores indicativos de los contenidos de diferentes tipos de contaminantes que confieren una influencia perjudicial**

<b>Impurezas y Contaminantes</b>	Arcillas Suelo	Madera	Yeso	Aglomerado asfáltico	Pinturas <sup>1</sup>
CONTENIDO (% máx. en volumen)	5	4	6	2	0,2

El hormigón que es devuelto a la planta puede ser utilizado para distintos fines, tales como fabricación de bloques o puede ser descargado, permitir su fraguado y más tarde ser triturado en forma de áridos, para ser usado en la construcción de bases de calzadas u otras aplicaciones.

Durante años, el deseo de eliminar la generación de residuos en las plantas de hormigón ha terminado en diversos intentos de reciclar el hormigón devuelto. Sin embargo, conseguir el residuo cero se ha manifestado como un objetivo difícil de alcanzar.

Inicialmente, se pensó en el uso de dispositivos mecánicos que permitiesen la separación de los áridos reutilizables y de una lechada (mezcla acuosa) de cemento la cual podía ser sustitutiva parcialmente del agua de amasado. La experiencia demuestra que estos dispositivos mecánicos están a menudo plagados de problemas de mantenimiento.

Los métodos mecánicos se basan en la separación de los elementos finos de las gravas mediante separadores como los tamices. Su objetivo es volver a utilizar las gravas y el agua para la fabricación de un nuevo hormigón. Estos sistemas están pensados para la recuperación de hormigones devueltos y limpiezas de camiones.

Se ha desarrollado una mezcla aditiva estabilizadora (HSA), que es capaz de detener la hidratación del cemento, aún cuando esta mezcla se añada estando el hormigón con varias horas de vida. Este método se utiliza para detener la hidratación en las cubas, eliminando así la necesidad de la limpieza nocturna y permitiendo al hormigón que es devuelto ser mezclado al día siguiente con hormigón fresco. Sin embargo, hay algunas limitaciones a tener en cuenta:

- Se necesita personal suficientemente capacitado para aplicar la dosis adecuada a cada cuba por separado.
- No es fácil calcular la dosis correcta, para diferentes volúmenes, mezclas, temperaturas y vida del hormigón.
- Pueden existir variaciones en el fraguado del hormigón, especialmente cuando la dosis de hormigón devuelta frente al fresco es alta.
- El uso de hormigón reciclado para producir uno específico, puede ser problemático.

A fin de evitar todos estos problemas, se ha desarrollado un sistema que soluciona todos estos inconvenientes. Permite el tratamiento y uso posterior de los restos del lavado de la cuba y del hormigón devuelto, con lo que:

