



**Escuela Técnica Superior  
de Gestión en la Edificación**



## **E.T.S DE GESTIÓN EN LA EDIFICACIÓN**

**DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS**

**T-17: MATERIALES AVANZADOS Y TÉCNICAS DE REPARACIÓN Y  
REHABILITACIÓN DE LAS CONSTRUCCIONES**

## **PROYECTO FINAL DE GRADO**

**“ ESTUDIO DEL TIEMPO ABIERTO  
EN EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE “**

**AUTOR:**

**JUAN FRANCISCO CARRILERO MARTÍNEZ**

**DIRECTORES:**

**LUÍS VICENTE GARCÍA BALLESTER  
JOSÉ RAMÓN ALBIOL IBÁÑEZ**

**VALENCIA, JULIO DE 2011**



**Dedicado a la memoria de:**

**Mi yaya, Elvira**

**y**

**Mi querido hermano, Thor.**



## AGRADECIMIENTOS

La realización de unos estudios de Arquitectura Técnica y posteriormente de Ingeniería de Gestión de la Edificación, es una tarea compleja y, sin duda, imposible de desarrollar por una única persona.

A lo largo de estos estudios, he contado con el apoyo y colaboración de muchas personas, seguramente muchas más de las que podré nombrar a continuación en este texto.

En primer lugar, dedicar este proyecto a mi **yayo Jesús**, el cual estará orgulloso de su nieto, y agradecer todo el apoyo que me dio, aunque crea que hago el mortero sin agua.

En segundo lugar, dedicar también este proyecto, como no, a mis padres, **Juan y Elvira**, y agradecer la educación que me han dado, su paciencia conmigo, su esfuerzo para que no me faltara de nada en esta vida y sobre todo, agradecer su cariño diario.

En tercer lugar, dedicar este proyecto a mis ahijadas, **Lucia y Alba**, y desearles, que ojala, algún día puedan desarrollar un proyecto final de carrera siguiendo los pasos de su tío, y de ser así, tendrán todo mi apoyo.

Y por último, dedicar y agradecer este proyecto al resto de mi familia, a mi hermana **Eva**, a mi cuñado **Clemente**, y en especial, a mi pareja **Cristina**, que estuvieron apoyándome y siempre creyeron en mí.

**A todas ellas quiero dejar registrado mi gratitud.**

**Muchas gracias por haberme enseñado, ayudado, compartido, apoyado o simplemente, por haber estado a mi lado.**

**GRACIAS.....**





## RESUMEN

Se define el Hormigón Autocompactante (HAC) como un hormigón muy fluido, que se compacta bajo su propio peso, capaz de rellenar todos los rincones del encofrado, pasando entre las armaduras, y presentando suficiente cohesión para evitar que se produzca la segregación del árido grueso o el sangrado. Así se consigue una puesta en obra fácil, pudiendo aplicarse en situaciones antes imposibles.

La idea original de este tipo de hormigón fue propuesta por Okamura (1986) con la intención de solucionar los problemas de durabilidad en las estructuras de hormigón armado, que se habían detectado y que se atribuían a una disminución en los niveles de calidad de mano de obra especializada para la ejecución de los procesos de compactación. El objetivo era crear un producto que garantizase la compactación, sin que el factor humano fuera una variable capaz de afectar al producto final.

El estudio y utilización de los hormigones autocompactantes (HAC) ha tenido una tendencia creciente desde la propuesta inicial. Mayor rapidez y menor demanda de personal en el proceso del hormigonado, la posibilidad de fabricar elementos de formas muy difíciles o muy armadas y el ahorro energético unido a la mejora de las condiciones de trabajo debido a la reducción del ruido en el proceso de compactación son algunas de las ventajas de su utilización. En este sentido, se ha dado inicio a la investigación de los hormigones autocompactantes en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad Politécnica de Valencia realizando una revisión de la literatura científica sobre toda la materia, centrándose, sobretodo en los métodos de dosificación y ensayos utilizados para caracterizar el tiempo abierto de este tipo de hormigón en estado fresco y su resistencia en estado endurecido.

Numerosos factores pueden afectar el comportamiento de un aditivo superplastificante, como por ejemplo, la finura del cemento, su contenido en aluminato tricálcico y ferrominato tetracálcico, la cantidad de sulfatos, la naturaleza de los superplastificantes y su peso molecular, así como la secuencia de mezclado o el tipo de amasadora.

La pérdida de trabajabilidad con el tiempo es uno de los problemas que más preocupa. El aditivo ha sido usado durante los últimos años y es responsable de este indeseable defecto. Pero la gran discrepancia existente sobre este fenómeno, no permite extraer conclusiones claras al respecto. La mayoría de los trabajos concluyen que en presencia de plastificantes o superplastificantes, la pérdida de trabajabilidad es mayor, aunque autores afirman que no siempre es así. En cuanto a los mecanismos por los que la trabajabilidad disminuye con el tiempo tampoco existe unanimidad de criterios. Si que parece quedar claro, que los sulfatos solubles forman un importante papel y que la presencia de aditivo altera el balance entre estos y el aluminato tricálcico. Algunos autores concluyen que la pérdida de la trabajabilidad depende del valor inicial de la trabajabilidad, existiendo un valor crítico, por debajo del cual la pérdida es más pronunciada.



La trabajabilidad entre la relación de cementos y aditivos superplastificantes reductores de agua de alto rango, es un aspecto de gran importancia práctica, especialmente cuando se trabaja con bajas relaciones agua/cemento. Generalmente los problemas de compatibilidad entre el cemento y el aditivo, se manifiestan por una inadecuada y prematura pérdida de trabajabilidad aunque también se han observado otros problemas que se suelen relacionar con la compatibilidad, como son el bajo efecto de fluidificación, segregación, excesivo retraso del fraguado, pérdida de aire ocluido o efecto de burbujeo. Desde el punto de vista práctico, la compatibilidad cemento/aditivo se puede comprobar mediante la pérdida de fluidez medida con el cono de Marsh, de manera que si se mantiene durante una hora u hora y media, se puede considerar que la combinación es muy compatible.

Se ha estudiado y caracterizado la influencia de los aditivos en el comportamiento reológico en la fabricación de los hormigones autocompactantes.

Se ha estudiado la sensibilidad de las dosificaciones de los hormigones autocompactantes realizando variaciones en las pesadas de los materiales y aditivos.

Y por último, se ha estudiado la variación del tiempo abierto de los hormigones autocompactantes, según su grado de aporte de aditivos.







## CONTENIDO DEL PROYECTO

Con el fin de orientar el lector este proyecto ha sido dividido en 6 capítulos que se describen a continuación:

El capítulo 1 presenta una breve introducción de la materia y se plantean los objetivos generales y específicos de este proyecto.

En el capítulo 2 se presenta un estudio sobre el estado del arte de los hormigones autocompactantes. Se reunió toda la información, posible, redactada desde que fue propuesto por el profesor Okamura a finales de los 80. Se da una atención especial a los métodos de dosificación y ensayos de caracterización del hormigón en estado fresco. Se comparan los métodos de dosificación y de ensayo utilizados por distintos autores en diferentes países.

En el capítulo 3 se presentan los materiales y sus características, la metodología, los criterios y los procedimientos de los ensayos utilizados. Se describen los equipos empleados y sus principales características.

Los ensayos constituyen una parte importante en este capítulo. Por un lado, se presenta los procedimientos de los ensayos normalizados para la caracterización de los hormigones y sus materiales constituyentes siguiendo las normas UNE o UNE-EN en cada caso. Por otro lado se describen los casos en los cuales se ha alterado algún equipo o procedimiento de ensayo para su adaptación al hormigón autocompactante o a las condiciones de laboratorio impuestas.

Se comprueba su validez ensayando hormigones autocompactantes de distintas características y comparando los resultados con otros.

El capítulo 4 presenta la descripción del programa experimental realizado hasta esta etapa, sus resultados y discusión de los mismos.

Debido a que los aditivos son imprescindibles a la hora de fabricar los hormigones autocompactantes y a que estos son muy sensibles a variaciones en cantidades o tipos de aditivos se decidió hacer un estudio profundo de estos materiales.

Debido a la alta sensibilidad que suele presentar los hormigones autocompactantes el capítulo 4 está dedicado al estudio de su tiempo abierto. Se realizaron ensayos donde partiendo de una dosificación padrón se variaban las pesadas de los materiales y aditivos dentro de los límites establecidos por la Instrucción Española del hormigón Estructural (EHE). El cambio de comportamiento del hormigón tanto en estado fresco como en estado endurecido se detectó en los resultados de los ensayos realizados. A su vez, estos resultados se analizaron para detectar las variables más influyentes y el nivel de influencia con que cada una de ellas afectaba el comportamiento del tiempo abierto del hormigón.



En el capítulo 5 se presentan las conclusiones, generales y específicas, obtenidas a lo largo de este proyecto, y las posibles futuras líneas de investigación.

Finalmente, en el capítulo 6 se muestra la bibliografía empleada para obtener toda la información necesaria objeto de este proyecto.







## ÍNDICE

<b>Dedicatoria</b>	<b>I</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>II</b>
<b>Resumen</b>	<b>III</b>
<b>Contenido del documento</b>	<b>V</b>
<b>Índice general</b>	<b>VII</b>
<b>CAPÍTULO 1 – OBJETIVOS</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2 – ESTADO DEL ARTE DE LOS HAC</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Introducción</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Conceptos específicos relacionados con los HAC</b>	<b>9</b>
2.2.1 Introducción	9
2.2.2 Comportamiento reológico	9
2.2.3 Determinación de las propiedades reológicas del HAC	11
<b>2.3 Caracterización de los HAC en estado fresco</b>	<b>16</b>
2.3.1 Introducción	16
2.3.2 Ensayo del escurrimiento (UNE 83361:2007)	16
2.3.3 Escurrimiento con el anillo japonés (UNE 83362:2007)	18
2.3.4 Embudo en V (UNE 83364:2007)	20
2.3.5 Caja en L (UNE 83363:2007)	22
2.3.6 Caja en U	24
2.3.7 Otros ensayos	25
2.3.8 Ensayos para analizar la segregación de los HAC	27
2.3.9 Criterios de clasificación y aceptación de HAC	29
2.3.10 Comparación de las características reológicas y tecnológicas	30
<b>2.4 Materiales empleados para fabricar HAC</b>	<b>32</b>
2.4.1 Introducción	32
2.4.2 Cemento	32
2.4.3 Áridos	32
2.4.4 Finos: Adiciones y Filleres	45
2.4.5 Aditivos	46



<b>2.5 Métodos de dosificación de los HAC</b>	<b>59</b>
2.5.1 Introducción	59
2.5.2 Ensayos previos sobre pastas y morteros	60
2.5.3 Método general para la dosificación del HAC	62
2.5.4 Otras propuestas de dosificación basadas el método general	63
2.5.5 Método CBI (Swedish Cement and Concrete Research Institute)	64
2.5.6 Método LCPC(Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)	66
2.5.7 Método UPC (Universidad Politécnica de Cataluña)	68
2.5.8 Método EFNARC	68
2.5.9 Método ACI (American Concrete Institute)	72
<b>2.6 Consideraciones finales</b>	<b>72</b>
<b>CAPÍTULO 3 – MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO</b>	<b>75</b>
<b>3.1 Introducción</b>	<b>77</b>
<b>3.2 Materiales</b>	<b>77</b>
3.2.1 Cementos	77
3.2.2 Áridos	78
3.2.3 Aditivos	79
<b>3.3 Relación de ensayos normalizados utilizados para la caracterización de pastas, morteros y hormigones o sus materiales constituyentes</b>	<b>80</b>
3.3.1 Ensayos de caracterización de componentes	80
3.3.1.1 Resistencia mecánica de cementos (UNE-EN-196-1)	80
3.3.1.2 Determinación del extracto seco convencional de los Aditivos (UNE-EN 480-8)	80
3.3.1.3 Determinación del contenido de agua (h) de los áridos (UNE 83-133-90)	80
3.3.1.4 Determinación de la granulometría de los áridos (UNE-EN 933-1)	81
3.3.2 Determinación de la densidad de conjunto de los áridos (ASTM C29/CM29)	81
3.3.3 Otros ensayos para caracterización de áridos	82
3.3.4 Ensayos sobre pastas morteros y hormigones	82
3.3.4.1 Caracterización de la fluidez de los HAC (UNE 83361:2007)	82
3.3.4.2 Caracterización de la fluidez en presencia de barras. Anillo japonés (UNE 83362:2007)	82
3.3.4.3 Determinación del tiempo de flujo (UNE 83364:2007)	82
3.3.4.4 Determinación de las características mecánicas de los Hormigones	83
3.3.4.4.1 Fabricación, curado y refrentado de probetas	83
3.3.4.4.2 Rotura a compresión simple (UNE EN 12390-3:2003)	85



<b>3.4 Procedimiento operatorio para la fabricación de los HAC</b>	<b>85</b>
<b>3.4.1 Procedimiento de Amasado</b>	<b>86</b>
<b>3.4.2 Control de humedad en los áridos durante la fabricación del hormigón</b>	<b>86</b>
<b>CAPÍTULO 4 – ANALISIS Y RESULTADOS</b>	<b>87</b>
<b>4.1 Día 11/05/2011 – Búsqueda de dosificación</b>	<b>90</b>
<b>4.2 Día 12/05/2011 – Búsqueda de dosificación óptima         Ensayos del nº1 al nº 10</b>	<b>90</b>
<b>4.3 Día 13/05/2011 – Búsqueda de dosificación óptima         Ensayos del nº11 al nº 17</b>	<b>97</b>
<b>4.4 Día 16/05/2011 – Búsqueda de dosificación óptima         Ensayos nº18 y nº 19         Ensayo nº 20 sin retardador         Ensayo nº 21 con retardador 1%</b>	<b>102</b>
<b>4.5 Día 17/05/2011 – Desenmoldar las probetas del día 16/05/2011</b>	<b>105</b>
<b>4.6 Día 18/05/2011 – Ensayo nº 22 y nº 23 sin retardador         Ensayo nº 24 con retardador 1%</b>	<b>105</b>
<b>4.7 Día 19/05/2011 – Desenmoldar las probetas del día 18/05/2011</b>	<b>109</b>
<b>4.8 Día 25/05/2011 – Ensayo nº 25 con retardador 1,5%</b>	<b>110</b>
<b>4.9 Día 26/05/2011 – No desenmoldar las probetas del día 25/05/2011</b>	<b>111</b>
<b>4.10 Día 27/05/2011 – No desenmoldar las probetas del día 25/05/2011         Ensayo nº 26 con retardador 1%</b>	<b>111</b>
<b>4.11 Día 30/05/2011 – No desenmoldar las probetas del día 25/05/2011         No desenmoldar las probetas del día 27/05/2011</b>	<b>115</b>
<b>4.12 Día 1/06/2011 – No desenmoldar las probetas del día 25/05/2011         No desenmoldar las probetas del día 27/05/2011</b>	<b>115</b>
<b>4.13Día 3/05/2011 – Desenmoldar las probetas del día 25/05/2011         Desenmoldar las probetas del día 27/05/2011</b>	<b>115</b>
<b>4.14 Día 6/06/2011 – Ensayo nº 27 con retardador 0,5%</b>	<b>115</b>

<b>4.15</b>	<b>Día 7/06/2011 – No desmoldar las probetas del día 6/06/2011</b>	<b>117</b>
<b>4.16</b>	<b>Día 8/06/2011 – Desmoldar las probetas del día 6/06/2011</b>	<b>117</b>
<b>4.17</b>	<b>Día 10/06/2011 – Ensayo nº 28 con retardador 0,75%</b>	<b>118</b>
<b>4.18</b>	<b>Día 13/06/2011 – Desmoldar las probetas del día 10/06/2011 Ensayo de resistencia a compresión de probetas sin retardador</b>	<b>120</b>
<b>4.19</b>	<b>Día 15/06/2011 – Ensayo de resistencia a compresión de probetas sin retardador</b>	<b>120</b>
<b>4.20</b>	<b>Día 22/06/2011 – Ensayo de resistencia a compresión de probeta con retardador 1,5%</b>	<b>120</b>
<b>4.21</b>	<b>Día 23/06/2011 – Ensayo nº 29 con retardador 1,5%</b>	<b>121</b>
<b>4.22</b>	<b>Día 24/06/2011 – Ensayo de resistencia a compresión de probetas con retardador 1%</b>	<b>122</b>
 <b>CAPÍTULO 5 – CONCLUSIONES</b>		 <b>123</b>
<b>5.1.</b>	<b>Introducción</b>	<b>124</b>
<b>5.2</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>124</b>
<b>5.3</b>	<b>Futuras líneas de investigación</b>	<b>126</b>
 <b>CAPITULO 6 BIBLIOGRAFIA</b>		 <b>127</b>
 <b>ANEXOS</b>		 <b>131</b>
<b>I</b>	<b>GRANULOMETRÍA</b>	<b>132</b>
<b>II</b>	<b>CARACTERISTICAS DE LOS ADITIVOS</b>	<b>139</b>
<b>III</b>	<b>RESULTADOS ENSAYOS DEL TIEMPO ABIERTO</b>	<b>146</b>









## **CAPITULO 1**

# **OBJETIVOS**

# **DEL**

# **PROYECTO**



## OBJETIVOS

Este trabajo se inició con la idea de continuar con el estudio de los hormigones autocompactantes en el Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad Politécnica de Valencia, puesto que dicho departamento presentaba precedentes de investigación sobre la materia.

En este sentido, algunos de los objetivos específicos han sido propuestos durante el propio desarrollo de esta investigación. A continuación se describen los objetivos específicos de este proyecto final de grado:

- Realizar un profundo estudio bibliográfico y actualizar del estado de conocimiento de los hormigones autocompactantes.

Identificar las propuestas, métodos y procedimientos de dosificación utilizados para la obtención de estos hormigones.

Identificar los métodos y procedimientos de ensayos utilizados para la caracterización de los hormigones autocompactantes en estado fresco y endurecido.

- Desarrollar un amplio programa experimental que permita, en un primer momento, tomar contacto con el material, ajustando las dosificaciones encontradas en la bibliografía a los materiales disponibles en la región de Valencia ( cantera “Carasoles “ ).

Analizar la influencia de la composición granulométrica en el comportamiento del hormigón.

Posteriormente, proponer dosificaciones de hormigones autocompactantes que presenten distintas características reológicas y mecánicas de manera que estos sean capaces de cubrir una amplia gama de autocompactabilidad y de niveles de resistencia.

- Realizar una caracterización fisicoquímica de los aditivos y analizar la influencia de los mismos en el comportamiento reológico de la fabricación de los hormigones autocompactantes.

- Analizar la sensibilidad de las dosificaciones de los hormigones autocompactantes en función de los errores que puedan ocurrir en las pesadas de los materiales y aditivos a la hora de fabricar el hormigón.

Como referencia se considerarán los límites contemplados por la (EHE).



- Partiendo de unos parámetros establecidos en el proyecto, proponer una dosificación de hormigón autocompactante con las características adecuadas para su aplicación a escala real.
- Analizar la sensibilidad de las dosificaciones de los hormigones autocompactantes en función de los errores que puedan ocurrir en las tomas de datos del tiempo abierto del hormigón a la hora de su puesta en obra.







## **CAPITULO 2**

# **ESTADO DEL ARTE DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE ( HAC )**



## CAPÍTULO 2

<b>2. ESTADO DEL ARTE DE LOS HAC</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Introducción</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Conceptos específicos relacionados con los HAC</b>	<b>9</b>
2.2.1 Introducción	9
2.2.2 Comportamiento reológico	9
2.2.3 Determinación de las propiedades reológicas del HAC	11
<b>2.3 Caracterización de los HAC en estado fresco</b>	<b>16</b>
2.3.1 Introducción	16
2.3.2 Ensayo del escurrimiento (UNE 83361:2007)	16
2.3.3 Escurrimiento con el anillo japonés (UNE 83362:2007)	18
2.3.4 Embudo en V (UNE 83364:2007)	20
2.3.5 Caja en L (UNE 83363:2007)	22
2.3.6 Caja en U	24
2.3.7 Otros ensayos	25
2.3.8 Ensayos para analizar la segregación de los HAC	27
2.3.9 Criterios de clasificación y aceptación de HAC	29
2.3.10 Comparación de las características reológicas y tecnológicas	30
<b>2.4 Materiales empleados para fabricar HAC</b>	<b>32</b>
2.4.1 Introducción	32
2.4.2 Cemento	32
2.4.3 Áridos	32
2.4.4 Finos: Adiciones y Filleres	45
2.4.5 Aditivos	46
<b>2.5 Métodos de dosificación de los HAC</b>	<b>59</b>
2.5.1 Introducción	59
2.5.2 Ensayos previos sobre pastas y morteros	60
2.5.3 Método general para la dosificación del HAC	62
2.5.4 Otras propuestas de dosificación basadas el método general	63
2.5.5 Método CBI (Swedish Cement and Concrete Research Institute)	64
2.5.6 Método LCPC(Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)	66
2.5.7 Método UPC (Universidad Politécnica de Cataluña)	68
2.5.8 Método EFNARC	68
2.5.9 Método ACI (American Concrete Institute)	72
<b>2.6 Consideraciones finales</b>	<b>72</b>





## 2. ESTADO DEL ARTE DEL HORMIGON AUTOCOMPACTANTE

### 2.1 INTRODUCCIÓN

El Hormigón Autocompactante (HAC) es un hormigón muy fluido, que se compacta bajo su propio peso sin necesidad de energía externa. Es capaz de rellenar todos los rincones del encofrado, pasando entre las armaduras, sin que se produzca el efecto tamiz, y presenta suficiente cohesión para evitar que se produzca la segregación del árido grueso o la exudación. Así se consigue una puesta en obra fácil, pudiendo aplicarse en situaciones imposibles para un hormigón tradicional.

Paralelamente el uso del HAC reduce el coste energético en medios de compactación y la contaminación acústica correspondiente, mejorando el entorno de trabajo. Todo ello se ve acompañado de una serie de ventajas adicionales, entre ellas su homogeneidad y fluidez a la hora de la puesta en obra que permite obtener superficies con un color bastante homogéneo y que reflejan exactamente las formas de los encofrados.

Los HAC incluyen en su tecnología los últimos avances en productos para hormigón especialmente a nivel de aditivos (súper plastificantes de nuevas generaciones o cohesionantes), y en algunos casos en adiciones minerales, activas o no.

Gracias a estos productos y a una concepción especialmente cuidada de su dosificación se consigue una serie de características que los hacen especialmente interesantes desde el punto de vista de su aplicación, tanto en hormigones de obra como en prefabricación.

El proceso de endurecimiento de los HAC es idéntico al de los hormigones tradicionales.

La durabilidad, en general, no se ve afectada ya que la evolución de la porosidad y la permeabilidad tampoco cambiarán. Sin embargo algunos autores defienden que las bajas relaciones a/c y el alto contenido en finos hacen que la mezcla sea menos porosa y consecuentemente más resistente a las agresiones del ambiente.

La idea original de este tipo de hormigón fue propuesta por Okamura (1986) con la intención de solucionar los problemas de durabilidad en las estructuras de hormigón armado, que se habían detectado y que se atribuían a una disminución en los niveles de calidad de mano de obra especializada para la ejecución de los procesos de compactación. El objetivo era crear un producto que garantizase la compactación, sin que el factor humano fuera una variable capaz de afectar al producto final.

A partir de ahí, los principales trabajos de investigación sobre este tema fueron llevados a cabo por Ozawa y Maekawa (Okamura 1999) en la Universidad de Tokio. El punto clave de estos estudios era la trabajabilidad y la homogeneidad del hormigón.

La primera obra donde se empleó un HAC fue realizada en Japón en 1988 utilizando materiales existentes en el mercado (Okamura y Ouchi 1999). Este hormigón funcionó satisfactoriamente desde el punto de vista de la retracción, calor de hidratación, densidad después del endurecimiento y otras propiedades.





La primera ponencia, en congresos, sobre el hormigón autocompactante, fue realizada por Ozawa, en la Segunda Conferencia del Pacífico y Este de Asia de Ingeniería Estructural y Construcción (EASEC-2), en enero de 1989. La presentación realizada por Ozawa en la Conferencia Internacional de CANMET y ACI, en Estambul, en mayo de 1992, aceleró la difusión del concepto en todo el mundo.

Después del seminario ACI sobre el hormigón de alto rendimiento, cuyo anfitrión fue el profesor Paul Zia, en Bangkok, en noviembre de 1994, el hormigón autocompactante se convirtió en el tema común de mayor interés en todo el mundo, para investigadores e ingenieros interesados en la durabilidad del hormigón y en un sistema racional de construcción.

Inicialmente los HAC fueron tratados simplemente como un hormigón especial de alto desempeño (Ozawa, Maelawa y Okamura 1992), y su utilización se restringía a las grandes empresas de construcción japonesa. A partir de estas fechas algunos comités como el JCA (Japan Cement Association), el JCI (Japan Concrete Institute) el JSCE (Japan Society of Civil Engineers), y el comité RILEM empezaron a realizar una serie de actividades con el objetivo de fomentar el desarrollo de los HAC. Entre estas actividades cabe destacar la publicación en 1997 del “State of the Art of RILEM Technical Committee 174-SCC” editado por Skarendahl y Petersson. Este libro hace una recopilación sobre los trabajos realizados hasta el momento donde se plantean conceptos relacionados con la reología, la capacidad de paso, la trabajabilidad, resistencia a la segregación, los tipos de finos o las propuestas de dosificación, y sus evoluciones, así como los métodos de ensayos mas utilizados.

En 1996, la conferencia realizada por Okamura, en la Convención del ACI, en Nueva Orleans, fomentó el interés por el HAC en Norteamérica. En septiembre de 1999 se realizó el primer congreso internacional sobre los HAC en Estocolmo, contando con la participación de delegados de 13 países, con Japón y Suecia como mayores colaboradores. Los principales temas analizados estaban relacionados con los materiales, la dosificación, las propiedades y principalmente con las aplicaciones de los HAC.

Dos años más tarde, en el segundo congreso internacional (RILEM) realizado en Tokio, se pudo observar un gran aumento del interés y de la utilización de los HAC. Más de un 25% de los trabajos presentados estaban relacionados con aplicaciones en construcciones civiles y de edificación.

En agosto de 2003, tubo lugar en Islandia el tercer congreso internacional (RILEM), en él se puso de manifiesto la creciente tendencia a la utilización de los HAC además de una clara preocupación sobre el comportamiento del hormigón, su reología y sus propiedades mecánicas.

Finalmente en el último congreso RILEM realizado en Chicago en el 2005 se pudo observar que el desarrollo y la utilización del HAC siguen una tendencia creciente.

Asimismo, el bajo índice de trabajos escritos sobre dosificación es un indicativo de que el HAC ya no es un secreto y de que los investigadores siguen centrando cada vez más sus investigaciones en el comportamiento reológico y en las propiedades mecánicas de estos hormigones.







