



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
Universidad Zaragoza



ESCUELA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA DE  
ZARAGOZA

Universidad de Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

***ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO  
DEL CEMENTO SR COMBINADO CON  
DIFERENTES ADITIVOS PARA LA  
FABRICACIÓN DE HORMIGÓN***

Álvaro Arnal Maza  
Septiembre 2011

Dirigido por M<sup>a</sup> Ángeles Pérez Ansón (E.I.N.A.) y  
José Miguel Fuertes (M.L.N.)  
Ingeniería Técnica Industrial Mecánica



# AGRADECIMIENTOS

En este apartado quisiera manifestar mi agradecimiento a todas las personas que han hecho posible la realización de mi proyecto final de carrera.

En primer lugar me gustaría agradecer su colaboración a la empresa Mariano López Navarro, a través de la Cátedra que tiene con la Universidad de Zaragoza por permitir a gente como yo realizar el proyecto dentro de un ambiente laboral, con el fin de garantizarnos una primera experiencia laboral. En especial me gustaría agradecer la ayuda prestada, dentro de la empresa, a Alberto Sanclemente y José Miguel Fuertes, los cuales han sido nuestros directores del proyecto dentro de MLN.

De la misma forma, agradecer a M<sup>a</sup> Ángeles Pérez Ansón su ayuda prestada desde dentro de la Universidad, siempre dispuesta a ayudarnos con cualquier tema, ya sea de este proyecto, incluso aconsejándonos en otros asuntos relacionados o no directamente con la carrera.

Agradecer a Sergio García Casado, mi compañero de proyecto, por ayudarme a realizar el mismo, el cual en momentos en los que no era capaz de realizar mi trabajo, el me ayudaba a hacerlo de forma desinteresada.

Por último, aprovechar estas últimas líneas para agradecer a todo el mundo que me rodea, familia, amigos, compañeros de la universidad por hacer de estos años unos de los mejores de mi vida.

Gracias a todos.



# RESUMEN DEL PROYECTO

El hormigón es el material más importante en la construcción, es la resultante de unir áridos con la pasta que se obtiene al añadir agua a un conglomerante. El conglomerante puede ser cualquiera, pero en este caso, referido al hormigón es el cemento. La pasta formada por el cemento y el agua es la que confiere al hormigón su fraguado y endurecimiento. El cemento se hidrata en contacto con el agua y así se inician las reacciones químicas, que lo convierten en maleable y con buenas propiedades adherentes, aunque con el paso del tiempo, se produce el fraguado, volviéndose esta pasta de consistencia pétrea y dura.

Para poder modificar algunas de las propiedades del hormigón, es necesario en algunos casos usar aditivos químicos que depende de su dosificación hacen que mejoren o empeoren sus propiedades, por eso es tan importante este estudio realizado.

En este proyecto se va a realizar un estudio de cómo dos duplas de aditivos comerciales, uno superplastificante y otro polifuncional, empleados en la misma dosificación influyen sobre el cemento sulfuroresistente (SR), para la fabricación de hormigón, buscando la dosificación que cumpla las necesidades buscadas: un cono de Abrams entre 6 y 9 cm, una buena trabajabilidad y una resistencia superior a 25 MPa.

De los ensayos realizados se han obtenido resultados muy interesantes. Con la utilización de ambos aditivos comerciales se ha observado la necesidad de hidratar el hormigón para conseguir una buena trabajabilidad. Con la dupla de aditivos B se ha conseguido una gran uniformidad en los conos siendo una buena alternativa a la otra dupla de aditivos A.



# ÍNDICE

## **CAPÍTULO 1 MOTIVACIÓN Y OBJETIVO**

- 1.1 Introducción**
- 1.2 Objetivo**
- 1.3 Descripción del proyecto**

## **CAPÍTULO 2 TIPOS DE CEMENTO**

- 2.1 Generalidades**
- 2.2 Clasificación según norma UNE**
- 2.3 Tipos de cemento**
- 2.4 Principales componentes del cemento**
  - 2.4.1 Clinker de cemento**
  - 2.4.1 Componentes adicionales que acompañan al clinker**
- 2.5 Selección de los cementos**
- 2.6 Cemento utilizado en el proyecto**

## **CAPÍTULO 3 ADITIVOS DEL HORMIGÓN**

- 3.1 Clasificación de los aditivos**
- 3.2 Aditivos más habituales**
- 3.3 Aditivos reductores de agua**
  - 3.3.1 Plastificantes**
    - 3.3.1.1 Introducción**
    - 3.3.1.2 Características**
    - 3.3.1.3 Limitaciones**

### **3.3.2 Superplastificantes**

#### **3.3.2.1 Introducción**

#### **3.3.2.2 Formulación**

#### **3.3.2.3 Mecanismos de acción**

#### **3.3.2.4 Características de los superplastificantes**

### **3.3.3 Polifuncionales**

#### **3.3.3.1 Introducción**

#### **3.3.3.2 Características**

#### **3.3.3.3 Limitaciones**

### **3.4 Aditivos de acción específica**

#### **3.4.1 Inclusores de aire**

#### **3.4.2 Aditivos que modifican el fraguado y el endurecimiento**

#### **3.4.3 Aditivos varios**

## **CAPÍTULO 4 MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS**

### ***4.1 Materiales utilizados***

#### ***4.1.1 Introducción***

#### ***4.1.2 Cemento***

#### ***4.1.3 Áridos***

### ***4.2 Equipos utilizados***

#### ***4.2.1 Báscula de precisión***

#### ***4.2.2 Hormigonera***

#### ***4.2.3 Cono de Abrams***

#### ***4.2.4 Probetas***

**4.2.5 Cámara húmeda**

**4.2.6 Calentador de azufre y soporte para refrentar**

**4.2.7 Máquina de ensayo a compresión**

**CAPÍTULO 5 ENSAYOS Y RESULTADOS**

**5.1 Ensayos de laboratorio**

**5.1.1 Ensayo granulométrico**

**5.1.2 Ensayo de consistencia. Cono de Abrams**

**5.1.3 Realización de las probetas**

**5.1.4 Ensayo de compresión**

**5.2 Desarrollo del proyecto**

**5.2.1 Introducción**

**5.2.2 Componentes utilizados en el proyecto**

**5.2.3 Fabricación de las probetas del proyecto**

**5.2.4 Ensayo de consistencia del hormigón**

**5.2.5 Realización de las probetas**

**5.2.6 Ensayo de compresión**

**5.3 Resultados**

**5.3.1 Aditivos A**

**5.3.2 Aditivos B**

**CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES**

**6.1 Introducción**

**6.2 Comportamiento de las parejas de aditivos**

**6.2.1 Aditivos A**

**6.2.2 Aditivos B**

## **CAPÍTULO 7 ANEXOS**

**ANEXO A: Normas consultadas**

**ANEXO B: Bibliografía y fuentes consultadas.**

# **CAPITULO 1**

**Motivación y**  
**objetivos.**



## 1.1 INTRODUCCIÓN

El estudio realizado en este proyecto pretende observar el comportamiento de uno de los materiales más importantes y difíciles de manejar en el mundo de la construcción como es el hormigón.

El proyecto trata acerca de la influencia de aditivos en el hormigón, para poder realizar éste de una manera que se adecúe a las necesidades que en cada momento demande el usuario de la forma más rentable.

El hormigón es el material más importante en la construcción, es la resultante de unir áridos con la pasta que se obtiene al añadir agua a un conglomerante. El conglomerante puede ser cualquiera, pero en este caso, referido al hormigón es el cemento. La pasta formada por el cemento y el agua es la que confiere al hormigón su fraguado y endurecimiento. El cemento se hidrata en contacto con el agua y así se inician las reacciones químicas, que lo convierten en maleable y con buenas propiedades adherentes, aunque con el paso del tiempo, se produce el fraguado, volviéndose esta pasta de consistencia pétrea y dura.

Para poder modificar algunas de las propiedades del hormigón, es necesario en algunos casos usar aditivos químicos que depende de su dosificación hacen que mejoren o empeoren sus propiedades, por eso es tan importante este estudio realizado.

En este estudio nos centramos en el análisis de los reductores de agua, más concretamente, **superplastificantes**, los cuales son capaces de reducir la relación agua-cemento lo que se traduce en la utilización de menos agua y por lo tanto más resistencia, empleando el tipo de **cemento sulfuroresistente (SR)**.

## 1.2 OBJETIVO

El principal objetivo de este estudio es a partir de un patrón predefinido encontrar la mejor dosificación posible, es decir, la que obtenga la resistencia requerida y al mismo tiempo sea la más económica, modificando tanto la cantidad de cemento como las distintas dosis de las dos duplas de aditivos de las casas comerciales, un superplastificante y uno polifuncional.

Se realizarán diferentes masadas de hormigón, siguiendo un patrón predefinido y modificando tanto cantidades de aditivo como de cemento con el fin de encontrar un

determinado tipo de cono de Abrams, y a partir de eso, conseguir la dosificación más económica que es de lo que al fin y al cabo se trata, reducir los costes.

Todos estos ensayos se realizaran en el laboratorio de la empresa MLN, gracias al equipo y materiales prestados por dicha empresa para poder desarrollar el proyecto.

## **1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

### *Capítulo 2: "Tipos de cemento"*

En este capítulo se indican los distintos tipos que hay según la norma UNE, que propiedades tiene cada uno, indicando cuál es apropiado para distintas condiciones, su composición y por último qué cemento es usado en este proyecto.

### *Capítulo 3: "Aditivos del hormigón"*

En el capítulo 3 se resumen todos los tipos de aditivos que hay, atendiendo a diferentes normas o criterios de clasificación y las propiedades que éstos tienen y confieren al hormigón, haciendo hincapié en los aditivos superplastificantes.

### *Capítulo 4: "Materiales y equipos utilizados"*

Aquí se definen tanto las propiedades como las características de los equipos utilizados en la realización del presente proyecto.

### *Capítulo 5: "Ensayos y resultados"*

Este capítulo está dividido en dos partes, en la primera se hace un resumen de la metodología teórica seguida en los ensayos que se han ejecutado para la realización del proyecto y en la segunda se muestran los resultados obtenidos de la realización de esos ensayos, analizando los resultados obtenidos.

### *Capítulo 6: "Conclusiones"*

A lo largo del capítulo 6 se explican las conclusiones extraídas de los ensayos y los resultados obtenidos en el capítulo 5.

## **CAPITULO 2**

### **Tipos de cemento.**



## 2.1 GENERALIDADES.

Se define como cemento: “al conglomerante hidráulico que, convenientemente amasado con agua, forma una pasta que fragua y endurece a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables tanto al aire como bajo agua”. El cemento ha de cumplir las prescripciones del artículo 202 del PG3.

## 2.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN NORMA UNE.

En este apartado se clasificarán los cementos según indica la norma UNE:

- CEMENTOS COMUNES: UNE-EN 197-1:2000
- CEMENTOS COMUNES CON CARACTERÍSTICAS ADICIONALES:
  - CEMENTOS RESISTENTES A SULFATOS (SR): UNE 80303-1:2001
  - CEMENTOS RESISTENTES AL AGUA DEL MAR (MR): UNE 80303-2:2001
  - CEMENTOS DE BAJO CALOR DE HIDRATACION (BC): UNE 80303-3:2001
- CEMENTOS BLANCOS: UNE 80305:2001
- CEMENTOS PARA USOS ESPECIALES: UNE 80307:2001

En la siguiente tabla (tabla 2.1) se muestran la clasificación de los cementos según la norma UNE:

Referencias	Normas	Cementos	Clase de resistencia	Especificaciones físicas							
				Fraguado		Expansión Principio Final Minutos	Calor de hidratación Alg cal/g	Blanura	Firura Residuo sámaro de 10 μm	Norma EN 413-1: 1994	Normas de ensayo
				Principio	Final						
1	UNE-EN 197-1:2000 UNE-80303-1:2001 UNE-80303-2:2001	TODOS	32.5 N 42.5 N 52.5 N	≥ 75 ≥ 60 ≥ 45	...	≤ 10 ≤ 272 ≤ 65	...	...	...	...	UNE-EN 196-1:1993 UNE-EN 196-3:1994 UNE-EN 80301-8:1996
	UNE 80303-3:2001		BL 22.5 X	≥ 60	≤ 15 H	≤ 10	...	L ≥ 50.0	≤ 15 % 50 μm	Cono 6	UNE-EN 196-1:1993 UNE-EN 196-3:1994 UNE-EN 80301-8:1996
	El resto		Como 1				...	...	...	...	UNE-EN 196-1:1993 UNE-EN 196-3:1994 UNE-EN 80301-8:1996
2	UNE-80305:2001	ESP VI-1	22.5 N 32.5 N 42.5 N	≥ 60	...	≤ 10	...	...	...	...	UNE-EN 196-1:1993 UNE-EN 196-3:1994 UNE-EN 80301-8:1996
	El resto		Como 1				...	...	...	...	UNE-EN 196-1:1993 UNE-EN 196-3:1994 UNE-EN 80301-8:1996
	UNE-80307:2001		22.5 N 32.5 N 42.5 N	≥ 60	...	≤ 10	...	...	...	...	UNE-EN 196-1:1993 UNE-EN 196-3:1994 UNE-EN 80301-8:1996
3	UNE-80309:1994	CNR 4 CNR 6 CNR 8	4	≥ 1	≤ 8	...	...	...	...	...	UNE-EN 196-1:1993 UNE-EN 196-3:1994 UNE-EN 80301-8:1996
	UNE-80309:1994		8	≥ 10	≤ 120	...	...	...	...	...	UNE-EN 196-1:1993 UNE-EN 196-3:1994 UNE-EN 80301-8:1996
	UNE-80310:1996		5	≥ 60	...	...	...	...	...	...	UNE-EN 196-1:1993 UNE-EN 196-3:1994 UNE-EN 80301-8:1996
6	UNE-EN 196-1:1994 UNE-EN 196-3:1995	CAC/R MC 5 MC 12.5 MC 12.5 X MC 22.5 X	12.5	≥ 60	≤ 15 H	≤ 10	...	...	≤ 15 % 50 μm	...	UNE-EN 196-1:1993 UNE-EN 196-3:1994 UNE-EN 80301-8:1996
	UNE-EN 196-1:1994 UNE-EN 196-3:1995		22.5	...			...	...	...	...	UNE-EN 196-1:1993 UNE-EN 196-3:1994 UNE-EN 80301-8:1996
	UNE-EN 196-1:1994 UNE-EN 196-3:1995		...				...	...	...	...	UNE-EN 196-1:1993 UNE-EN 196-3:1994 UNE-EN 80301-8:1996

Tabla 2.1 “Clasificación de los cementos según la norma UNE”

## 2.3 TIPOS DE CEMENTO.

Existen diferentes tipos de cemento:

**-Tipo I:** normal, es el cemento Pórtland destinado a obras de hormigón en general, cuando en las mismas no se especifique la utilización de otro tipo (Edificios, estructuras industriales, conjuntos habitacionales).