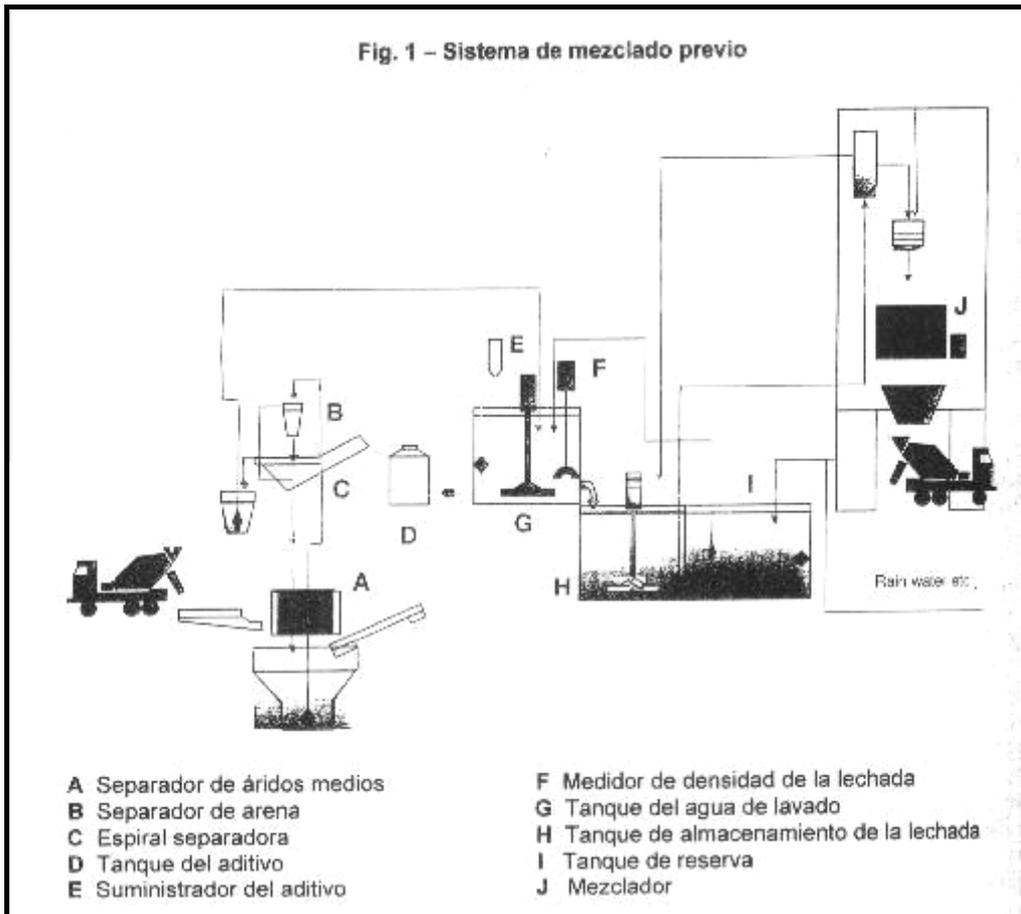
- Se consigue el objetivo del residuo cero.
- Proporciona la solución para el mantenimiento del equipo de reciclaje sin obturaciones.
- No precisa la ocupación de un gran espacio en la planta.
- No aumenta el trabajo en la planta o del personal de control.
- Mantiene la capacidad de desarrollar resistencia del cemento reutilizado.
- Resuelve la falta de predecibilidad en el tiempo de fraguado, la pérdida de densidad u otras características del hormigón.
- Se adapta a los controles de los sistemas de calidad y pueden ser, por tanto, aceptables por las entidades reglamentarias.

Algunos conceptos operativos son claves en el nuevo planteamiento presentado aquí:

- Todos los restos del lavado de la cuba y del hormigón devuelto van al equipo de reciclaje junto con el aditivo estabilizador (HSA), para evitar la hidratación dentro de este. Esto significa una importante reducción de los problemas de mantenimiento dentro del equipo.

- El hormigón devuelto va todo al tanque de mezcla, eliminando así la necesidad de ajustar la dosis para cada cuba en particular y consecuentemente la necesidad de personal extra.
- La dosis del aditivo (HSA) es fija, ya sea por volumen de agua de lavado o por cuba.
- La lechada obtenida es distribuida en el hormigón del día siguiente, lo cual proporciona uniformidad a toda la producción y reduce la dosis del aditivo estabilizador que no reacciona a niveles bajos, eliminando de este modo la necesidad de añadir aditivo acelerador.
- La dosificación de la lechada, en función de su contenido en sólidos, se mantiene constante a lo largo de los días de producción asegurando la repetibilidad de la operación.
- Las proporciones de la mezcla y los volúmenes de finos son uniformes.