En Europa, en 1997, varias empresas y universidades dieron inicio al proyecto “BriteEuram BE96-3801 - Rational Production and Improved Working Environment Trough Using Self Compacting Concrete”. Dicho proyecto tenía como principales objetivos desarrollar la tecnología para la fabricación de los HAC e introducir esta tecnología en la producción, transporte y ejecución a gran escala.

Finalizado en el año de 2000 este proyecto generó un documento bastante completo que aporta información sobre distintos aspectos del hormigón, en estado fresco y endurecido.

Además, en Europa, se han formado comisiones para establecer parámetros fijos para los HAC entre ellas se destaca la comisión europea conocida como GROWTH Project – GR 2-2000-30024 con participación de Alemania, Suecia, Holanda, Inglaterra, Dinamarca, Islandia, Francia y Bélgica. Sus objetivos se orientan hacia la normalización de los HAC identificando sus principales características, de manera que se pueda reproducir el mismo hormigón en distintos países.

Asimismo ya existen varias guías como:

- La “Betons Auto- Plaçants; Recommandations provisoires”, preparada por la “Association Française de Génie Civil” en el 2000.
- La “Self-Compacting Concrete, Recommendations for Use” Report N° 10 de la Swedish Concrete Association’s Comité, 2002.
- La “The European guidelines for Self- Compacting Concrete; Specification, Production and Use” preparada por el “Self- Compacting Concrete European Group” fundado en enero de 2004.
- La “Guía Práctica para la Utilización del Hormigón Autocompactante” del Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), 2005.
- mas recientemente la “Self-Consolidating Concrete (ACI237R-07) presentado por el American Concrete Institute en el 2007.

Estos documentos presentan información general a cerca de los autocompactantes y son bastante útiles para las empresas o investigadores que están empezando a tomar contacto con los HAC.

En Particular, la guía Europea presenta un alto nivel de detalles en cuanto a dosificación, ensayos y clasificación del hormigón en función de sus propiedades en estado fresco.

En España, AENOR ha adaptado las normas de ensayos para caracterizar el comportamiento de los HAC en estado fresco. Además, el borrador de la futura instrucción Española de hormigón estructural incluye un anejo específico para la utilización de los HAC.





## 2.2 CONCEPTOS ESPECIFICOS RELACIONADOS CON LOS HAC

### 2.2.1 Introducción

Los HAC se incluyen entre los de hormigones especiales de altas prestaciones pensados fabricados para cumplir determinados objetivos que están más allá de las capacidades de los hormigones convencionales. Sus principales características se presentan en el estado fresco, y de acuerdo con las guías presentadas en el apartado anterior, estas características se dividen en tres bloques descritos a continuación:

- **Capacidad de paso:** Se define como la capacidad que el hormigón debe tener para pasar por sitios estrechos sin que el contacto entre los áridos cause el bloqueo de la mezcla. La obtención de esta propiedad se da incrementando la fluidez de la pasta con la utilización de superplastificantes, reduciendo el volumen de árido grueso de la mezcla y ajustando el diámetro máximo del árido en función de los espacios por donde el hormigón debe pasar. Así, la geometría de la pieza a hormigonar y la distribución de las armaduras son los principales factores a tenerse en cuenta.

- **Capacidad de llenado:** Es la capacidad que el hormigón debe tener a la hora de fluir dentro del encofrado rellenando todas las superficies. Por un lado esta propiedad garantiza la calidad del acabado, de manera que este presentará una superficie lisa, con color homogéneo y libre de coqueras. Por otra parte, las armaduras deben estar perfectamente recubiertas evitando la ocurrencia de bolsas de aire en la parte inferior de las mismas.

- **Resistencia a la segregación:** Esta propiedad está relacionada con la estabilidad del hormigón. En un HAC la mezcla debe permanecer homogénea durante y tras el proceso de hormigonado sin que ocurra separación de los áridos o exudación. Este factor influye directamente sobre las dos propiedades citadas anteriormente afectando la calidad final de la pieza hormigonada. En general se busca la estabilidad de la mezcla por medio de la inclusión de filleres o por la utilización de agentes modificadores de la viscosidad (AMV). La utilización de cualquiera de ellos tiende a incrementar la viscosidad de la pasta evitando la segregación.

### 2.2.2 Comportamiento Reológico

*“La reología es la disciplina que estudia la deformación y flujo de materiales. La resistencia que un fluido opone al flujo puede ser modelada analizando el movimiento paralelo de dos planos (fig.2.1), donde uno de ellos se mueve en la dirección de su propio plano y el otro está fijo. Se considera que el flujo es unidimensional y que la velocidad varía de forma directamente proporcional a la distancia perpendicular entre los planos.” (Velásquez 2002).*

Los líquidos de estructura simple, como por ejemplo el agua, obedecen a la ley de Newton (ecuación 2.1):

$$\tau = \eta \cdot \gamma' \quad (2.1)$$





donde  $\tau$  es el esfuerzo de corte, definido como la fuerza por unidad de área aplicada y  $\gamma'$  es la velocidad de corte producida, que se define como la variación de la velocidad por unidad de distancia  $h$  entre los dos planos.

La Constante  $\eta$  que relaciona el esfuerzo de corte aplicado y la velocidad de corte adoptada por el fluido, se define como viscosidad.

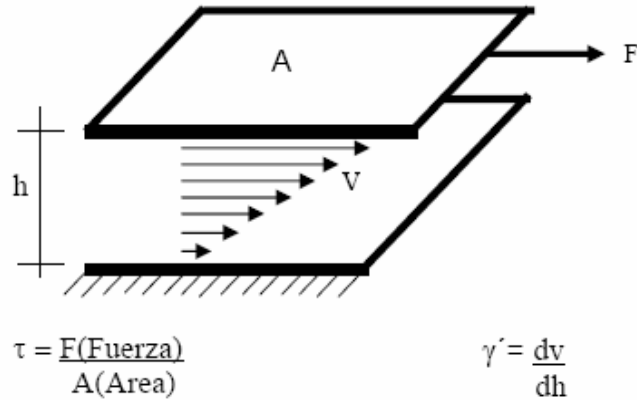


Fig. 2.1 Representación esquemática del comportamiento de un fluido Newtoniano

Existen sustancias, tales como geles, polímeros fundidos, fluidos orgánicos, como la sangre, que presentan estructuras mas complejas y que presentan propiedades tanto elásticas (relacionadas con los sólidos) como viscosas. Tales sustancias son conocidas como “fluidos no-Newtonianos” y en la mayoría de los casos pueden ser modelizadas utilizando la ecuación de Bingham (ecuación 2.2):

$$\tau = \tau_0 + (\mu \cdot \gamma') \quad (2.2)$$

donde  $\tau_0$  es el esfuerzo inicial que se debe superar para que el fluido se ponga en movimiento y  $\mu$  es la viscosidad plástica. (fig. 2.2).

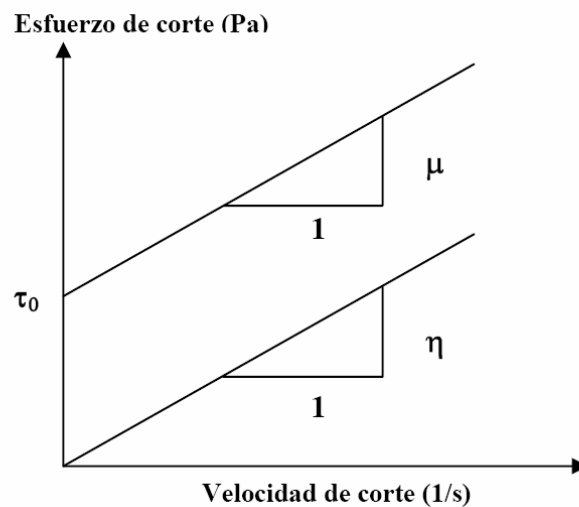


Fig. 2.2 Representación grafica de los modelos de Newton y Bingham



Los hormigones son materiales compuestos por un líquido viscoso con partículas sólidas en suspensión que en escala macroscópica puede fluir como un líquido (Ferraris 1999).

En principio el comportamiento reológico de los hormigones puede ser considerado como no Newtoniano y puede ser modelizados por la ecuación de Bingham.

El concepto reológico del esfuerzo de corte inicial que el material necesita para empezar a fluir ( $\tau_0$ ) está íntimamente relacionado con el concepto de la tixotropía, pero también con el de la consistencia, entendida como la resistencia del hormigón a fluir.

Por ello la mayoría de los autores están de acuerdo en que el objetivo a la hora de conseguir un buen HAC es buscar un hormigón que presente el menor  $\tau_0$  posible.

Conseguir al mismo tiempo hormigones con baja viscosidad con la finalidad de lograr que, además de ser autocompactantes, tengan un flujo rápido suele ir acompañado de un aumento del riesgo de segregación. Por ello se prefiere buscar hormigones con viscosidad moderada.

### 2.2.3 Determinación de las propiedades reológicas del HAC

Para evaluar los parámetros reológicos  $\tau_0$  y  $\mu$  de la ecuación de Bingham en los HAC se utilizan equipos conocidos como reómetros (viscosímetros). En el mercado existen reómetros de modelos y tamaños muy distintos, lo que hace que los resultados de ensayos sean difícilmente comparables.

Ferraris (1999) presentó un estado del arte sobre los métodos utilizados para analizar las propiedades reológicas de hormigones de altas prestaciones, donde describe los varios tipos de reómetros y el funcionamiento de cada uno.

En 1999 Emborg utilizó un viscosímetro BML WO-3, (fig. 2.3) de cilindros concéntricos, para analizar la viscosidad y el esfuerzo de corte, en hormigones, considerando variables como el tipo de árido (machacado o rodado), tipo y volumen de filler, cuantía de cemento, volumen de agua, tipo y dosificación de aditivo (superplastificante y cohesionante).



Fig. 2.3 Viscosímetro BML WO-3



Sobre una dosificación base, Emborg analiza, inicialmente, el efecto del tipo de árido fino (0 – 8 mm), y concluye que los áridos rodados presentan menor dispersión en los resultados, principalmente en la viscosidad plástica ( $\mu$ ), obteniendo valores se encuentran entre los 7 y los 12 (Nms). Mientras que para los áridos machacados estos resultados varían entre los 6 y los 46 (Nms).

Posteriormente, analiza el efecto sobre el comportamiento reológico del tipo y dosificación de árido grueso (8 – 16 mm), mezclado en proporciones que variaban entre los 39 y los 45% sobre el árido total. En este caso se utilizó siempre el árido fino rodado. Como respuesta encontró valores de  $\mu$  entre 6 y 12 Nms y de  $\tau_0$  entre 0,1 y 0,5 Nm. En todos los casos los áridos gruesos rodados presentaron mayor esfuerzo inicial que los machacados.

Además, Emborg analizó las tendencias reológicas cuando se reducen los finos de la mezcla. Concluyó que reduciendo el contenido en finos, sean estos, cemento o filleres, los valores de los esfuerzos iniciales se reducen, mientras que las viscosidades se mantienen dentro de un mismo orden.

Respecto los aditivos Emborg concluye que los superplastificantes afectan principalmente el esfuerzo inicial. Éste será tanto menor cuanto mayor sea la proporción de aditivo utilizada en la mezcla. Mientras que la utilización de cohesionantes incrementa la viscosidad dando más estabilidad a la mezcla.

El análisis de sus estudios lleva a Emborg a la conclusión de que distintas variaciones en la dosificación de los hormigones pueden producir efectos similares. Sus resultados se resumen en la fig. 2.4 Así, partiendo de una amasada de referencia, un aumento en la dosificación de agua, un mayor porcentaje de árido grueso o la reducción del contenido en cemento disminuyen tanto el esfuerzo inicial de corte de la mezcla como su viscosidad. Una reducción en el volumen de filleres utilizado también reducen los mismos parámetros, pero de manera mas acentuada cuando se trata del esfuerzo de corte. Por otra parte, dosificaciones elevadas de superplastificantes también reducen el esfuerzo de corte inicial de la amasada, pero a la vez aumentan la viscosidad de la misma.

Ya en el caso de sustituir áridos rodados por machacados, la amasada tiene una tendencia a aumentar tanto su esfuerzo de corte inicial como su viscosidad. La utilización de aditivos agentes de viscosidad es capaz de aumentar la viscosidad de la mezcla manteniendo de manera controlada el esfuerzo de corte inicial.

Asimismo, Emborg propone un área óptima para la fabricación de HAC en cuanto a reología. Esta área está comprendida entre 11 y 14 Nms para la viscosidad y entre 0 y 0,3 Nm para el esfuerzo inicial.

Emborg analizó también la correlación entre las propiedades reológicas de la mezcla y ensayos como el Escurrimiento y la Caja L, pero en ambos casos los datos presentaron demasiada dispersión y por tanto no encontró correlación entre ellos.



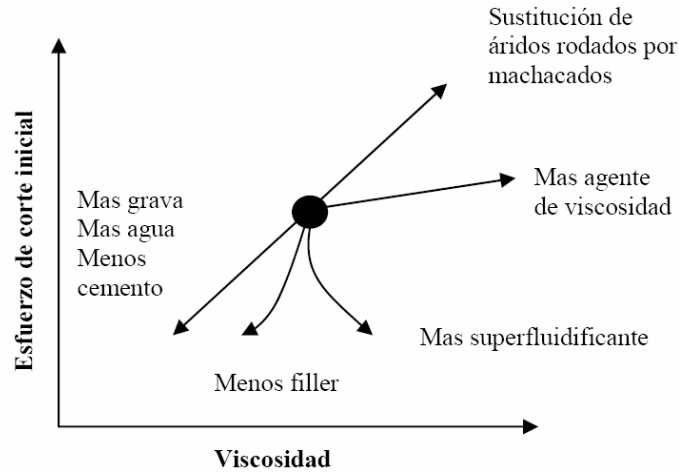


Fig. 2.4 Recomendaciones según Emborg 1999

En esta misma línea de estudios, Nielsson y Wallevik (2003) realizaron estudios reológicos utilizando un viscosímetro “ConTec” (fig. 2.5) y completándolos con ensayos de Ecurrimiento, Orimet, Caja L y Embudo V.



Fig. 2.5 Viscosímetro Con Tec

El estudio no tiene el objetivo de proponer ecuaciones a partir de los ensayos empíricos, sino simplemente presentar los resultados y con ellos formular preguntas y analizar sus posibles respuestas sobre el tema.

Estos ensayos se realizaron sobre cuatro tipos de hormigones:

- Una mezcla de referencia, con una tensión de corte igual a cero treinta minutos después de añadir el agua.
- Una mezcla con incremento de árido grueso, para dificultar la capacidad de paso del hormigón.



- Una mezcla con el mismo esqueleto granular que la mezcla de referencia pero con distinta proporción de pasta. De manera que la tensión de corte se incrementa alrededor de 50 Pa, disminuyendo la capacidad de llenado.

- Y finalmente una mezcla “óptima”, diseñada con la idea de mejorar la capacidad de llenado. Se logró este objetivo aumentando respecto a la amasada de referencia, el volumen de finos, reduciendo el contenido de agua y subiendo el de aditivo superplastificante.

A partir de sus los resultados Nielsson y Wallevik definieron intervalos, de viscosidad y esfuerzo de corte, para los cuales los hormigones podrían ser considerados como autocompactantes y los correlacionaron con los diámetros de Escurrimiento alcanzados por los hormigones en cada caso, fig. 2.6.

Nielsson y Wallevik afirman que los hormigones que presenten baja viscosidad plástica deben tener un esfuerzo de corte mas elevado, para garantizar su resistencia a la segregación. Por otra parte, los hormigones que presenten alta viscosidad plástica deben tener valores de esfuerzo de corte insignificantes.

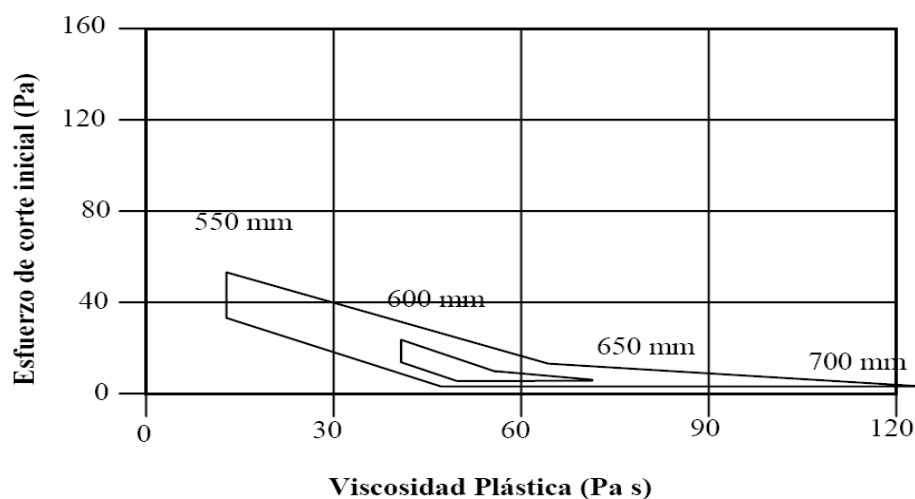


Fig. 2.6 Zonificación de los HAC de acuerdo con su aplicación según Wallevik y Nelson

Como conclusión Nielsson y Wallevik presentan una correlación lineal creciente entre los resultados de la viscosidad y de los resultados del T500, Orimet, embudo en V y caja L. De forma que una variación de la viscosidad entre los 25 y los 95 (Pa s) corresponde a una variación entre los 2 y los 6 (s) en el T500, los 2 y los 7 (s) en el Orimet, entre los 4 y los 12 (s) en el embudo en V y entre los 2 y los 8 en la caja L.

Además, concluyen que la calidad de los resultados de los ensayos depende principalmente del operador.

Bilberg (1999) utilizó un viscosímetro (Haake Rotovisco C20) de cilindros concéntricos, para analizar pastas de HAC con 7 tipos de aditivos, 2 tipos de cementos y filleres de distintas procedencias.

Manteniendo fijas las proporciones de cemento, filler y la relación a/c, analizó los parámetros  $\tau_0$  y  $\mu$  en respecto al diámetro medio de partícula. La conclusión es que tanto  $\tau_0$  como  $\mu$  son mayores a medida que se reduce el diámetro medio.

Bilberg comprueba la mayor efectividad de los superplastificantes de última generación en comparación con los tradicionales fabricados a base de sulfonatos y melaminas.

Además, concluye que el incremento de superplastificante implica una reducción tanto del  $\tau_0$  como de la  $\mu$  independientemente de la proporción entre cemento y filler. Esta reducción puede ser más acentuada o más suave dependiendo del tipo de filler utilizado. Como conclusión final, Bilberg propone que para fabricar un HAC se busque una combinación entre cemento, filler y aditivo con la cual se consiga el menor  $\tau_0$  posible. Los estudios sobre reología no siempre alcanzan las mismas conclusiones y las propuestas para los valores de  $\tau_0$  y de  $\mu$  pueden llegar a ser muy distintos, como se aprecia en la tabla 2.1 (Wallevik 2003).

PAIS	Finos (Kg/m <sup>3</sup> )	Esfuerzo inicial (Pa)	Viscosidad plástica (Pa s)
Suecia	>550	0 – 30	50 – 100
Holanda	>550	0 – 10	60 – 120
Japón	>550	0 – 30	50 – 120
Francia	-	0 – 10	> 60
Suiza	<450	0 – 50	10 – 20
Noruega	<450	10 – 50	30 – 45
Islandia	<450	10 – 50	20 – 40
Dinamarca	<400	30 – 60	< 40
Reino Unido	>550	10 – 50	50 – 80
Alemania	>550	0 – 10	60 – 90
Estados Unidos	>550	0 – 20	40 – 120

Tabla 2.1 Propuesta de valores de esfuerzo inicial  $\tau_0$  y viscosidad plástica  $\mu$  para la fabricación de HAC en distintos países. (Wallevik 2003)

Estas diferencias pueden deberse a varios factores entre los cuales se puede destacar, además de la influencia de los materiales componentes del hormigón procedentes de distintos países, los distintos tipos de equipos y procedimientos utilizados que hacen con que la comparación de los resultados sea muy subjetiva. Wallevik (2006) comentó que los valores medidos por el BTRheom son más o menos el doble de los valores que se miden con un viscosímetro ConTec BML en el mismo hormigón. Por ese motivo, a la hora de realizar comparaciones en la fig. 2.6 los valores medidos por el primer equipo se deben dividir entre dos.

Por otra parte, es posible que los objetivos buscados por cada autor sean diferentes, y dependiendo de la aplicación se intente caracterizar un HAC con mayor o menor viscosidad plástica.







## 2.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS HAC EN ESTADO FRESCO

### 2.3.1 Introducción

Dado que los HAC en estado fresco poseen propiedades distintas a las de un hormigón tradicional. Estas características requieren métodos de ensayos distintos a los tradicionales, que no sirven para evaluar las propiedades de este nuevo tipo de hormigón.

La utilización del Cono de Abrams daría resultados próximos a 30 cm y no discriminaría distintos comportamientos. Otros métodos tradicionales tampoco son aplicables.

En la actualidad, existen una serie amplia de métodos de ensayo muy extendidos que nos permite caracterizar los HAC en estado fresco. Entre los más utilizados analizaremos los siguientes:

- Ecurrimiento
- Ecurrimiento con Anillo Japonés
- Embudo en V
- Caja en L
- Caja en U

Estos métodos nos permiten analizar el HAC en su estado fresco y, en algunos casos, simular situaciones semejantes a las de puesta en obra.

### 2.3.2 Ensayo del escurrimiento (UNE 83361:2007)

Este ensayo evalúa la fluidez del hormigón fresco bajo su propio peso. Además nos aporta, cualitativamente, una idea de si el hormigón tiene o no tendencia a la segregación.

Su procedimiento consiste en llenar el Cono de Abrams con una muestra de hormigón, sin ningún tipo de compactación, sobre una placa de superficie lisa y perfectamente plana que presente una marca circular con diámetro de 500 mm. Tras levantar el cono y dejar fluir el hormigón, se mide el tiempo que tarda la masa de hormigón en alcanzar un diámetro de 500 mm (T500) y posteriormente el diámetro (Dmax) final alcanzado por la mezcla de hormigón (fig. 2.7).

El aspecto final del hormigón debe ser homogéneo, presentando una buena distribución de la grava. Una concentración de grava en el centro de la masa de hormigón ensayado, indica una tendencia a la segregación, y el borde del hormigón no debe presentar señales de exudación.



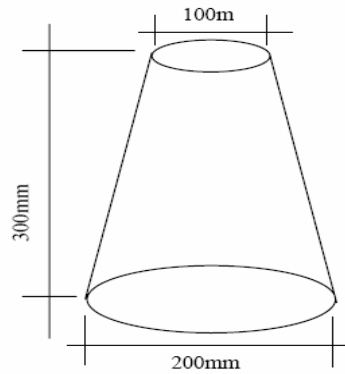


Fig. 2.7 Dimensiones del Cono de Abrams y realización del ensayo

Sedran propuso en 1999 las ecuaciones 2.3 y 2.4 que relacionan los parámetros  $T_{500}$  y  $D_f$  con el esfuerzo de corte inicial ( $\tau$ ) y con la viscosidad plástica ( $\mu$ ) descritos en el apartado 2.2.2.:

$$\tau_0 = (808 - D_{\max}) \frac{Mg}{11740} \quad (2.3)$$

$$\mu' = \frac{Mg}{10000} (0,026D_f - 2,39) t_{500} \quad (2.4)$$

donde el  $D_{\max}$  es el diámetro máximo en mm,  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $M$  es la densidad en  $\text{Kg./m}^3$  y  $t_{500}$  es el tiempo, en segundos, que el hormigón tarda en alcanzar un diámetro de 500 mm. Los resultados se darán en Pa para el  $\tau_0$  y en Pa.s para  $\mu'$ . Sedran admite errores del orden de 95 Pa y de 35 Pa.s respectivamente para  $\tau_0$  y  $\mu'$ .

Paralelamente a los trabajos de reología, Nielsson y Wallevik (2003) realizaron un estudio con el ensayo de Escurrimiento. En este caso se realizaba el ensayo de dos maneras distintas. En un caso se sacaba el cono lentamente mientras el hormigón fluía y en el otro caso éste era sacado rápidamente.

Se ejecutaron estos ensayos para hormigones con tres viscosidades distintas: 80, 40 y 20 Pa. Es decir, alta, media y baja viscosidad respectivamente.

Nielsson y Wallevik concluyen que en ninguno de los casos la manera de realizar el ensayo afecta el resultado final del mismo y que únicamente el ensayo del Escurrimiento no es suficiente para definir las características de un HAC. Además, indica que la medida de los tiempos de Escurrimiento no es precisa debido a que la mezcla no siempre alcanza los 500 mm de manera uniforme con lo cual no llegan a proponer ecuaciones relacionando los parámetros anteriormente mencionados.



Respecto a los límites del ensayo, la Guía Europea para el HAC (2006) o el documento cero de la EHE para HAC (2007) recomiendan clasificar los HAC en distintas categorías en función del valor de su escurrimiento.

La Guía Europea propone seleccionar las exigencias en función del tipo de aplicación. La tabla 2.2 resume estas recomendaciones. Para los elementos de hormigón en masa o ligeramente armados así como los pavimentos y losas se podrá utilizar cualquiera de las categorías.

Clase	mm	Aplicación
Sf1	550 a 650	- Estructuras en masa o poca densidad de armaduras que sean llenadas desde la parte superior con desplazamiento libre desde el punto de entrega (p.e. losas de cimentación o pavimentos) - Hormigones de relleno por bombeo (p.e. encofrados de túneles) - Elementos suficientemente pequeños que no precisen largos flujos horizontales (p.e. pilares y algunas cimentaciones profundas)
Sf2	660 a 750	Adecuado para muchas aplicaciones normales (p.e. muros y pilares)
Sf3	760 a 850	Aplicaciones verticales en estructuras muy armadas, estructuras de formas complejas, o rellenos bajo los encofrados.

Tabla 2.2 Recomendaciones de la Guía Europea para el ensayo de Ecurrimiento

### 2.3.3 Ecurrimiento con el anillo Japonés (UNE 83362:2007)

Inicialmente desarrollado por la Universidad de Paisley (EFNARC 2002) este ensayo evalúa la fluidez y la capacidad de paso del hormigón a través de las barras de acero. El aparato consiste en un anillo compuesto de barras de acero y puede ser adaptado los ensayos de Ecurrimiento u Orimet (Fig. 2.8 y 2.9). En ambos casos el ensayo se desarrolla liberando una determinada masa de hormigón en el centro del anillo. El hormigón debe fluir a través de las barras de acero sin el árido grueso se quede bloqueado entre las mismas.

En cuanto a sus dimensiones autores como Sonebi y Bartos (2000), la Guía europea de HAC o la norma española UNE 83362 coinciden que el diámetro del anillo sea de 300 mm mientras que el diámetro y el espacio entre barras pueden variar en función del diámetro máximo del árido que se utilice o de la armadura que se desee simular (Tam 2005). La UNE 83362 recomienda la utilización de 20 barras de 10 mm de diámetro sí el tamaño máximo del árido es menor o igual a 20 mm. Y 12 barras de 28 mm de diámetro si se utilizan áridos mayores que 20 mm.