Libera más calor de hidratación que otros tipos de cemento.

**-Tipo II:** de moderada resistencia a los sulfatos, es el cemento Pórtland destinado a obras de hormigón en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiera moderado calor de hidratación, cuando así sea especificado. (Puentes, tuberías de concreto).

**-Tipo III:** Alta resistencia inicial, como cuando se necesita que la estructura de hormigón reciba carga lo antes posible o cuando es necesario desencofrar a los pocos días del vaciado.

**-Tipo IV:** Se requiere bajo calor de hidratación en que no deben producirse dilataciones durante el fraguado.

**-Tipo V:** Usado donde se requiera una elevada resistencia a la acción concentrada de los sulfatos (canales, alcantarillas, obras portuarias).

En la siguiente tabla (tabla 2.2) se muestran los diferentes tipos y subtipos de cementos que nos podemos encontrar, así como su designación en el mercado y su denominación.

Tipo de cemento	Subtipo	Denominación	Designación
CEM I	Sin subtipo	Cemento Portland	CEM I
	A B	Cemento Portland con escoria de horno alto	CEN II/A-S CEM II/B-S
	Sólo A	Cemento Portland con humo de sílice	CEM II/A-D
	A B	Cemento Portland con puzolana natural	CEM II/A-P CEM II/B-P
	A B	Cemento Portland con puzolana natural calcinada	CEM II/A-Q CEM II/B-Q
	A B	Cemento Portland con ceniza volante silicea	CEM II/A-V CEM II/B-V
	A B	Cemento Portland con ceniza volante calcárea	CEM II/A-W CEM II/B-W
	A B	Cemento Portland con esquisto calcinado	CEM II/A-T CEM II/B-T
	A B	Cemento Portland con caliza L	CEM II/A-L CEM II/B-L
	A B	Cemento Portland con caliza LL	CEM II/A-LL CEM II/B-LL
CEM II	A B	Cemento Portland mixto con todas las adiciones	CEM II/A-M CEM II/B-M
	A B C	Cemento con escoria de horno alto	CEM III/A CEM III/B CEM III/C
	A B	Cemento puzolánico con D, P, Q, V, W	CEM IV/A CEM IV/B
CEM V	A B	Cemento compuesto co S, P, Q, V	CEM V/A CEM V/B

Tabla 2.2 "Tipos de cemento"

## 2.4 PRINCIPALES COMPONENTES DEL CEMENTO.

Los principales componentes del cemento son dos: el **clinker** de cemento otros **componentes adicionales** que lo acompañan. A continuación se presentan brevemente sus características.

### 2.4.1 Clinker de cemento

Se define como: "Sustancia que se obtiene como resultado de la calcinación en horno, de mezclas de calizas arcillosas preparadas artificialmente con adición eventual de otras materias" (figura 2.1).



Figura 2.1 “Clinker de cemento”

Hay dos tipos de clinker:

- Clinker del cemento portland:

El clinker portland se forma tras calcinar caliza y arcilla, preparadas artificialmente, a una temperatura que está entre 1350 y 1450 °C. (Fusión parcial) hasta conseguir la combinación prácticamente total de sus componentes.

- Clinker de cemento de aluminato de calcio:

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%.

#### **2.4.2 Componentes adicionales que acompañan al clinker**

Existen bastantes componentes adicionales que se añaden al clinker para dar lugar al cemento. A continuación se presenta un resumen de los más importantes.

##### **Escoria granulada de alto horno (S):**

Son granulados de alto horno, que se obtienen por templado o enfriado brusco, con agua o con aire, de la ganga fundida procedente de procesos siderúrgicos.

##### **Puzolanas (P, Q):**

Las puzolanas son sustancias naturales de composición silícea o sílicoaluminosa o combinación de ambas.

Se pueden dividir en dos tipos de puzolanas:

- Las puzolanas naturales (P) son normalmente materiales de origen volcánico o rocas sedimentarias con composición química y mineralógica adecuadas.
- Las puzolanas naturales calcinadas (Q) son materiales de origen volcánico, arcillas, pizarras o rocas sedimentarias activadas por tratamiento térmico.

### **Cenizas volantes (V, W):**

Se obtienen por precipitación electroestática o mecánica de partículas arrastradas por los flujos gaseosos de hornos alimentados con carbón pulverizado.

Las cenizas volantes pueden ser de naturaleza silícea (V) o calcárea (W). Las primeras tienen propiedades puzolánicas, las segundas pueden tener, además, propiedades hidráulicas.

### **Caliza (L, LL):**

Son compuestos principalmente de carbonato cálcico en forma de calcita (superior al 85%), que molidos conjuntamente con el clinker portland, en proporciones y comportamiento de los morteros y hormigones, tanto frescos como endurecidos. Su acción principal es de carácter físico: dispersión, hidratación, trabajabilidad, retención de agua, capilaridad, permeabilidad, retracción, fisuración.

### **Humo de sílice (D):**

Es un subproducto de la obtención del silicio y del ferrosilicio. Se reduce en horno eléctrico cuarzo muy puro y carbón, recogiéndose del humo generado mediante filtro electroestático, partículas de muy pequeño diámetro formadas, principalmente, por sílice muy reactivo.

La tabla 2.3 resume las designaciones de cada uno de los componentes descritos con anterioridad:

Adiciones	
Denominaciones	Designaciones
Escoria de horno alto	S
Humo de sílice	D
Puzolana natural	P
Puzolana natural calcinada	Q
Ceniza volante silícea	V
Ceniza volante calcárea	W
Esquisto calcinado	T
Caliza L	L
Caliza LL	LL

Tabla 2.3 “Componentes que acompañan al clinker”

## 2.5 SELECCIÓN DE LOS CEMENTOS.

Para la elección del tipo de cemento más adecuado, ha de tenerse en cuenta una gran variedad de factores y ponderar adecuadamente los mismos, pudiendo ocurrir que en ocasiones haya que adoptar soluciones de compromiso. Para facilitar esta toma de decisión se va a señalar los factores, positivos y negativos, a valorar en la elección del tipo de cemento más adecuado.

- **Tipo de cemento:** los cementos con mayor contenido de clinker (por ejemplo los tipo CEM I) desarrollan una mayor cantidad de calor al hidratarse. Esta cantidad de calor va disminuyendo a medida que va aumentando el contenido de adiciones activas a los mismos. Sin embargo, si el contenido de adiciones activas es importante (por ejemplo en los cementos tipo CEM III, CEM IV y CEM V) el tiempo necesario para fraguar el hormigón es mayor, aumentando la sensibilidad del cemento a la falta de agua y el riesgo de que no se produzca una adecuada formación e hidratación de sus componentes si no se cuidan y respetan las condiciones de curado.

- **Clase resistente:** cuanto mayor es la clase resistente del cemento mayor será, en general, su finura de molido, lo que supondrá una mayor velocidad en el desarrollo de las reacciones químicas de hidratación, con el consiguiente incremento de la cantidad de calor desprendido, lo que no es en absoluto conveniente en tiempo caluroso.

Para la determinación de la finura de molido existen varios métodos de ensayo, siendo el más conocido el de la *superficie específica Blaine* (Norma UNE 80.122). Consiste en determinar la superficie de un gramo de cemento cuyas partículas estuviesen totalmente sueltas, expresándose en centímetros cuadrados. La superficie específica de Blaine de los distintos cementos está comprendida, generalmente, entre 2500 y 4000 centímetros cuadrados.

Otros métodos para determinar la superficie específica de molido son por tamizado en seco (Norma UNE 80.107) y por tamizado húmedo (Norma UNE 80.107).

- **Características especiales:** los cementos de bajo calor de hidratación (BC) están especialmente indicados para este tipo de aplicaciones, sobre todo si además los volúmenes de hormigonado son importantes. Por lo general, los cementos resistentes a los sulfatos (SR) y al agua de mar (MR) desprenden también menor cantidad de energía durante su hidratación al tener limitado los contenidos de  $C_3A$  y  $C_4AF$ .

- **Contenido de cemento:** a mayores contenidos de cemento, mayor cantidad de calor de hidratación generado, a igualdad de todos los demás factores.

## **2.6 CEMENTO UTILIZADO EN EL PROYECTO**

El cemento seleccionado para este proyecto es:

CEM I 42.5 SRS según la norma UNE 80303-1

Está sujeto al real decreto 1313/1988, cemento Portland resistente a los sulfatos, de clase resistente 42,5 y con alta resistencia inicial.

### **CEMENTO SULFORRESISTENTE:**

**DEFINICIÓN:**

- Un cemento con resistencia a agua de mar y sulfatos
- Se requiere para la fabricación de hormigones en determinados ambientes agresivos

**CARACTERÍSTICAS:**

- Limita el contenido de  $C_3A$  y de la suma de  $C_3A + C_4AF$
- La razón es que estas fases son las más fácilmente atacadas por sulfatos

- Requiere por tanto de la fabricación de un clínker especial, con un diseño de harina cruda diferente
- La harina cruda tiene un coste más alto, y la cocción en horno es más difícil
- La versión menos exigente es la MR, resistente a agua de mar

**APLICACIONES:**

- Cimentaciones en suelos yesíferos, en entornos marinos, etc.
- Aguas o terrenos (SR)
- Ambientes Qb ó Qc:
- Suelos: > 3000 mg/Kg.
- Aguas: > 600 mg/l
- Agua de mar (MR)
- Ambientes IIIb (sumergido) y IIIc (carrera de mareas)

## **CAPITULO 3**

**Aditivos para el**  
**hormigón.**



### **3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS**

Debido a que sus efectos son muy variados, una clasificación así es muy extensa, además debido a que un solo aditivo modifica varias características del hormigón y que algunas de estas clasificaciones están hechas desde el punto de vista de la influencia de determinadas propiedades del hormigón, algunos productos utilizados para confeccionar estos aditivos se repiten en más de un grupo. Las diferentes clasificaciones que se suelen considerar se indican a continuación.

#### **Norma técnica ASTM-C497:**

Ésta norma los clasifica según la función que tienen:

- a) TIPO A: Reductor de agua.
- b) TIPO B: Retardante.
- c) TIPO C: Acelerante.
- d) TIPO D: Reductor del agua retardante.
- e) TIPO E: Reductor del agua acelerante.
- f) TIPO F: Súper reductor de agua.
- g) TIPO G: Súper reductor de agua retardante.

#### **Comité 212 del ACI:**

Los clasifica según los tipos de materiales constituyentes o según los efectos característicos en su uso:

- a) Aditivos acelerantes.
- b) Aditivos reductores de agua y controladores del fraguado.
- c) Aditivos para inyecciones.
- d) Aditivos incorporadores de aire.
- e) Aditivos extractores de aire.
- f) Aditivos formadores de gas.
- g) Aditivos productores de expansión o expansivos.
- h) Aditivos minerales finamente molidos.
- i) Aditivos impermeables y reductores de permeabilidad.
- j) Aditivos pegantes o epóxicos.
- k) Aditivos químicos para reducir la expansión debido a la reacción entre los agregados y los alcalices del cemento. Aditivos inhibidores de corrosión.
- l) Aditivos fungicidas, germicidas o insecticidas.
- m) Aditivos floculadores.
- n) Aditivos colorantes.

### **Centro Tecnológico del Hormigón (C.T.H.)**

- a) Retardador de fraguado.
- b) Acelerador de fraguado y endurecimiento.
- c) Plastificante.
- d) Plastificante / retardador.
- e) Plastificante / acelerador.
- f) Superplastificante.
- g) Superplastificante / retardador.
- h) Incorporador de aire.

### **Instrucción de hormigón estructural (EHE 08)**

- a) Reductores de agua / Plastificantes.
- b) Reductores de agua de alta actividad / Superplastificantes.
- c) Modificadores de fraguado / Aceleradores, retardadores.
- d) Inclusiones de aire.
- e) Multifuncionales.

### **Norma AFNOR P 18-123**

1. Aditivos que modifican las propiedades reológicas del hormigón fresco:
  - 1.1. Plastificantes – Reductores de agua
  - 1.2. Incorporadores de aire
  - 1.3. Polvos minerales Plastificantes
  - 1.4. Estabilizadores
2. Aditivos que modifican el fraguado y endurecimiento:
  - 2.1. Aceleradores de fraguado y/o Endurecimiento
  - 2.2. Retardadores de Fraguado
3. Aditivos que modifican el contenido de aire:
  - 3.1. Incorporadores de Aire
  - 3.2. Antiespumantes
  - 3.3. Agentes formadores de Gas
  - 3.4. Agentes formadores de Espuma
4. Aditivos que modifican la resistencia a las acciones físicas:
  - 4.1. Incorporadores de Aire
  - 4.2. Anticongelantes
  - 4.3. Impermeabilizantes
5. Aditivos misceláneos:
  - 5.1. Aditivos de cohesión – emulsiones

- 5.2. Aditivos combinados
- 5.3. Colorantes
- 5.4. Agentes formadores de espuma

## 3.2 ADITIVOS MÁS HABITUALES

A continuación en la *tabla 3.1*, se muestran los principales aditivos utilizados en construcción.

En primer lugar se citan aquellos aditivos capaces de reducir el agua de amasado.

ADITIVO Y DOSIFICACIÓN	PROPIEDAD QUE OTORGА AL HORMIGÓN	APLICACIONES	LIMITACIONES
<b><u>Plastificante</u></b> <i>0,3% - 0,6% del peso del cemento</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Reduce el contenido de agua del hormigón (5-10%) para docilidad constante.</li> <li>-Aumenta la docilidad con agua de amasado constante.</li> <li>-Efecto secundario: retraso de fraguado.</li> <li>-Mayor facilidad de compactación y colocación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Hormigón pretensado o armado y prefabricados de alta resistencia.</li> <li>-Hormigones bombeados.</li> <li>-Hormigonado de elementos estrechos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Reducción de agua limitada por el efecto retardante.</li> <li>-Al incrementar la dosificación aumenta el efecto retardante.</li> <li>-Las sobredosificaciones pueden producir oclusiones de aire y reducen la resistencia mecánica.</li> </ul>
<b><u>Superplastificante</u></b> <i>0,5% - 2% del peso del cemento</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Reduce el contenido de agua: convencional:(12-25%) y de nueva generación:(35-40%).</li> <li>-Aumentan las resistencias como reductores de agua, y como fluidificantes, aumentan la docilidad.</li> <li>-Consistencia fluida.</li> <li>-Calidad homogénea, mínima segregación y exudación.</li> <li>-Disminución de retracciones y fisuración.</li> <li>-Facilidad de colocación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Hormigón bombeado, bajo agua, pretensado.</li> <li>-Hormigón de alta resistencia.</li> <li>-Hormigón de buena terminación.</li> <li>-Morteros y lechadas de inyección.</li> <li>-Hormigón para elementos esbeltos, con alta densidad de armaduras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sobredosis: Mayor dificultad de control de los parámetros (consistencia, segregación, etc) en función de ligeras variaciones de humedad, temperatura, contenido de finos, etc. En caso extremo, segregación y exudación.</li> </ul>
<b><u>Polifuncional</u></b> <i>0,3% – 1,2% del peso del cemento</i> Utilizables como plastificantes a bajas dosificaciones y como superplastificantes a dosis elevadas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Amplia gama en función de los requisitos (reducción de agua, tiempos de fraguado) y de los materiales empleados.</li> <li>-No provocan intensos retrasos de fraguado ni oclusión de aire (según las condiciones).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Especialmente en hormigón preparado en central hormigonera.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sobredosis: retraso de fraguado y oclusión de aire.</li> </ul>

**Tabla 3.1 "Aditivos más habituales"**

En segundo lugar, en la *tabla 3.2*, se hace referencia a aquellos aditivos de acción específica sobre alguna propiedad en concreto del hormigón.