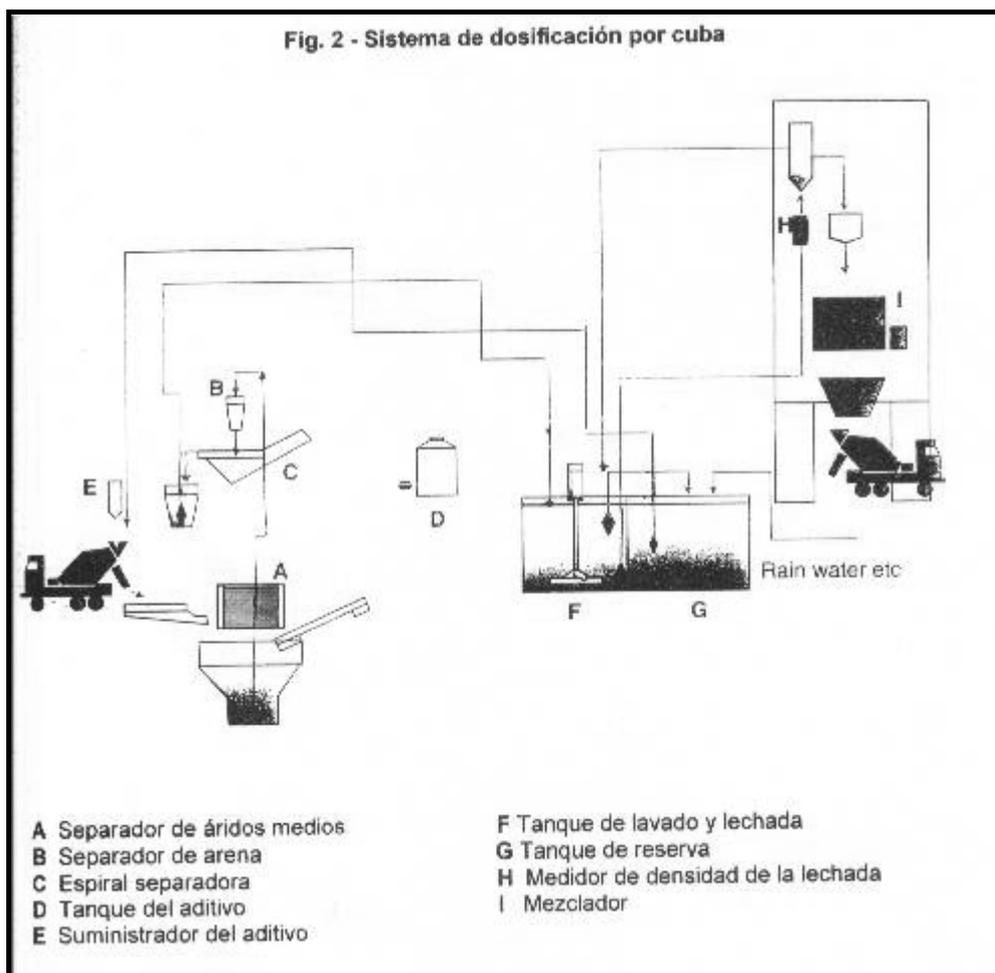
Tenemos dos opciones el sistema de mezclado previo o bien el de dosificación por cuba. Empezaremos por el sistema de mezclado previo.



En la figura 1 podemos observar el esquema de un sistema de mezclado previo. Al principio del día se añade automáticamente una dosis inicial de 15 litros de aditivo (HSA) a un volumen de  $10\text{m}^3$  de agua fresca en el tanque G. Esta mezcla se usa para el lavado de las cubas vacías y del hormigón devuelto. En el caso de un lavado simple de una hormigonera, el conductor pulsa un botón que suministra  $1\text{m}^3$  de agua de lavado a la misma, la hormigonera se pone a girar a velocidad de mezclado durante un minuto y después se vacía. Durante esta maniobra la canaleta de descarga es continuamente lavada con solución del tanque G, así un gran volumen del agua tratada se une al hormigón que pasa al equipo separador. En el caso del hormigón devuelto, cuando los sólidos de la lechada crecen rápidamente, el

medidor F detecta esta elevada concentración (8 a 10%), con lo cual automáticamente mezcla otros 5m<sup>3</sup> de agua con 7,5 litros de aditivo, esta maniobra se repite tantas veces como sea necesario mientras la densidad continúe elevada. Al final del día, el contenido del tanque G es bombeado y depositado en al H, el cual servirá para después volver a fabricar hormigón nuevo.

Una vez fijada la concentración de sólidos, el ordenador se programa para añadir un porcentaje fijo de la lechada por peso de cemento.



La figura dos muestra el esquema para el sistema de dosificación por cuba. Este es similar al descrito anteriormente excepto que en cada lavado de la hormigonera se le añaden 1,5 litros de aditivo y 1m<sup>3</sup> de agua limpia.

Solo hay un tanque para almacenar la lechada y consecuentemente la concentración de sólidos puede variar a lo largo del día. Por tanto, es necesario un medidor de la densidad de la lechada que debe estar situado en la tubería que conecta el tanque y el mezclador para ajustar continuamente la cantidad de agua de la lechada y mantener constante la dosis de sólidos por unidad en peso de cemento.