Al igual que en el Ecurrimiento, se medirá el tiempo T500 y, tras la estabilización del hormigón se medirá el diámetro final (Df) como resultado específico de este ensayo se mide las alturas H1 y H2 alcanzadas por el hormigón, en los bordes interior y exterior del anillo (fig. 2.10). El anejo de la EHE sobre HAC recomienda que los diámetros alcanzados por el hormigón en este ensayo no deban diferir más que 50 mm respecto al ensayo de Ecurrimiento del mismo hormigón.

Tanto la Guía Europea como la norma UNE 83362 definen el coeficiente de bloqueo como (ecuación 2.5):

$$Cbe = \left( \frac{H2}{H1} \right) * 100 \quad (2.5)$$

No hay recomendaciones específicas para los valores del coeficiente de bloqueo.



Fig. 2.8 Ensayo de Escurrimiento con anillo J



Fig 2.9 Ensayo Orimet con anillo J

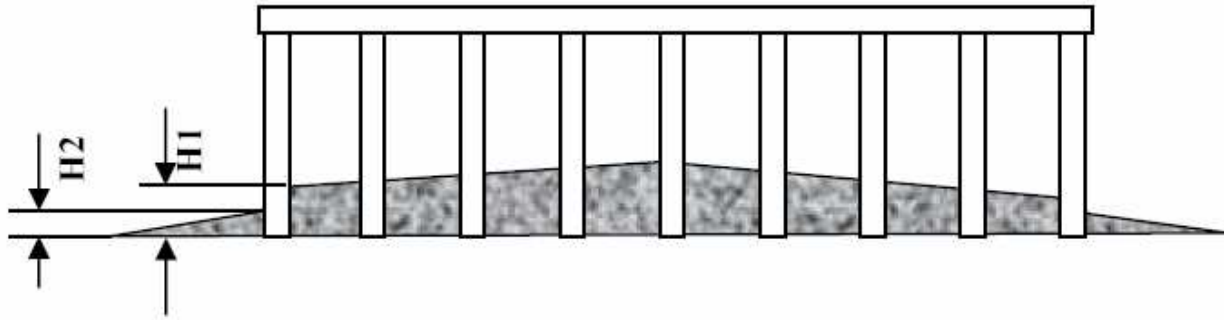


Fig. 2.10. Definición de H1 y H2 en el ensayo del anillo japonés

### 2.3.4 Embudo en V (UNE 83364:2007)

Este ensayo permite evaluar la fluidez, la capacidad del hormigón para pasar por sitios estrechos y la resistencia a la segregación de la mezcla.

Para realizar el ensayo, primeramente se llena un embudo, de dimensiones indicadas en la fig. 2.11, sin compactación. Tras un minuto de reposo se abre la compuerta que se encuentra en la parte inferior del embudo.

Se mide el tiempo ( $T_v$ ) que la mezcla de hormigón tarda en fluir por el embudo desde el momento en que se abre la compuerta hasta que se vea, mirando desde arriba, la primera entrada de luz en la parte baja del mismo.

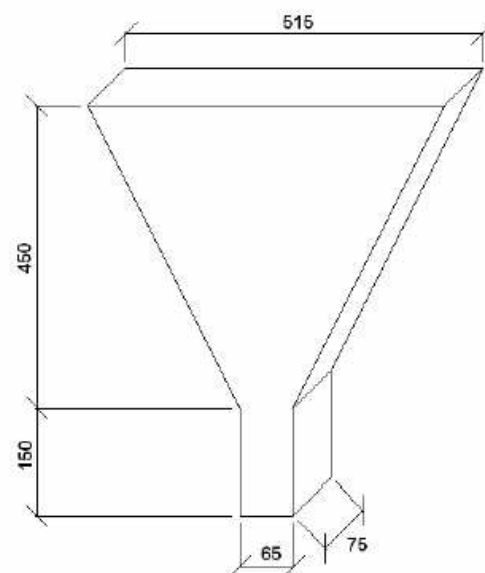


Fig. 2.11 Ensayo del embudo V. Dimensiones en mm

La masa de hormigón debe bajar de manera continua y con velocidad constante.





Variaciones en la velocidad de caída del hormigón indican que éste se está bloqueando debido a la segregación. Altos tiempos de embudo en hormigones con velocidades de caída constante indican que la mezcla es demasiado cohesiva debido al exceso de finos, a la reducida cantidad de agua o a la baja dosificación de aditivo.

Okamura (1996, 2003) utilizó este ensayo para evaluar la influencia del volumen, forma y distribución del agregado grueso, en la velocidad del flujo del hormigón. Utilizando hormigones con tres módulos de finura distintos (6.45, 6.71 y 6.90) realizó ensayos de embudo en V con distintas aperturas de salida (55,65 y 75 mm). Okamura concluyó que la frecuencia de contacto entre partículas sube a medida que se reduce la distancia relativa entre ellas. Sin embargo, concluyó que la forma de agregado no afectará la fluidez del hormigón, cuando se utilice un mismo porcentaje de árido grueso.

Finalmente Okamura concluye que la velocidad de flujo del hormigón a través del embudo con apertura de salida de 55 mm se verá sensiblemente afectada por el módulo de finura del árido grueso.

Respecto a los límites de resultados, hay distintas recomendaciones aunque en general el límite superior no sobrepasa los 25 (s). La guía EFNARC (2002) recomienda que el resultado deba encontrarse entre los 6 y los 12 segundos y que en la repetición del ensayo, realizado con el mismo hormigón 5 minutos tras la realización del primero, no debe presentar una diferencia superior a 3 segundos. Ya en el 2005, la guía europea recomendó la clasificación de los HAC en función de esta propiedad en dos clases:

- Tv inferior a 8 segundos: utilizados para elementos como pavimentos, losas, muros y pilares.
- Tv entre 9 y 25 segundos: utilizados sobretodo para rampas.

El anejo de la EHE para HAC propone un rango entre los 4 y los 20 segundos divididos en tres categorías:

- Tv ente 4 y 6 segundos: para estructuras con alta densidad de armaduras, encofrados con geometría compleja o elementos horizontales donde se desee obtener la autonivelación.
- Tv entre 6 y 10 segundos: “adecuada para la mayor parte de los elementos estructurales que se construyen habitualmente”.
- Tv entre 10 y 20 segundos: para hormigón en masa o ligeramente armado, rampas y encofrados con geometría sencilla.

Kayat (1999) considera que para un hormigón de alta fluidez, con Escurrimiento alrededor de 630 mm, tiempos de embudo iguales a 20 segundos indica que el hormigón no posee suficiente estabilidad para garantizar una distribución uniforme del árido grueso.



Soen (2001) también propuso dividir los resultados del ensayo del embudo en V en tres clases  $4\pm 1$  segundos,  $7\pm 2$  segundos,  $13\pm 2$  segundos. Estos valores se aproximan a los propuestos por la EHE.

En su estudio sobre la incorporación de altos volúmenes de cenizas volantes a los HAC, Bouzoubaâ (2001) preparó 10 dosificaciones que presentaron un intervalo entre 3 y 7 segundos en el ensayo de embudo V.

Holschemacher (2002) fijó un intervalo entre 10 y 20 segundos para seleccionar los HAC que utilizaría en su estudio de adherencia.

Para la fabricación de los elementos pretensados utilizados en la construcción del viaducto “Higashi-Oozu” en Japón se consideró el intervalo para los resultados del embudo V entre 8 y 15 segundos, recomendado por la JSCE (Ouchi y otros 2003).

En su estudio sobre el comportamiento de los HAC bajo fuego Rainhardt y Stegmaier (2006) utilizaron dosificaciones con resultados de embudo V entre los 8 y los 18 segundos.

### 2.3.5 Caja en L (UNE 83363:2007)

El ensayo de la Caja en L evalúa propiedades del HAC como la habilidad de pasar entre las barras de acero, la capacidad de llenado y la resistencia a la segregación.

El aparato está compuesto por un compartimiento vertical y un canal horizontal separados por una compuerta. La forma y dimensiones de la caja se muestran en la fig. 2.12. En el canal, y junto a la compuerta se acopla un sistema de armaduras instalado con la intención e dificultar el paso del hormigón. Tanto los diámetros de las barras utilizadas así como las separaciones entre ellas pueden ser modificados de acuerdo con el tipo de aplicación que se prevea para el hormigón. En 1999 Petersson utilizó tres barras de 12 mm en su investigación sobre el coeficiente de bloqueo del HAC con diferentes tamaños máximos de áridos. Esta misma configuración de barras es la que recomienda el RILEM en su Report 23 (1999) o EFNARC en su documento del 2002. Ya en 2005 la guía europea contempla la utilización de dos o tres barras de 12 mm pero en ningún caso define cuando se debe utilizar cada una de las opciones. Finalmente, la norma española, UNE 83363 define la utilización de 3 barras de 12 mm de diámetro para ensayar hormigones con diámetro máximo de árido igual a 20 mm, y, 2 barras de 16 mm de diámetro para hormigones con diámetros máximos de árido superior a 20 mm.



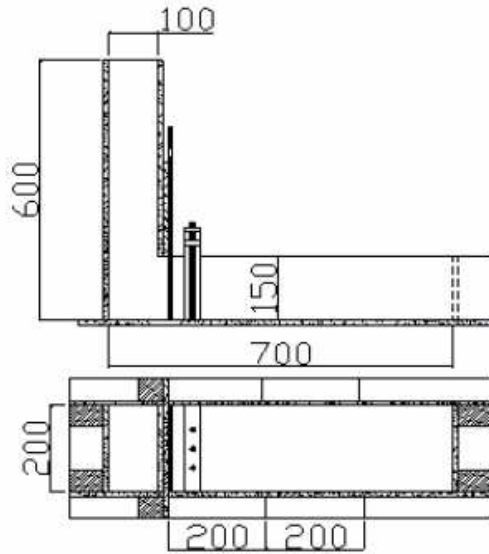


Fig. 2.12 Dimensiones de la caja L y ensayo realizado

Para realizar el ensayo, se rellena completamente el compartimiento vertical de la caja, con una muestra de hormigón, sin compactación, manteniendo la compuerta cerrada. Tras un minuto de reposo, se abre la compuerta y el hormigón empieza a fluir, por el canal horizontal, pasando a través de las barras de acero.

Respecto a los parámetros medidos en el ensayo, inicialmente se recomendaban medir los tiempos que la masa de hormigón tarda en recorrer, desde la compuerta, distancias de 200 y 400 mm, T200 y T400 respectivamente (Pettersson 1999 y RILEM 2000), pero los últimos documentos sobre la materia ya no consideran estas medidas (Guía Europea 2005) o simplemente miden el tiempo final, es decir, el tiempo que el hormigón tarda en alcanzar el extremo de la sección horizontal de la caja, una vez se abre la compuerta (UNE 83363:2007).

Finalmente, después que la masa de hormigón se estabiliza, se analiza la capacidad de nivelación o el coeficiente de bloqueo, midiendo las alturas que alcanza el hormigón en los dos extremos del canal horizontal, antes y después de las barras de acero, dando como resultado el cociente entre la altura al final y al principio del tramo horizontal  $h_2$  y  $h_1$ . Como recomendaciones a este coeficiente de bloqueo RILEM considera valores entre 0,80 y 0,85, EFNARC entre 0,80 y 1,0, mientras que la Guía Europea únicamente considera como límite inferior el valor de 0,75. Y el anejo de la EHE propone el intervalo entre 0,75 y 1,0.

Un bloqueo frente las barras de acero puede ser causado básicamente por dos razones, la segregación de la mezcla debido a una dosificación inadecuada o la incompatibilidad entre el tamaño máximo del árido grueso y los vanos entre barras de acero.





### 2.3.6 Caja en U (RILEM Technical Committee 174 – SCC)

Al igual que la Caja L la Caja U evalúa la habilidad de pasar entre las barras de acero, la capacidad de llenado y la resistencia a la segregación pero con un mayor nivel de exigencia en cuanto a la fluidez.

El aparato está compuesto de dos compartimentos verticales separados por una sección armada y una compuerta. Las dimensiones de la caja U se muestran en la fig. 2.13.

El ensayo consiste en llenar el compartimiento alto A con la muestra de hormigón, manteniendo la compuerta cerrada. Tras un minuto de reposo se abre la compuerta, que separa los dos compartimentos, dejando que el hormigón fluya del compartimiento A al compartimiento B, pasando por la zona armada. Posteriormente se mide la altura final alcanzada por el hormigón en el compartimiento B.

Los resultados de este ensayo propuestos por varios autores (Hayakawa 1993, Hokamura 1997, Edamatsu y Nishida 1999) y por guías para la fabricación de los HAC (Japan Society Civil 1998, EFNARC 2002) coinciden en que la altura del hormigón alcanzada en el compartimiento B debe superar los 300 mm.

Asimismo este ensayo no está contemplado en documentos más actuales tales como la Guía Europea para HAC, el Anejo 21 de la EHE o el ACI 237R-07.

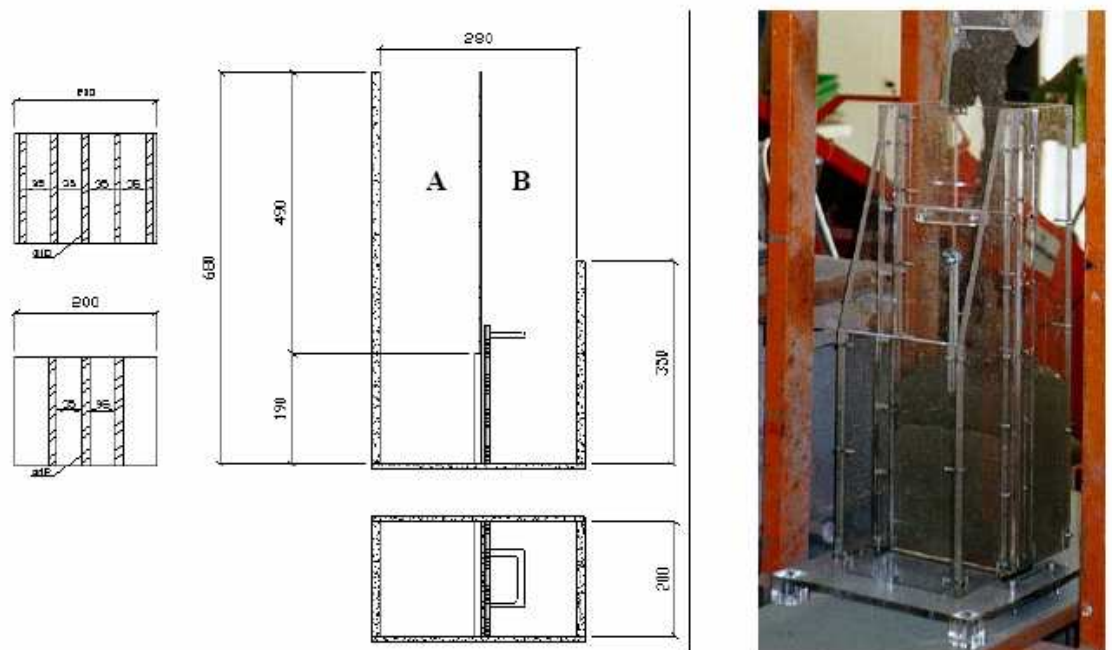


Fig. 2.13 Ensayo caja en U



### 2.3.7 Otros ensayos

#### Filling Vessel Test (RILEM Technical Committee 174 – SCC)

Este ensayo permite evaluar las capacidades de llenado y nivelación del hormigón en zonas densamente armadas. El aparato original fue desarrollado por Ozawa en 1992 fig. 2.14.

Posteriormente este ensayo sufrió algunas modificaciones; Yurugi, M – 1993 y Takada, K – 1998. Las dimensiones actualmente utilizadas se muestran en la fig. 2.15. Se evalúa la capacidad de nivelación del hormigón a través de la ecuación 2.6:

$$F(\%) = \frac{h1 + h2}{2h1} \times 100 \quad (2.6)$$

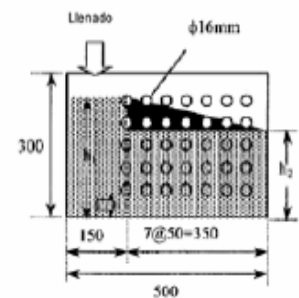
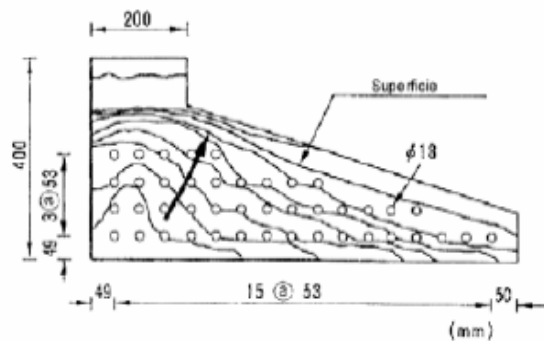


Fig 2.14 Vessel test. Aparato Original    Fig 2.15 Vessel test. Aparato modificado

#### Ensayo de Flujo Vertical

El ensayo de flujo vertical (Ozawa - 1992), al igual que el Filling Vessel Test, evalúa la habilidad del hormigón de pasar por zonas densamente armadas. Consiste en llenar un recipiente, de aproximadamente 30 litros de hormigón, que posee en la parte inferior un esquema de armaduras como se indica en la fig. 2.16. Tras el llenado, se aplica una pequeña presión (0.1kg/cm<sup>2</sup>) y el hormigón empieza a fluir a través de la armadura.



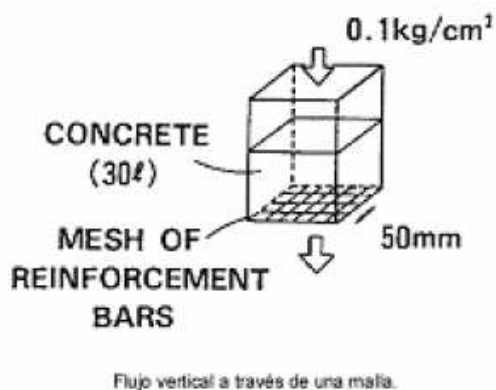


Fig2.16 Ensayo de flujo vertical

### Orimet Test

El Orimet Test (fig. 2.17) fue desarrollado por Bartos en 1978 inicialmente para evaluar hormigones fluidos y recientemente para analizar el comportamiento de los HAC respecto a su fluidez.

Este ensayo mide la capacidad de fluir del hormigón y en el caso de los HAC se consideran adecuados tiempos inferiores a los 5 segundos (Bartos y Grauers, 1999; Sonebi y Bartos, 2000).

El aparato está compuesto de un cilindro de 100 mm de diámetro con fondo en forma de tronco cono invertido y dotado de un sistema de cierre en la parte inferior. El diámetro interno del orificio puede variar de 70 a 90 mm. Para hormigones con un tamaño máximo de árido de 20 mm se recomienda que el diámetro inferior sea de 80 mm de diámetro (EFNARC – 2002).

Para dificultar y evaluar la capacidad de paso del hormigón, se adaptaron dos barras de 10 mm en la extremidad inferior del cilindro perpendiculares al flujo de la mezcla.

El procedimiento del ensayo consiste en llenar el aparato con una muestra de 8 litros de hormigón, sin compactarlo. Diez segundos tras el llenado se abre la compuerta dejando que el hormigón fluya simplemente por la acción de la gravedad. Se mide el tiempo que el hormigón tarda en vaciar completamente el cilindro. Este procedimiento no debe superar los 5 minutos.



Fig. 2.17 Orimet test



### 2.3.8 Ensayos para analizar la segregación de los HAC

Evaluar los niveles de segregación de los áridos es un factor muy importante en este tipo de hormigones, ya que su gran fluidez puede venir acompañada de falta de cohesión. Muchos autores recomiendan la realización de una inspección visual para comprobar la existencia de segregación o exudación (Khayat 1999), (Sedran 1999), (PCI TR-6-03-2003), (Rigueira 2004). Para cuantificar este parámetro se han desarrollado varios ensayos.

Sedran y De Larrard (1999) propusieron utilizar el ensayo de tracción indirecta (Ensayo Brasileño) para romper una probeta cilíndrica y analizar la distribución de los áridos en el interior de la misma (fig. 2.18 y 2.19). Cuando el hormigón tiene tendencia a segregar, al realizar este ensayo se detecta una capa superior sin árido grueso. Se define como segregado el hormigón que presente una capa superficial de pasta con 5 mm de espesor medido entre la superficie de la probeta y el primer árido de diámetro superior a 8 mm.



Fig. 2.18 Probeta segregada



Fig. 2.19 Probeta sin segregación

Ambroise 1997 propuso sacar muestras de distintas alturas de una probeta cilíndrica, que todavía no hubiera fraguado, tamizarlas y evaluar la cantidad de árido grueso en cada capa.

Este tipo de ensayo detecta una segregación de tipo estático, más relacionado con la sedimentación y que podría pasar desapercibida por otros ensayos.

Para evaluar la estabilidad superficial Khayat (1999) y Guisan (1997) propusieron los dos métodos de ensayo presentados en la fig. 2.20. En ambos casos se utilizan probetas cilíndricas de 800 mm de altura y 200 mm de diámetro que se rellenan con una muestra de hormigón sin compactación.

El ensayo consiste en medir el descenso de un disco, de 150 mm de diámetro y 4 mm de espesor, colocado en la superficie de la probeta.

En el primer caso la medida se realiza por medio de un captador de desplazamiento situado en la parte superior de la probeta. El segundo método utiliza, un rayo láser que se refleja en un espejo colocado sobre el disco indicando el desplazamiento.

Los descensos de la placa son debidos a la segregación que se produce cuando un exceso de agua sube a la superficie por exudación.

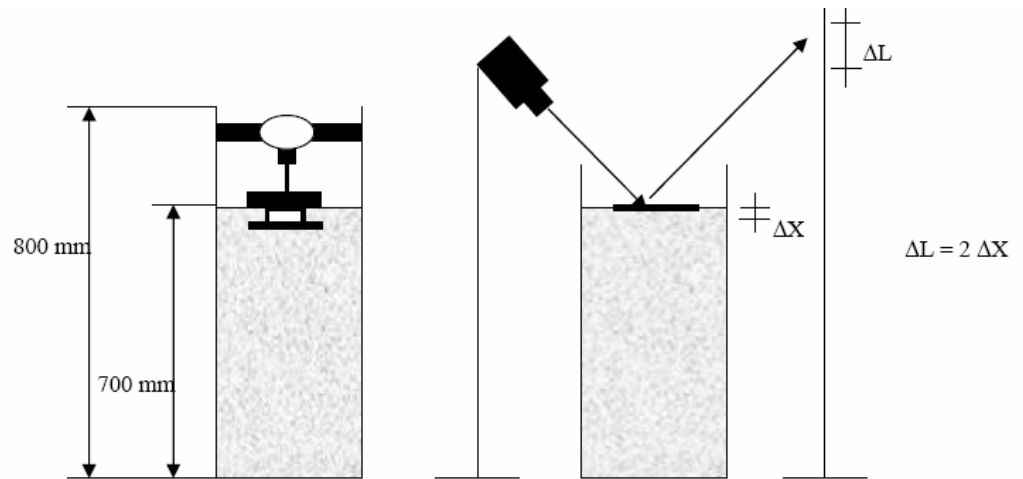


Fig. 2.20 Ensayos de estabilidad superficial

En la Universidad Politécnica de Cataluña, Gomes (2002) ha desarrollado el ensayo del Tubo en U (fig. 2.21).

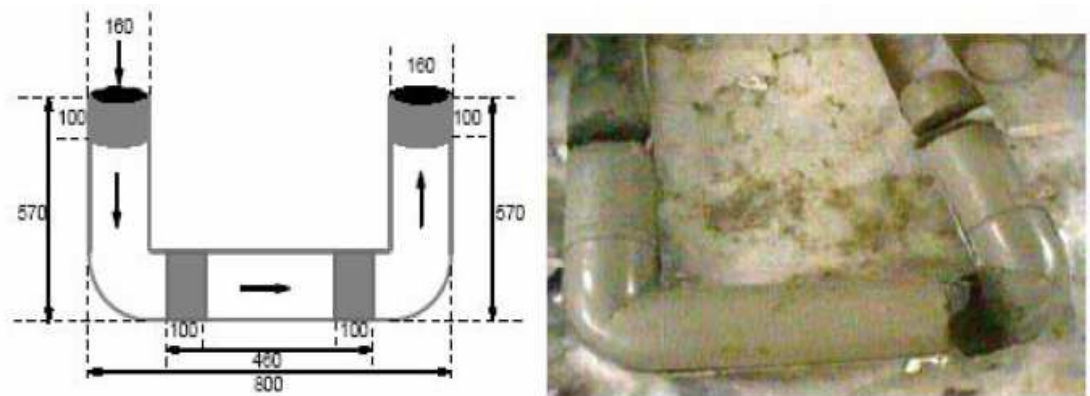


Fig. 2.21 Ensayo del Tubo en U

El ensayo consiste en rellenar un tubo, de 160 mm en forma de U, vertiendo el hormigón por una de las bocas hasta que éste alcance la otra extremidad del tubo de manera que las dos extremidades se queden niveladas. Se espera entre 3 y 6 horas hasta que el hormigón empiece a fraguar. Luego se abre el tubo y se cortan discos con 10 cm de espesor de distintas secciones del tubo. Estos discos son posteriormente lavados y pasados por un tamiz de 5 mm, para eliminar el mortero. Con el árido grueso, lavado y seco, se determina la relación de segregación, definida por el cociente entre el contenido de árido grueso evaluado en el hormigón y el contenido teórico según la dosificación. Ésta relación debe ser igual o superior a 0,9 (Gettu y Agulló 2004).

Para verificar la resistencia a la segregación se ha planteado en algunos casos la realización de pruebas de recepción en obra. Entre ellas, Ouchi en 1996, propuso la utilización del ensayo presentado en la fig. 2.22. Que consiste en verter una muestra del hormigón suministrado en una caja donde una de las paredes laterales ha sido sustituida por una sección armada. La muestra debe fluir a través de la armadura sin que se produzca el bloqueo de la mezcla.