ADITIVO Y DOSIFICACIÓN	PROPIEDAD QUE OTORGА AL HORMIGÓN	APLICACIONES	LIMITACIONES
<b><u>Inclusores de aire</u></b> <i>0,1% - 0,7% del peso del cemento</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Produce burbujas de aire que mejoran la resistencia al hielo-deshielo.</li> <li>-Algún tipo de aireantes tienen a la vez carácter plastificante/reductor de agua. Esto permite reducir agua y compensar la pérdida de resistencia por oclusión de aire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Protección al hielo-deshielo.</li> <li>-Protección contra agentes químicos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Menor resistencia mecánica.</li> </ul>
<b><u>Acelerantes</u></b> <i>0,5% - 2% del peso del cemento</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Reducción del tiempo de fraguado en función de la temperatura, dosis, etc.</li> <li>-Aumento de resistencias iniciales.</li> <li>-Reducción de resistencia a largo plazo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Hormigonado en tiempo frío.</li> <li>-Hormigón proyectado.</li> <li>-Hormigón prefabricado.</li> <li>-Reparaciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Pueden contener cloruros, por lo que hay que tener cuidado al aplicarlo a hormigones armados por la corrosión de las armaduras.</li> </ul>
<b><u>Retardantes</u></b> <i>0,1% - 1% del peso del cemento</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Retardan el inicio de fraguado manteniendo la docilidad por más tiempo.</li> <li>-Reducen el riesgo de fisuración al permitir la disipación del calor de hidratación por más tiempo.</li> <li>-Aumentan las resistencias a largo plazo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Hormigonado en tiempo caluroso.</li> <li>-Hormigones lentos, en trayectos largos y hormigonado de grandes masas.</li> <li>-Hormigón bombeado.</li> <li>-Hormigón premezclado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Sobredosis: Retraso de fraguado excesivo.</li> </ul>
<b><u>Impermeabilizantes</u></b> <i>0,5% - 3% del peso del cemento</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Disminuyen absorción de humedad.</li> <li>-Aumentan la impermeabilidad.</li> <li>-Reducen la relación A/C e interrumpen la red capilar.</li> <li>-Reducen penetración de agua bajo presión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Hormigones subterráneos.</li> <li>-Losas de cubiertas.</li> <li>-Estanques de hormigón.</li> <li>-Estucos exteriores.</li> <li>-Obras hidráulicas (canales, presas...).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-El uso debe unirse a una buena dosificación, compactación y curado.</li> <li>-Sobredosis: Segregación.</li> </ul>

**Tabla 3.2 "Aditivos de acción específica"**

### **3.3 ADITIVOS REDUCTORES DE AGUA**

Podemos clasificar a los aditivos agrupándolos en dos grandes grupos:

- Aditivos que reducen el agua
- Aditivos de acción específica

En este apartado se van a presentar las principales características de los reductores de agua, los cuales como su nombre indica tienen como función principal reducir el contenido de agua de la mezcla.

El hecho de producir hormigón con menos agua sin que se pierda la facilidad de colocación, mediante el uso de aditivos, significa aumentar la resistencia mecánica y la obtención de hormigones más impermeables y construcciones más durables en el tiempo.

Con respecto a un hormigón confeccionado sin aditivo, el hormigón con reductor de agua presenta las siguientes propiedades:

- El agua de amasado requerida para una docilidad dada disminuye en un grado dependiente del tipo y dosis del aditivo y del tipo de cemento principalmente.
- La disminución de la relación agua/cemento produce un aumento de la resistencia e impermeabilidad en un grado proporcional al agua reducida.
- Si el agua de amasado se mantiene, aumenta la docilidad en un grado dependiente del tipo de y dosis del aditivo y del tipo de cemento principalmente. Como la relación agua/cemento no varía, tampoco varía la resistencia mecánica.

A continuación se procederá a una breve explicación sobre cada uno de estos aditivos haciendo principalmente hincapié en los aditivos superplastificantes ya que son los aditivos utilizados en el desarrollo de este proyecto.

#### **Aditivos reductores Capacidad reductora**

Cada aditivo es capaz de reducir la cantidad de agua que necesita el cemento en un determinado porcentaje que se muestra en la *tabla 3.3*:

Aditivos reductores	Capacidad reductora
Plastificantes	10-11%
Polifuncionales	12-15%
Superplastificantes	20-25%
Superplastificantes de nueva generación	30-40%

Tabla 3.3 "Aditivos reductores"

### Aditivos Consistencia Relación a/c

Cada aditivo es capaz de variar la relación agua cemento dentro de los siguientes márgenes (*tabla 3.4*):

Aditivos	Consistencia	Relación agua/cemento
Plastificantes	Blanda	0.5-0.7
Polifuncionales	Blanda	0.45-0.65
Superplastificantes	Fluida	0.4-0.5
Superplastificantes de nueva generación	Fluida	0.28-0.65

Tabla 3.4 "Aditivos según su consistencia y relación agua/cemento"

### 3.3.1 Plastificantes

#### 3.3.1.1 Introducción

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

La acción física deriva principalmente de la incorporación de aire que producen algunos aditivos, cuyas burbujas, al actuar como especies de rodamientos entre las partículas sólidas, disminuyen la fricción interna.

La acción química proviene principalmente de una disminución de la velocidad de hidratación de los constituyentes del cemento, especialmente de los aluminatos.

Se obtiene de este modo una acción más completa (mejor mojado) de los granos de cemento, lo que permite también disminuir el roce interno entre las partículas.

### **3.3.1.2 Características**

- El aumento de la trabajabilidad permite la colocación del hormigón en estructuras complicadas, con alta densidad de armadura o con efectos superficiales especiales sin necesidad de incrementar la cantidad de agua de amasado y por consiguiente la dosis de cemento para obtener las resistencias especificadas.
- La disminución de la dosis de agua (entre un 5-10%) y en consecuencia de la relación 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.
- Dosificación entre un 0.3-0.6 % del peso del cemento.
- Se puede producir un efecto secundario como consecuencia de sobredosis que dará lugar a un retraso del fraguado.

### **3.3.1.3 Limitaciones**

- Reducción del agua limitada por el efecto retardante.
- Si se produce un aumento de la dosificación se producirá un aumento del efecto retardante.
- Las sobredosis pueden producir oclusiones de aire que darán lugar a una disminución de la resistencia mecánica.

## **3.3.2 Superplastificantes**

### **3.3.2.1 Introducción**

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

Los naftalenos son productos resultantes del proceso de refinado del carbón. Como características principales decir que permiten reducir el agua de amasado del hormigón en un 20%, le confieren una buena manejabilidad y mejora considerablemente las resistencias. Tiene como efecto negativo que puede 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 (*figura 3.1*).

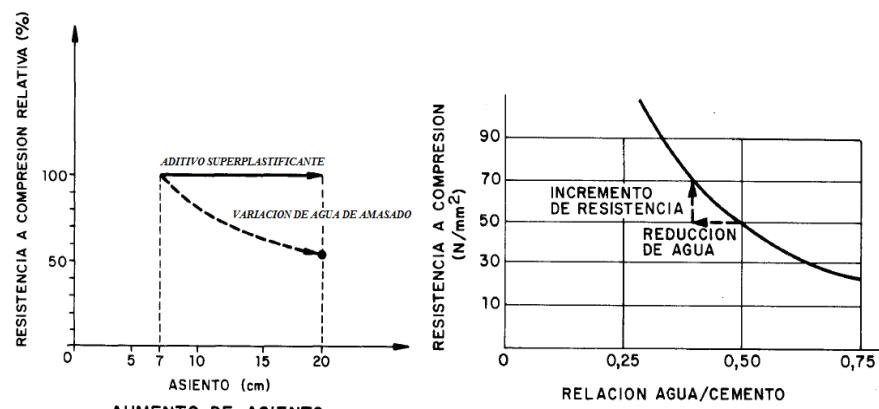


Figura 3.1 "Efecto del aditivo la relación agua/cemento y la resistencia del hormigón"

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

### 3.3.2.2 Formulación

Los superplastificantes 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 otro no polares (hidrófobos). Los superplastificantes 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 superplastificantes fueron los lignosulfonatos modificados (LSM) (*figura 3.2*), sales de condensado de naftaleno sulfonado y formaldehído (SNF) y sales de condensado de melamina sulfonada y formaldehido (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.

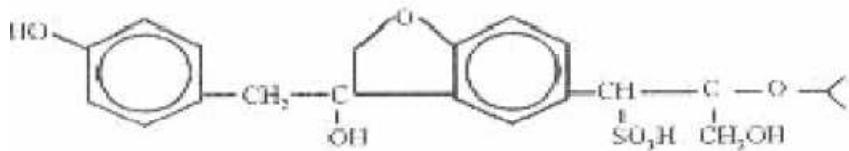


Figura 3.2 "Molécula lignosulfato "

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.

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 siguiente figura (figura 3.3) se observan las configuraciones químicas de la unidad cuya repetición n veces da lugar a SNF y SMF.

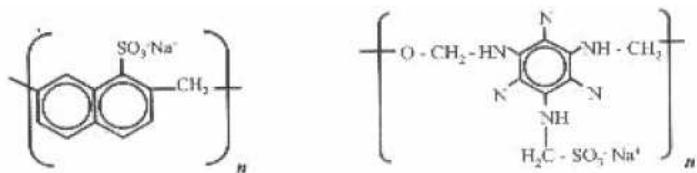


Figura 3.3 "Molécula de Naftaleno Sulfonado y Molécula de Melamina"

Más recientemente se han empleado como superplastificantes diferentes surfactantes poliméricos cuyos grupos funcionales responsables de su solubilidad en agua son de todo 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.

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.

### **3.3.2.3 Mecanismos de acción**

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

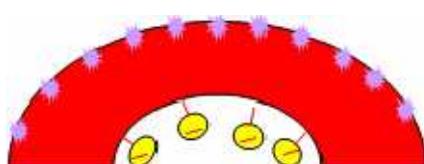
- INTERACCIONES FÍSICAS: la absorción de superplastificante sobre las partículas de cemento impide la floculación de éstas debido a una generación de una fuerza repulsiva de origen electroestático.
- INTERACCIONES QUÍMICAS: existencia de quimioabsorción, bloqueo de sitios reactivos en las partículas de cemento, formación de complejos con  $\text{Ca}^{2+}$ , etc.

#### **Adsorción de superplastificante 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 (*figuras 3.4 y 3.5*).



**Figura 3.4. "Molécula de aditivo"**



**Figura 3.5 "Grano de cemento recubierto de aditivo"**

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

- Repulsión electroestática: las moléculas de superplastificante se absorben sobre la superficie del cemento formando una capa cuya parte más exterior posee carga eléctrica del mismo signo. Sobre ésta 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 superplastificante son grandes y voluminosas crean una capa de adsorción de gran volumen que impide el acercamiento de las partículas de cemento.  
En el caso de interacción química se observa una distribución de la concentración de los componentes del aditivo (C y S) y del clincker (Ca) y no un cambio brusco como cabría esperar si solo hubiera adsorción física.  
Numerosos autores aseguran que la disminución de la concentración de Ca<sup>2+</sup> en la solución es debida a la formación de complejos entre el aditivo y el Ca<sup>2+</sup>.  
Este efecto es responsable del retraso del fraguado que ocurre en presencia de superplastificante, ya que la solución tarda más en sobresaturarse en Ca<sup>2+</sup> y en iniciar el periodo aceleratorio.

#### **3.3.2.4 Características de los superplastificantes**

Los superplastificantes se emplean en dosis mayores que los plastificantes reductores de agua, (0.8 a 3%) y pueden ser agregados al final del amasado sin diluir previamente en el agua.

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, remezclando el hormigón con el fin de prolongar el efecto por otro periodo.

Los hormigones fluidos obtenidos con estos aditivos pueden ser colocados con gran facilidad, pues son prácticamente autonivelantes y por lo tanto se reduce el trabajo de colocación y se elimina la necesidad de vibrar salvo en zonas densamente armadas.

Cuando los aditivos fluidificantes se emplean como reductores de agua se obtiene un incremento de algunas características del hormigón endurecido, especialmente su resistencia, durabilidad e impermeabilidad.

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, prefabricado y obras en que se requiere desarrollo rápido de resistencias.

Otro factor importante a tener en consideración, es sobre la base de ensayos de laboratorio y aplicaciones en obra que indican que la sobredosis de aditivo superplastificantes 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.

### **3.3.3 Polifuncionales**

#### **3.3.3.1 Introducción**

Son aditivos de propiedades comunes entre los aditivos reductores de agua/plastificantes y los reductores de agua de alta actividad/superplastificantes.

#### **3.3.3.2 Características**

- Utilizables como plastificantes a bajas dosificaciones (cumplen como reductores de agua/plastificantes según UNE-EN 934-2).
- Utilizables como superplastificantes a dosificaciones elevadas (cumplen como reductores de agua de alta actividad/superplastificantes según UNE-EN 934-2).
- Amplia gama en función de los requisitos demandados (reducción de agua, tiempos de fraguado) y de los materiales empleados.
- Especialmente utilizados en hormigón preparado en central de hormigonera.
- Coste bajo-medio y la dosis varía en función del efecto deseado de 0.3 a 1.2%.

- No provocan intensos retrasos de fraguado ni oclusión de aire (según las condiciones).

### **3.3.3.3 Limitaciones**

- Los efectos secundarios son los mismos que para los aditivos plastificantes pero se manifiestan en dosis superiores.
- Sobredosis: retraso de fraguado y oclusión de aire.