En ambos sistemas el dato de la concentración de sólidos en la lechada que se introduce en el ordenador debe ser decidido por el responsable de producción. Esta es la única parte no automatizada del sistema y precisa de una cierta experiencia para llevarla a cabo.

Dado que el aditivo HSA puede evitar la hidratación del cemento durante más de un día, en caso de presentarse grandes cantidades de hormigón devuelto, es posible sostener la vida eficaz de la lechada durante varios días.

A fin de obtener el mayor rendimiento del sistema, son necesarios algunos elementos clave:

- Un sistema separador de calidad, preferiblemente con dos tanques de almacenamiento de tamaño suficiente para dar cabida a la lechada diaria.
- Bombas para la lechada de alta efectividad.
- Uno o dos medidores de densidad para la lechada que estén controlando continuamente la composición de la misma.
- Un ordenador para el control de la producción nueva, con un programa que acepte valores para el contenido de sólidos en la lechada por volumen de cemento y que tenga entrada directa desde el medidor de densidad de la lechada, calculando así la cantidad de lechada acuosa y determinando en consecuencia la cantidad de agua limpia a añadir.

Como conclusión a este punto, podemos decir:

- Es posible pues, conseguir el residuo cero en una planta de hormigón, sin tener que evaluar cada cuba por separado.
- El sistema para poder ser implementado necesita: un aditivo estabilizador de la hidratación especialmente desarrollado, una cierta inversión de capital y un control del proceso completo.
- La calidad del hormigón aumenta, su inestabilidad se reduce y el mantenimiento del equipo es mucho más fácil.

- El uso del sistema reporta beneficios económicos significativos.

Otra opción para esta agua separada del hormigón es enviarla a una planta de tratamiento. El resultado del cual, sea un agua clara y lista para reutilizar y por otro lado barro sedimentado que al solidificarse puede usarse con otros fines.

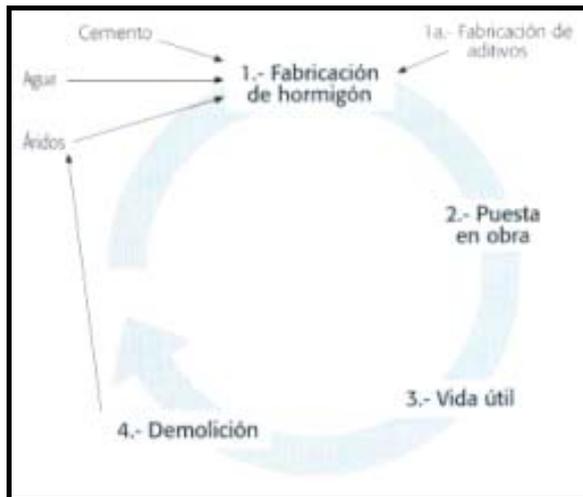
El funcionamiento básico es la sedimentación de las partículas más finas. Durante la sedimentación el barro se deposita en la parte inferior de la torreta y se bombea hacia el exterior. En la parte superior encontramos el agua clara.

## **10. MEDIO AMBIENTE**

Respecto los aditivos, como productos químicos, no son productos peligrosos, excepto algún acelerador que pudiera resultar algo tóxico. Pero una vez fraguados junto con el hormigón no presentan ninguna toxicidad.

La industria del hormigón no es especialmente contaminante, los residuos que se generan no son de elevado riesgo ecológico. Con una buena gestión no debería aparecer ningún problema ecológico.

En el siguiente grafico podemos ver los contaminantes de la fabricación del hormigón y su ciclo de vida.



Debido a las materias primas utilizadas para producir los aditivos (lignosulfatos, polinaftalenos..., productos orgánicos) podemos decir que estos no son tóxicos, son fácil o medianamente biodegradables y muy solubles en agua. Básicamente por su fuerte coloración y por la demanda de oxígeno al biodegradarse, no deben verterse a la red o cursos de agua.

## **11. CONCLUSION**

Podemos encontrar gran variedad de empresas dedicadas a este mundo, ya que hay gran demanda debido a la construcción de edificios y casas.