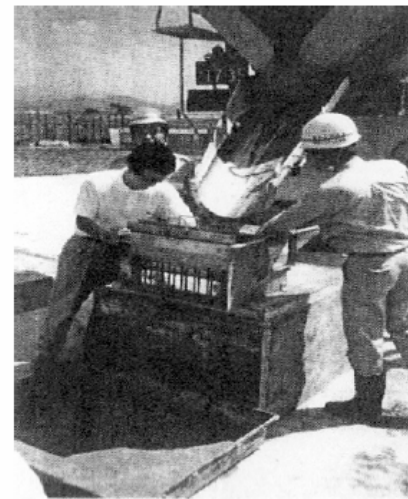
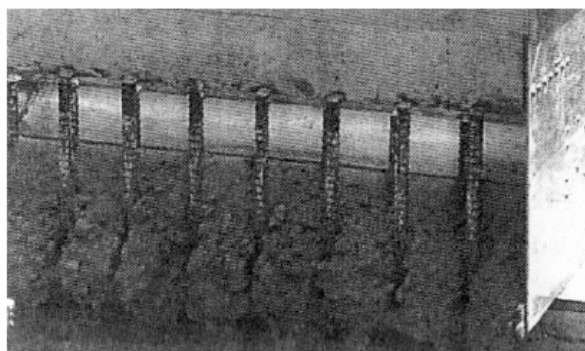


Fig. 2.22 Ensayo de aceptación en obra

### 2.3.9 Criterios de clasificación y aceptación de HAC

Para el control de recepción y la definición de los criterios de aceptación o rechazo de los HAC se suele proponer uno o varios de los ensayos comentados anteriormente.

En Japón ensayos como el Ecurrimiento, el embudo en V y la caja en U son normalmente los más utilizados a la hora de dar el visto bueno al hormigón en la obra.

En Suecia el método más utilizado para la aceptación del hormigón en estado fresco después del Ecurrimiento es la caja L.

En los dos casos los ensayos pueden presentar resultados fiables, e informar sobre las características del hormigón, pero su utilización es poco práctica.

No existen valores universalmente aceptados y recomendados para estos ensayos. En algunos casos hay divergencias de opiniones entre los autores, (tabla 2.3), aunque en otros casos los valores recomendados varían muy poco. La altura final de la Caja U, se suele estipular superior a 300 mm, y el cociente entre las alturas finales en la Caja L se propone superior al 0,75.

La “European Guidelines for SCC (2005)” propuso la clasificación de los HAC en función de los resultados de los ensayos de caracterización en estado fresco. El anejo de la EHE también ha adoptado este criterio.

El ACI (2007) presenta los valores mas bajos para el ensayo de Escurrimiento y da especial importancia al análisis visual del hormigón.

En cualquier caso las diferencias entre las propuestas probablemente se deban a los diferentes materiales que se utilizan para la fabricación del HAC o al tipo de aplicación prevista, ya sea un hormigón muy fluido y muy rápido o simplemente autocompactante, con menor riesgo de segregación.

En su artículo “¿Por qué es tan diferente el hormigón autocompactante en algunos países?” Wallevik (2006) atribuye estas diferencias sobretodo a las tradiciones y al grado de apertura de las personas implicadas en el proceso.

ENSAYOS	Escurrimiento		Caja L			CAJA U	EMBUDO V
	T <sub>500</sub> (s)	D <sub>max</sub> (mm)	T <sub>20</sub> (s)	T <sub>40</sub> (s)	H <sub>2</sub> /H <sub>1</sub>	h(mm)	T(s)
AUTORES/ GUIAS							
Hayakawa 1993	4 - 10	600-700	-	-	-	≥300	-
Ozawa 1994	-	-	-	-	-	-	6 - 10
Petersson1996	1 - 4	670 - 720	-	-	≥0,80	-	-
Japan Society Civil Ing. 1998	-	-	-	-	-	≥300	-
Billberg 1999	3 - 8	600 - 700	-	-	≥0,80	-	-
Okamura 2000	-	-	-	-	-	≥300	-
Sonebi 2000	1 - 3	650 - 690	-	-	≥0,80	-	-
Bouzoubaâ 2000	-	-	-	-	-	-	3 - 7
BETTOR 2000	-	600 - 700	-	-	-	-	8 - 12
Alcantara 2001	-	600 - 750	-	-	≥0,80	-	-
Sika S/A 2001	3 - 6	650 - 750	-	3 - 6	≥0,80	-	-
Gomes 2002	3 - 7	600-750	1,5	2,5	≥0,80	-	≤15
Gettu 2002	3 - 7	600 - 750	1± 0,5	2± 0,5	≥0,80	-	7 - 13
EFNARC 2002	2 - 5	650 - 800	-	-	≥0,80	≥300	≤ 12
European Guidelines 2005	≤2 ≥2	550<D <sub>f</sub> <650 660<D <sub>f</sub> <750 760<D <sub>f</sub> <850	-	-	≥0,75	-	≤8 9≤T <sub>v</sub> ≤25
EHE 2006	≤8 2≤T≤8 2,5≤T≤8	550<D <sub>f1</sub> <650 650<D <sub>f2</sub> <750 750<D <sub>f3</sub> <850	-	-	0,75 - 1,0	-	4≤T <sub>v</sub> ≤6 6≤T <sub>v</sub> ≤10 10≤T <sub>v</sub> ≤20
ACI 2007	2 - 5	450 - 760	-	-	0,80 - 1,0	-	-

Tabla 2.3 Parámetros de los ensayos por autores

### 2.3.10 Comparación de las características reológicas y tecnológicas del HAC

Siguiendo los parámetros definidos por Nielsson y Wallevik, Zerbino y otros (2006), han desarrollado un amplio estudio experimental que consistió en fabricar varias series de amasadas sobre las cuales se medían los parámetros de reología, esfuerzo inicial y viscosidad plástica, se realizaban los ensayos de Escurrimiento, Escurrimiento con anillo y embudo en V. Analizaron como factores:

- Temperatura
- Volumen de amasado
- Tamaño máximo del árido
- Incorporación de fibras
- Incorporación de Retardador de fraguado
- Incorporación de Zeolitas



Con ella analizaron los parámetros reológicos de los HAC a lo largo del tiempo y buscaron una correlación entre estas y otras propiedades tecnológicas como el escurrimiento y el tiempo de flujo en el embudo en V, proponiendo al final una zona de autocompactabilidad en la grafica “Diámetro de Escurrimiento por Tiempo de embudo V” (fig. 2.23). El área abarcada por la elipse marca la zona de los HAC que corresponde a la zona definida por Nielsson y Wallevik respecto a los parámetros reológicos.

Inmediatamente por encima de esta elipse, la zona gris define una región donde se encuentran los hormigones que presentan una viscosidad más elevada pero que podrían ser considerados como HAC ya que presentan suficiente movilidad, representada por el diámetro del Escurrimiento. Ya por debajo de la elipse, los tiempos de embudo V en el límite de los 3 segundos y los diámetros de escurrimiento superiores a 700 mm se define la zona de los hormigones que estarían en la frontera de la segregación. Estos hormigones suelen ser muy rápidos pero no presentan suficiente cohesión entre árido y pasta.

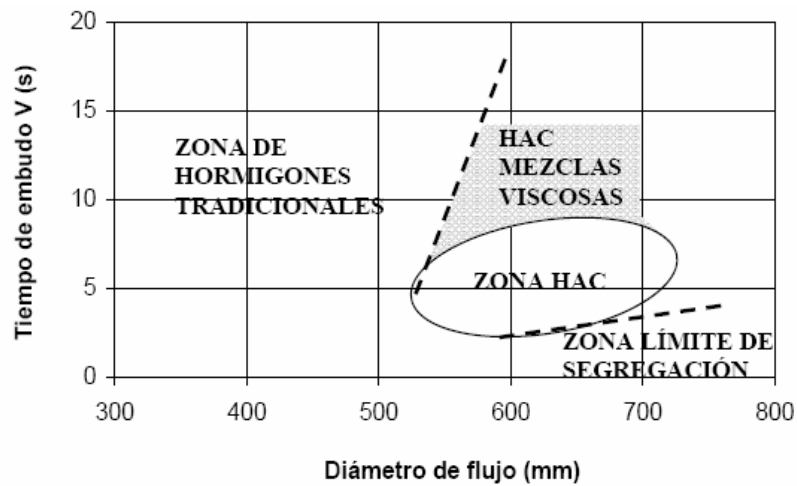


Fig. 2.23. Definición de zonas de autocompactabilidad según Zerbino et al, 2006

Aceptar que la región gris de mezclas viscosas se considere incluida en la zona de los HAC implica ampliar la zona de los parámetros reológicos inicialmente propuesta por Nielsson y Wallevik incluyendo, en ella, hormigones que presentan simultáneamente valores de, viscosidad plástica y esfuerzo de corte inicial, algo superiores (fig. 2.24).

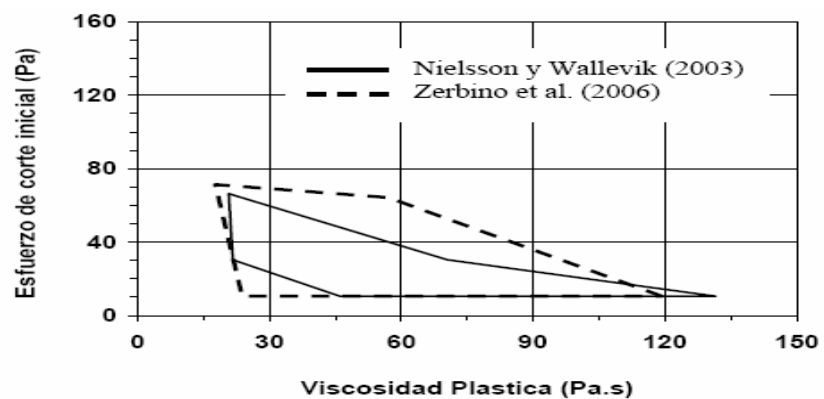


Fig. 2.24. Comparación de las zonas de autocompactabilidad







## 2.4 MATERIALES EMPLEADOS PARA FABRICAR HAC

### 2.4.1 Introducción

Los materiales utilizados en la fabricación de los HAC son los mismos que se emplean para un hormigón convencional, pero las proporciones utilizadas en su dosificación son distintas, especialmente en lo relativo al contenido en materiales finos, para evitar riesgos de segregación.

Por otra parte, la utilización de aditivos superfluidificantes de última generación o reductores de agua de alto rango es imprescindible a la hora de obtener hormigones autocompactantes, ya que se busca la fluidez del hormigón pero sin prescindir de su calidad.

### 2.4.2 Cemento

Para la fabricación de los HAC, se pueden utilizar todos los tipos cementos existentes en el mercado, la elección entre uno u otro debe estar asociada al tipo de aplicación del hormigón, de la calidad exigida al hormigón, de la disponibilidad en el mercado y de su finura.

La cantidad adoptada puede variar de acuerdo con la calidad del hormigón que se desea obtener, con el contenido de adiciones y con el tamaño máximo del árido utilizado en la mezcla.

Las cantidades de cemento utilizadas, no deben superar 500 Kg. / m<sup>3</sup> debido a los riesgos de aumento en la retracción. Cuantías inferiores a los 350 Kg. / m<sup>3</sup> solo resultan adecuadas si se incluye otro tipo de fino, como cenizas volantes, puzolanas, etc. En general el consumo suele estar entre 350 y 450 Kg./m<sup>3</sup>.

Dado que se han realizado muchos estudios y aplicaciones con la idea de obtener HAC de altas resistencias es frecuente que se emplee cementos tipo CEM-I 52,5. Sin embargo cuando las exigencias de resistencia no sean importantes suele ser conveniente emplear cementos de clase resistente inferior ya que su menor finura va acompañada una menor demanda de agua.

### 2.4.3 Áridos

#### 2.4.3.1 Definiciones

- Son materiales “inertes”, de naturaleza inorgánica y, en general, naturales.
- Son el 80% del hormigón y determinan en gran medida sus propiedades.
- Deben asegurar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón.
- La EHE en su apartado 28.1 indica:



“como áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse áridos gruesos (gravas) y áridos finos (arenas) según UNE-EN 12620:2003, rodados o procedentes de rocas machacadas, así como escorias siderúrgicas enfriadas por aire según UNE-EN 12620:2003.

#### 2.4.3.2 Propiedades del conjunto

Los principales riesgos que hay que evitar son:

- Áridos inestables que pueden alterar la continuidad de la masa por:
  - Disgregarse, al reaccionar con otros componentes
  - Romperse, por su forma o por su baja resistencia
- Áridos que pueden expandirse y romper la estructura cementada.
- Áridos que reaccionan con el cemento (no son “inertes”).
- Áridos que absorben agua.
- Áridos que alteran la basicidad del medio del hormigón.

Si no hay experiencia hay que realizar ensayos de caracterización específicos:

- Mineralogía.
- Cumplimiento de la EHE.

#### 2.4.3.3 Designación

De acuerdo con UNE-EN 146901:M2004 :

#### **Gr-d/D-F-N-L**

- GR indica el grupo de árido:
  - AF: Árido Fino
  - AG: Árido Grueso
- d/D indica el tamaño del árido:
  - d : tamaño mínimo
  - D: Tamaño máximo
- F , forma de presentación:
  - R: Rodado
  - T: Triturado (de machaqueo)
  - M: Mezcla
- N indica la naturaleza:
  - C: Calizo
  - S : Silíceo.



- G : Granito
- O : Ofita
- B : Basalto
- D : Dolomítico
- Q : Traquita.
- I : Fonolita
- V : Varios (rocas no habituales)
- A : Artificial.
- R : Reciclado

- L indica si el árido está lavado o no. E caso que no lo esté se dejará en blanco.

#### 2.4.3.4 Clasificación

##### 1. Por su origen:

- Áridos naturales:
  - Áridos rodados:
    - Mas resistencia a compresión.
    - Mejor trabajabilidad.
    - Menor cantidad de agua.
    - Mayor limpieza.
  - Áridos triturados:
    - Mas resistencia a tracción.
    - Mayor adherencia.
    - Menor trabajabilidad.
- Áridos artificiales:
  - Subproductos ( escorias, etc. ).
  - Fabricados ( arcilla cocida, polímeros, etc. ).

##### 2. Por su tamaño:

- GRAVAS: Cuando el tamaño es superior a 4 mm
  - Fracción 80-40: Gravón.
  - Fracción 40-20: Gravas
  - Fracción 20-12: Gravillas.
  - Fracción 12-4: Garbancillo.
- ARENAS: Tamaño entre 4 mm y 0.063 mm
  - Arenas gruesas: Tamaño comprendido entre 2 y 4 mm
  - Arenas medias: Entre 1 y 2 mm
  - Arenas finas: Entre 1 y 0,063 mm
- FINOS: Lo que pasa por el tamiz 0,063 mm. Indeseables.





Serie básica + Serie 1 mm	Serie básica + Serie 2 mm	Serie básica + Serie 1 mm	Serie básica + Serie 2 mm
0,063	0,063	11,2 (11)	-
0,125	0,125	-	12,5 (12)
0,250	0,250	-	14
0,500	0,500	16	16
1	1	-	20
2	2	22,4 (22)	-
4	4	31,5 (32)	31,5 (32)
5,6 (5)	-	-	40
-	6,3 (6)	45	-
8	8	63	63
-	10	125	125

Tabla 2.4 Series de tamices ( Tamaño de áridos )

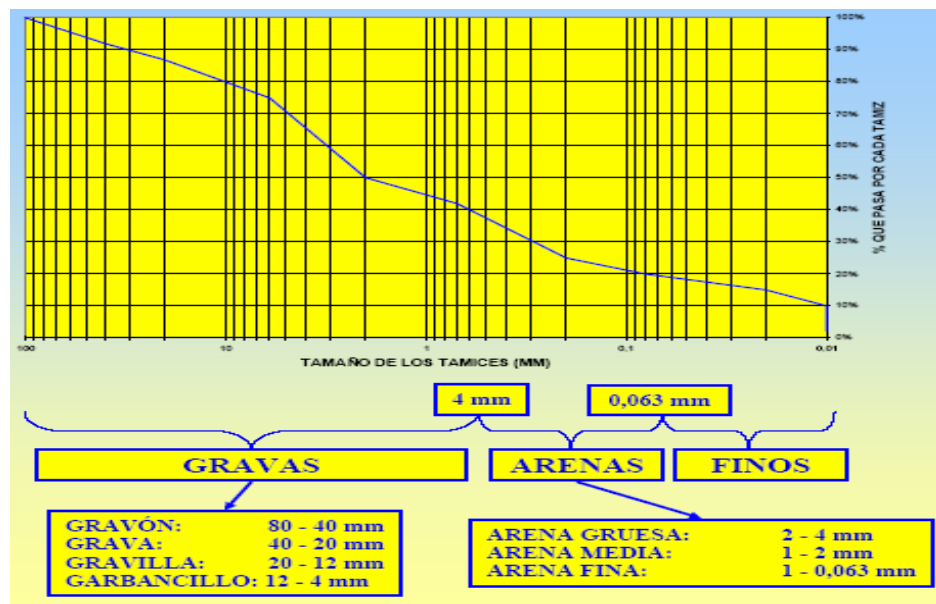


Figura 2.25 Huso granulométrico de un árido

Sobre las arenas hay que tener en cuenta que, las arenas rodadas tienen una superficie que favorece la trabajabilidad del hormigón (ACI 237R-07), mientras que las arenas machacadas poseen formas que aumentan considerablemente el rozamiento interno de la mezcla, por eso necesitan más agua para lograr los mismos resultados que los obtenidos con las arenas de río.

Otro factor que se debe considerar a la hora de elegir la arena es el contenido en finos. Arenas con muchos finos proporcionan una reducción en los niveles de adiciones necesarias y en algunos casos se pueden llegar a eliminar completamente.

Debe garantizarse que los finos aportados por las arenas no sean perjudiciales para el hormigón.



La elección de los áridos debe asegurar para el hormigón resultante:

- Resistencias mecánicas. Deberán tener una resistencia adecuada a la que va exigirse al hormigón (son el 80 %).
- Durabilidad. Ser estables y no ser alterados por el ambiente.
- Buena adherencia a la pasta del cemento.
- Facilidad de puesta en obra del hormigón.
- Que no sea necesario el empleo de una cantidad excesiva de agua para una adecuada consistencia.
- Que al ser colocado en obra no se produzca segregación.
- Máxima compacidad por lo que los áridos deben tener toda la gama de tamaños.
- Disminución de retracciones se consigue con el aporte de áridos y sobre todo con arena
- Disminución del precio por tratarse de productos baratos

#### 2.4.3.5 Designación y tamaños

Los áridos se designarán por su tamaño mínimo  $d$  y máximo  $D$  en mm: árido  $d/D$ .

Tamaño máximo “ $D$ ”: La mínima abertura de tamiz que retiene menos del 10% o que el 15% en masa, cuando además no retiene nada el tamiz de abertura doble,  $2D$ . También se exige que el tamiz de abertura  $1,4 D$  retenga en masa menos que el 2% o el 5%.

Tamaño mínimo “ $d$ ”:

- Árido grueso: La máxima abertura de tamiz que deja pasar como máximo el 15% o el 20% en masa, siempre que pase como máximo el 5% por el tamiz  $d/2$ .
- Árido fino: La mayor abertura de tamiz que deja pasar como máximo el 20% de la masa de árido.

No existen limitaciones en cuanto a la naturaleza de los áridos para la fabricación de los HAC, sin embargo suelen plantearse consideraciones sobre su tamaño máximo. Las recomendaciones mas usuales son de que este no debe superar los 20 mm (Okamura y Ozawa), (Izquierdo 2001), aunque en los anclajes del puente Alashi-Kaikyo se llegó a utilizar áridos de 40 mm (Olamura y Ouchi – 1999). Asimismo, es



muy frecuente encontrar referencias donde se ha utilizado tamaño máximo igual o incluso inferior a 12 mm, tanto en investigación (Chai 1998, Petersson, Bilberg y Van 1999, Khayat 1999, Sonebi y Bartos 2000, Gonnouni 2000, Gomes 2002, Holschemarcher 2002, de la Cruz 2006, Wallevik 2006) como en aplicaciones (Umehara 1999, Hauke 2001, Ohtomo 2001, Müller 2001, Pintado, Barragán, Bravo 2005).

#### 2.4.3.6 Limitación al tamaño máximo

El tamaño máximo de un árido grueso será menor que las siguientes dimensiones:

- 0,8 de la distancia horizontal libre entre vainas o armaduras que no formen grupo, o entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo mayor que  $45^\circ$  con la dirección de hormigonado.
- 1,25 de la distancia entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo no mayor que  $45^\circ$  con la dirección de hormigonado.
- 0,25 de la dimensión mínima de la pieza, excepto en los casos siguientes:
  - Losa superior de los forjados, donde será menor que 0,4 veces el espesor mínimo.
  - Ejecución muy cuidada (prefabricados) o poca influencia del encofrado, que será 0,33 veces el espesor mínimo.

A mayor tamaño máximo, menor superficie específica (de contacto) del árido:

- Menos agua necesaria para el amasado
- Menor contenido en cemento para una resistencia dada de hormigón

DIMENSIÓN MÍNIMA DE LA SECCIÓN DE LA PIEZA EN CM	TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO EN MM			
	VIGAS, PILARES, MUROS	MUROS SIN ARMAR	LOSAS MUY ARMADAS	LOSAS POCO O NADA ARMADAS
5 - 10	10	20	10 - 20	20 - 30
15 - 30	20	40	20 - 40	40 - 80
40 - 80	30	80	40	80

Tabla 2.5 Recomendaciones genéricas





### 2.4.3.7 Prescripciones de los áridos

#### 2.4.3.7.1 Condiciones físico-químicas:

- No usar áridos con contenido en materia orgánica que produzcan un color más oscuro que el de la solución patrón.
- Limitar el Equivalente de Arena a la vista para el árido fino a:
  - 70 para exposición I, IIa ó IIb y ninguna clase específica de exposición.
  - 75 para el resto.
  - Comprobar el “azul de metileno” en arenas calizas y dolomías
- No deben presentar reactividad potencial con los álcalis del cemento o de otros componentes (UNE 146507:99 y une 146508:99).
- Limitar el contenido en cloruros en hormigón en masa (<0,15%) para evitar eflorescencias en la superficie.

#### 2.4.3.7.1.1 Material retenido por el tamiz 0,063 mm que flota en líquido de peso específico 2,00:

- Son “partículas de bajo peso específico”, engloba a ciertas sustancias que pueden contener los áridos, tales como carbón, lignito, turba, pequeños trozos de madera, raíces, material vegetal.
- Se presentan como contaminación, generalmente antrópica.
- Los efectos negativos vienen producidos por:
  - Su muy baja resistencia.
  - Su capacidad de hinchar al absorber agua.
  - Disminuye la resistencia a las heladas del hormigón en las capas más superficiales.
  - Altera el proceso de fraguado y endurecimiento del hormigón.

#### 2.4.3.7.1.2 Compuestos de Azufre:

- Son los sulfatos y/o los sulfuros, que pueden reaccionar con algunos componentes del cemento, con efectos destructivos.
- Los sulfatos pueden aparecer en los áridos de diversas formas entre las que destaca el yeso.
- Pueden aparecer por aporte de agua selenitosas o de mar.





- Los efectos negativos de vienen producidos por:
  - El yeso reacciona con el AC3 del cemento, produciendo la ettringita o sal de Candlot, que es muy expansiva y debilita el hormigón por las presiones que generan.
  - Los sulfuros si se transforman en sulfatos tiene efectos similares de hinchamiento y fisuración en el hormigón. Este fenómeno puede tardar días o años.
  - La presencia de produce una acidificación del medio, con lo que se favorece la corrosión de las armaduras.

#### 2.4.3.7.1.3 Compuestos de Cloro:

- Se entiende como compuestos de cloro todas aquellas sales que pueden disociarse liberando iones Cl<sup>-</sup>.
- Pueden venir en los componentes o como aportación externa.
- Los áridos de playa son los de mayor riesgo (El contenido ión Cl<sup>-</sup> en arenas finas de playa está en torno al 0,20%).
- Los efectos negativos vienen producidos por los cloruros en el seno del hormigón endurecido acceden hasta las armaduras de acero, atacando puntualmente la capa pasivante y produciendo la corrosión de estas.
- No podrá exceder del 0,05% en masa del árido, cuando se utilice en hormigón armado u hormigón en masa y del 0,03% cuando sea pretensado.

#### 2.4.3.7.1.4 Materia orgánica:

- Son sustancias de naturaleza orgánica como el humus o mantillo, turbas, carbón, lignito, madera, hierba, etc.
- A veces el contenido está en la masa (pizarras bituminosas).
- Los efectos negativos vienen producidos por:
  - Producen anomalías en el fraguado del cemento, retrasándolo o incluso deteniéndolo irreversiblemente
  - Puede contribuir a la corrosión acelerada de las armaduras debido a la disminución de la basicidad (al retirar parte de la cal, disminuye la alcalinidad del hormigón dificultando la pasivación del acero).
  - Si está recubriendo la superficie de los granos, la adherencia entre estos y la pasta se verá disminuida.
- En algunos casos los efectos de las impurezas orgánicas sólo son temporales porque se va degradando su naturaleza.







#### **2.4.3.7.1.5 Materia orgánica compuesta que altera la velocidad de fraguado y el endurecimiento del hormigón:**

Se deben ensayar los áridos que contengan sustancias orgánicas, para determinar el efecto sobre el tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión. El mortero preparado con estos áridos deberá cumplir que:

- El aumento del tiempo de fraguado de las muestras de ensayo de mortero será inferior a 120 minutos.
- La disminución de la resistencia a la compresión de las muestras de ensayo de mortero a los 28 días será inferior al 20 %.

#### **2.4.3.7.1.6 Equivalente de arena y absorción de azul de metileno:**

- Indica la naturaleza arcillosa.
- El ensayo se basa en la capacidad floculante de los finos.
- Gran sencillez de realización como a fiabilidad con la que permite afirmar que una arena es adecuada.
- Los efectos negativos vienen producidos por que los finos exigen elevadas dosis de agua, lo que puede provocar descensos en las resistencias.
- Hay algunos finos no perjudiciales (polvo calizo o dolomítico).
- Para diferenciarlos se usa el ensayo del “azul de metileno”: Se basa en la gran capacidad de absorción de los materiales arcillosos ante el colorante conocido como azul de metileno, que prácticamente no es fijado por los materiales calizos ni por los dolomíticos, aunque estén finamente pulverizados.

#### **2.4.3.7.1.7 Reactividad de los áridos con los álcalis del cemento:**

- Es un fenómeno químico complejo con varias “teorías”:
  - Hay áridos con “sílice inestable” que al entrar en contacto con la disolución de álcalis presente en el hormigón, la capa externa del grano comienza a ser atacada, reblandeciéndose y aumentando de volumen manifestándose como un líquido viscoso.
  - Es un proceso osmótico que ocurre cuando el hidróxido cálcico, liberado en la hidratación del cemento, reacciona, con la sílice previamente atacada por los álcalis, produciendo un silicato cálcico insoluble, que forma una capa delgada semipermeable en la parte más externa de la masa de silicato alcalino. En esta zona se generar presiones osmóticas muy altas.





- Puede que sea una combinación de ambos.
- Los efectos son:
  - Formación de una red de grietas las cuales recuerdan el aspecto de un mapa geográfico. Pueden confundirse con las originadas por la heladas.
  - Por las grietas drena, en ocasiones, un fluido viscoso.
  - En los pavimentos se manifiesta por un descascarillado superficial semejante al que se produce con los “caliches” en los materiales cerámicos.
- Requieren:
  - Áridos reactivos: Los más sensibles son los de 2 - 8 mm.
  - Cemento con álcalis: Es muy caro evitarlos (adiciones reactivas que consumen los álcalis).
  - Agua que pueden aportar los iones alcalinos.