## **3.4 ADITIVOS DE ACCIÓN ESPECÍFICA**

A diferencia de los aditivos que reducen el agua, existen otros aditivos los cuales nos sirven para solucionar problemas o situaciones de forma puntual, los cuales explicaremos a continuación:

### **3.4.1 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.

Mientras más pequeña es la dimensión de las burbujas, mayor es la presión ejercida sobre ellas, por lo que éstas tienden a disolverse en el agua.

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

Los aditivos aireantes están constituidos por 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 más dóciles y trabajables
- Son más homogéneos, presentando mayor estabilidad para el transporte.
- Más impermeables y menos absorbentes
- Gran resistencia a las heladas

- Mayor resistencia a las aguas agresivas

La cantidad de aire y tamaño de las burbujas de aire incorporado aumentan con la mayor fluidez del hormigón. En relación con este último aspecto, pueden señalarse los siguientes valores:

- 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).

### **3.4.2 Aditivos que modifican el fraguado y el endurecimiento**

#### **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 más 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 cementos.

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

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 ó 90 días incluso pueden ser más elevados que en 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.

## **Hidrofugantes**

Son aditivos que reducen la absorción capilar del hormigón endurecido, estos son útiles siempre que se trate de un buen hormigón y suelen estar constituidos por materias finas o sales de ácidos grasos.

Normalmente, los aditivos hidrofugantes se combinan con otros aditivos, como acelerantes, inclusores de aire, etc. Estos tendrán que usarse en proporciones bajas, ya que si no resultaría difícil conseguir un reparto uniforme en el hormigón.

Tienen utilidad en prefabricados ligeros (bloques y elementos de hormigón seco compactado), morteros de revoco y no son aconsejables en elementos estructurales ya que pueden reducir la adherencia entre hormigón y armadura.

## **Impermeabilizantes**

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

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

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

- Compacidad, que, es función de la forma y granulometría de los áridos, de la dosificación de cemento, de los medios de puesta en obra empleados y del curado.
- Estructura de la pasta de cemento hidratada en la cual se encuentran microcristales de silicatos y aluminato de calcio que presentan una red de conductos capilares formados al evaporarse parte del agua durante el proceso de hidratación.

El primer material empleado para este fin fue el polvo de sílice; este polvo reacciona, aunque muy lentamente a la temperatura ambiente, con la cal liberada en la hidratación del cemento para formar silicato de calcio insoluble.

La actividad puzolánica de este material es muy escasa y los resultados de la impermeabilización muy variables.

Este material está indicado en el caso de hormigones pobres en cemento o con pocos finos, de lo contrario carece de interés, teniendo además el inconveniente de requerir mayor cantidad de agua en el amasado.

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

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

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

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

### **3.4.3 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.



## **CAPITULO 4**

# **Materiales y equipos**

# **utilizados.**



## 4.1 MATERIALES UTILIZADOS

### 4.1.1 Introducción

En este apartado se exponen todas las propiedades de los materiales empleados para conseguir el hormigón con las características que se buscan. Existen multitud de tipos de hormigón, los cuales varían en su composición dependiendo de las condiciones ambientales y del lugar donde va ser utilizado. Para este proyecto el hormigón utilizado es el HA-25 / B / 20 / IIa+Qc:

- HA-25: Hormigón armado de resistencia característica a 28 días de 25 MPa.
- B: Consistencia blanda (Asiento en cono de Abrams = 6-9 cm).
- 20: Tamaño máximo del árido = 20 mm.
- IIa: Clase general de exposición normal con humedad alta.
- Qc: Puzolana

### 4.1.2 Cemento

El cemento empleado es el CEM I/SRS 42.5R, descrito anteriormente, es un cemento muy fuerte, capaz de aguantar condiciones extremas tanto del mar como de superficies con sulfatos, su mayor uso es en las cimentaciones de los edificios y en construcciones marinas

#### CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO (UNE-EN 80803-1)

##### COMPONENTES

- Clínker: 95-100%
- Componentes minoritarios: 0-5%

##### CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

- Pérdida por calcinación  $\leq 5,0\%$
- Residuo insoluble  $\leq 5,0\%$
- Sulfato  $\leq 4,0\%$
- Cloruros  $\leq 0,10\%$
- Cromo (VI) soluble en agua  $\leq 2 \text{ ppm}$ .
- Aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) del clínker  $\leq 5,0\%$
- Aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) + ferrito aluminato tetracálcico ( $C_4AF$ ) del clínker  $\leq 22\%$ .

### **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

- Inicio de fraguado  $\geq$  60 minutos.
- Expansión  $\leq$  10 mm.

### **RESISTENCIAS A COMPRESIÓN**

- Resistencia a compresión a 2 días  $\geq$  20,0 MPa.
- Resistencia a compresión a 28 días  $\geq$  42,5 MPa.  $\leq$  62,5 MPa.

### **Indicado para:**

- Hormigón armado y en masa para obras en ambientes, aguas y terrenos agresivos por salinidad o sulfatos.
- Piezas de hormigón armado de mediano volumen.
- Hormigón seco compactado.
- Todo tipo de elementos prefabricados estructurales y pretensados.
- Hormigones con áridos potencialmente reactivos
- Obras marítimas.

### **Limitaciones**

- Cuidar la dosificación, el amasado y el curado, especialmente en climas secos a elevadas temperaturas, con el fin de evitar la desecación rápida causante de la retracción.

### **4.1.3 Áridos**

Este proyecto ha sido realizado con áridos recogidos en la cantera de Mariano López Navarro en la localidad de Bárboles (Zaragoza). Son materiales granulares inertes que no reaccionarán con el cemento ni con agentes medioambientales. Se ha usado arena fina lavada, arena fina triturada y dos tamaños de grava distintos (*figura 4.1*), una de tamaño medio y otra de tamaño grueso. Se denomina grava o árido grueso a la fracción mayor de 4 mm y arena o árido fino a la menor de 4 mm. Los áridos se designan por su tamaño mínimo (d) y máximo (D) expresados en milímetros y para ello, se utiliza la expresión “árido d/D”.

Los áridos usados en el hormigón cumplen con el marcado CE y con el art. 28 de la EHE08.



**FIGURA 4.1** “*Distintos tamaños de grava usados*”

## 4.2 EQUIPOS UTILIZADOS

### 4.2.1 Báscula de precisión

Báscula de precisión de la marca Mettler (*figura 4.2*), modelo PM-30, utilizada para el pesado de todos los componentes del hormigón; los áridos, el agua y el aditivo.

Esta báscula pesa un máximo de 30 Kg con una precisión de 0,001 Kg.



FIGURA 4.2 “Báscula de precisión”

### 4.2.2 Hormigonera

Se trata de una hormigonera de tambor basculante con corona, de la marca Torgar, modelo H200 (*figura 4.3*), utilizada para la mezcla y el amasado del hormigón. Ahora se detallan las principales características de la hormigonera (*tabla 4.1*):

- Eje del tambor montado en rodamientos de engrase permanente.
- Sistema de vuelco ergonómico: volante de vuelco con pedal de seguridad.
- Posibilidad de accionamiento mediante motor eléctrico o de combustión.
- Cuba extra resistente, con borde reforzado y palas de amasado de alto rendimiento.
- Virolo de una pieza en fundición, con doble rodamiento estanco.
- Chasis de gran estabilidad.
- Fabricada según la Directiva Europea de Máquinas 98 – 37 – CEE.

Volumen de la cuba (litros)	Capacidad útil de amasado (litros)	Potencia motor eléctrico (CV)	Potencia motor gasolina (CV)	Potencia motor diesel (CV)	Dimensiones (m)	Peso sin motor (Kg)	Espesor de la cuba fondo/cilindro (mm)	Anchura de la corona (mm)
265	200	2	2	3/6	1,6x1x1,6	237/260	5/4	48

Tabla 4.1 “Características de la hormigonera”



**Figura 4.3 "Hormigonera"**

#### **4.2.3 Cono de Abrams**

Molde metálico troncocónico de dimensiones normalizadas, diámetro de la base de 20 cm y un diámetro de la parte superior de 10 cm, con una altura de 30 cm (*figura 4.4*).

Se llena en tres capas de la misma altura apisonadas con 25 golpes de varilla (pisón) y, posteriormente, se retira el molde y se mide el asentamiento que experimenta la masa de hormigón fresco colocada en su interior.

Esta medición se lleva a cabo midiendo la disminución de la altura de la masa de hormigón respecto al molde, expresada en centímetros. La medición se hace en el eje central del molde en su posición original. De esta manera, la medida del asiento permite determinar principalmente la fluidez y la forma de derrumbamiento para apreciar la consistencia del hormigón.



**Figura 4.4 "Cono de Abrams"**

#### **4.2.4 Probetas**

Probeta cilíndrica de acero cuyas dimensiones son Ø15x30 cm y aproximadamente 5,3 litros de capacidad (*figura 4.5*). Estas probetas cumplen con la norma UNE 83301:91 y el método de llenado es similar al anteriormente explicado para el cono de Abrams.



**Figura 4.5 “Probetas”**

#### **4.2.5 Cámara húmeda**

Esta cámara reúne unas condiciones especiales (temperatura de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $>95\%$  de humedad relativa) cumpliendo con la (EHE) (*figura 4.6*). Ahí se almacenan y se conservan las probetas para su curado una vez desmoldadas, hasta el momento de romperlas.



**Figura 4.6 “Cámara húmeda”**

#### 4.2.6 Calentador de azufre y soporte para refrentar

El calentador de azufre es un horno utilizado para la preparación del azufre en estado líquido para el posterior refrentado de las probetas. Cuenta con equipo termostático para el control de la temperatura y está provisto con doble pared y aislamiento térmico por aceite, además de un sistema de calentamiento mediante resistencias blindadas de inmersión (*figura 4.7*).

El refrentador es un utensilio de acero para obtener superficies planas y paralelas en las dos caras de la probeta, así como perpendiculares al eje del cilindro, usando la mezcla de azufre fundido. La probeta apoya sobre una fina capa de azufre líquido que se endurece rápidamente para dejar las caras totalmente paralelas para su correcto ensayo en la máquina de compresión (*figura 4.8*).



Figura 4.7 “Calentador”



Figura 4.8 “Soporte para refrentar”

A continuación (tabla 4.2) se indica las principales características del calentador de azufre:

Marca y modelo	Capacidad de la cuba (litros)	Capacidad del depósito de aceite (litros)	Resistencia eléctrica (Watos)	Termostato de regulación (°C)	Termostato de seguridad (°C)	alimentación	Dimensiones (cm)
Insotecnic S12	12	15	2x1500	Hasta 200	Hasta 230	220-240V Monofásico 50Hz 3000W	32x34x57.5

Tabla 4.2 “Características técnicas del calentador de azufre”

#### 4.2.7 Máquina de ensayo a compresión

Prensa de alta estabilidad utilizada para realizar los ensayos de compresión sobre las probetas de hormigón (*figura 4.9*).

La máquina consta de un pistón controlado hidráulicamente y un dispositivo electrónico que permite introducir los diferentes ensayos, las medidas de las probetas, el gradiente de velocidad, etc. Dispone de una ruleta con doble función, por un lado, permite aproximar rápidamente el pistón para evitar tiempos muertos, y por otro, permite nivelar el plato superior. Cuando la máquina detecta la rotura de la probeta, se para automáticamente y muestra los resultados en la pantalla. Esta máquina tiene la capacidad de ejercer hasta 3000 KN.



**Figura 4.9** “Máquina de ensayo a compresión”

A continuación se expone una tabla (*tabla 4.3*) con las características técnicas de la máquina de compresión utilizada.

Marca y modelo	Distancia max. entre platos (mm)	Diámetro/espesor de los platos (mm)	Recorrido del pistón (mm)	Peso (kg)	alimentación	Dimensiones (mm)	Clase de precisión
<b>Matest C089-8</b>	<b>336</b>	<b>287/60</b>	<b>60</b>	<b>1070</b>	<b>220-240V Monofásico 50Hz 750W</b>	<b>750x450x1500</b>	<b>Clase 1</b>

**Tabla 4.3** “Características técnicas de la máquina de compresión”

# **CAPITULO 5**

## **Ensayos y**

## **resultados.**



## **5.1 ENSAYOS DE LABORATORIO**

### **5.1.1 Ensayo granulométrico**

#### **Caracterización del árido**

Para fabricar hormigón, lo primero que se debe conocer son los áridos, por lo tanto, los ensayos de laboratorio comienzan con la caracterización del árido para lo cual se siguen los siguientes pasos:

- 1) Los áridos se recogen directamente de la cantera de Mariano López Navarro por lo que no es necesario realizar una criba para separar los distintos tamaños de grano.
- 2) Posteriormente, es necesario conocer la cantidad de agua retenida en cada uno de los áridos. Este paso tiene especial importancia para la arena fina, ya que es el árido que mayor cantidad de humedad presenta, lo que afecta a la relación agua/cemento del hormigón.
- 3) Los áridos gruesos no presentan una cantidad excesiva de humedad por lo que se acepta el valor de 1% de humedad. Para la arena fina, se recoge una cantidad significativa, alrededor de 1 Kg, y se introduce en el horno para conocer la cantidad de agua retenida y poder introducirla en la dosificación, y de esta forma, ajustar la cantidad de agua necesaria en la mezcla.
- 4) Se deja en el horno el tiempo suficiente para evaporar totalmente el agua que contiene la arena, removiéndola de vez en cuando para favorecer la evaporación.
- 5) Una vez evaporada el agua, se saca la arena del horno y se vuelve a pesar para obtener la diferencia de peso respecto de la cantidad inicial. Esa diferencia corresponde con el agua que estaba retenida.
- 6) La cantidad de agua retenida se expresa con el correspondiente porcentaje en peso del agua respecto al árido seco.  
(Agua retenida / arena seca = % humedad de la arena)

#### **Determinación de la granulometría del árido**

Este método de ensayo abarca el procedimiento para la determinación de la distribución de los tamaños de las partículas de agregado grueso y de agregado fino empleando tamices de aberturas cuadradas siendo también aplicables al empleo de cribas de laboratorio de aberturas circulares. La granulometría de los áridos es uno de los ensayos más importantes, ya que de éstos dependerán las propiedades de los

diferentes tipos de hormigón: la manejabilidad del hormigón fresco, la demanda de agua, la compacidad y la resistencia mecánica del hormigón endurecido.

La norma establece el procedimiento para efectuar el tamizado y determinar la granulometría de los áridos de densidad real normal. En este caso se utilizan los tamices de la norma UNE – EN 933-1:1998, con aberturas de tamices que aparecen a continuación. El juego de tamices de ensayo tiene tapa y fondo herméticos.