Ya que hay una gran variedad de empresas distribuidas por todo el mundo y climas diferentes, se han sacado mezclas aditivas de todas clases. Como hemos podido comprobar, tenemos aditivos inhibidores de corrosión por ejemplo para zonas de playa, o bien anticongelantes para zonas de frío.

El objetivo de la mayoría de estos aditivos es la reducción de agua empleada a la hora de fabricar el hormigón. Pero no solo éstos influyen a la hora de reducir el agua, sino que también los áridos o el tipo de cemento tienen mucho que ver. Por eso, se está investigando la mezcla idónea de cemento, agua y aditivo.

Por otra parte, decir, que una vez centrados en el tema del reciclado no se encontró ninguna empresa en España que realice la mínima parte de éste. Debido a una escasa legislación sobre este punto. Esta escasa legislación produce una masificación en la extracción de los áridos naturales.

El reciclado ha de incentivarse tomando medidas adecuadas que canalicen su empleo, regulando y controlando su calidad. Al mismo tiempo deben incrementarse las investigaciones que ofrezcan soluciones al reciclado, así como nuevas vías de aplicación de los materiales reciclados.

Los áridos reciclados resultan una alternativa válida para la producción de hormigón, ya que sus características cumplen en gran mayoría con las normas y las resistencias especificadas.

## 12. BIBLIOGRAFIA

- **El hormigón armado en la construcción arquitectónica.**  
Tipologías estructurales  
Domingo Pellicer Daviña, catedrático de construcciones de la escuela técnica superior de arquitectura de Madrid  
Librería editorial bellisco
- **Hormigón armado**  
Pedro Jiménez Montoya  
Álvaro García Meseguer  
Francisco Morán Cabré  
Editorial Gustavo Pili, SA, Barcelona, 2000
- **Jornada sobre:**  
**Hormigón autocompactable, introducción, tecnología y realizaciones**  
Barcelona, 2 de diciembre de 2003  
Escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos. (UPC).
- **Especialidades químicas para la construcción. IV Simposio.**  
Asociación nacional de fabricantes de Aditivos para hormigón y mortero.
- **Beton catalan, S.A.**  
Departamento Técnico. Hormigón estructural, EHE.
- **Drizoro.** Soluciones químicas para la construcción.  
Prontuario. Drizoro S.A.
- **Fosroc.**  
Prontuario. Fosroc Euco S.A.
- **Sika.**  
Prontuario 2003. Enero 2003. G. Millan.
- [http://www.ambientum.com/revista/2003\\_03/escombros.htm](http://www.ambientum.com/revista/2003_03/escombros.htm)
- <http://www.cgate.es/bia7.htm>
- <http://www.apabcn.es/sostenible/castellano/castellano/news53cs.htm>

- [http://www.liebherr.com/lh/es/44269\\_37948.asp](http://www.liebherr.com/lh/es/44269_37948.asp)
- [http://www.revistabit.cl/body\\_articulo.asp?id\\_articulo=1164](http://www.revistabit.cl/body_articulo.asp?id_articulo=1164)
- [http://www.asocem.org.pe/medio\\_ambiente\\_hormig.htm](http://www.asocem.org.pe/medio_ambiente_hormig.htm)

### **13. VALORACION PERSONAL DEL TRABAJO**

Al comenzar el proyecto final de carrera, estaba de becaria en la empresa hormigones Uniland. Donde al decirles que quería hacer el proyecto de los aditivos del hormigón no pusieron ningún inconveniente además de que me ayudarían en todo lo posible, pero al empezar dicho proyecto no me proporcionaban información. Después de mucho insistir consiguieron una visita a Bettor, empresa de aditivos, en la cual si enseñaron las instalaciones y laboratorios pero con mucho secretismo por tal de que no viese las materias primeras de estos.

Poco a poco, después de dejar esta empresa (Uniland), fui consiguiendo información gracias a mi familia (que trabaja dentro de la construcción) y a mis nuevas compañeras de trabajo (Control Q, laboratorio de hormigón).

Así después de esta experiencia, he visto que en el mundo de la construcción hay mucha competencia entre empresas y por eso de tal hermetismo.

Aun después de explicar los problemas surgidos, me encuentro muy satisfecha de haber conseguido toda esta información, y de haber aprendido tanto de este tema.

## **14. ANEXOS**