#### 2.4.3.7.2 Condiciones físico-mecánicas

- Persiguen asegurar la resistencia del hormigón.
- Se deben cumplir las siguientes limitaciones (EHE Art. 28.6):
  1. Índice de lajas:  $\leq 35$ .
  2. Resistencia a la fragmentación ( desgaste de la grava ):  $\leq 40$ .  
UNE EN 1097-2:99
  3. Absorción de agua por los áridos:  $\leq 5$ .  
UNE EN 83133:90 y UNE EN 83134:90
  4. Pérdida de peso al someterlos a tratamiento con sulfato magnésico inferior a 18 % en áridos gruesos.

##### 2.4.3.7.2.1 Desgaste de la grava:

- Miden indirectamente la resistencia de un árido a la fragmentación y a la abrasión, por medio de los ensayos de friabilidad de las arenas y el desgaste de las gravas.
- De esta resistencia mecánica del árido depende en gran medida la del hormigón.



- En la resistencia de un árido influyen:
  - Su composición y la dureza del mineral.
  - Su textura: Mejor las de grano fino.
  - La existencia de discontinuidades: Poros, microfisuras.
  - Su grado de alteración.
- La forma de los granos (“coeficiente de forma”): Los granos aciculares o lajosos son peores que los cúbicos.
- La angulosidad: Más alterables los áridos con aristas.

#### 2.4.3.7.2.2 Índice de lajas:

- Una cierta rugosidad superficial mejora la adherencia áridopasta y la resistencia del hormigón (árido de machaqueo).
- Mide la proporción de elementos planos o lajas en un árido.
- Áridos con forma inadecuada dificulta la obtención de resistencias adecuadas.
- Exige mayor cantidad de cemento.
- Áridos laminares y aciculares impone una limitación del índice de lajas.

#### 2.4.3.7.2.3 Absorción de agua:

- Es la relación entre su aumento de peso, debido a una imbibición parcial de agua y su peso seco.
- Son relativamente absorbentes, los áridos procedentes de rocas porosas, con una red de poros y de pequeño diámetro.
- Un árido absorbente es problemático porque si no está saturado puede absorber el agua de amasado y:
  - Reducir la docilidad del hormigón.
  - Detraer agua precisa para el fraguado.
- Para ajustar el agua de amasado de un hormigón es necesaria la confección de unas amasadas de prueba y un control continuo de la consistencia de las amasadas en obra.
- Los poros en la superficie de las partículas también pueden afectar a la adherencia entre el árido y la pasta de cemento y, por lo tanto, influir en la resistencia del hormigón.



#### 2.4.3.7.2.4 Pérdida de peso en sulfato magnésico:

- Este parámetro permite conocer el comportamiento de los áridos frente a la acción destructiva de las heladas.
- Es importante en zonas sometidos a temperaturas “bajo cero” mantenidas.
- El agua al congelarse aumenta un 10 % su volumen, y puede romper el hormigón por las presiones sobre los poros y si el árido no es muy resistente se fisura el hormigón.
- Para ello es preciso que el material tenga sus poros prácticamente llenos de agua.
- La presencia de sustancias disueltas puede hacer que pueda disminuir, aunque sea poco, su temperatura de congelación
- Suelen requerirse varios ciclos de hielo-deshielo.
- Se corrige el fenómeno con una adecuada compacidad en función de la relación agua/cemento.

#### 2.4.3.7.3 Granulometría y forma

##### 2.4.3.7.3.1 Granulometría:

- Influye en la fabricación del hormigón.
- Se suele expresar en peso (más cómodo de medir).
- La distribución granulométrica grava-arena debe asegurar:
  - Una graduación de tamaños que reduzcan los huecos.
  - Una limitación de los finos, que requieren más agua.
- La granulometría y forma de un árido deben permanecer constantes durante la fabricación del hormigón.
- Si no se cumplen los parámetros exigidos habrá que realizar ensayos previos.
- Hay que controlar el contenido de finos ( $<0,063$  mm).
- Las granulometrías pueden ser:
  - Continuas: Con todos los tamaños de árido. Hormigones más regulares, compactos y resistentes.
  - Discontinuas: Faltan tamaños intermedios.





#### 2.4.4 Finos: Adiciones y Filleres

En la bibliografía se puede encontrar distintas opiniones en relación al tamaño de partícula a partir del cual se define un material como fino (tabla 2.4). La tendencia general es que este parámetro se fije en 0.125 mm. En este trabajo serán considerados “finos” todas las partículas inferiores a 0.125 mm independientemente de su procedencia.

Los finos tienen como principal función dar cohesión y evitar la segregación de la mezcla. Su utilización es necesaria en la mayoría de las dosificaciones, pero en algunos casos pueden ser sustituidas, bien por aditivos cohesionantes (Ambroise y Pera – 2001), (Alcantara - 2001), (Pettersson – 1999), o bien por los propios finos aportados por los áridos.

Los materiales más utilizados para incrementar el volumen de finos en los HAC suelen ser las cenizas volantes y humo de sílice (Gomes – 2002), o inertes como el filler calizo (Bilberg – 1999), silicio o la marmolina (Alcantara – 2001) en función de las posibilidades de suministro de la zona y del coste.

	Okamura (1990)	Ozawa (1990)	Sari (1999)	Gomes (2002)	Izquierdo (2001)	European Guidelines (2006)
Finos (mm)	< 0.090	< 0.090	< 0.150	< 0.080	< 0.125	< 0.125

Tabla 2.6 Definición de finos según algunos autores

La EHE, en su apartado 28.3.3, establece límites al contenido en finos menores a 0,063 mm, de los áridos, en función del origen del árido y del ambiente en que trabajará el hormigón. En los comentarios de este mismo apartado se recomienda que la masa total de materiales inferiores a 0.063 mm, procedente de los áridos y de la componente caliza del cemento (en su caso), no supere los 175 Kg./m<sup>3</sup>.

El Anejo 21 del borrador 0 de la nueva EHE (2007) propone que este valor sea ampliado a 250 Kg. únicamente para los HAC, y contempla la utilización de filleres calizos como un árido.

La instrucción EHE apartado 29.2 contempla únicamente la utilización del humo de sílice y de las cenizas volantes como adiciones al hormigón en el momento de su fabricación. Establece que los límites de utilización de estos productos no deben exceder los valores de 35% del peso del cemento, para las cenizas volantes y 12% en el caso del humo de sílice.

Sin embargo en la bibliografía internacional se encuentra una amplia relación de referencia en las que se ha empleado con éxito otras adiciones tanto en hormigón tradicional como en HAC (Edamatsu, Nishida y Ouchi 1999, Domone y Chay 1997, Ho 2002, Esping 2003).

Las adiciones se clasifican de acuerdo con su hidraulicidad. La tabla 2.5 extraída de la Guía Europea para HAC (2005) presenta estas clasificaciones:

<b>Tipo 1</b>	Inertes o Seminertes	Filler mineral (piedra caliza, dolomía, etc.) Pigmentos
<b>Tipo 2</b>	Puzolanas	Cenizas volantes conforme la EN 450 Humo de sílice conforme la PNE-prEN 13263
	Hidráulicamente activas	Escoria granulada de alto horno

Tabla 2.7 Clasificación de las adiciones en función de su hidraulicidad

## 2.4.5 Aditivos

### 2.4.5.1 La evolución de los aditivos para el HAC

En pocos aspectos relacionados con el hormigón autocompactante hay una coincidencia tan generalizada, en todas las fuentes de bibliografía, corrientes de opinión consultadas y experiencias acumuladas, como en la necesidad ineludible de la utilización de aditivos químicos para la obtención de las propiedades fundamentales del HAC: capacidad de paso y capacidad de relleno.

Los aditivos químicos para hormigón son definidos por la norma europea armonizada UNE-EN 934-2 como “Producto incorporado en el momento del amasado del hormigón en una cantidad no mayor del 5% en masa, con relación al contenido de cemento en el hormigón, con objeto de modificar las propiedades de la mezcla en estado fresco y/o endurecido”. Estas propiedades del hormigón que pueden ser modificadas por el empleo de un aditivo son múltiples: valor de relación agua/cemento, consistencia, tiempo de fraguado, capacidad hidrorrepelente, retracción, contenido de aire, etc. Los aditivos para hormigón, entonces, están regulados por la norma UNE-EN 934-2, cuyo cumplimiento es obligatorio y se representa con el Marcado CE (visible en la etiqueta del producto), como distintivo de producto de calidad. Los aditivos que carecen del Marcado CE tienen prohibida su comercialización dentro de la CEE.

Los aditivos son, con toda probabilidad, el componente del hormigón que está sujeto a mayores controles de producción y calidad y que es más regular en su composición. Esta afirmación contrasta con la escasa aceptación de estos productos en sus orígenes, fruto en la mayoría de casos de la falta de información por parte de los usuarios e incluso del mal tratamiento recibido por parte de las normativas vigentes en aquellos momentos. Hoy actualmente se ha acumulado suficiente experiencia tanto por parte de los fabricantes como de los usuarios para poder afirmar el uso beneficioso de los aditivos (usados obviamente en su correcta forma) hasta el punto que las normativas vigentes relacionadas con hormigón (EN 206 y EHE) consideran el aditivo como una materia prima fundamental para la fabricación de hormigón, con tratamientos del orden del cemento o los áridos.

En la actualidad, prácticamente la totalidad de hormigón fabricado (desde hormigones de elevadas prestaciones hasta los de menor demanda resistente) incorpora en su composición uno a más aditivos. Básicamente son dos los tipos de aditivos utilizados para fabricar los HAC.: los reductores de agua y los cohesionantes.





Otra afirmación que poca discusión debería plantear es la estrecha relación entre la innovación en aditivos para hormigón e innovación en el sector del hormigón. Parece lógico afirmar que todos los recientes desarrollos en la tecnología del hormigón (nuevos hormigones, nuevas propiedades, etc.) están vinculados a un previo desarrollo de un aditivo o familia de aditivos que ha permitido tal salto tecnológico, y el HAC no es la excepción. Con la aparición a finales de los años 90 de los aditivos basados en policarboxilatos, denominados aditivos superplastificantes de nueva generación, se superó la barrera técnica que impedía hasta la fecha la fabricación de hormigones de muy alta trabajabilidad, sin segregación y con baja relación agua/cemento.

Desde la aparición de los primeros aditivos superplastificantes de nueva generación hasta la actualidad se ha perfeccionado la ingeniería de polímeros con la finalidad de poder modular ciertas propiedades para obtener las máximas prestaciones y la máxima compatibilidad del aditivo con los materiales empleados, con el objetivo de simplificar la producción del HAC así como mejorar su coste y su comportamiento.

Recientemente también se han abierto nuevas posibilidades gracias al desarrollo de nuevos aditivos moduladores de viscosidad, que deben permitir en el futuro la fabricación de HAC sin apenas aporte adicional de finos y convertir así el HAC en el hormigón de cada día.

#### 2.4.5.2 – Aditivos superplastificantes de nueva generación

Los reductores de agua de alto rango o superplastificantes son imprescindibles en la dosificación de los HAC.

En la tabla 2.6 (Izquierdo – 2001) se muestra la evolución de estos aditivos a lo largo del tiempo.

Desarrollo histórico de la reducción de agua			
1930	1970	1990	2000
Ligno-sulfonatos	Melamina naftaleno	Polimeros vinílicos	Policarboxilatos
reducción de agua hasta un 10%	reducción de agua hasta un 20%	reducción de agua hasta un 30%	reducción de agua hasta un 40%

Tabla 2.8 Evolución de los aditivos reductores de agua a lo largo del tiempo

Los Lignosulfonatos permiten reducir el agua en el hormigón como máximo un 10%. Presentan una tendencia a producir retrasos en el fraguado del hormigón cuando se utilizan altas dosificaciones.

Los naftalenos son subproductos del proceso de refinado del carbón. Permiten reducir hasta un 20% el agua de amasado del hormigón. Pueden ocluir aire, aunque en cantidades no demasiado elevadas.







Las melaminas son productos basados en polímeros sintéticos. Su capacidad de reducción de agua es similar a de los naftalenos. Como característica fundamental se destaca el aumento de la resistencia a edades tempranas. Estos superplastificantes de segunda generación han tenido como efecto negativo principal que la pérdida de trabajabilidad del hormigón es demasiado rápida, y a bajas relaciones A/C este puede producir un flujo demasiado viscoso.

Los copolímeros de vinilo productos mas efectivos que las melaminas, permitiendo una reducción de agua del 30% y confiere al hormigón un mayor tiempo de manejabilidad.

Los policarboxilatos pertenecen a la tercera generación de aditivos superplastificantes. Los aditivos, basados en éteres policarboxílicos, fundamentan su efecto dispersante principalmente en importantes cadenas laterales y mucho menos en la pura repulsión electrostática. Las largas cadenas laterales crecen más allá de los productos de hidratación del cemento formados, proporcionando una mayor dispersión y son responsables del efecto etérico. Así se logra una actividad más duradera en el tiempo.

La alta trabajabilidad exigida por un HAC solo puede ser obtenida mediante la utilización de productos de última generación producidos a base de éteres policarboxílicos. Los fluidificantes normales producidos a base de naftalenos, sulfonatos, melamina e incluso los vinílicos no suelen ser suficientemente potentes para garantizar la fluidez necesaria.

Los aditivos superplastificantes de nueva generación se desarrollan en Japón durante los inicios de la década de los 90, sintetizados a partir de la polimerización de ácido acrílico con cadenas laterales de condensados de óxido de etileno para formar los éter de policarboxílico o también denominados policarboxilatos (PCE). En Europa los aditivos superplastificantes se consolidan a partir de la segunda mitad de la década de los 90 y especialmente durante los años 2000- 2004, permitiendo de nuevo un paso adelante en el desarrollo tecnológico del hormigón, como el hormigón autocompactante, que puede ser colocado en obra sin la necesidad de vibración y compactación externa.

Los aditivos superplastificante de nueva generación son los aditivos superplastificantes que experimentan un crecimiento más importante en su empleo. No solamente por su superior capacidad reductora de agua, también porqué en su síntesis pueden modificarse secuencias que permiten modular propiedades como por ejemplo el mantenimiento de consistencia (persistencia del efecto dispersante), la evolución de resistencia inicial y, lo más importante, adaptar la compatibilidad del aditivo a cada cemento en particular.

Los policarboxilatos son polímeros no lineales (tanto los condensados de naftaleno como de melamina son polímeros lineales) formados por una cadena principal obtenida mediante la polimerización de unidades de ácido acrílico, ácido maleico u otras moléculas similares. Esta cadena principal contiene grupos carboxilato ionizables, responsables de la adsorción del polímero sobre la superficie de cemento y de la generación de carga electrostática. De esta cadena principal cuelgan las cadenas laterales, responsables del efecto dispersante por un mecanismo estérico. Están formadas por cadenas de poliglicoles, a partir de condensados de óxido de etileno.



Con esta distribución, los polímeros de policarboxilato adquieren su forma típica de peine.

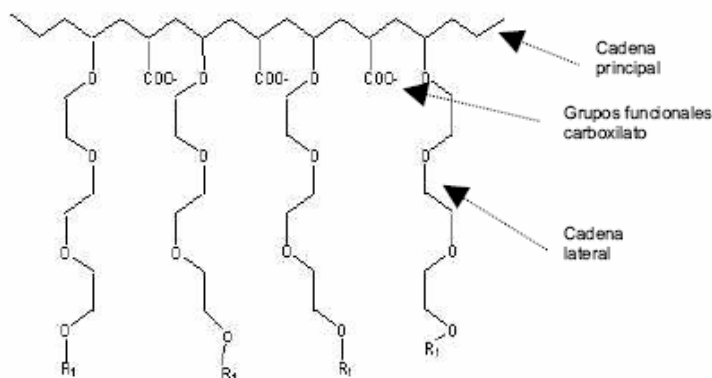


Fig. 2.27. Representación de un polímero de policarboxilato

Todas estas partes elementales del polímero de policarboxilato influyen en las prestaciones del polímero y por lo tanto del aditivo, y pueden ser adaptadas durante el proceso de síntesis:

- Longitud de cadena principal: Influye sobre el mantenimiento de cono del aditivo (sin causar retraso de fraguado) y sobre la evolución de la resistencia inicial a muy corta edad (hasta las 12-16 horas).
- Densidad de grupos ionizables (carboxilato): Influye sobre la velocidad de adsorción del polímero sobre el cemento y sobre su capacidad reductora de agua.
- Longitud y densidad de cadenas laterales: Influye sobre la capacidad reductora de agua y sobre la docilidad del hormigón.

Con el empleo de estos aditivos superplastificantes de nueva generación pueden lograrse hormigones de resistencias y consistencias superiores comparativamente a los superplastificantes convencionales. Por este motivo, cada vez es más acusada la sustitución de las anteriores tecnologías por la de los policarboxilatos.

Las dosificaciones comunes de estos aditivos en su aplicación en hormigones de alta resistencia oscilan entre el 1,5% y el 2,5% spc (pudiéndose aumentar hasta el 5% spc), dependiendo de la demanda de resistencia a satisfacer y de la consistencia de trabajo deseada.

#### 2.4.5.2.1 - Características de comportamiento

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



La situación real difiere sensiblemente del supuesto anterior. Como es sabido, las partículas de cemento poseen un gran número de iones en disolución en su superficie que tienden a formar, por afinidad electrostática, flóculos o capas de solvatación al entrar en contacto con el agua durante la operación de amasado.

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

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

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

Los efectos nocivos de la floculación de las partículas de cemento pueden ser contrarrestados, al menos parcialmente, mediante la incorporación a la masa de hormigón de determinados compuestos químicos, tales como los aditivos reductores de agua, que producen un efecto dispersante entre las partículas de cemento. De este modo, con el uso de aditivos reductores de agua, se incrementa el porcentaje de hidratación del cemento.

El efecto dispersante de los aditivos superplastificantes se logra gracias a la adsorción de éstos sobre la partícula de cemento y su posterior orientación. Los aditivos superplastificantes están basados en compuestos orgánicos con grupos ionizados que poseen carga eléctrica, que una vez orientados, crean una densidad de carga local y de idéntico signo sobre las partículas de cemento, que de este modo, en lugar de tender a flocular, se repelen entre ellas originando el fenómeno de dispersión (dispersión inducida por un efecto electrostático).

La magnitud del efecto dispersante (efecto reductor de agua y/o fluidificante) depende de la densidad de carga que el aditivo es capaz de inducir sobre la partícula de cemento. Esto depende de varios factores, pero en general se relacionan con la capacidad de adsorción del aditivo sobre el cemento y su punto de saturación (que depende tanto de la composición y finura del cemento como del tipo de aditivo).

La superior capacidad reductora de agua conseguida con los aditivos superplastificantes de nueva generación se debe a que el efecto dispersante de éstos se basa, además de por el efecto electrostático, por un efecto estérico generado por sus cadenas laterales de larga longitud que impiden que dos partículas de cemento puedan flocular.



Las fases del mecanismo de actuación de los aditivos superplastificantes son las siguientes:

1. Distribución del aditivo en la masa fresca: Relacionada con el tiempo de amasado requerido para la distribución homogénea del producto. Esta fase depende fundamentalmente del contenido de agua de amasado del hormigón (a menor contenido de agua, mayor tiempo de amasado requerido) y del tipo de aditivo (por ejemplo, en el caso de los policarboxilatos, a mayor longitud y densidad de cadenas laterales, mayor tiempo de amasado requerido).

2. Adsorción del polímero sobre el cemento: Relacionado con la magnitud del efecto dispersante logrado y su tiempo de persistencia (mantenimiento de cono). Por lo general, para un mismo polímero, cuanto mayor sea la cantidad adsorbida mayor será el efecto dispersante producido (la parte de aditivo no adsorbida no genera dispersión). Esta afinidad dependerá del volumen del polímero (peso molecular) y de su densidad de grupos ionizables. Esta fase del mecanismo de acción depende también de la composición del cemento y en especial de su contenido y tipo de C3A y de su contenido en álcalis. Paralelamente, existen ciertos tipos de arenas que pueden ejercer una cierta competencia con el cemento para adsorber aditivo. En este caso, la fracción adsorbida sobre la arena no genera dispersión.

3. Orientación del polímero adsorbido: Una vez el polímero se ha adsorbido, se orienta para disponer los grupos responsables del efecto dispersantes en su configuración más estable. Esta orientación después de la adsorción es particular de cada polímero y es en el momento en que se generan las densidades de carga de signo único responsables del efecto dispersante.

4. Progresión del equilibrio entre aditivo adsorbido y aditivo en solución: Relacionado con el tiempo de persistencia del efecto dispersante. Para que el efecto dispersante se mantenga durante el tiempo necesario para el transporte del hormigón y su puesta en obra es necesario que exista una reserva de aditivo en solución para que progresivamente vaya adsorbiéndose sobre las partículas de cemento cuando éstas aumentan su tamaño a medida que se hidratan y mantener así el efecto dispersante a lo largo del tiempo. El equilibrio entre aditivo adsorbido y aditivo en solución depende de la estructura de cada polímero, y en particular de su densidad de grupos ionizables. También el cemento influye de forma decisiva en la progresión de este equilibrio. En particular, la velocidad de la formación de ettringita (regulada por el contenido de C3A y de  $\text{CaSO}_4$ ) condiciona como debe establecerse este equilibrio.

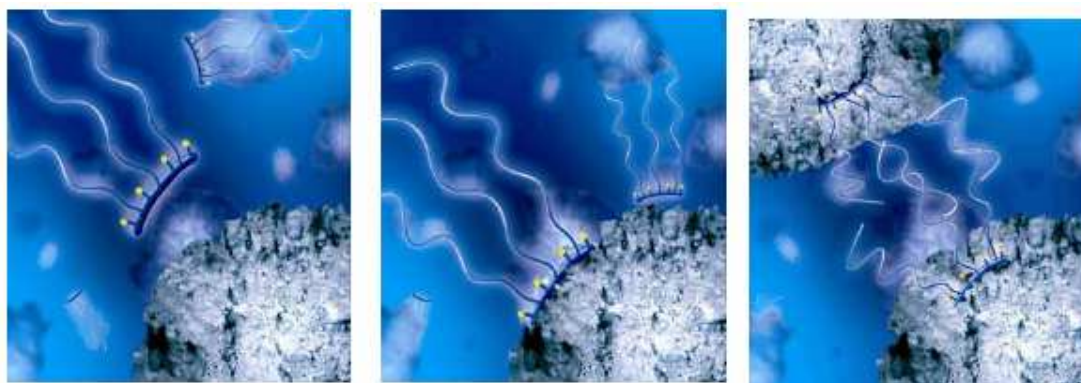


Fig. 2.28. Representación de las fases de distribución, adsorción y orientación de un aditivo superplastificante de nueva generación basado en polímeros carboxílicos

Es importante insistir en el hecho que tanto los superplastificantes convencionales como los de nueva generación están basados en productos de síntesis química especializada que no incorporan otros componentes no deseados que limiten sus prestaciones. A diferencia de los aditivos plastificantes, los superplastificantes no conllevan efecto retardante intrínseco. En consecuencia, pueden ser utilizados sin ninguna problemática en aplicaciones donde se demanden fraguados rápidos y altas resistencias iniciales.

#### 2.4.5.2.2 - Criterios de selección del aditivo superplastificante

La adecuada selección del aditivo superplastificante es crucial para la fabricación con éxito de un hormigón autocompactante. De forma general, antes de la utilización de cualquier aditivo deben conocerse sus funciones y dosificaciones de trabajo recomendadas y sus limitaciones y posibles efectos secundarios (la mayoría de ellos derivados de sobredosificaciones). Para ello, deberá recurrirse si es necesario al asesoramiento del propio fabricante para corroborar la correcta elección del aditivo y su dosificación óptima.

Los aspectos que deben considerarse para la correcta selección del aditivo superplastificante son los siguientes:

- Resistencia final y consistencia
- Viscosidad y reología
- Resistencia inicial demandada y mantenimiento de cono requerido
- Compatibilidad con el cemento
- Compatibilidad con las arenas
- Robustez

Resistencia final y consistencia: Tanto la resistencia final requerida como la consistencia de trabajo necesaria (valor de slumpflow) se relacionan con la capacidad dispersante del aditivo y sus posibles efectos secundarios al emplear dosificaciones elevadas (riesgo de oclusión de aire, por ejemplo). Por lo general, a mayor resistencia demandada y a mayor fluidez requerida, mayor capacidad reductora de agua se le exigirá al aditivo.

Mientras que los superplastificantes convencionales presentan limitaciones a partir de resistencias superiores a 55 – 60 MPa, los aditivos superplastificantes de nueva generación permiten cubrir prácticamente el 100% de las posibilidades, simplemente porque su capacidad reductora de agua potencial es siempre superior. Con los aditivos superplastificantes de nueva generación se puede fabricar hormigones de resistencias superiores a 100 MPa con independencia de la consistencia, incluso tratándose de consistencias autocompactantes (de extrema fluidez).

El criterio de selección en función del valor de slump-flow deseado no es un criterio crucial para seleccionar el aditivo superplastificante de nueva generación más adecuado. Partiendo de la base de que existe una adecuada compatibilidad entre aditivo y cemento, el ajuste del valor de slump-flow generalmente podrá lograrse simplemente con el ajuste de la dosificación de aditivo.



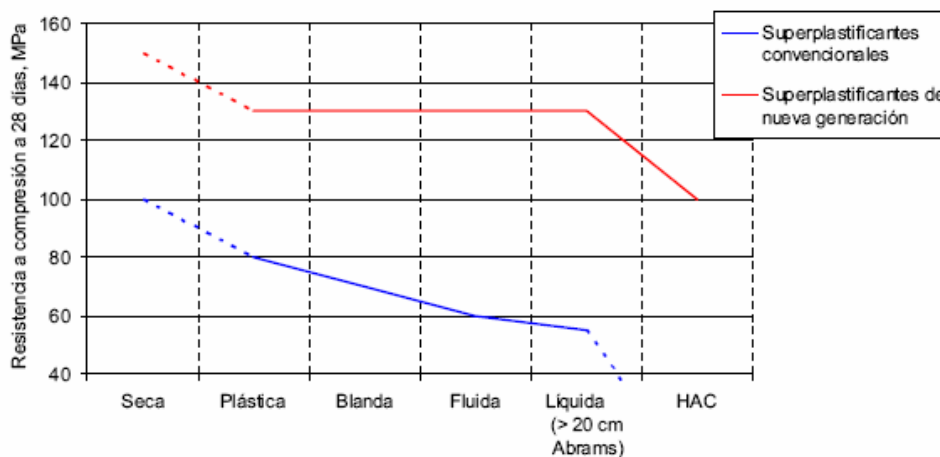


Fig. 2.29. Tabla orientativa para la selección del tipo de aditivo superplastificante en función de la demanda de resistencia final y consistencia

**Viscosidad y reología:** Aunque otros factores como la relación agua/finos influyen de forma más determinante en la reología y la viscosidad del HAC, el tipo de aditivo superplastificante de nueva generación (en función de su estructura polimérica) afectará en mayor o menor medida (observándose elevados valores en el ensayo V- Funnel).