Este método se aplica a áridos de origen natural o artificial, incluidos los áridos ligeros, con una dimensión nominal de hasta 90 mm. El juego de tamices se elegirá de acuerdo al material a ensayar y serán dispuestos en orden descendente de abertura y provisto de tapa y recipiente receptor del residuo. El juego de tamices debe estar limpio y seco (*figura 5.1*).



**Figura 5.1 “Juego de tamices”**

### **Ejecución del ensayo**

- 1) Se introduce la masa de árido del ensayo en estado seco. Es necesario seleccionar la cantidad mínima de muestra de árido en función del tamaño máximo de árido, según los valores que marca la norma (*tabla 5.1*).

Tamaño máximo D (mm)	90	63	32	16	8	≤4
Masa mínima seca de muestra (Kg)	80	40	10	2,6	0,6	0,2

**Tabla 5.1 “Masa mínima seca de muestra de ensayo”**

- 2) Se vacía la muestra a ensayar en el juego de tamices. Se vibra durante el tiempo necesario para que la granulometría sea lo más precisa posible.
- 3) Se pesa en la báscula la cantidad de árido retenida por cada tamiz.

- 4) Se calcula la masa total o suma de las fracciones retenidas en todos los tamices y en el recipiente receptor. Se comprueba que la masa total no varíe de masa inicialmente introducida en los tamices.
- 5) Se expresa la granulometría como el porcentaje acumulado que pasa respecto de la masa seca total de material.

La granulometría del árido que utilizamos para la elaboración de este proyecto se cita a continuación (tabla 5.2).

Tamiz UNE (mm)	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
% que pasa	97,7	80,3	67,5	52,3	28,6	8,1	2,2

Tabla 5.2 "%paso según UNE"

La granulometría también puede expresarse como el porcentaje retenido acumulado o como porcentaje retenido parcial.

### **5.1.2 Ensayo de consistencia. Cono de Abrams**

La docilidad de un hormigón puede considerarse como la aptitud de un hormigón para ser puesto en obra. La docilidad permite que el hormigón rodee las armaduras y rellene completamente los encofrados sin que se produzcan coqueras.

Esta trabajabilidad del hormigón está relacionada directamente con su consistencia y depende de multitud de factores: cantidad de agua de amasado, granulometría, procedencia de los áridos o contenido de cemento.

El ensayo de consistencia viene definido en la norma UNE 83313, para una correcta toma de las muestras y realización del cono de Abrams. En la norma se describe una serie de pautas a seguir en cada tipo de ensayo:

- La muestras deberán ser lo más representativas posibles del hormigón objeto de control, y al menos 1,25 a 1,50 veces el volumen de las probetas.
- Cuando se trata de hormigoneras fijas o camiones hormigonera, la muestra debe obtenerse pasando el recipiente de recogida a través de toda la corriente de descarga, cuidando que la velocidad de descarga no sea demasiado lenta y se produzca segregación.

- Las muestras se tomaran en el periodo de  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{3}{4}$  de la descarga para conseguir una muestra más uniforme y representativa.
- La muestra deberá estar protegida del sol, viento y lluvia, debiendo evitarse su desecación.
- El periodo de tiempo entre la toma de la muestra y su utilización no debe exceder en 15 min.
- Se utiliza un molde metálico troncocónico, provisto de dos asas. El diámetro de la base superior es de 100 mm  $\pm$  2mm, el diámetro de la base inferior es de 200 mm  $\pm$  2 mm y la altura es de 300 mm  $\pm$  2mm.
- Este ensayo no es aplicable con áridos mayores de 40 mm. Además si el asiento es inferior a 1 cm, el ensayo es muy poco significativo.

### **Ejecución del ensayo**

1) Llenado: La cantidad necesaria para efectuar este ensayo no será inferior a 8 litros. Se coloca el molde sobre la plancha de apoyo horizontal, ambos limpios y humedecidos con agua. El operador se coloca sobre las pisaderas evitando el movimiento del molde durante el llenado y se llena el molde en tres capas apisonadas cada una con 25 golpes de varilla distribuidos uniformemente.

2) Apisonado: Al apisonar la capa inferior se dan los primeros golpes de varilla. Al apisonar la capa media y superior se darán los golpes de modo que la varilla penetre en la capa subyacente. Durante el apisonado de la última capa se deberá mantener permanente un exceso de hormigón sobre el borde superior del molde. Por último, se enrasa la superficie de la capa superior y se limpia el hormigón derramado en la zona adyacente al molde. Después se carga el molde con las manos, sujetando por las asas y dejando las pisaderas libres, y se levanta en dirección vertical sin perturbar el hormigón en un tiempo de  $5 \pm 2$  segundos. Toda la operación de llenado y levantamiento del molde no debe demorar más de 2,5 minutos.

3) Medición del asiento: Una vez levantado el molde se mide inmediatamente la disminución de altura del hormigón moldeado respecto del molde. La medición se hace en el eje central del molde en su posición original. De esta manera, la medida del asiento permite determinar la fluidez y la forma de derrumbamiento para apreciar la consistencia del hormigón.

Los hormigones se clasifican por su consistencia en secos, plásticos, blandos, fluidos y líquidos. La consistencia líquida no es admisible para hormigón armado.

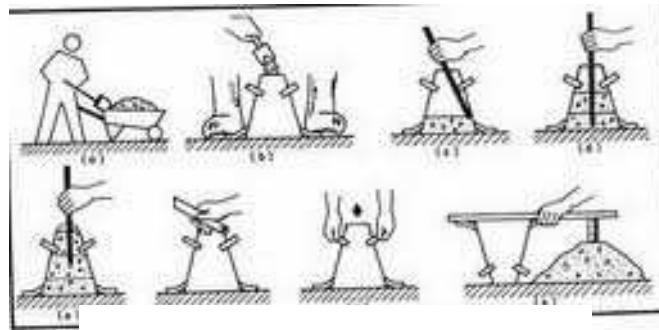


Figura 5.2 "Método ensayo consistencia"

Consistencia Asiento en cono de Abrams (cm) (tabla 5.3):

Consistencia	Asiento en cono de Abrams (cm)
Seca (S)	0 a 2
Plástica (P)	3 a 5
Blanda (B)	6 a 9
Fluida (F)	10 a 15
Líquida (L)	$\geq 16$

Tabla 5.3 "Consistencia asiento"

### 5.1.3 Realización de las probetas

Los ensayos principales sobre el hormigón endurecido son los correspondientes a sus resistencias mecánicas mediante rotura de probetas. Las probetas deben cumplir unas dimensiones normalizadas para que el ensayo se desarrolle de forma correcta. El llenado de las probetas se realiza siguiendo la norma UNE-83301. Para la realización de las probetas son necesarios los siguientes utensilios:

**a) Probetas:**

La forma y dimensiones deben ser las siguientes:

- Cubos de arista a.
- Cilindros de diámetro a y altura 2a.
- Prisma de arista a y longitud 4a o 5a.

La arista a, ha de ser mayor que tres veces el tamaño máximo del árido, debiéndose adoptar la serie de valores a=10, 15, 20, 25 y 30 cm. Para este proyecto se han utilizado probetas cilíndricas de a = 15 cm.

**b) Moldes normalizados**

Los moldes deben de ser rígidos y no absorbentes. Sus caras planas han de tener una tolerancia de  $\pm 0.05\text{mm}$  y sus ángulos no tendrán variaciones superiores a  $\pm 0.05^\circ$ . Han de ser estancos, siendo conveniente untarlos con aceite mineral o cualquier otra sustancia desencofrante que no ataque al cemento, con objeto de evitar la adherencia del hormigón (*tabla 5.4*).

Molde	Dimensión (a)	Nº de capas de llenado para su vibrado
Cúbico	100 mm	2
Cúbico	150 mm	2
Cúbico	200 mm	2
Prismático	150x150x530 mm	3
Prismático	150x150x600 mm	3
Cilíndrico	100 mm	3
Cilíndrico	150 mm	3

**Tabla 5.4 "Moldes normalizados"**

- c) **Barra de picado:** La barra de picado debe ser rectilínea, de acero, de 16 mm de diámetro y longitud de 60 cm. En sus 25 mm finales será troncocónica y estará rematada en su extremo por un casquete esférico de 6 mm de radio (*figura 5.3*).



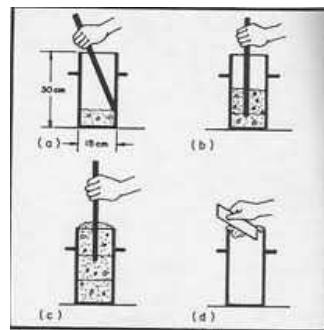
**Figura 5.3 "Barra de picado"**

A continuación se explica el método para la realización de las probetas, únicamente en caso de probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura que son las utilizadas en el proyecto.

### **Ejecución de las probetas**

- 1) **Compactación:** Existen dos tipos de compactación. La compactación por vibrado se utiliza para hormigones cuyo asiento en el cono de Abrams sea menor de 4 cm. La compactación por picado se utiliza para aquello

cuyo cono de Abrams sea mayor o igual a 4 cm. Para este proyecto se ha usado este último. La confección de las probetas se efectúa colocando el hormigón en tres capas de igual espesor, en las que su compactación se lleva a cabo picando con una barra metálica, a razón de 25 golpes distribuidos uniformemente. En cada golpe la barra debe penetrar ligeramente en la capa subyacente (*figura 5.4*).



**Figura 5.4** “Proceso de compactación”

- 2) **Acabado de la probeta:** Una vez compactado el hormigón en la probeta, ésta debe ser convenientemente enrasada con pasta de cemento. Se aplica sobre la cara superior de la probeta, de tal forma que no aparezcan irregularidades superiores a 2,5 mm y que no se rebase la tolerancia de perpendicularidad de la base respecto al eje, la cual es de 1,5º. Más tarde, una vez curada la probeta, será necesario refrentar esa cara de la probeta para obtener una superficie de mayor regularidad para su ensayo a compresión (*figura 5.5*).



**Figura 5.5** “Probetas acabadas”

#### **Conservación y curado de las probetas**

Al igual que en el apartado anterior, la norma UNE 83301 estipula la forma en que se han de conservar las probetas.

Las probetas destinadas a ensayos de resistencia de hormigón deben quedarse en los moldes durante 24 horas, conservándose a una temperatura comprendida entre 16 y 27°C hasta el momento de ser transportadas a la cámara de conservación. Este transporte se deben realizar con sumo cuidado y antes de que transcurran 48 horas. El lugar de conservación normalizado consiste en una cámara húmeda cuya humedad relativa es igual o superior a 95% y una temperatura de 20°C ± 2°C. Esta cámara húmeda puede sustituirse por una balsa de inmersión con unas condiciones de pH y temperatura normalizadas. Las probetas se mantienen de esta forma hasta el momento de la rotura.

Cuando se trata de determinar la resistencia real u otras cualidades del hormigón en obra, las probetas deben conservarse en unas condiciones tan próximas como sea posible a las de la estructura objeto del ensayo.

#### **5.1.4 Ensayo de compresión**

Después de permanecer las probetas en la cámara húmeda durante 7 o 28 días se procede a su rotura en el ensayo de compresión. La determinación de la resistencia a compresión está regulada en España por la norma UNE-EN 12390-3, “Ensayos en el hormigón endurecido”.

La realización de ensayo se lleva a cabo en dos pasos. En primer lugar se realiza un acabado superficial para evitar irregularidades y, en segundo lugar, la probeta se somete al ensayo de compresión.

##### **Acabado superficial: Refrentado**

Según el Anejo A, de la norma UNE-EN 12390-3, las caras planas de carga de las probetas destinadas al ensayo de rotura por compresión que tengan imperfecciones superiores a 0,1 mm deben ser refrentadas de modo que presenten una superficie plana adecuada y normal al eje cilíndrico, con una tolerancia de 0,5º. Para este proyecto el refrentado ha efectuado con un mortero de azufre líquido obtenido mediante tratamiento térmico en un calentador a 130°C (*figura 5.6*).

Antes de refrentar se asegura que la cara a refrentar está perfectamente limpia y seca. Se aplica una capa de azufre de entre 3 y 8 mm de espesor vertiendo el azufre sobre el plato de refrentado y apoyando la cara de la probeta a refrentar asegurando la verticalidad de la probeta en todo momento.

Después se comprueba que el material de refrentado se ha adherido perfectamente a la probeta y se deja durante 30 minutos antes de realizar el ensayo de compresión (*figura 5.7*).



Figura 5.6 “Proceso de refrentado”



Figura 5.7 “Probetas refrentadas”

### Método de ensayo

Este método de ensayo está regulado por la norma UNE-EN 12390-3:

- 1) Se prepara la prensa limpiando las superficies de carga y se introduce la probeta. Es importante dejar la probeta centrada sobre el plato inferior para realizar el ensayo correctamente. Posteriormente se lleva la probeta hasta el plato superior hasta que quede en contacto con la parte superior de la misma probeta (*figura 5.8*).



Figura 5.8 “Probeta colocada en prensa”

- 2) La carga se aplica a una velocidad constante tal que el incremento de la carga por segundo produzca un aumento de la tensión de  $0,5 \pm 0,2$   $\text{N/mm}^2$ .
- 3) Se continúa el ensayo hasta la rotura, registrando la carga máxima soportada por la probeta (*figura 5.9*).



**Figura 5.9** “*Probeta rota después del ensayo*”

## **5.2 DESARROLLO DEL PROYECTO**

### **5.2.1 Introducción**

En este apartado se van a exponer e interpretar los resultados obtenidos de las distintas probetas ensayadas durante la realización del proyecto. La finalidad principal de los ensayos es buscar que dupla de aditivos, superplastificante y polifuncional, cada pareja de distinta casa comercial es más adecuado para lo que queremos emplear el hormigón, es decir cual es más económico y que cumple las condiciones de uso.

El proceso seguido ha consistido en a partir de una dosificación patrón que nos entrega MLN, modificar tanto cantidades de cemento como de aditivo siempre manteniendo constante alguna de las partes para ver cómo influye en el hormigón, y comprobar cómo en las mismas condiciones de resistencia y trabajabilidad qué resulta más económico.

En éste proyecto se van a utilizar dos grupos de aditivos de empresas diferentes, a un grupo de aditivos los llamaremos A y al otro grupo B, siendo los superplastificantes A o B con el subíndice “s” y los polifuncionales con el subíndice “p”.

Ambas empresas, en las especificaciones de sus respectivos aditivos, incluyen las mismas características, típicas de superplastificantes.