Como norma general, se conoce que los polímeros con gran densidad cadenas laterales tienden a incrementar la cohesividad del hormigón e interfieren en la trabajabilidad de éste. Pero al mismo tiempo estos tipos de polímeros con los de mayor capacidad reductora de agua. En consecuencia, ni siempre el mejor aditivo es el que más agua reduce.

Actualmente existen aditivos en el mercado formulados con mezclas de polímeros que permiten elevadas reducciones de agua pero aportando un control en la cohesividad del hormigón que permite fabricar mezclas estables pero de fácil manejo.

Un aspecto importante sobre la trabajabilidad del HAC recae en la cantidad de aire ocluido que el aditivo incorpora. Valores de aire ocluido en el HAC inferiores al 2% pueden acarrear problemas de manejo, siendo entre el 2 y 4% un valor más óptimo.

**Resistencia inicial demanda y mantenimiento de cono requerido:** Obviando los condicionantes que la demanda de resistencia final impone sobre los aditivos superplastificantes convencionales, tanto éstos como los superplastificantes de nueva generación muestran buen comportamiento en cuanto al desarrollo de resistencias iniciales, incluso a dosis elevadas y ante bajas temperaturas. Esto justifica el uso mayoritario de estos aditivos en el sector del hormigón prefabricado.

Las limitaciones aparecen si se demanda un mantenimiento de cono prolongado (por razones de transporte o de aplicación). Los superplastificantes convencionales muestran limitaciones cuando, además de demandarse resistencia inicial, se requieren tiempos abiertos superiores a 30 – 40 minutos (variable según temperatura y materiales). En este caso, solamente los aditivos superplastificantes de nueva generación permiten conseguir de forma simultánea amplios tiempos abiertos (hasta 1,5 horas) con elevados desarrollos de resistencia inicial.



Compatibilidad con el cemento: El efecto dispersante de cualquier aditivo no puede tener lugar si el aditivo no es adsorbido correctamente sobre la superficie de la partícula de cemento. En consecuencia, deberá existir plena compatibilidad entre el aditivo seleccionado y el cemento que será empleado.

Para un aditivo en cuestión, su compatibilidad con el cemento dependerá de la composición química de éste. La finura del cemento puede afectar al consumo de aditivo para obtener un efecto dado, pero es la composición mineralógica lo que condiciona la compatibilidad con el aditivo.

El aditivo superplastificante se adsorbe mayoritariamente sobre las fases férricas y de C3A del cemento. La cantidad de estas fases y su estructura (C3A ortorrómbico o cúbico y diferentes CnAF) regulan el funcionamiento del aditivo. También el contenido de regulador de fraguado incide sobre el funcionamiento del aditivo, que afecta la velocidad de formación de la capa de ettringita y por lo tanto condiciona el equilibrio entre aditivo adsorbido y aditivo en solución.

La compatibilidad entre un cemento y un aditivo debe evaluarse mediante ensayos de laboratorio (ensayos de adsorción sobre cemento o directamente con mortero u hormigón). Se considera que un aditivo no es compatible con un cemento cuando se observan los siguientes fenómenos:

- No se produce un incremento del efecto fluidificante al incrementar la dosis de aditivo cuando éste se emplea dentro del rango de dosificaciones recomendado (el aditivo no es capaz de adsorberse sobre las partículas de cemento).
- Se produce una pérdida prematura (antes de 15 minutos) del efecto dispersante (el aditivo es adsorbido de forma demasiado rápida).
- Se produce un aumento de la consistencia retardado, observándose que el cono ha aumentado (a veces incluso causando segregación) después de 20 – 30 minutos de la adición del aditivo (adsorción del aditivo demasiado lenta).
- Aumento significativo del aire ocluido (producido por alguna incompatibilidad con algún componente del cemento o por una dosis elevada de aditivo).
- Aumento exponencial del tiempo de fraguado cuando el aditivo es empleado dentro de su rango de dosificación recomendado, especialmente cuando se emplean superplastificantes con efecto retardador (saturación de las fases de aluminato del cemento).

Si se observa alguno de estos fenómenos se considera que el rendimiento del aditivo no es el adecuado con el cemento en cuestión y deberá seleccionarse uno de diferente que presente mejor compatibilidad.

En el sistema cemento-aditivo superplastificante puede definirse el punto de saturación del aditivo. El punto de saturación del aditivo se alcanza cuando ya no se obtiene mayor fluidez a pesar de aumentar la dosificación de aditivo y representa el punto (la dosis de aditivo) que es capaz de saturar la superficie del cemento (fases de aluminato, en especial). A partir del punto de saturación, el aditivo es incapaz de adsorberse y permanece en solución, donde no aporta ningún beneficio.



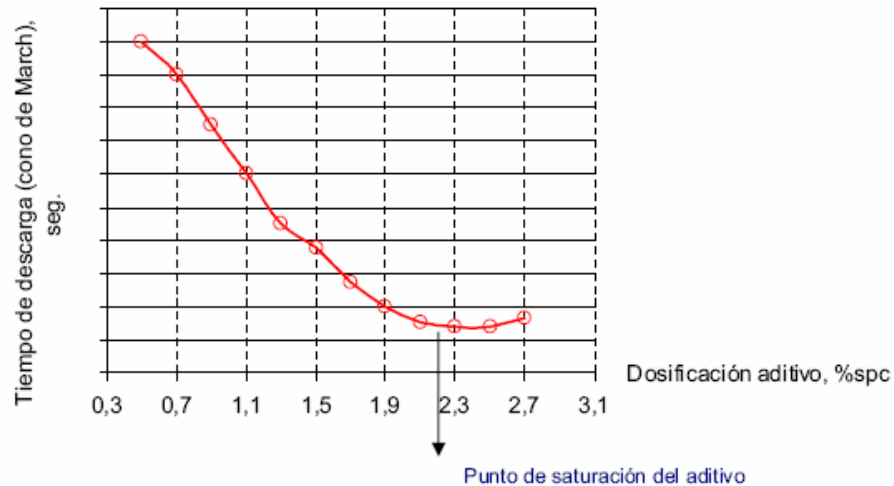


Fig. 2.30. Determinación del punto de saturación de un aditivo superplastificante en pasta de cemento empleando en cono de Marsh

El punto de saturación es particular para cada tipo de aditivo y para cada cemento puntal, y presenta variaciones en función de la temperatura. La composición del cemento y sobretodo su finura modifican el punto de saturación, siendo superior en el caso de cementos ricos en clínker y de elevada finura.

El punto de saturación de un aditivo pretendería determinar la dosis máxima del aditivo ensayado compatible con el cemento en cuestión, pero es importante remarcar que las dosis de saturación que se obtienen cuando se ensaya solamente con cemento y aditivo son significativamente inferiores a las observadas cuando se incluye la arena en el ensayo (situación más realista) debido a que la arena retiene una fracción de aditivo que no reaccionará con el cemento. Por lo tanto, puede ser discutible afirmar que la dosis de saturación será la máxima dosis aceptada si no se ha realizado el ensayo en condiciones realistas (considerando el efecto de las arenas). En cualquier caso, debe prestarse atención al punto de saturación porque dosificaciones de aditivo por encima del punto de saturación pueden desencadenar efectos secundarios sobre el hormigón no deseados.

Compatibilidad con las arenas: Como se ha comentado, las arenas ejercen un efecto secuestrador de aditivo que interfiere en su rendimiento. Los aditivos superplastificantes convencionales, por su estructura química, no presentan prácticamente nunca fenómenos de incompatibilidad con las arenas (su porcentaje de adsorción en las arenas es despreciable). Sin embargo, la compatibilidad de las arenas si debe estudiarse en el caso del empleo de aditivos superplastificantes de nueva generación.

Puede afirmarse que un aditivo no será compatible con una cierta arena cuando ésta sea capaz de retener aditivo (impidiendo que se adsorba sobre el cemento) en un porcentaje superior al 40-50% (evaluado por ensayos de adsorción). En esta situación, el rendimiento del aditivo será muy inferior al esperado por la competencia que ejerce la arena frente al cemento, requiriendo dosificaciones muy superiores a las esperadas.



La naturaleza mineralógica de la fracción fina de la arena ( $< 0,063$  mm) es quien condiciona la compatibilidad. No se han observado incompatibilidades con el aditivo cuando se emplean arenas lavadas sin finos, pero pueden existir cuando se usan arenas machacadas con finos ricos en ciertos tipos de arcillas.

La incompatibilidad con las arenas se manifiesta de forma más intensa en el caso de hormigones con bajos contenidos de cemento.

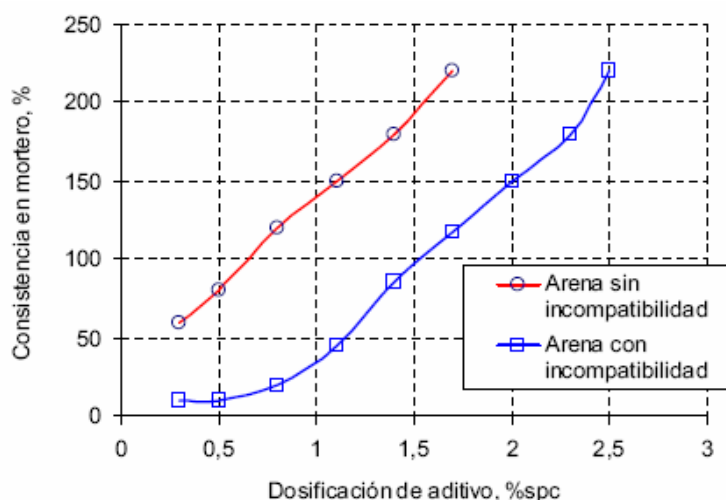


Fig. 2.31. Evolución del efecto dispersante (aumento de consistencia del mortero con la dosificación de aditivo) empleando diferentes tipos de arenas, para el mismo cemento y aditivo superplastificante

Si se observa que existe alguna compatibilidad con las arenas deberá considerarse un incremento en la dosificación de aditivo para alcanzar el efecto deseado (evaluando previamente los posibles efectos secundarios que esto pueda causar) o bien sustituir el aditivo por otro que no presente esta incompatibilidad.

**Robustez:** Para permitir la fabricación industrial diaria de hormigones autocompactantes de una forma cómoda, práctica y regular, el efecto del aditivo superplastificante debe ser “controlable”.

Las variaciones en la composición de las materias primas (cemento y áridos) repercuten sobre la demanda de agua del hormigón y en consecuencia afectan a su resistencia final y su consistencia. Estas variaciones pueden ser amplificadas por el uso de un aditivo superplastificante, especialmente cuando se emplean dosificaciones elevadas, como es el caso del hormigón autocompactantes.

Se dice que el aditivo es demasiado sensible cuando pequeñas variaciones en la composición de las materias primas (variaciones en la humedad, finos y granulometría de arenas, finura y composición del cemento) significan grandes variaciones sobre la consistencia del hormigón fresco. Esta sensibilidad del aditivo inducida por las variaciones de las materias primas depende del tipo de aditivo empleado y de las características de las materias primas y del sistema de amasado (las variaciones son más sentidas en el caso de amasar en camión que cuando se emplea amasadora).

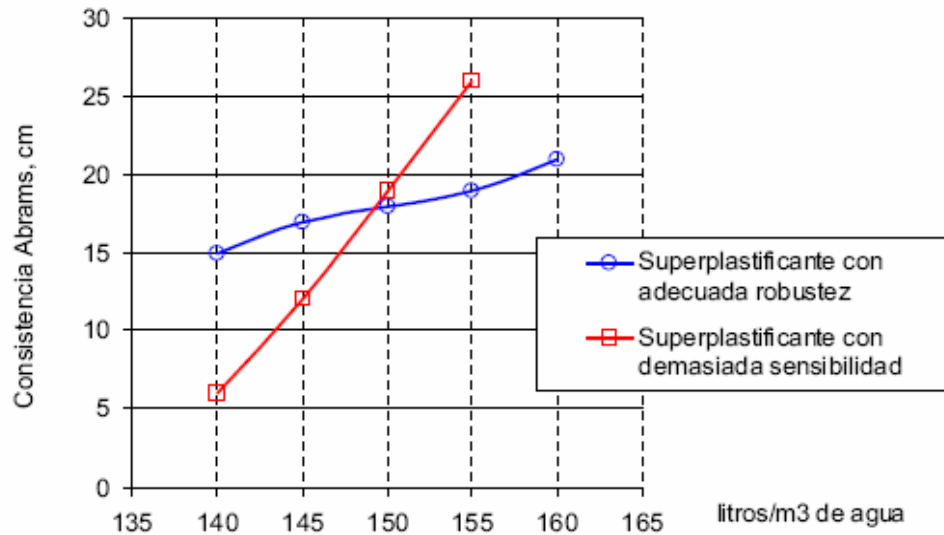


Fig. 2.32. Repercusión sobre la consistencia inicial inducida por variaciones en el contenido total de agua (con dosificación fija de aditivo superplastificante)

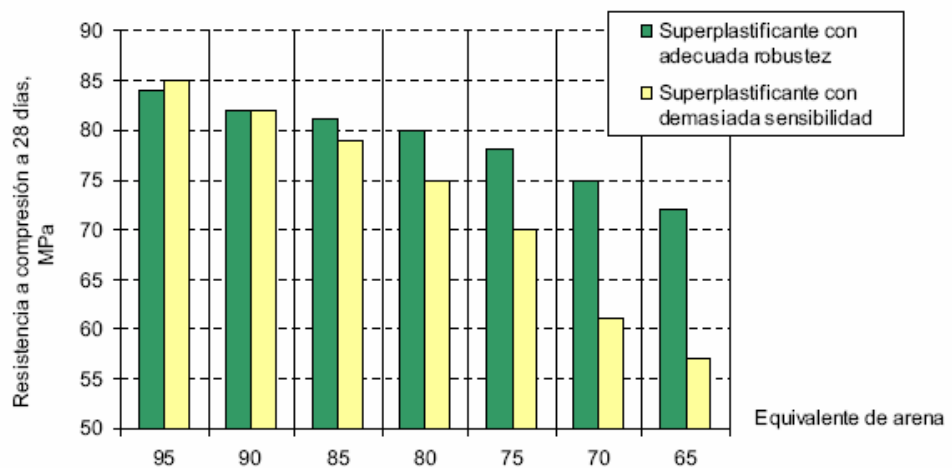


Fig. 2.33. Repercusión de sobre la resistencia final en un HA-70 autocompactante inducida por la variación de EA de la arena, con dosificación de cemento y aditivo fija y consistencia constante (ajustando con agua)

No es aconsejable trabajar con aditivos que presenten una alta sensibilidad porque complican enormemente la producción industrial. Deberán seleccionarse aditivos que presenten una robustez suficiente ante las variaciones previstas en las materias primas, de tal modo que las dispersiones en los valores de humedad de las arenas no repercutan de forma severa sobre la consistencia del hormigón y las oscilaciones en los valores de equivalente de arena no provoquen pérdidas de resistencia problemáticas.

Para lograr una adecuada robustez en la producción de hormigones autocompactantes, además de las implicaciones que pueda conllevar el tipo de aditivo, es imprescindible un control exhaustivo de los materiales y una mínima regularidad en la composición de éstos.





### 2.4.5.3 – Aditivos moduladores de la viscosidad

Si bien en la actualidad prácticamente la totalidad del HAC producido se fabrica con aporte adicional de finos con adiciones complementarias (fundamentalmente filler calizo), recientemente se ha abierto un campo de investigación relacionado con los aditivos moduladores de viscosidad (VMA). El uso de VMA en la actualidad se limita a funciones de corrección para mejorar la robustez cuando los materiales con variables, para tolerar mayores sobreadicciones de agua, pero no se están utilizando como sustitutivos de finos minerales (esto es, pasar el HAC tipo P al HAC tipo V, donde la resistencia a la segregación se consigue mediante aditivos químicos y no solamente por aporte de finos).

En conclusión, podríamos decir que, los cohesionantes que, tal como su nombre indica, sirven para dar cohesión a la mezcla, son aplicados en los casos en que la mezcla carece de suficientes finos en su dosificación. Su utilización no siempre es necesaria. Estos aditivos también conocidos como “agentes coloidales” normalmente son derivados de la celulosa y de polisacáridos (K.Khayat);

Ambroise (2001), utilizó como aditivo cohesionante una solución de almidón modificado, con un contenido de sólidos de 20%.

#### 2.4.5.3.1 - La problemática actual con los VMA

Los VMA existen en el mercado desde los inicios del HAC, pero debe aceptarse que nunca han resultado ser una herramienta de grandes aportes en el desarrollo del HAC (como se ha comentado, solamente en casos de necesidad).

Los VMA convencionales están basados en polímeros de alto peso molecular que en la mayoría de casos actúan reteniendo agua. En consecuencia, mejoran la cohesión del hormigón pero generando una serie de efectos secundarios en la mayoría de casos no deseados:

- Pérdida de fluidez
- Introducción de aire que puede reducir resistencias
- Incompatibilidad con el superplastificante

Estas contraindicaciones han llevado a la conclusión que los VMA convencionales no son capaces de sustituir de forma significativa la adición mineral.

Adicionalmente, la ausencia de regulaciones y Normas para este tipo de aditivos ha dificultado su introducción.

#### 2.4.5.3.2 - Nuevos VMA para satisfacer las demandas del mercado

Los nuevos desarrollos en el campo de los aditivos moduladores de viscosidad han permitido optimizar los procesos y permitir disponer de VMA mucho más adaptados al tipo de aplicación. Actualmente están disponibles VMA que sí son capaces de sustituir parte de los finos minerales imprescindibles para la estabilidad en fresco del HAC.





Los nuevos VMA permiten fabricar hormigones autocompactantes de resistencias ordinarias (25 – 35 MPa) que con la tecnología anterior resultaban proporcionalmente muy costosos por las prestaciones demandadas (debido a las particularidades del diseño, es más fácil fabricar un HAC de alta resistencia que uno de resistencia ordinaria). Así entonces, pueden fabricarse hormigones autocompactantes con cantidades de finos un 20% inferiores a la habituales.

La introducción de estos nuevos VMA permite también la simplificación de la producción y los costes, ya que dado el caso, no serían necesarios silos adicionales para emplear filler calizo que solamente se usaría de forma puntual.

#### 2.4.5.4 – Direcciones futuras: HAC sin finos

Sin duda alguna las líneas de investigación futuras permitirán finalmente la producción del HAC sin la necesidad del aporte extra de finos. Esta situación idealista a día de hoy representaría el impulso definitivo para la potenciación del uso del HAC porque permitiría fabricar el HAC del mismo modo que se fabrica el hormigón convencional y con el mínimo diferencial de coste, para todas las resistencias y para prácticamente todas las aplicaciones.

## 2.5 MÉTODOS DE DOSIFICACIÓN DE LOS HAC

### 2.5.1 Introducción

Para que el hormigón obtenga las características de un HAC su dosificación debe ser cuidadosamente estudiada.

En la bibliografía se insiste en la necesidad de utilizar una alta cantidad de finos ya que sirven para dar cohesión a la mezcla y para evitar la segregación (Okamura 1996, Chai 1998, Petersson, Bilberg y Van 1999, Cariacedo 1999, Xie 2002, Gomes 2002, de la Cruz 2006, ACI 273R-07).

Desde el Método General, inicialmente presentado por Okamura en Tokio en 1986, muchas han sido las propuestas de diseño de mezcla para los HAC. Varias de estas propuestas se presentan como modificaciones o evoluciones del método general y resultaron en una serie de aplicaciones como:

- Puentes:
  - o Akashi-Kaikyo, Japón 1998 (Kashima y otros 1999).
  - o Gävle y Strängnäs, Suecia 1998 (Bilberg, Petersson, Österberg 1999).
  - o Granby, Suecia (Emborg 1999).



- Túneles:
  - o Ensayos a escala real, Suiza 1999 (Wetzig 1999).
  - o Cleuson Dixence (1998) y Loetschberg (1999), Suiza (Botte, Burdin, Zermatten 1999).
  - o Kålhäll, Suecia 1998/9 (Emborg 1999).
  
- Prefabricados :
  - o El proyecto Belton, Holanda 1998 ( Bennenk 1999).

A continuación se presentan algunos métodos propuestos y sus evoluciones.

### 2.5.2 Ensayos previos sobre pastas y morteros

Muchos criterios de dosificación se han planteado como un proceso en el que se optimiza por separado las pastas, morteros y esqueleto granular, así como las proporciones entre ellos.

Se incluyen en este apartado algunos ensayos que se han desarrollado para caracterizar las pastas o morteros empleados en HAC con la finalidad de servir de base para la dosificación de estos hormigones.

Para evaluar las características del mortero y de los materiales utilizados en su composición, como adiciones (finos), arenas y aditivos, Okamura (2000) propuso la utilización de dos ensayos.

El primero (fig. 2.34) es el ensayo de flujo de morteros. Este ensayo es similar al Escurrimiento comentado en 2.3.3, con un molde de menor dimensión y un procedimiento idéntico. El resultado del ensayo se expresa por medio de del parámetro  $G_m$ , ecuación 2.7.

$$G_m = (d_1 d_2 - d_0^2) / d_0^2 \quad (2.7)$$

Tras el ensayo se mide dos diámetros,  $d_1$  y  $d_2$ , perpendiculares de la huella del hormigón siendo  $d_0$  es el diámetro inferior del cono.

El segundo ensayo, denominado Embudo en V para morteros (fig.2.35) se corresponde también con un ensayo a escala del embudo en V para hormigones comentado en 2.3.4. Del ensayo se obtiene el tiempo  $t$  (en segundos) que tarda la muestra en fluir a través del embudo. El resultado se expresa por medio del parámetro  $R_m = 10/t$ . Altos valores de  $G_m$  indican una gran capacidad de deformación y bajos valores de  $R_m$  indican una alta viscosidad de la mezcla.



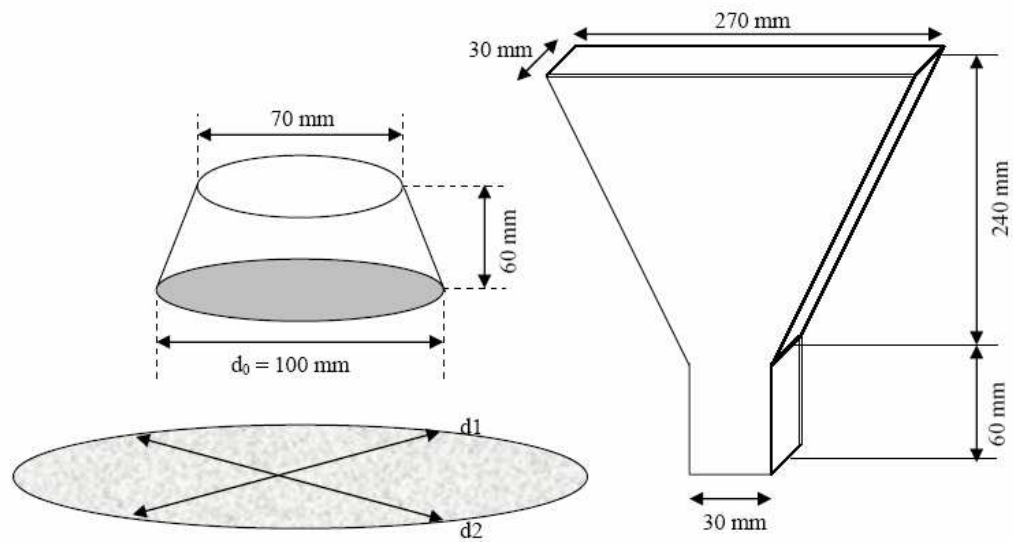


Fig. 2.34 Ensayo de flujo de mortero      Fig. 2.35 Ensayo de embudo en V para mortero

En la Universidad Politécnica de Cataluña Gomes y otros (2002) han utilizado los ensayos de Cono de Marsh y mini-slump para definir la composición óptima de la pasta utilizada para fabricar un hormigón autocompactante de alta resistencia.

El ensayo del cono de Marsh (De Larrard, 1990) con apertura de salida de 8 mm (fig. 2.36) analiza la fluidez de las pastas. El procedimiento consiste en introducir un litro de pasta en el cono y medir el tiempo (T) que tarda en fluir por la apertura inferior una cantidad de 500 ml.



Fig. 2.36 Cono de Marsh



El mini-slump, propuesto por Kantero en 1980, consiste en un molde tronco-cónico (fig. 2.37) que se rellena con la muestra de pasta a ensayar. Como parámetros se mide el diámetro final y el tiempo transcurrido entre el inicio del ensayo y un diámetro de 115 mm (T115).

Gomes concluye que la relación óptima de cada pasta es aquella que presenta un diámetro de extensión de  $180 \pm 10$  mm y tiempos T115 entre 2 y 3,5 s.

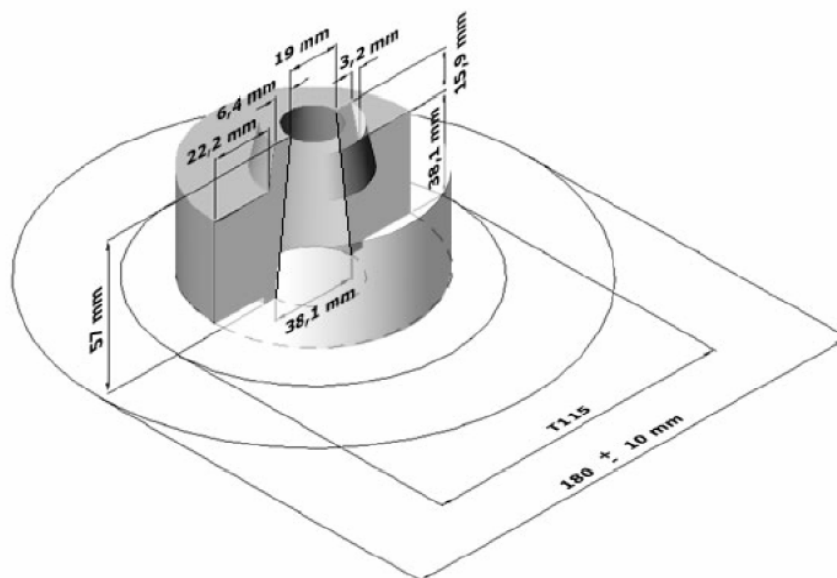


Fig. 2.37 Mini-slump (Cavalcanti 2006)

### 2.5.3 Método General para la dosificación del HAC

El llamado “Método General” de Okamura y Ouchi (1997) incluye una propuesta de dosificación que define las proporciones de árido grueso, árido fino y pasta en función de la densidad de Conjunto del árido grueso. La Optimización de la composición de la pasta se lleva a cabo por medio de ensayos sobre morteros.

El procedimiento se describe a continuación:

- Se considera como árido grueso todas las partículas retenidas en el tamiz de 5 mm.
- Se considera árido fino la fracción granulométrica entre 0.09 mm y 5 mm.
- Se considera como finos todas las partículas de tamaño inferior a 0.09 mm.
- Se determina la densidad de conjunto del árido grueso en Kg./m<sup>3</sup> (UNE 83134-90).

La dosificación de árido grueso por metro cúbico de hormigón corresponde al 50% de la masa obtenida en el ensayo de densidad de conjunto.

Este criterio suele conducir a dosificaciones de aproximadamente 800 Kg./m<sup>3</sup> de árido grueso, lo que representa un volumen sólido del orden del 30 – 34% del volumen total del hormigón. Las cuantías así obtenidas son sensiblemente inferiores a las normalmente empleadas en hormigones tradicionales.

El resto del volumen de hormigón se completa con un mortero. El volumen sólido del árido fino debe ser el 40% del volumen del mortero.

Las proporciones relativas de agua, cemento, aditivo y otros finos que deben completar el resto del volumen del hormigón se determinan por medio de ensayos sobre morteros. La relación agua/cemento o agua/material cementante en general estará condicionada por las exigencias mecánicas y de durabilidad del hormigón. Con estas limitaciones se realizarán ensayos optimizando las dosificaciones de los componentes mediante pruebas de flujo y embudo en V para morteros.

Se considera que un valor adecuado en estos ensayos es:  $G_m = 5$  y  $R_m = 1$  a 2. Esto equivale a tiempo de flujo entre 5 y 10 segundos y diámetros de escurrimiento próximos a 250 mm.

El procedimiento concluye con ensayos sobre hormigón por medio del Escurrimiento y se propone alcanzar un escurrimiento de 650 mm.

Estos criterios se han determinado mediante estudios experimentales sobre la tendencia al bloqueo de los áridos (Okamura, 1996, 2000), utilizando los ensayos de la caja U y el Vesel test.

#### 2.5.4 Otras propuestas de dosificación basadas el método general

Siguiendo la línea del método general Edamatsu, Nishida y Ouchi en 1999 desarrollaron un método para determinar el contenido de árido fino del mortero. Para ello ensayaron morteros fabricados con arenas, de distintas procedencias (rodada, machacada), granulometrías, y distintos tipos de finos (cemento, filler calizo, ceniza volante, escoria). La interacción entre mortero y árido se analizó sobre mezclas en las cuales se utilizó “áridos” de cristal, con diámetro máximo de 10 mm, en una proporción del 20% del volumen del mortero.

Los ensayos se llevaron a cabo utilizando el ensayo de embudo en V para morteros (fig.2.35). La razón entre los tiempos de embudo, para un mismo mortero con y sin áridos de cristal, se presenta como un índice de la capacidad de llenado del hormigón y permite reducir el volumen de pasta utilizado en el hormigón.

En la Universidad de Delft, Pelova (1998), limitando el tamaño máximo del árido grueso a 16 mm y logró encontrar el máximo factor de empaquetamiento de la mezcla aumentando del 50 al 60% la cantidad de árido grueso utilizada en la dosificación (RILEM – Report 23). Con ello se consigue que el contenido de pasta sea 10% menor que la utilizada en el “Método General”.





En el University Collage London, Chai y Domone (1999) han llevado a cabo estudios sobre hormigones fabricados con áridos machacados de diámetros máximos 10 y 20 mm, distintos tipos de finos (residuos de ceniza de palma, escoria de alto horno o filler calizo) y sin la utilización de agentes modificadores de la viscosidad.

Al igual que en el método general, la máxima relación a/finos, para mantener la resistencia a la segregación, se obtiene a través del ensayo de flujo de morteros (fig. 2.34). Los ensayos sobre hormigón se llevan a cabo utilizando los ensayos de Escurrimiento, embudo en V y caja U. Los valores objetivos de estos ensayos varían en función del tamaño máximo del árido y se presentan en la tabla 2.9.

Como diferencia respecto al método general este método, al igual que lo propuesto en Delft, presenta la posibilidad de utilizar un mayor volumen de árido grueso, siempre que su diámetro máximo no supere los 10 mm.

Diámetro máximo de árido (mm)	Escurrimiento (mm)	Embudo V (s)	Caja U (mm)
20	650 – 700	4 - 10	300 - 350
10	600 - 700	2 - 4	300 - 350

Tabla 2.9: Valores de ensayo University College London

### 2.5.5 Método CBI (Swedish Cement and Concrete Research Institute)

La principal diferencia entre este método propuesto por Petersson (1996) y Bilberg(1999) y el método general esta en la forma de se determinar el contenido de árido y consecuentemente el volumen de pasta. Este método tiene en cuenta el volumen de vacíos entre áridos, su efecto en la capacidad de paso (riesgo de bloqueo) y las características del mortero.

El método consiste en encontrar el mínimo volumen de pasta capaz de hacer fluir el hormigón sin que se produzca el bloqueo entre las armaduras. Para ello se mide inicialmente el volumen de huecos en el esqueleto granular de la mezcla entre arena y grava, de acuerdo con la norma ASTM C29/CM29. Se busca la combinación que presente la mayor densidad.

El riesgo de bloqueo se analiza fabricando hormigón con un determinado árido y unas condiciones de armado. El árido se caracteriza por medio de un tamaño:

$$D_{af} = M_{i-1} + \frac{3}{4}(M_i - M_{i-1})$$

$M_i$  = diámetro máximo del árido

$M_{i-1}$  = diámetro mínimo del árido

La dificultad de ejecución se valora según la distancia entre armaduras “C”, como el co.. C/Daf.

Se fabrican hormigones con diferentes dosificaciones de árido (Vabi/Vt) y se ensaya la caja en L para diferentes separaciones entre armaduras. En su estudio Peterson ha utilizado, en la caja L, barras de 12mm, espacios entre barras de 34 mm y considera que se produce bloqueo cuando el parámetro h2/h1 no alcanza el valor de 0,8.

De este modo se encuentra el máximo valor (Vabi/Vt) para cada (c/Daf), con el cual se produce el bloqueo. Fig. 2.38.

Donde:

Vt = volumen total de hormigón

Vabi = volumen de bloqueo del árido i;

c = espacio entre armaduras

Si se pretende utilizar varios áridos se obtiene una curva como la de la figura nº 2.38 para cada uno y se admite que el volumen de bloqueo en la mezcla de varios de ellos puede obtenerse por la ecuación 2.8 propuesta por Ozawa:

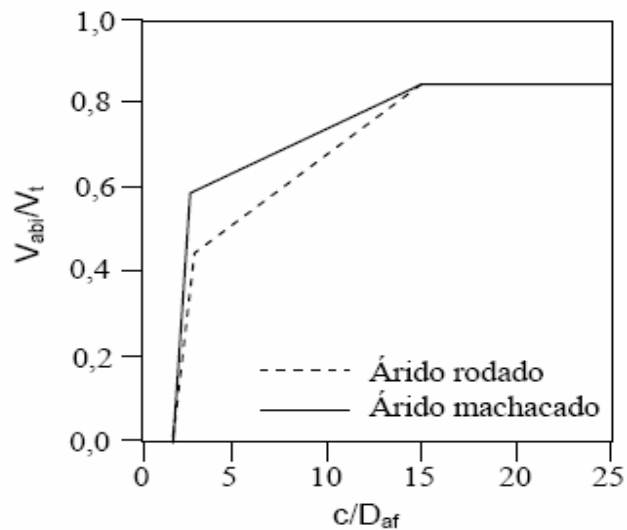


Figura 2.38. Relación entre el cociente (Vabi/Vt) y el cociente (c/Daf)

$$\sum_{i=1}^n (n_{ai} / n_{abi}) = \sum_{i=1}^n (V_{ai} / V_{abi}) = 1 \tag{2.8}$$

donde:

nabi = Vabi / Vt

Vai = volumen de árido del grupo i;



Estos resultados pueden expresarse por medio de una curva límite de bloqueo como la indicada en la fig. 2.39. Cualquier dosificación con contenido en pasta sobre el valor de esta línea podrá utilizarse sin riesgo de bloqueo. Evidentemente existe una línea límite para cada distancia entre armaduras.

Esta línea se supone independiente de la calidad de la pasta siempre que no se produzca segregación.



Figura 2.39. Curva límite de bloqueo. Petersson 1996

La determinación del contenido de finos, considerando como tales las partículas menores que 0,250 mm, de agua y de superplastificante se ajustan mediante la utilización de un viscosímetro coaxial. Asimismo, Peterson recomienda que el contenido en finos se encuentre entre 500 y 525 Kg./m<sup>3</sup>.

Los ajustes finales en la mezcla se realizan utilizando los ensayos de Ecurrimiento y caja L. Los criterios utilizados son, diámetros finales entre 670 y 720 mm, para el Ecurrimiento y valores de h1 inferiores a 110 mm en la caja L (ver apartado 2.3).

### 2.5.6 Método LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)

El método desarrollado en el LCPC por Sedran (1996), consiste en utilizar un modelo computacional, conocido como “Solid Suspensión Model” para optimizar el esqueleto granular compacto con el mínimo de huecos. El programa tiene en cuenta:

- La granulometría y tipo de los distintos áridos
- La granulometría de los distintos filleres
- Las características del encofrado a rellenar (efecto pared, armaduras...)
- El tipo de mezcla deseada, que para HAC debe adoptarse a una suspensión de sólidos en la pasta.

La elección de los materiales, conjunto granulométrico, compatibilidad entre cemento y superplastificante, adiciones y contenido en cemento, será basada en experiencias anteriores.



El procedimiento de dosificación empieza fijándose dos parámetros. Por un lado el Esgurrimento debe estar comprendido entre 60 y 70 cm (o el esfuerzo de corte inicial de la mezcla debe ser inferior a 500 Pa, medido con el reómetro BTRHEOM). Por otra parte la viscosidad plástica del hormigón debe ser inferior a 200 Pa.s, para garantizar buena trabajabilidad y capacidad de llenado, y superior a 100 Pa.s, para evitar que ocurra segregación. Asimismo, estos datos de viscosidad y esfuerzo de corte inicial se encuentran en un rango de valores bastante más amplio que los presentados por Wallevik (2003), tabla 2.1 del apartado 2.2.3.

Inicialmente se establecen los criterios de proyecto: La resistencia a 28 días, la geometría y armadura del elemento a fabricar.

Considerando lo anterior, la composición de la mezcla debe seguir los siguientes pasos:

- Inicialmente fijar una proporción de finos relativa entre los finos a utilizar;
- Se obtiene el punto de saturación del aditivo para este conjunto de finos utilizando el cono de Marsh. de Larrard (1990) y Sedran (1996);
- Se determina la demanda de agua de los finos con el aditivo fijado anteriormente;
- Se calcula por medio del programa RENE-LCPC la estructura granular, el contenido de pasta y se fijan los parámetros reológicos del hormigón;
- Se realizan amasadas, de aproximadamente 15 litros de hormigón, para ajustar el contenido de agua hasta que se obtenga la viscosidad fijada en el punto anterior, usando para ello el reómetro;
- Se vuelve a ajustar la proporción de aditivo de acuerdo con el Esgurrimento (o con el esfuerzo de corte inicial) inicialmente fijado.
- Se comprueba la resistencia del hormigón. Si la resistencia es muy alta o muy baja se prueba una nueva proporción de finos.
- Finalmente se comprueba la capacidad de llenado del hormigón utilizando la caja U.





### 2.5.7 Método UPC (Universidad Politécnica de Cataluña)

En 2002 Gomes propone una metodología para la obtención de HACAR (Hormigones Autocompactantes de Alta Resistencia), que también está fundamentada en optimizar por separado la composición de la pasta y del esqueleto granular.

Primeramente se establecen las relaciones, en peso, de agua/cemento, microsilice/cemento (en su caso), superplastificante sólido/cemento y filler/cemento. La relación entre los componentes conglomerantes y la relación a/c se fijan en función de las características del hormigón a obtener.

El humo de sílice se fija en un 10% del peso del cemento. La relación a/c empieza en el límite superior de 0,4 y posteriormente se va disminuyendo hasta que se obtenga el nivel de resistencia deseado. La demanda de agua del filler y de la microsilice se evalúa utilizando el ensayo de Vicat según la norma ASTM C 187(1986).

La dosificación del superplastificante se determina buscando el punto de saturación con el ensayo de cono de Marsh. (Gomes 2000) descrito en el apartado 2.5.0. Gomes define como punto de saturación la relación entre superplastificante y cemento (sp/c) para la cual un incremento en la dosificación de superplastificante no provoca mejoras significativas en la fluidez de la mezcla (Gettu e otros 1997). Realizando variaciones sobre la relación sp/c se obtiene la curva  $\log(T)sp/c$  en la cual se busca la relación sp/c correspondiente a un ángulo interno de  $140^{\circ} \pm 10^{\circ}$  (Gomes 2000).

Tras fijar el punto de saturación se determina la dosificación óptima de filler mediante el ensayo de mini-slump.

La composición del esqueleto granular, se determina experimentalmente, realizando el ensayo ASTM C29/CM29(1986), donde se mezclan distintas proporciones de arena y gravas sin ningún tipo de compactación. Mediante series de ensayo se busca las proporciones con las que se consigue una mayor compacidad.

Terminada la optimización por separado, se fabrican hormigones con distintos contenidos de pasta, buscando el volumen que mejor se adapte a cada aplicación. Los hormigones son evaluados utilizando ensayos como el Ecurrimiento, la caja L y el embudo en V (ver apartado 2.3).

### 2.5.8 Método EFNARC

EFNARC es un órgano europeo que está dedicado a sistemas específicos de hormigón y productos químicos y en 2002 publicó una guía para la obtención de HAC.

Desde entonces, dicha guía ha sufrido algunas modificaciones hasta que en el 2005 ha dado origen a la Guía Europea para HAC.

De acuerdo con su guía para la obtención de HAC publicada en 2002 la composición de la mezcla debe satisfacer todos los criterios de rendimiento para el hormigón tanto en estado fresco como endurecido.



Para evaluar el estado fresco del hormigón, EFNARC utiliza los ensayos con los respectivos límites presentados en la tabla 2.10.

La tabla 2.11 presenta los valores que en la actualidad están definidos en la Guía Europea para HAC. Se observa que la Guía Europea propone únicamente de cuatro ensayos, lo que representa una reducción importante en el número de ensayos que se realizan para definir un hormigón como autocompactante.

Método	Unidad	Margen habitual de valores	
		Mínimo	Máximo
<b>Escurecimiento</b>	mm	650	800
<b>T50</b>	Segundos	2	5
<b>Anillo j</b>	Mm	0	10
<b>Embudo V</b>	Segundos	6	12
<b>Embudo V a 5min</b>	Segundos	0	+3
<b>Caja L</b>	(h2/h1)	0.8	1.0
<b>Caja U</b>	(h2-h1) mm	0	30
<b>Vesel test</b>	%	90	100
<b>Ensayo de estabilidad gtm</b>	%	0	15
<b>Orimet</b>	Segundos	0	5

Tabla 2.10 Parámetros de ensayos según EFNARC 2002

<b>Escurecimiento</b>	<b>Criterio</b>
Clase de asentamiento SF1	$550 \leq SF1 \leq 650$
Clase de asentamiento SF2	$560 \leq SF1 \leq 750$
Clase de asentamiento SF3	$760 \leq SF1 \leq 850$
<b>Embudo V</b>	
Clase de ensayo VF1	$\leq 8$
Clase de ensayo VF2	$9 \leq VF2 \leq 25$
<b>Caja L</b>	
Clase de ensayo PA1	$\geq 0,8$ con 2 obstáculos de barras
Clase de ensayo PA2	$\geq 0,8$ con 3 obstáculos de barras
<b>Segregación</b>	
Clase de ensayo SR1	$\leq 20$
Clase de ensayo SR2	$\leq 15$

Tabla 2.11 Parámetros de ensayos según la Guía Europea 2006

En cuanto a método de dosificación, la Guía Europea no presenta ninguna propuesta en particular y se remite a documentos como el de Gomes (2002) o el propio procedimiento de EFNARC. Sin embargo, presenta una indicación de rangos típicos de los componentes del HAC pero sin ánimo de que dichos rangos se presenten como restrictivos. Estos rangos se presentarán al final de este capítulo.

Para preparar la dosificación, EFNARC propone un método “paso a paso” (figura 2.31) imponiendo una serie de requisitos:

- Relación agua/finos en volumen de 0,80 a 1,10;
- Contenido total de finos de 160 a 240 litros (400 – 600 Kg.) por metro cúbico;
- La arena se define como todo material de granulometría entre 0.125 y 4 mm.

El proceso paso a paso consiste en:

1- El contenido en aire suele fijarse en un 2%. Se utilizará valores superiores en los casos donde se quiera diseñar hormigones resistentes a los ciclos hielo-deshielo.

2- La relación agua/cemento se selecciona sobre la base de los requisitos de EN 206. Normalmente el contenido de agua no supera los 200L/m<sup>3</sup>.

3- El volumen del árido grueso, al igual que en el método general, se fija en función de su densidad. Esta debe estar entre el 50 y el 60% de la densidad de conjunto del árido grueso. Además, establece que será tanto mayor cuanto menor sea su tamaño máximo. Y que los áridos rodados pueden ser utilizados en mayor proporción que los machacados. Se suele fijar entre el 28 y el 35% del volumen de la mezcla.

4- El contenido de arena debe variar entre 40 y 50% del volumen del mortero y se definirá en función de las propiedades de la pasta.

5- El diseño de la pasta se hace fijando la relación agua/finos,  $\beta_p$  de referencia, a partir del ensayo de flujo en cono de mortero. Para ello se realizan ensayos sobre pastas con la combinación de cemento y adiciones inicialmente elegida variando la relación agua /finos (en volumen). Sobre los resultados se realiza una regresión y se define el punto de intersección con el eje de ordenadas. Fig. 2.41. La ordenada en este punto “ $\beta_p$ ” es la relación agua finos seleccionada.

6- La determinación de la relación agua/finos a utilizar y de la dosificación de superplastificante se realiza por medio de los ensayos de flujo en cono de morteros y embudo en V para morteros (apartado 2.5.0). Para ello se realizaran distintas amasadas variando la relación agua/finos en el margen de [0,8 – 0,9]  $\beta_p$ . Los valores requeridos son: entre 240 y 260 mm en el flujo de morteros y entre 7 y 11 segundos en el embudo V para morteros.

7- Finalmente se ajustan los parámetros realizando ensayos sobre el hormigón, fijando definitivamente la dosificación de grava y por tanto la relación grava/mortero.



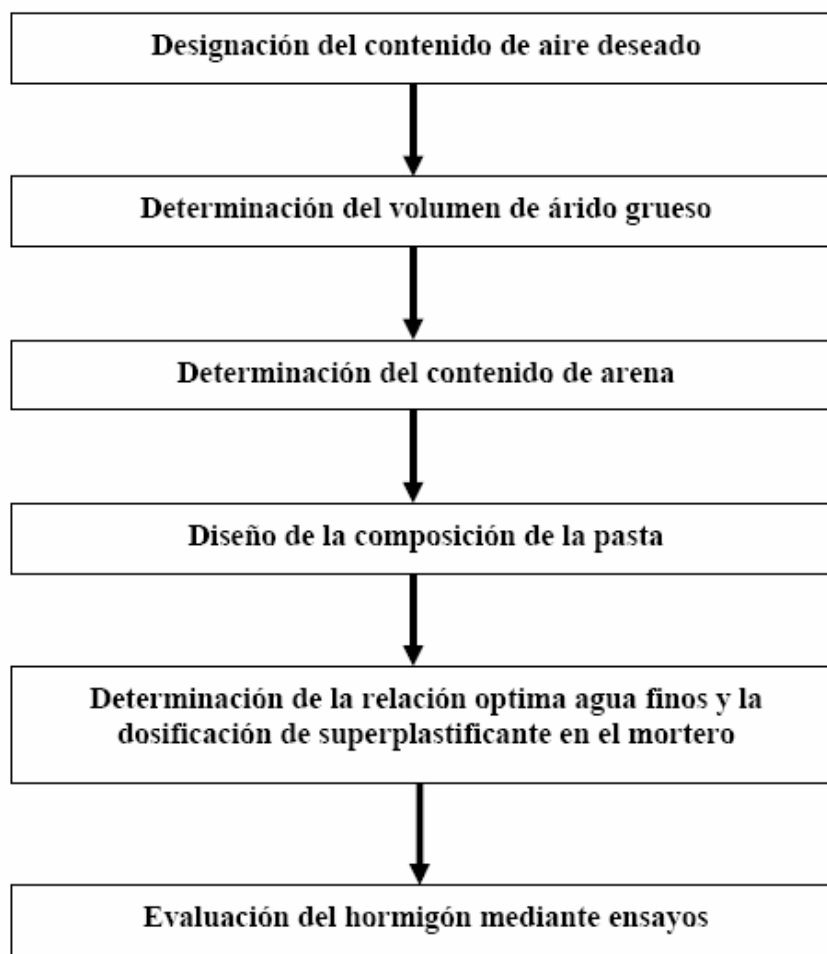
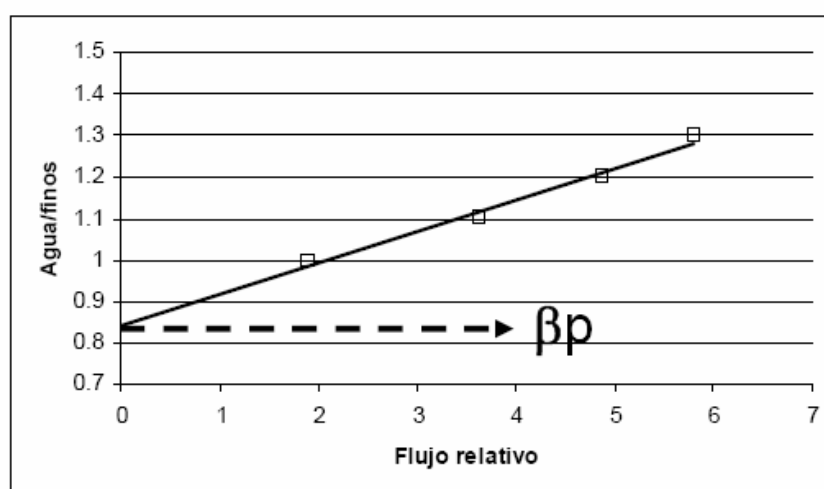


Figura 2.40. Pasos para la obtención del HAC según EFNARC

Fig. 2.41. Definición de  $\beta_p$ 





### 2.5.9 Método ACI (American Concrete Institute)

El método de dosificación del ACI (2007) es similar al propuesto por EFNARC. Se parte de un criterio inicial, donde se define el comportamiento del Escurrimiento deseado.

A continuación se ajustan las proporciones de los materiales siguiendo las recomendaciones de las tablas 2.12 y 2.13.

Se genera una amasada de prueba y se realizan los ensayos de Escurrimiento, anillo J y caja L.

A partir de los resultados de la amasada de prueba se ajustan las proporciones de los materiales hasta que la ésta alcance las propiedades de autocompactabilidad inicialmente definidas.

<b>Escurrimiento (mm)</b>	< 550	550 – 600	> 650
<b>Contenido en finos (Kg)</b>	355 – 385	385 – 445	>458

Tabla 2.12. Sugerencia del ACI para el contenido en finos

<b>Parámetro</b>	<b>Recomendación</b>
<b>% Grava (&lt; 12 mm)</b>	28 – 32
<b>% Pasta</b>	34 - 40
<b>% Mortero</b>	68 - 72
<b>Agua / material cementante</b>	0,32 – 0,45
<b>Contenido en cemento</b>	386 - 475

Tabla 2.13. ACI - Valores recomendados para dosificar un HAC

## 2.6 CONSIDERACIONES FINALES

De una manera general, la obtención de un HAC puede ser resumida en el esquema mostrado en la fig. 2.42 (Ouchi M, Ozawa K, y Okamura H; 1998).

La tabla 2.14 extraída del trabajo de Gomes (2002) presenta las dosificaciones y parámetros utilizados por algunos autores en la obtención del HAC.



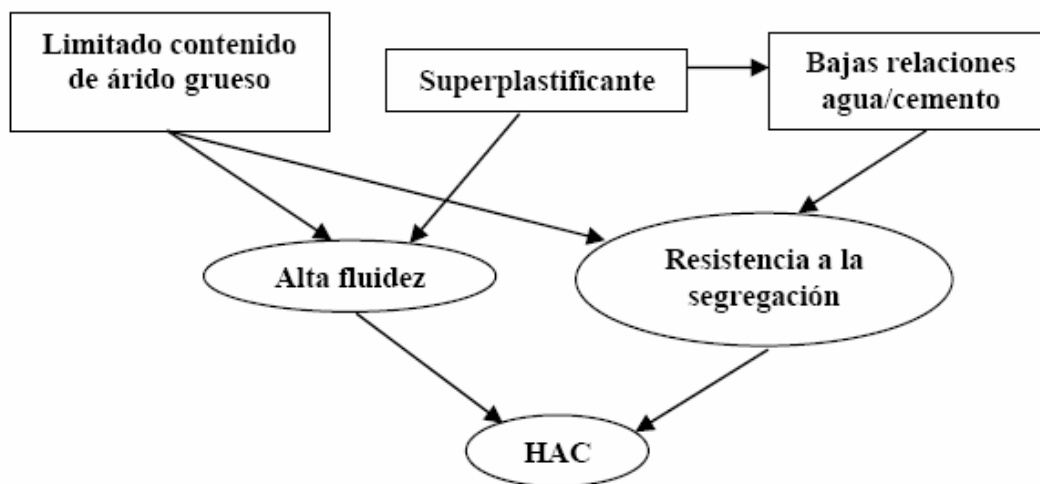


Figura 2.42. Esquema propuesto para la obtención de HAC

Mezclas (Kg/m <sup>3</sup> )	Autores							
	Nagataki (1995)	Domone (1997)	Kim (1996)	Sakata (1996)	Sedran (1996)	Bartos (1999)	Umehara (1999)	Su (2001)
Cemento	250 – 200 - 390	218	370	331 – 331	350	280	360	300
Ceniza Volante	0.0 – 100 – 0.0	125	159	-	-	-	-	148
Escoria	0.0 – 200 – 0.0	280	-	-	--	-	247	63
Filler	250 – 0.0 – 0.0	-	-	216 – 216	134	240	-	-
Arena	805 – 704 – 829	686	782	713 - 713	852	865	774	928
Grava	-	-	-	-	-	-	-	-
10 mm	-	-	-	-	363	-	-	-
16 mm	-	-	-	-	-	-	803	-
20 mm	820 – 898 – 920	785	820	888 – 888	571	750	-	718
Superplastificante	8.5 – 6.0 – 11.7	8.2	10.0	1.8 – 2.5%	7.1	4.2	6.40	8.8
Agente de viscosidad	0.0 – 0.0 – 5.0	-	0.50	0.0 – 0.35	-	-	-	-
Aire ocluido	-	0.8	-	0.05 – 0.02	-	-	-	-
A/C	-	0.82	0.50	0.50	0.48	0.71	0.49	0.57
*A/Finos	-	0.28	0.35	0.30	0.34	0.36	0.29	0.40

Tabla 2.14. Dosificaciones de HAC propuestas por distintos autores. (Gomes - Septiembre 2002).