## 5.2.2 Componentes utilizados en este proyecto

La finalidad del proyecto es hacer hormigón con cemento sulfuroresistente, con una resistencia de unos 25Mpa y que tenga una buena trabajabilidad además de un cono Abrams blando de 6-9 cm (+1), es decir conos de 5 cm o 10 cm también nos valdrían pero un cono de 5 cm tiene mucha menor trabajabilidad en obra que un cono de 10 cm.

Las propiedades del hormigón dependen de multitud de factores, principalmente de sus componentes, por lo tanto, cabe destacar la importancia de especificar el origen y dosificación de cada uno de ellos.

1. Los áridos utilizados en este proyecto han sido recogidos directamente de la planta en la cantera de la empresa Mariano López Navarro (MLN) situada en la localidad de Bárboles (Zaragoza). Para fabricar el hormigón citado anteriormente, se han utilizado cuatro tipos de árido (*tabla 5.5*):

Árido	Tamaño (mm)	tipo
Arena fina	0-4	lavada
Arena fina	0-4	triturada
Árido grueso	6-12	lavada
Árido grueso	12-22	lavada

**Tabla 5.5 “Tipos y tamaño del árido utilizado”**

- a) El cemento que se ha usado es del tipo CEM I SR 42,5 R.
- b) El aditivo ha sido proporcionado por dos empresas líderes del sector, todavía se están probando.
- c) El agua se ha recogido directamente de la instalación de agua del recinto de la empresa Mariano López Navarro (MLN).

Para calcular la humedad se extrae de cada saco una muestra de arena que primeramente es pesada, y posteriormente es introducida en el horno con el fin de quitarle toda la humedad y volver a ser pesada. De esta forma se puede calcular el % de agua retenida en la arena. Por lo tanto, según el resultado obtenido, se modifica la dosificación para mantener en todo momento la relación agua/cemento, ya que ésta característica del hormigón influye directamente en su resistencia final. La relación agua/cemento debe ser tan baja como sea posible teniendo en cuenta que el hormigón debe cumplir unos requisitos de trabajabilidad.

Además de la arena, los áridos gruesos también presentan cierta humedad que no suele presentar variaciones, por lo tanto, durante todo el proyecto se ha adoptado un valor constante de humedad de dichos áridos de un 1%.

A lo largo del proyecto se ha variado la dosificación, unas veces se han cambiado los aditivos, otras el cemento y la dosificación del aditivo, los áridos son siempre los mismos, las mismas granulometrías y la humedad ha sido calculada para tener siempre la misma relación agua/cemento. De esta manera se estudia la influencia de la dosis del aditivo en el hormigón.

Por último el pesado se ha llevado a cabo en una balanza con precisión hasta el gramo con el fin de cumplir la dosificación de la amasada de la forma más precisa posible.

### **5.2.3 Fabricación de las probetas del proyecto**

La metodología empleada ha consistido en la realización de amasadas de 40 litros de hormigón en una hormigonera convencional (*figura 5.10*) como las usadas en las obras para simular condiciones lo más reales posibles.



**Figura 5.10 "Hormigonera"**

Los componentes se introducen en su interior respetando un orden para su correcta mezcla:

1. Se introducen los árido empezando por el de mayor tamaño y terminando por la arena.
2. Se introduce el cemento.
3. Se vierte el agua mezclada con el aditivo.

### **5.2.4 Ensayo de consistencia del hormigón**

La consistencia del hormigón es la facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse, por lo tanto, lo que se ha intentado ver con este ensayo es la pérdida de trabajabilidad al aumentar, tanto la dosificación de aditivo como la de cemento.

Realmente la consistencia varía con multitud de factores que para este proyecto han sido siempre constantes: la cantidad de agua de amasado, el tamaño máximo del árido, la granulometría, la temperatura (aunque ha variado ligeramente y más tarde indicaremos en qué influye) o la forma de los áridos; el que más influye es la cantidad de agua de amasado.

Existen varios procedimientos para determinar la consistencia, en este caso se ha utilizado el cono de Abrams (*figura 5.11*), de acuerdo con la norma *UNE 83313:90*.



**Figura 5.11 “Cono de Abrams utilizado en el ensayo de consistencia”**

Es un molde troncocónico de 30 centímetros de altura que se rellena con el hormigón objeto de ensayo. La pérdida de altura que experimenta la masa fresca una vez desmoldada, expresada en centímetros, da una medida de su consistencia.

Para este ensayo se han recogido los valores de consistencia en distintos momentos del amasado: 5 mins, 15 mins, 25 mins, 40 mins. Como ya veremos más adelante, no se ha realizado este ensayo para todos los grupos de hormigón.

### **5.2.5 Realización de las probetas**

Una vez que el hormigón ha permanecido 40 minutos, como norma general, se realizan las probetas cilíndricas (*figura 5.12*) de 15cm de diámetro y 30cm de altura.

Antes de llevar a cabo las probetas, es necesario comprobar que los moldes están limpios y con una capa de líquido desencofrante (*figura 5.13*) en su interior para facilitar un correcto desmolde a la hora de sacar las probetas.



**Figura 5.13 “Recipiente y rodillo para aplicar líquido desencofrante”**

De cada amasada de 50 litros se han obtenido cuatro probetas (*figura 5.14 y 5.15*).



**Figura 5.14 “Probetas antes del llenado”**



**Figura 5.15 “Probetas después de un día”**

Posteriormente, una vez que las probetas han salido de su molde, han sido introducidas en una cámara húmeda (*Norma UNE 83301:91*), con unas condiciones óptimas de conservación, una temperatura de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  y  $>95\%$  de humedad relativa, hasta el momento del ensayo (*Figura, 5.16 y 5.17*).



Figura 5.16 “Cámara húmeda”



Figura 5.17 “Controlador de humedad de la cámara húmeda”

Para este proyecto se han realizado cuatro probetas por dosificación para realizar el ensayo a compresión, dos a 7 días y dos a 28 días. Además, para asegurar la repetibilidad de los resultados se han repetido 3 veces cada una de las dosificaciones para obtener seis datos de resistencia de cada prueba.

### **5.2.6 Ensayo de compresión**

El ensayo de compresión (*figura 5.18*) ha tenido lugar 7 y 28 días después de cada prueba para conocer los resultados de la tensión de rotura a compresión límite de cada probeta, según el método de ensayo indicado en la norma *UNE 83304:84*. De cada ensayo se han obtenido cuatro valores con los cuales se ha calculado la media y de esta forma, se ha comprobado si cumple los requisitos del hormigón cuya resistencia en obra debe ser 25MPa. La resistencia característica que se consigue en obra es menor que la resistencia media obtenida en ensayos de laboratorio, por lo tanto, posteriormente se analizará si los resultados obtenidos cumplen los requisitos de resistencia.



Figura 5.18 “Máquina de ensayo a compresión”

## 5.3 RESULTADOS

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos para cada dosificación. En primer lugar aparecerá una tabla en la que se indicará la relación agua cemento (a/c), el cono de Abrams y las resistencias a compresión medias obtenidas a 7 y 28 días, así como en algún caso concreto la consistencia de la masada a lo largo de los 40min como se ha comentado antes y alguna condición especial como un aumento de temperatura significativo.

En la realización se van a probar dos duplas de aditivos, uno superplastificante y otro polifuncional, de diferentes casas comerciales, a la una dupla la llamaremos *aditivos A* y a la otra *aditivos B*.

Primero se va a realizar el estudio con los aditivos de la marca A y posteriormente con los aditivos de la marca B.

Las dosificaciones patrón ofrecidas por cada compañía tienen un determinado porcentaje de cada aditivo, que no se nos ha dado y una relación agua cemento determinada.

Las relaciones agua/cemento teóricas se mantienen constantes a lo largo de cada familia de dosificaciones, aunque la expuesta en las tablas es la real, es decir la relación agua/cemento tras añadir agua durante el amasado.

Destacar que para el cálculo de las resistencias medias se ha tenido en cuenta la dispersión de los dos valores obtenidos para cada muestra, ya que habrá valores no representativos. Para garantizar los resultados se ha seguido lo indicado en el Anejo 19 “*Niveles de garantía y requisitos para el reconocimiento oficial de los distintivos de calidad*” de la “*Instrucción de hormigón estructural (EHE 08)*” (tabla 5.6). En dicho documento dice que: “Las resistencias obtenidas presentan una dispersión acotada, de forma que en cada caso los valores de la desviación típica 3.6 de la población y de su coeficiente de variación 0.110 sean simultáneamente inferiores a unos valores, ya calculados, en función de la resistencia característica del hormigón”.

Resistencia especificada para el hormigón, $f_{ck}$ ( $N/mm^2$ )	Desviación típica de la población $\sigma$ ( $N/mm^2$ )	Coeficiente de variación de la población $\delta$
25	3,6	0,110

Tabla 5.6 “Valores característicos según EHE”

### **5.3.1 Aditivos “A”**

#### **Patrón A:**

La dosificación patrón, sobre la que trabajaremos, nos ha sido proporcionada por MLN, pero la información llega de la casa comercial del aditivo, que según esta dosificación ha realizado unos ensayos en su laboratorio, de los cuales se extraen los siguientes datos de rotura a 7 y 28 días (*tabla 5.7*):

7 días (Mpa)	28 días (Mpa)
41,4	48,4

**Tabla 5.7** “Valores de resistencia patrón aditivo A Proporcionado por el fabricante”

#### **Dosificación 1A:**

Se varía únicamente la cantidad de cemento, se aumenta, manteniendo constante la relación agua/cemento teórica, cantidad de árido utilizado y los aditivos, tanto el superplastificante (As) como el polifuncional (Ap). Los resultados se exponen en la tabla siguiente, (*tabla 5.8*):

CONO (cm)	a/c	7 días (MPa)	28 días (MPa)
5	0,565	34,6	44,8
8	0,616	31,6	36,7
9	0,63	28,2	32,5

**Tabla 5.8** “Valores obtenidos del ensayo con dosificación 1 A”

Se observa un aumento de consistencia y reducción de resistencia tanto a 7 como a 28 días. Todos los valores de ésta dosificación son válidos porque hay que tener en cuenta que en obra, la consistencia de los conos aumenta, y la resistencia disminuye, así que esta dosificación sería válida.

También se observa, como se ha dicho anteriormente, que la relación a/c varía en cada amasada, pues se ha introducido distinta cantidad de agua.

A continuación se muestra una gráfica (*figura 5.19*), que ofrece una comparativa entre la resistencia a 7 y 28 días, se refiere con relación al cono obtenido.

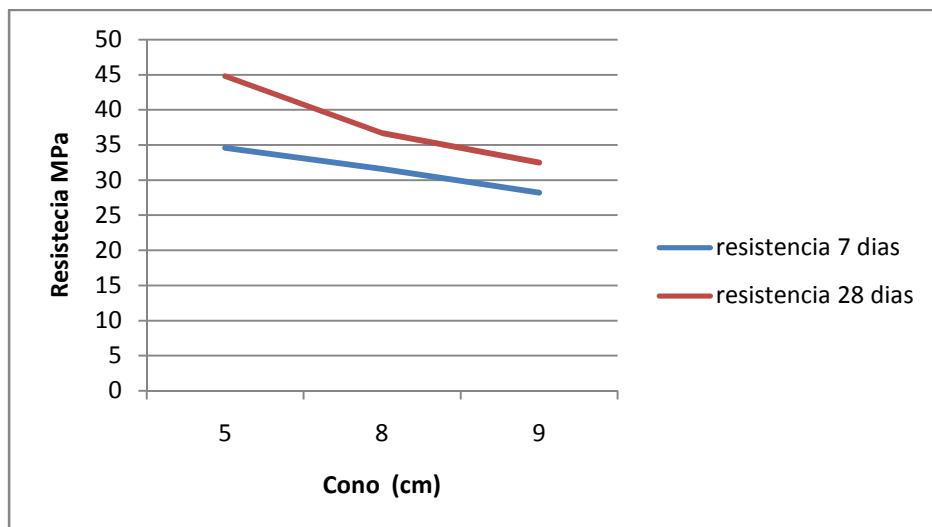


Figura 5.19 “Gráfico resistencias (MPa) a 7 y 28 días con dosificación 1”

Se observa en éste caso una buena relación entre el cono obtenido y la relación agua/cemento, como se muestra en la siguiente gráfica (figura 5.20).

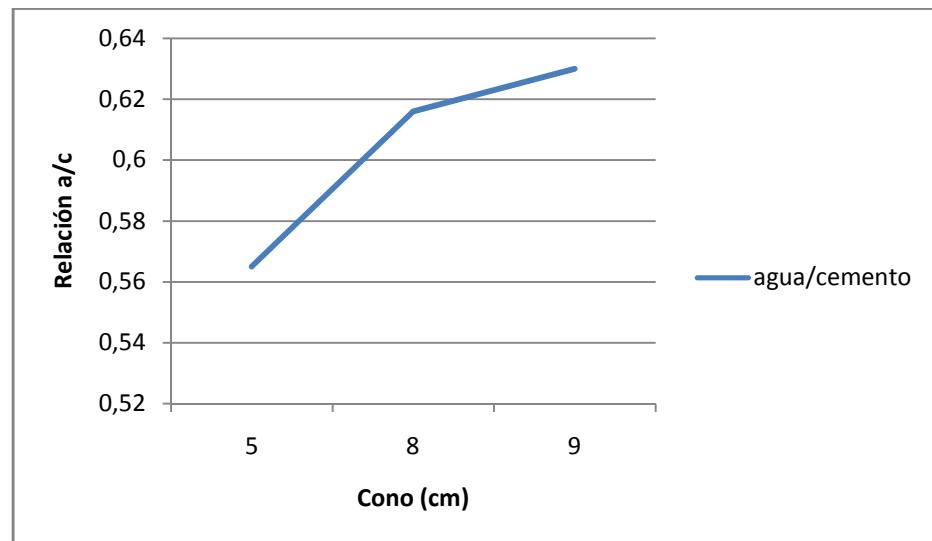


Figura 5.20 “Gráfica indicadora de la dependencia entre relación a/c y densidad”

Como se puede deducir de estos dos gráficos, la resistencia del ensayo a compresión depende directamente de la relación agua/cemento.

La resistencia media de los ensayos a compresión de la primera dosificación es mucho menor que los resultados obtenidos del patrón, pero superiores a 25MPa que es lo mínimo permitido, por lo cual a lo que nos tenemos que acercar.

### **Dosificación 2A:**

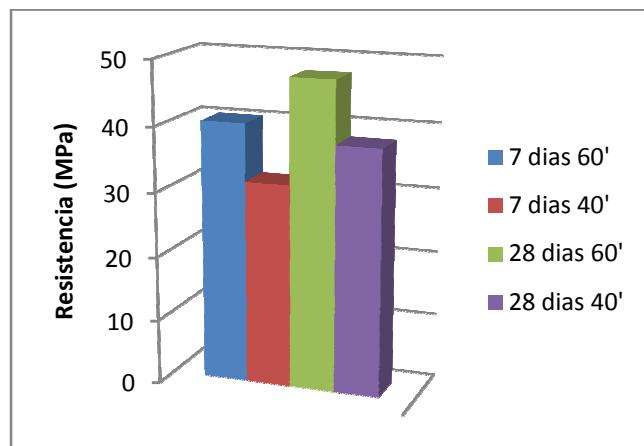
Esta dosificación es la misma que la anterior, únicamente se modificó el tiempo de amasado, de 40 minutos a 60 minutos, manteniendo todas las demás variables de la dosificación constantes.

Los resultados fueron los siguientes (*tabla 5.9*):

CONO (cm)	a/c	7 días (MPa)	28 días (MPa)
4	0,616	42,6	49,5
5	0,565	41,7	47,7
6	0,63	36,6	45,6

**Tabla 5.9** "Valores obtenidos del ensayo con dosificación 2 A"

Se observa un aumento en la resistencia, así como una disminución de cono con una relación similar agua/cemento, lo cual se puede observar gráficamente (*figura 5.21*):



**Figura 5.21** "Gráfica relacionando resistencia (MPa) de las dosificaciones 1 y 2"

A partir de este ensayo se decidió no realizar más pruebas a 60 minutos pues resulta demasiado tiempo de amasado y no es representativo, con 40 minutos de amasado es suficiente para ver como funciona el aditivo.

### **Dosificación 3A:**

Para esta dosificación hemos decidido mantener constante la cantidad de cemento de la dosificación anterior, y aumentar el porcentaje de aditivo superplastificante (As), manteniendo constante el polifuncional (Ap) así como las cantidades de árido y la relación agua/cemento. Los resultados se exponen en la tabla siguiente, (*tabla 5.10*):

CONO (cm)	a/c	7 días (MPa)	28 días (MPa)
6	0,56	34,6	44,8
8	0,568	33,6	39,3
9	0,588	30,2	36,5

**Tabla 5.10** "Valores obtenidos del ensayo con dosificación 3 A"

Así se consigue una relación agua cemento final más ajustada a la teórica que es de 0.48, unos conos algo más uniformes, pero muy similares a los anteriores, mejor trabajabilidad del hormigón durante el amasado (*tabla 5.11*), es decir, la consistencia ha sido más uniforme, pese a que la final es muy parecida a la dosificación anterior. Se observa también homogeneidad en los resultados de ruptura obtenidos, menor dispersión pese al cono.

Tiempo	10	20	30	40
Cono (cm)	12	10	10	8

**Tabla 5.11** "Cono a lo largo del amasado"

### **Dosificación 4A:**

En la cuarta dosificación para los aditivos A, lo que se hace es reducir bastante la cantidad de cemento para ver si se puede reducir el coste, siempre estando en un cono apropiado y con la resistencia por encima de 25MPa.

Los resultados obtenidos son los mostrados a continuación (*tabla 5.12*):

CONO (cm)	a/c	7 días (MPa)	28 días (MPa)
4	0,56	41,4	46,1
5	0,62	35,4	43,8
12	0,48	34	39,5

**Tabla 5.12** "Valores obtenidos del ensayo con dosificación 4 A"

Se puede observar, viendo los valores de la tabla que bajando la cantidad de cemento, se produce una inestabilidad en el proceso, pese a añadir una cantidad alta de agua en el amasado, el cono obtenido es bajo. Además en la última amasada de la familia se produce algo interesante y es que sin añadir nada de agua, el cono es uno de los más altos obtenidos a lo largo del proyecto, esto puede deberse a un mal cálculo de la humedad de los áridos.

No se decide repetir esta serie de probetas porque no conduciría a ningún sitio, al observarse muy claramente una gran inestabilidad, cosa que no nos interesa conseguir, por lo que esta dosificación es descartada totalmente.

#### **Comparativa entre dosificaciones:**

A continuación se realizan dos gráficas (figura 5.22 y 5.23) resumen con los valores de las resistencias en las tres dosificaciones.

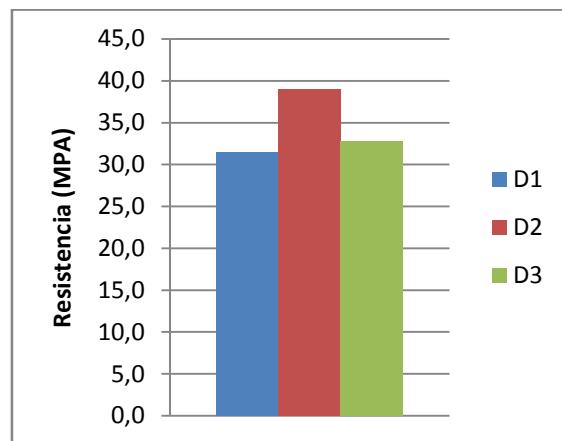


Figura 5.22 "Comparación resistencia (MPa) a 7 días"

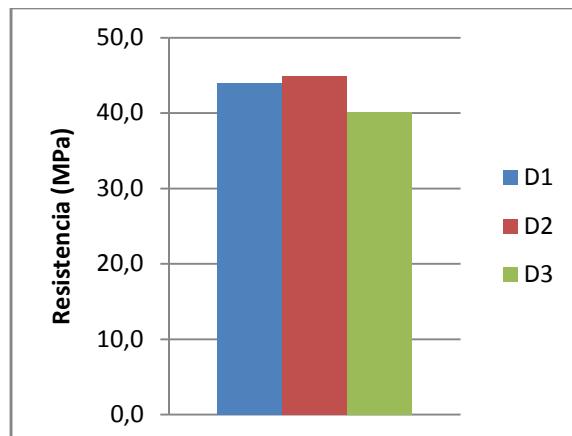
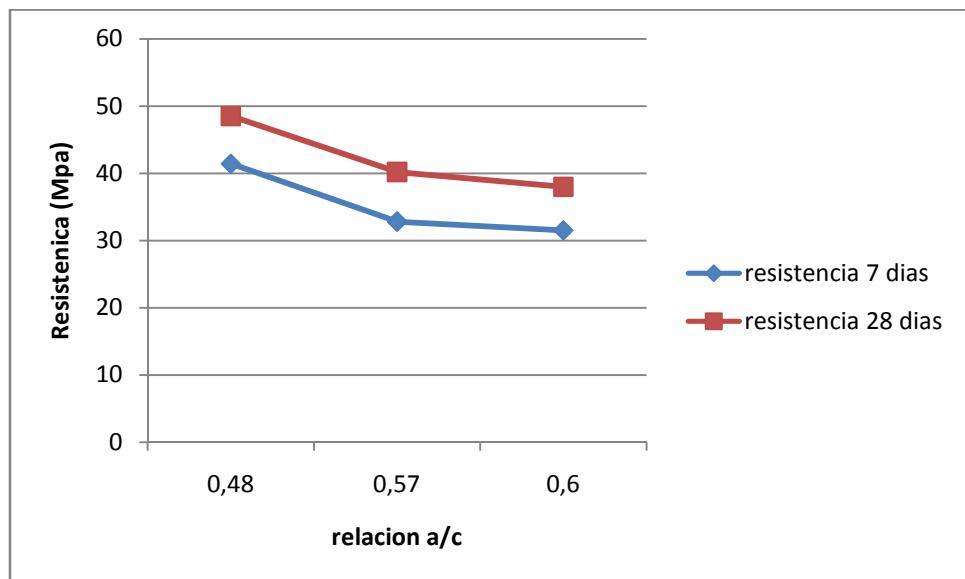


Figura 5.23 "Comparación resistencia (MPa) 28 días"

Se observa como anteriormente se ha explicado que todas superan el valor de resistencia mínimo exigido, por lo tanto las dosificaciones pese a tener una resistencia mayor que la exigida, cumplen también la condición de trabajabilidad y consistencia exigidas.

Para ver los datos de las dosificaciones 1A y 3A, comparamos las relaciones a/c con las resistencias obtenidas tanto a 7 como a 28 días con las que venían dadas con el patrón, así queda claro todo lo que se ha explicado anteriormente relacionado con que si la relación a/c es mayor la resistencia baja claramente (*figura 5.24*).



**Figura 5.24** “Valores resistencia frente a relación a/c”

La relación a/c de 0.48 corresponde a la patrón, la de 0.57 a la dosificación 3A y la de 0.6 a la 1A.

### 5.3.2 Aditivos “B”

#### Patrón B:

La dosificación patrón, sobre la que trabajaremos, nos ha sido proporcionada por MLN, pero la información llega de la casa comercial del aditivo, que según esta dosificación ha realizado unos ensayos en su laboratorio, de los cuales se extraen los siguientes datos de rotura a 7 y 28 días (*tabla 5.13*):

	7 días (Mpa)	28 días (Mpa)
	37	49,7

**Tabla 5.13** “Valores resistencia patrón aditivo B proporcionado por el fabricante”

#### Dosificación 1B:

Se varía la cantidad de cemento, disminuyéndolo un poco, sobre el patrón ofrecido por MLN, manteniendo constante la relación agua/cemento teóricas, aditivos, tanto superplastificante (Bs) como polifuncional (Bp), y áridos de la dosificación inicial., para ver si se puede reducir éste sin perder consistencia ni resistencia.

Los resultados obtenidos se exponen en la siguiente tabla (*tabla 5.14*):

CONO (cm)	a/c	7 días (Mpa)	28 días (Mpa)
7	0,583	32,9	35,9
7	0,632	31,5	40,9
7	0,667	34,3	42,2

**Tabla 5.14** “Valores obtenidos del ensayo con dosificación 1 B”

Como vemos en la tabla, igual que anteriormente, la relación a/c real cambia de manera en la que se añade más o menos agua durante el amasado.

En las gráficas siguientes (*figura 5.25 y 5.26*), se compara la resistencia de la dosificación patrón con la que hemos realizado nosotros:

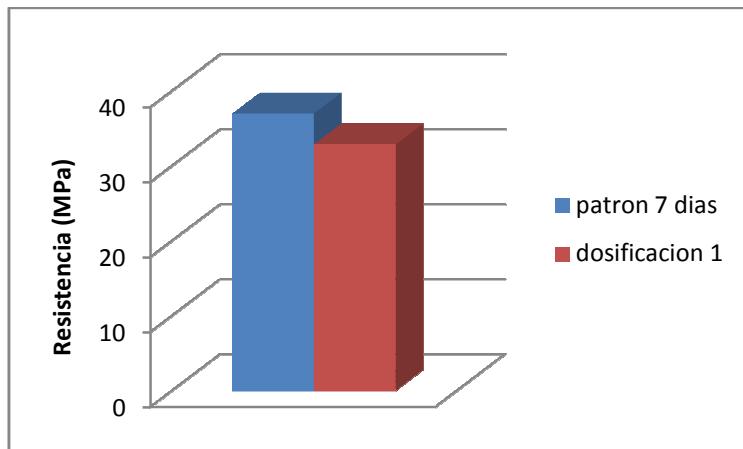


Figura 5.25 “Comparación resistencia (MPa) dosificación 1B y patrón a 7 días”

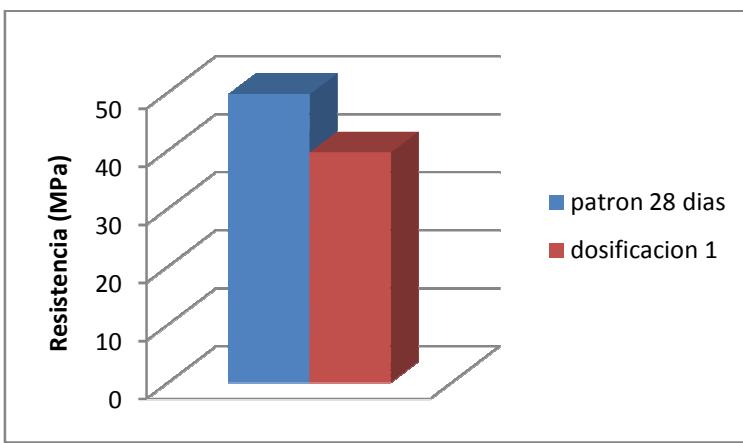


Figura 5.26 “Comparación resistencia (MPa) dosificación 1B y patrón a 28 días”

Se observa como las resistencias tanto a 7 como a 28 días bajan, es lógico pues se utiliza menos cemento. El cambio más aparente es la reducción significativa de rotura a 28 días, puesto que la media de rotura de nuestra dosificación es aproximadamente 6MPa menor que la dosificación patrón. Por otra parte, a 7 días las resistencia solo disminuye, respecto de la patrón en 0.5 MPa.

#### Dosificación 2B:

Se varía la cantidad de aditivo superplastificante (Bs), aumentándolo, sobre la dosificación anterior, manteniendo constante la relación agua/cemento teórica, aditivo polifuncional (Bp) y áridos de la dosificación patrón.

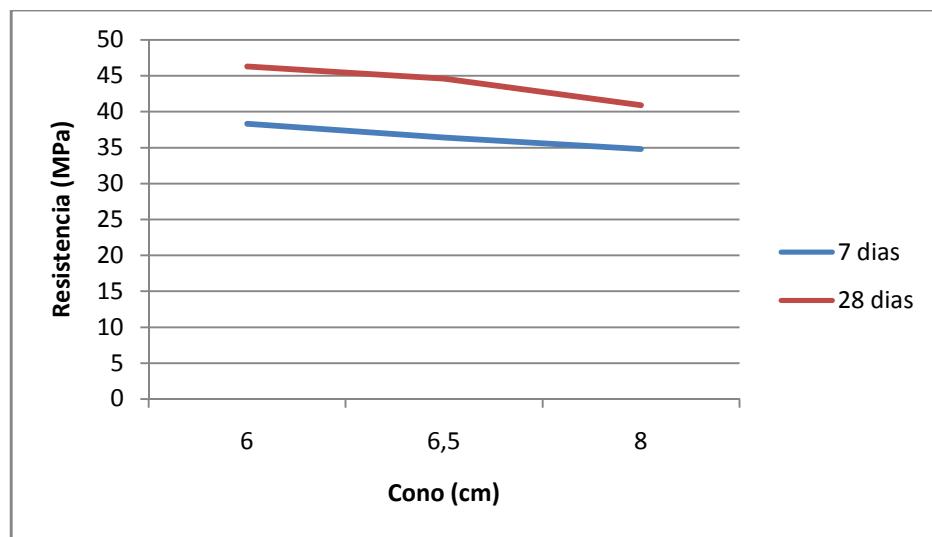
Los datos se presentan en la siguiente tabla (*tabla 5.15*):

CONO (cm)	a/c	7 días (Mpa)	28 días (Mpa)
6	0,597	38,3	46,3
6,5	0,611	36,4	44,6
8	0,597	34,8	40,9

**Tabla 5.15** “Valores obtenidos del ensayo con dosificación 2 B”

Se observa una gran homogeneidad en toda la familia, eso es algo positivo que se observa en este aditivo que hace que el hormigón sea estable.

El gráfico, (*figura 5.27*), representa la relación que tiene la resistencia dependiendo de la consistencia del cono de Abrams, cuando más alto es el cono, para una misma dosificación, más agua se ha introducido extra a la masada, por lo tanto menor resistencia a compresión tiene el hormigón.



**Figura 5.27** “Gráfico resistencia (MPa) a 7 y 28 días con dosificación 2B”

En el siguiente gráfico (*figura 5.28*) de barras se observa como la resistencia media del ensayo es mayor que las obtenidas con menor cantidad de aditivo.

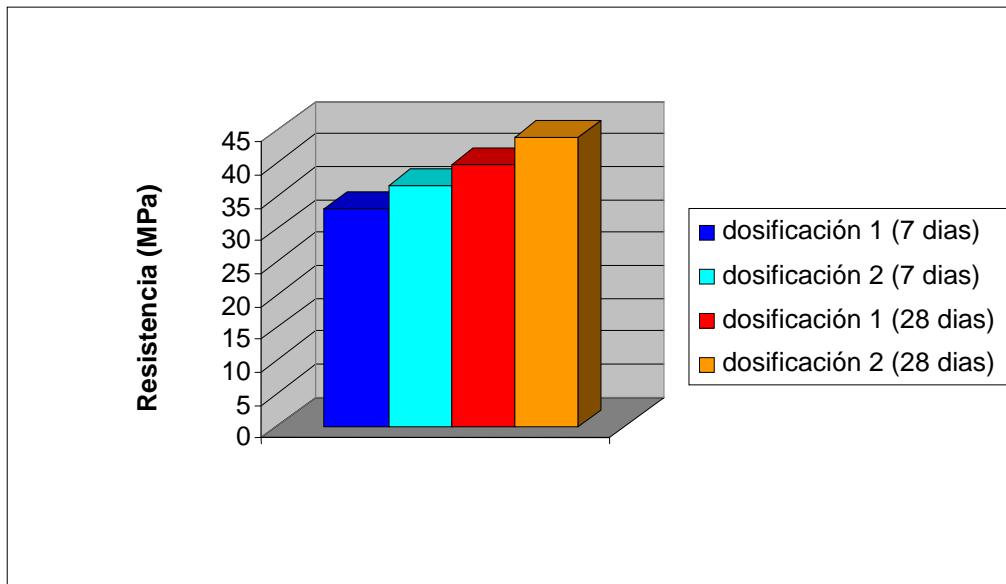


Figura 5.28 “Gráfico comparativo de resistencia (MPa) entre dosificación 1B y 2B”

En las pruebas donde el cono de Abrams es mayor, se observa una disminución de la resistencia. Esto se debe a que durante el proceso de amasado se añade agua poco a poco intentando conseguir conos diferentes para ver cuanta cantidad es necesaria para obtener la consistencia final deseada.

También se aprecia en el siguiente gráfico (figura 5.29) cómo con una relación a/c más baja la resistencia aumenta. Se observa como la tendencia al añadir más agua durante el proceso de amasado hace que la resistencia baje, de ahí el uso de superplastificantes, que reducen claramente la cantidad de agua que debemos añadir al hormigón.

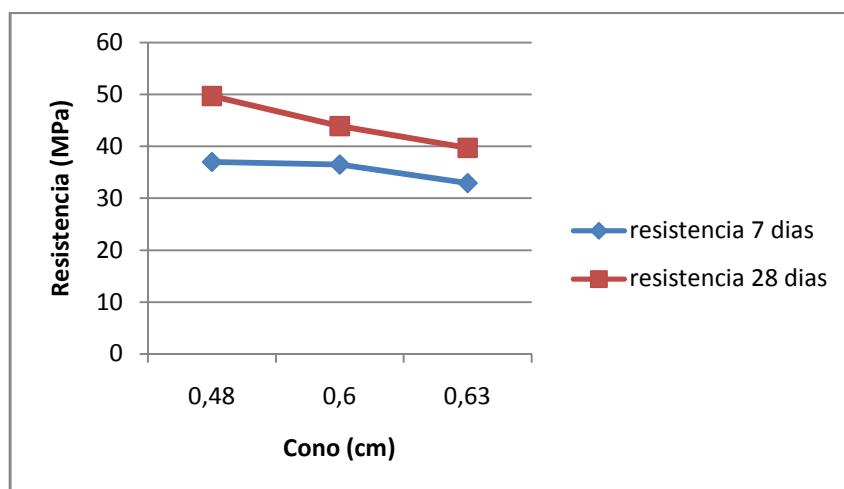


Figura 5.29 “Gráfico comparativo de resistencia (MPa) relacionado con a/c”

La relación a/c de 0.48 corresponde a la patrón, la de 0.6 a la dosificación 2B y la de 0.63 a la 1B.



# **CAPITULO 6**

## **Conclusiones.**



## 6.4 INTRODUCCIÓN

En este apartado se extraen las conclusiones a las que hemos llegado, después de la realización y ruptura de todas las probetas. Se recuerda que lo que intentamos es conseguir una dosificación óptima para conseguir un hormigón a partir de cemento SR con una pareja de aditivos, un superplastificante y un polifuncional, que resista más de **25MPa** a compresión y con un cono de Abrams de **6-9 cm ( $\pm 1$ )**. Otro factor esencial que se busca, a parte del aspecto económico, es conseguir una **homogeneidad** en el proceso, pues no es bueno que cambie mucho de cono durante el amasado, por lo tanto se busca un hormigón **trabajable**.

Decir que este proyecto está basado en un espacio **ideal** de condiciones para la realización del hormigón, es decir, que en la realidad puede haber infinidad de factores que modifiquen las características del hormigón (temperatura, humedad, acontecimientos climatológicos, etc....). Según las resistencias a compresión obtenidas, la reacción química se ha estado llevando a cabo de forma correcta ya que los valores corresponden con el tipo de hormigón utilizado.

## 6.5 COMPORTAMIENTO DE LAS PAREJAS DE ADITIVOS

### 6.5.1 ADITIVOS A

Es el aditivo al que se ha sometido a más dosificaciones y se han podido extraer muchas conclusiones, al tener muchos datos.

Se ha comprobado que es un aditivo al que le cuesta reaccionar. Pese a las dosificaciones es **imprescindible** hidratarlo periódicamente pues se ha comprobado que es capaz de mantener una cierta regularidad en el cono si se sigue este método, si al principio se añade una gran cantidad extra de agua o se le añade toda de una vez, el hormigón no absorbe el agua y la escupe, pues es demasiada, sin embargo hidratándolo poco a poco se consigue una buena **trabajabilidad**.

El cemento SR es un cemento que por su naturaleza, es mucho más **fuerte** que un cemento normal, como por ejemplo el AL, de ahí que se consigan unas **resistencias altas**, incluso el doble de lo exigido. Se ha conseguido reducir la resistencia inicial mediante las diferentes dosificaciones, llegando a unos **36-40MPa** por debajo de lo que la dosificación patrón ofrecía, eso supone un ahorro, pues es necesaria la

utilización de menos cemento utilizando aditivos, que es de lo que consiste el proyecto.

Se ha logrado conseguir **trabajabilidad** y un cono entre los valores permitidos, que es lo que realmente importa, junto con que tenga la resistencia exigida. Estos conos blandos permiten que el hormigón sea fluido, es decir que se pueda trabajar con él correctamente.

Todas estas conclusiones hacen que el cemento SR con éste aditivo sea un buen hormigón para las cualidades que se exigían y que las dosificaciones dadas por las empresas no están ajustadas a las necesidades que se exigían.

### **6.5.2 ADITIVOS B**

Este aditivo se ha ensayado menos que el anterior, al tener ya el grupo MLN algún dato sobre él, pero se han podido extraer conclusiones, que lo diferencian del aditivo A, dando una **alternativa válida** para poder trabajar con él.

En comparación con el aditivo anterior, éste aditivo, **reacciona antes** con el cemento y el árido, pero al igual que el aditivo A, es necesario hidratarlo durante el proceso de amasado para que se mantenga una **buena trabajabilidad**.

El aditivo superplastificante B (Bs), tiene prácticamente la misma **densidad** que el aditivo superplastificante A (As), pero el polifuncional (Bs) es **menos denso**, por lo que es necesario una mayor cantidad para lograr un efecto parecido. Eso puede ser un problema en el aspecto económico, pues sería necesario mas aditivo de éste tipo.

Una cosa destacable es una **gran uniformidad en los conos** obtenidos, algo muy importante y a tener muy en cuenta, pues como ya se ha dicho anteriormente es un **requisito exigido** para el hormigón que se intenta fabricar, que el cono sea blando, y en el caso del aditivo B se ha conseguido siempre.

Se ha conseguido reducir la cantidad de cemento utilizada, igual que con la marca comercial A, que es de lo que se trata el proyecto, además de ver el comportamiento del cemento conseguir una dosificación con la que ahorrar costes.

Se puede llegar a la conclusión de que este aditivo es una **opción** como **alternativa** al tipo A y al igual que anteriormente se puede ver que las dosificaciones, pese a estar más ajustadas que en el caso anterior, no serían del todo válidas para lo que se nos exige, pues es difícil que salga un cono blando con la resistencia que se nos da.

# **CAPITULO 7**

## **Anexos.**



**ANEXO A.**  
**Normas**  
**consultadas.**



**Instrucción de Hormigón Estructural. EHE 2008.** Ministerio de Fomento.

**UNE-EN 197-1:2000** Cemento.

Parte 1: composición, especificaciones y criterios de conformidad de los Cementos comunes.

**UNE-EN 480-1:1998:** Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Métodos de ensayo.

Parte 1: Hormigón y mortero de referencia para ensayos.

**UNE-EN 933-1/A1:2006** Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos.

Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas.

**UNE-EN 934-2:2002:** Aditivos para hormigones, morteros y pastas.

Parte 2: Aditivos para hormigones. Definiciones, requisitos, conformidad, marcado y etiquetado

**UNE-EN 12350-1:2006:** Ensayos de hormigón fresco.

Parte 1: Toma de muestras.

**UNE-EN 12350-2:2006:** Ensayos de hormigón fresco.

Parte 2: Ensayo de asentamiento.

**UNE-EN 12390-1:2001:** Ensayos de hormigón endurecido.

Parte 1: Forma, medidas y otras características de las probetas y moldes.

**UNE-EN 12390-2:2001:** Ensayos de hormigón endurecido.

Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia.

**UNE-EN 12390-3: 2003:** Ensayos de hormigón endurecido.

Parte 3: Determinación de la resistencia a compresión de probetas.

**UNE-EN 12390-4:2003:** Ensayos de hormigón endurecido.

Parte 4: Características de las máquinas de ensayo para resistencia a compresión

**UNE-EN 12390-8:2001:** Ensayos de hormigón endurecido.

Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión.

**UNE-EN 12504-1:2001:** Ensayos de hormigón en estructuras.

Parte 1: Testigos, extracción, examen y ensayo a compresión.

**UNE-EN 83131:1990** Áridos para Hormigones.

Determinación del equivalente de arena.

**UNE 83301:1991** Ensayos de hormigón.

Fabricación y conservación de probetas.

**UNE 83303:1984** Ensayos de hormigón.

Extracción y conservación de probetas testigo.

**UNE 83303:1984** Ensayos de hormigón.

Refrentado de probetas con mortero de azufre

**UNE 83313:1990** Ensayos de hormigón. Medida de la consistencia del hormigón fresco. Método del cono de Abrams.

**ANEXO B.**  
**Bibliografía y**  
**fuentes**  
**consultadas.**



## **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA**

- Pedro Jiménez Montoya, Álvaro García Meseguer, Francisco Morán Cabré (2000), “Hormigón armado”. 14<sup>a</sup> edición. Ed. Gustavo Gili. Barcelona.
- Rixom M.R, (1984) “Aditivos para hormigones”. Ed. Editores Técnicos Asociados.
- Instrucción del hormigón estructural EHE 08
- Palacios Arévalo, Marta; Alonso López, María del Mar; Puertas Maroto, Francisca, (2009) “Aditivos para el hormigón: compatibilidad cementoaditivos basados en policarboxilatos”. 1<sup>a</sup> edición.
- Joana Roncero, Ravindra Gettu, (2002) “Revista Cemento Hormigón” Art. Influencia de los superplastificantes en la microestructura de la pasta hidratada y en el comportamiento diferido de morteros de cemento.
- “Manual de Instrucciones. Banco de Ensayo de Hormigón BEH-3/NN”. INCOTECNIC lab-pre, S.L.
- Bernardo De la Peña R., Rodrigo Bernal A (2005), “Nuevos aditivos reductores de agua, su aporte a la tecnología del hormigón” Sika Chile SA.
- De la Peña, B. (2000), “Hormigón autocompactante, nueva tecnología para la construcción con hormigón” Revista BIT, Cámara Chilena de la Construcción, Junio 2000.
- Aitcin Pierre, Neville Adam “How de water-cement ratio affects concrete strength” Concrete Internacional Vol. 25 Nº8.
- Safranez Carlo, “Características físico-químicas de los aditivos plastificantes y retardadores de fraguado para mortero y hormigones y su empleo en la construcción”, Revista de Obras Públicas.
- Amanda Rubio Aranda, (2007). Proyecto Final de Carrera “Los aditivos del mundo del hormigón”, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Calleja, J. “Tendencias futuras en la investigación de la estructura, propiedades y comportamiento de las pastas de cementos con adiciones” Cemento-Hormigón. Nº646. Septiembre 1987.
- A. Neville (1999), “Properties of concrete”. “Fundamentos del hormigón simple”. 4<sup>a</sup> edición. Pitman Publishing Limited. London.

## **PÁGINAS WEB CONSULTADAS**

- [www.bASF.es](http://www.bASF.es)
- [www.construmatica.com](http://www.construmatica.com)
- [www.aenor.es](http://www.aenor.es)
- [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [www.seconstruye.com](http://www.seconstruye.com)
- [www.ingecivilcusco.blogspot.com](http://www.ingecivilcusco.blogspot.com)
- [www.soloarquitectura.com](http://www.soloarquitectura.com)
- [www.todoconstruccion.com](http://www.todoconstruccion.com)
- [www.cemex.es](http://www.cemex.es)
- [www.uclm.es](http://www.uclm.es)
- [www.proyectosfindecarrera.es](http://www.proyectosfindecarrera.es)