\*Relación agua/finos medida en peso.

La tabla 2.15 presenta una serie de dosificaciones basadas en los métodos anteriormente descritos y que fueron aplicadas a alguna obra real y la tabla 2.16 presenta otras dosificaciones utilizadas por varios autores en sus investigaciones. Se destaca una gran variación en el contenido en finos y, contenido y tamaño máximo de los áridos utilizados. Los contenidos en finos varían entre aproximadamente 700 Kg., si se considera el material fino aportados por los áridos y 400 Kg., que es lo que puede tener un hormigón tradicional con alto contenido en cemento. Por otro lado, las cuantías de grava van desde cantidades muy bajas, 495 Kg. (Spengler 2001) hasta 950 Kg., con tamaños máximos de áridos de 20 o 40 mm.



Así, se observa que los HAC, al igual que los HT, pueden fabricarse de distintas formas, con distintos materiales, distintas características y para distintas aplicaciones, y que el éxito a la hora de dosificar un HAC no está únicamente vinculado a la utilización de grandes volúmenes de finos y pasta o al limitado contenido y tamaño máximo de los áridos, como suele, en muchos casos estar recomendado en la bibliografía.

Método	General	CBI	LCPC	UPC
Aplicación	Puente Akashi-Kaikyo	Puente Strängnäs	Elemento Protección Puerto	Tunel Camp Magre
Referencia	Okamura 1996 Okamura 1999	Bilberg 1999	Sedran 1996	Pintado 2005
Dosificación Kg/m <sup>3</sup>				
Cemento	260	415	350	492
Agua	145	166	168	188
Arena	769	851	852	373 (0/2mm) 508 (0/5mm)
Grava	965	797	363 (4/10 mm) 571 (10/20 mm)	684 (6/12mm)
Finos añadidos	150 (LS)	180 (Filler)	134 (Filler)	93 (filler) 49 (Humo de sílice)
Dmax	40 mm	16 mm	20 mm	12 mm
MPa	24 (91 días)	62.3	50	80

Tabla 2.15. Dosificaciones utilizadas en aplicaciones reales

Autor	Trägårdh 1999	Wetzig 1999	Bettencourt 2001	Spengler 2001	Khrapko 2005	Grünwald 2005	de la Cruz 2006
Centro	Swedish Cement and concrete research Institute - Suecia	Hagerbach test gallery Ltd. - Suiza	Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil - Portugal	Technische Universitaät Manchen - Alemania	W Stevenson & Sons Ltd - Nueva Zelanda	Universidad Tecnológica de Delft - Holanda	Universidad Politécnica de Cataluña
Dosificación Kg/m <sup>3</sup>							
Cemento	401	380	205	340	400	388	373
Agua	161	182	195	187	171	174	187
Arena	872	950	786	1013	363 (0/1mm) 545 (0/5mm)	875	620 (0/2mm) 413 (0/5mm)
Grava	658	193 (4/8mm) 615 (8/13mm)	786	495	297 (5/10mm) 446 (10/13mm)	770	689
Finos añadidos	170 (filler)	80 (filler)	102 (ceniza volante) 256 (filler)	240 (ceniza volante)	150 (ceniza volante)	123 (ceniza volante)	112 (filler)
Finos totales*	571	460	563	580	550	511	485
Dmax	16 mm	16 mm	14 mm	16mm	13 mm	16 mm	12 mm

Tabla 2.16. Dosificaciones utilizadas en investigación.

\* No considerados los finos aportados por los áridos.





## **CAPITULO 3**

# **MATERIALES**

**Y**

# **PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO**





## ÍNDICE

<b>3 MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO</b>	<b>75</b>
<b>3.1 Introducción</b>	<b>77</b>
<b>3.2 Materiales</b>	<b>77</b>
3.2.1 Cementos	77
3.2.2 Áridos	78
3.2.3 Aditivos	79
<b>3.3 Relación de ensayos normalizados utilizados para la caracterización de pastas, morteros y hormigones o sus materiales constituyentes</b>	<b>80</b>
3.3.1 Ensayos de caracterización de componentes	80
3.3.1.1 Resistencia mecánica de cementos (UNE-EN-196-1)	80
3.3.1.2 Determinación del extracto seco convencional de los Aditivos (UNE-EN 480-8)	80
3.3.1.3 Determinación del contenido de agua (h) de los áridos (UNE 83-133-90)	80
3.3.1.4 Determinación de la granulometría de los áridos (UNE-EN 933-1)	81
3.3.2 Determinación de la densidad de conjunto de los áridos (ASTM C29/CM29)	81
3.3.3 Otros ensayos para caracterización de áridos	82
3.3.4 Ensayos sobre pastas morteros y hormigones	82
3.3.4.1 Caracterización de la fluidez de los HAC (UNE 83361:2007)	82
3.3.4.2 Caracterización de la fluidez en presencia de barras. Anillo japonés (UNE 83362:2007)	82
3.3.4.3 Determinación del tiempo de flujo (UNE 83364:2007)	82
3.3.4.4 Determinación de las características mecánicas de los Hormigones	83
3.3.4.4.1 Fabricación, curado y refrentado de probetas	83
3.3.4.4.2 Rotura a compresión simple (UNE EN 12390-3:2003)	85
<b>3.4 Procedimiento operatorio para la fabricación de los HAC</b>	<b>85</b>
3.4.1 Procedimiento de Amasado	86
3.4.2 Control de humedad en los áridos durante la fabricación del hormigón	86





## CAPÍTULO 3

### MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO

#### 3.1 INTRODUCCIÓN

En el este capítulo se presentan los materiales y se detallan los procedimientos utilizados durante el desarrollo de los trabajos realizados.

Se incluyen un primer apartado en el que se describen los métodos de ensayo de caracterización normalizados tanto aplicados a componentes como a los propios hormigones, comentando los aspectos específicos en los que el procedimiento empleado se ha salido del criterio normalizado.

A continuación se comentan otros ensayos empleados para aspectos concretos de este estudio y que se han dirigido al conocimiento específico de alguna propiedad de especial interés desde el punto de vista de la caracterización de las materias primas o de las propiedades del hormigón autocompactante.

El apartado 3.6 desarrolla los procedimientos operatorios que han sido desarrollados para los trabajos realizados con la intención de precisar la metodología empleada y su posible influencia en la calidad de los resultados.

#### 3.2 MATERIALES

Como se pudo observar en el estado del arte, los HAC están compuestos básicamente de los mismos materiales utilizados para fabricar un hormigón tradicional. Por ello, en este proyecto, se pretendió utilizar una amplia gama de materiales para cubrir el mayor número de combinaciones posibles, sobretodo en lo que respecta a los cementos, aditivos y a la existencia de compatibilidad entre ellos.

A continuación se presentaran los materiales, y sus características, utilizados a lo largo de todo este estudio.

##### 3.2.1 Cementos:

Puesto que no existen limitaciones en cuanto al cemento, en este trabajo se utilizó un tipo de cemento con el objetivo de fabricar hormigones de distintas características y resistencias. Este fue:

#### **CEM II/B-M (S-L) 42.5 R**

Suministrado por CEMENTVAL S.A. procedente de la fábrica de Valencia.





Figura 3.1 Cemento utilizado

### 3.2.2 Áridos

En general tampoco existen limitaciones en cuanto al tipo de los áridos a se utilizar en la fabricación de un HAC por lo que a lo largo de este trabajo se decidió probar:

- Una arena de machaqueo 0/4 mm suministrada por la cantera de Carasoles (Población de Ribarroja).
- Una arena de machaqueo 0/2 mm suministrada por la cantera de Carasoles (Población de Ribarroja).

La arena presenta una diferencia muy importante en cuanto al contenido en finos ( $< 0.63$  mm). Mientras que la arena rodada presenta tan solo un 3.5% de material inferior a este tamaño, la arena machacada llega a aportar hasta un 11.5%. Dato que se debe tener en cuenta a la hora de dosificar un HAC.

En cuanto a los áridos gruesos, se han utilizado una grava procedente de la cantera de Carasoles (Población de Ribarroja).

- Una grava de machaqueo 6/12 mm suministrada por la cantera de Carasoles (Población de Ribarroja).

La fig. 3.2 presenta la distribución granulométrica de los áridos.

Para garantizar la constancia de las características de los áridos, regularmente se realizaban ensayos de coeficiente de humedad para las arenas y gravas de acuerdo con las normas UNE 83-134/90 “Determinación de las densidades, porosidad,







coeficiente de absorción y contenido en agua del árido grueso” y UNE 83-133/90 “Determinación de las densidades, porosidad, coeficiente de absorción y contenido en agua del árido fino”. Además, las granulometría de los áridos, arenas y gravas, se mantenían controladas por el método de tamizado de acuerdo con la norma UNE - EN 933-1 parte 1 “Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos – Determinación de la granulometría de las partículas – Método del tamizado”.

Los resultados indicados en la tabla 3.1 son los valores medios de los ensayos de densidad y contenido en finos.

MATERIAL	DENSIDAD ( Kg/dm <sup>3</sup> )	CONTENIDO EN FINOS (%)
Arena de machaqueo 0/2	2,65	14,46
Arena de machaqueo 0/4	2,65	12,74
Grava de machaqueo 6/12	2,65	1,2

**Tabla 3.1 Ensayos de densidades y contenido en finos para la arena y gravas.**

La granulometria de los áridos está descrita en el Anexo I

### 3.2.3 Aditivos

Los aditivos son materiales imprescindibles a la hora de dosificar un HAC. Los reductores de agua de alto rango (RAAR), también conocidos como aditivos de 3ª generación aportan la fluidez necesaria al hormigón a la vez que permite una reducción en la relación a/c.

Por otra parte, los cohesionantes, como dice el propio nombre, cohesionan la mezcla de hormigón evitando la segregación en los casos donde la granulometría de la dosificación no aporta suficientes finos.

Los retardadores en nuestro caso, son aditivos líquidos para hacer hormigones estabilizados, y están exentos de cloruros. Se usan para confeccionar cualquier tipo de mortero de cemento con un tiempo de puesta en obra prolongado. Para determinar su dosificación óptima, de acuerdo con el retraso deseado, es necesario hacer ensayos ya que dicho retraso dependerá entre otros factores del tipo de cemento utilizado, de su dosificación por cada m<sup>3</sup>, de la cantidad y calidad de la arena, de su granulometría, de las condiciones climatológicas, etc.

Asimismo, la dosificación de un HAC requiere cuidados especiales con respecto a los aditivos, ya que estos hormigones son muy sensibles y pequeñas variaciones en las cantidades o tipo de aditivo pueden cambiar apreciablemente el comportamiento del hormigón.

A continuación, en la tabla 3.2 se presentan los aditivos, y sus características, utilizados a lo largo de este trabajo.



ADITIVO	TIPO	FUNCION PRINCIPAL	FUNCION SECUNDARIA	RESIDUO SOLIDO %	DENSIDAD KG/L	ASPECTO
SIKATARD	solucion acuosa de sales de sodio	estabilizador de fraguado	-----	35	1,17	liquido marrón
SIKA VISCOCRETE 3425	poli-carboxilato modificado en base acuosa	superplastificante	-----		1,05	liquido incoloro
SIKA STABILIZER-4R	polisacaridos	estabilizador y cohesionante	retraso del fraguado	3 - 3,5	1	liquido marron semi-viscoso

**Tabla 3.2 Características de los aditivos**

Los tipos de los aditivos están descritos con más detalle en el Anexo II.

### 3.3 RELACIÓN DE ENSAYOS NORMALIZADOS UTILIZADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE PASTAS, MORTEROS Y HORMIGONES O SUS MATERIALES CONTITUYENTES.

#### 3.3.1 Ensayos de caracterización de componentes

##### 3.3.1.1 Resistencia mecánica de cementos (UNE-EN-196-1)

La resistencia de los cementos utilizados en este trabajo se determinó de acuerdo con la norma UNE-EN 196-1 parte 1: “Métodos de ensayo de cementos - Determinación de resistencias mecánicas”.

##### 3.3.1.2 Determinación del extracto seco convencional de los aditivos (UNE-EN 480- 8)

La determinación del extracto seco convencional de los aditivos se realizó de acuerdo con la normativa UNE-EN 480-8 parte 8 “Aditivos para hormigones, morteros y pastas – Métodos de ensayo – Determinación del extracto seco convencional.

##### 3.3.1.3 Determinación del contenido de agua (h) de los áridos (UNE 83-133-90)

Para identificar el contenido de agua existente en los áridos se ha utilizado el procedimiento establecido en las normas UNE 83-133-90 “Determinación de las densidades, coeficiente de absorción y contenido de agua en el árido fino” y UNE 83-134-90 “ Determinación de las densidades, porosidad, coeficiente de absorción y contenido en agua del árido grueso”.

Para ello se pesa una muestra del material, en su estado natural, con precisión de 0,1 g, obteniendo su masa “M”. A continuación, se seca la muestra en una estufa con temperatura a  $125 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta masa constante (con precisión de 0,1 g) y se obtiene su masa Ms.



Finalmente se calcula el contenido en agua, en tanto por ciento, utilizando la ecuación (3.1):

$$h = \frac{M - M_s}{M_s} \times 100 \quad (3.1)$$

### 3.3.1.4 Determinación de la granulometría de los áridos (UNE-EN 933-1)

La granulometría de los áridos, arena y gravas, han sido obtenidas por tamizado de acuerdo con la norma UNE-EN 933-1 parte 1 “Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos – Determinación de la granulometría de las partículas – Método del tamizado” (fig. 3.2).

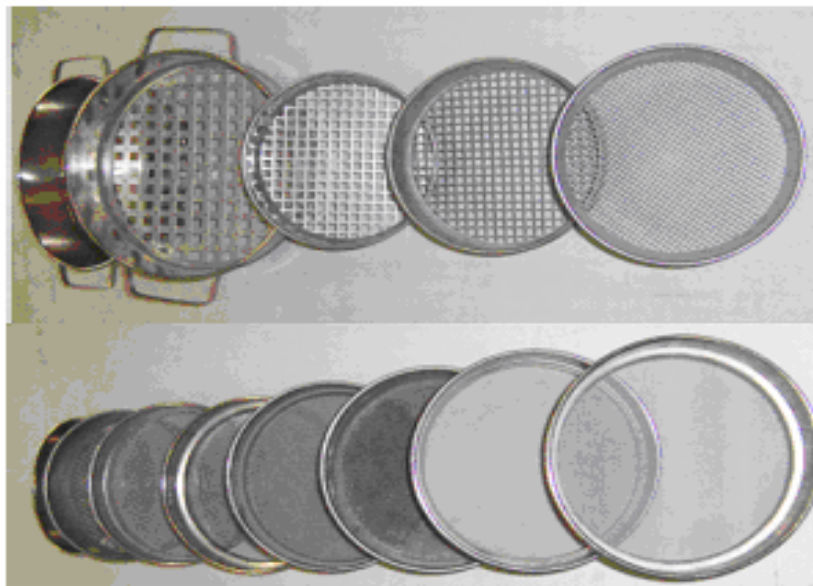


Fig. 3.2 Serie de tamices utilizados

### 3.3.2 Determinación de la densidad de conjunto de los áridos (ASTM C29/CM29)

El proceso seguido para determinar la densidad de conjunto de los áridos ( $\rho_c$ ) se basa en la norma ASTM C29/C29M “Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate”. El proceso consiste en mezclar los áridos, en seco, en las proporciones a analizar. A diferencia de la norma, no se aplicó ningún tipo de compactación a los áridos. Con la mezcla realizada se rellena un recipiente de volumen conocido ( $V_c$ ) y se pesa la misma, obteniéndose  $P_c$ . A continuación se calcula la densidad del conjunto (ecuación 3.2).

$$\rho_c = \frac{P_c}{V_c} \quad (3.2)$$



### 3.3.3 Otros ensayos para caracterización de áridos

Se determinaron las densidades, coeficiente de absorción y contenido en finos para las arenas y gravas de acuerdo con las normas UNE 83-134/90 “Determinación de las densidades, porosidad, coeficiente de absorción y contenido en agua del árido grueso” y UNE 83-133/90 “Determinación de las densidades, porosidad, coeficiente de absorción y contenido en agua del árido fino”.

### 3.3.4 Ensayos sobre hormigones

#### 3.3.4.1 Caracterización de la fluidez de los HAC (UNE 83361:2007)

La caracterización de la fluidez de los HAC se llevó a cabo por medio del ensayo del escurrimiento norma UNE 83361:2007 “Hormigón autocompactante. Caracterización de la fluidez. Ensayo del escurrimiento”. La descripción y el procedimiento del ensayo se presentan en el apartado 2.3.2

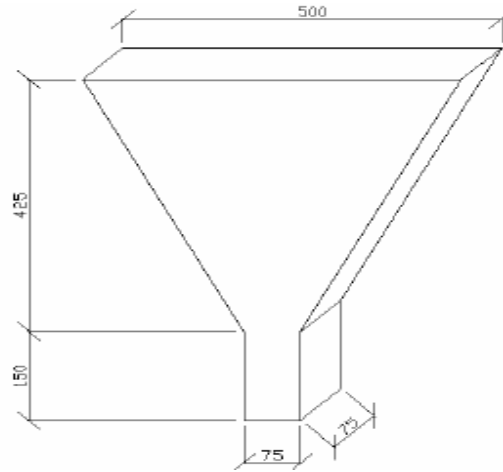
#### 3.3.4.2 Caracterización de la fluidez en presencia de barras. Anillo japonés (UNE 83362:2007)

El comportamiento de la fluidez de los HAC en presencia de barras de acero se realizó mediante el ensayo de escurrimiento con anillo japonés de acuerdo con la norma UNE 83362:2007) “Hormigón autocompactante. Caracterización de la fluidez en presencia de barras. Ensayo del Anillo japonés”. La descripción y el procedimiento del ensayo se presentan en el apartado 2.3.3. El anillo utilizado presentaba una configuración de 16 barras con diámetro de 18 mm.

#### 3.3.4.3 Determinación del tiempo de flujo – Embudo V (UNE 83364:2007)

La capacidad del hormigón de pasar por sitios estrechos se evaluó utilizando el ensayo de embudo en V norma UNE 83364:2007 “Hormigón autocompactante. Determinación del tiempo de flujo. Ensayo del embudo en V”. La descripción y el procedimiento del ensayo se presentan en el apartado 2.3.4. Las dimensiones del embudo utilizado en los ensayos realizados en este trabajo presentan pequeñas diferencias respecto al presentado en la norma UNE. Dichas diferencias se deben a que este estudio se realizó antes de la publicación de la norma. En este momento se decidió utilizar unas dimensiones intermedias, entre las encontradas en la bibliografía, para la fabricación del aparato. La fig. 3.3 presenta las dimensiones del aparato utilizado en este estudio.





**Fig.3.3 Dimensiones del embudo V utilizado. Dimensiones en mm**

### 3.3.4.4 Determinación de las características mecánicas de los hormigones

#### 3.3.4.4.1 Fabricación, curado y refrentado de probetas

A lo largo de todo este estudio se ha fabricado básicamente un tipo de probeta a saber:

- Cilíndricas 15 x 30 cm.

Cuando el hormigón a ensayar era autocompactante el procedimiento de fabricación consistía en verter directamente el hormigón en el molde sin aplicar ningún tipo de compactación, vibración o picado. Fig.3.4. Tras el llenado únicamente se enrasaban las probetas con una llana metálica. Además de nivelar, este procedimiento retira las piedras sobrantes en la superficie del hormigón evitando posibles puntos de concentraciones de tensión a la hora de romper las probetas.



**Fig 3.4 Llenado de probeta con HAC**





El proceso de curado de las probetas se realizó en cámara húmeda a 20°C y humedad al 95%. Únicamente se retiraron las probetas de la cámara húmeda a las 24h de su fabricación para proceder el desmoldeo y posteriormente a la hora de realizar el refrentado de las mismas.

El refrentado de las probetas cilíndricas se realizó utilizando una pulidora ( figura 3.5 ). El procedimiento consiste en poner la probeta en un soporte guía y fijarla en ella. A medida que avanza la probeta, un disco rotativo va puliendo la cara irregular de esta. A medida que se va puliendo dicha cara irregular, se va refrigerando el disco mediante el aporte de agua.

El refrentado de las probetas cilíndricas es un procedimiento que se hace necesario debido a que el acabado superior del hormigón en la probeta no es suficientemente regular. Una rotura directa sobre esta superficie generaría una mala distribución de las tensiones haciendo que la probeta se rompiera con cargas por debajo de su capacidad real.

Las probetas cúbicas no requieren refrentado puesto que su geometría presenta dos pares de caras perfectamente planas y paralelas entre si.



**Fig. 3.5 Refrentado de probeta cilíndrica**

Cuando se ha realizado ensayos sobre hormigones tradicionales de referencia el procedimiento solo difería del indicado en que el llenado de las probetas se realizaba en 3 capas que se picaban con barra de acuerdo con lo indicado en la norma UNE-EN 12390-2:2001 “Ensayos de hormigón endurecido. Parte 2: Fabricación y curado de probetas para ensayos de resistencia.”





### 3.3.4.4.2 Rotura a compresión simple (UNE EN 12390-3:2003)

La rotura de las probetas se realizó utilizando una prensa IBERTEST de 1500 kN de capacidad. fig. 3.6.



**Fig 3.6 Prensa IBERTEST. Capacidad de 150 toneladas**

## 3.4 PROCEDIMIENTO PARA LA FABRICACIÓN DE LOS HAC

En este estudio se plantea el interés por reproducir, a la menor escala posible, la fabricación de los HAC con el condicionante de intentar conseguir la mayor similitud posible con los procesos seguidos tanto en obra como en la industria de prefabricado.

El equipo utilizado ha sido:

Una amasadora con capacidad para fabricar hasta 60 litros de hormigón. En la fig. 3.7 se muestra la amasadora utilizada.



**Figura 3.7 Amasadora utilizada**





### 3.4.1 Procedimiento de Amasado

El vertido empieza con la grava y la arena, tanto gruesa como fina. Estos se mezclan durante dos minutos.

Seguidamente, se le añadirá el cemento, y se mezclará durante un minuto.

Posteriormente se añade el 50% de agua y pasados 1 minutos se añade el 50% restante de agua con el aditivo superplastificante.

Finalmente, tras pasar cuatro minutos, se añade el aditivo cohesionante y el retardador, y la amasadora permanecerá en marcha durante otros cuatro minutos.

En la tabla 3.3 se muestra un resumen del orden de vertido.

Volumen de amasado	Amasadora	
	30 litros	
Orden de llenado ( tiempo en minutos al origen )	Grava, arena gruesa y arena fina	2 minuto
	Cemento	1 minuto
	1/2 agua	1 minuto
	1/2 agua y superplastificante	4 minuto
	Cohesionante y retardador	4 minuto

**Tabla 3.3 Proceso de amasado en la amasadora**

### 3.4.2 Control de humedad en los áridos durante la fabricación del hormigón

Para evitar variaciones en las características del hormigón debido al agua que aporta la arena se mantuvo un estricto control sobre la humedad de la misma. Para ello en el día anterior a la fabricación se preparaban capazos de arena con aproximadamente el volumen que sería utilizado en cada amasada. De cada uno se sacaban muestras de arena de aproximadamente 100 gramos cada una, que se pesaba y se introducía en la sartén con un hornillo a unos 100 C° por un período no inferior a 5 minutos, y se determinaba la humedad. Este valor se utilizaba para corregir los pesos de los materiales.

En el caso de las amasadas de 15 litros se seguía el mismo procedimiento, utilizando un mismo capazo de arena para varias amasadas. Se tomaban muestras periódicas y se revolvía la arena siempre antes y después del proceso de fabricación del hormigón.









## **CAPITULO 4**

# **ENSAYOS: ANALISIS Y RESULTADOS**



## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 4 – ANALISIS Y RESULTADOS</b>	<b>87</b>
<b>4.1 Día 11/05/2011 – Búsqueda de dosificación</b>	<b>90</b>
<b>4.2 Día 12/05/2011 – Búsqueda de dosificación óptima Ensayos del nº1 al nº 10</b>	<b>90</b>
<b>4.3 Día 13/05/2011 – Búsqueda de dosificación óptima Ensayos del nº11 al nº 17</b>	<b>97</b>
<b>4.4 Día 16/05/2011 – Búsqueda de dosificación óptima Ensayos nº18 y nº 19 Ensayo nº 20 sin retardador Ensayo nº 21 con retardador 1%</b>	<b>102</b>
<b>4.5 Día 17/05/2011 – Desenmoldar las probetas del día 16/05/2011</b>	<b>105</b>
<b>4.6 Día 18/05/2011 – Ensayo nº 22 y nº 23 sin retardador Ensayo nº 24 con retardador 1%</b>	<b>105</b>
<b>4.7 Día 19/05/2011 – Desenmoldar las probetas del día 18/05/2011</b>	<b>109</b>
<b>4.8 Día 25/05/2011 – Ensayo nº 25 con retardador 1,5%</b>	<b>110</b>
<b>4.9 Día 26/05/2011 – No desenmoldar las probetas del día 25/05/2011</b>	<b>111</b>
<b>4.10 Día 27/05/2011 – No desenmoldar las probetas del día 25/05/2011 Ensayo nº 26 con retardador 1%</b>	<b>111</b>
<b>4.11 Día 30/05/2011 – No desenmoldar las probetas del día 25/05/2011 No desenmoldar las probetas del día 27/05/2011</b>	<b>115</b>
<b>4.12 Día 1/06/2011 – No desenmoldar las probetas del día 25/05/2011 No desenmoldar las probetas del día 27/05/2011</b>	<b>115</b>



<b>4.13</b>	<b>Día 3/05/2011 – Desenmoldar las probetas del día 25/05/2011 Desenmoldar las probetas del día 27/05/2011</b>	<b>115</b>
<b>4.14</b>	<b>Día 6/06/2011 – Ensayo nº 27 con retardador 0,5%</b>	<b>115</b>
<b>4.15</b>	<b>Día 7/06/2011 – No desenmoldar las probetas del día 6/06/2011</b>	<b>117</b>
<b>4.216</b>	<b>Día 8/06/2011 – Desenmoldar las probetas del día 6/06/2011</b>	<b>117</b>
<b>4.17</b>	<b>Día 10/06/2011 – Ensayo nº 28 con retardador 0,75%</b>	<b>118</b>
<b>4.18</b>	<b>Día 13/06/2011 – Desenmoldar las probetas del día 10/06/2011 Ensayo de resistencia a compresión de probetas sin retardador</b>	<b>120</b>
<b>4.19</b>	<b>Día 15/06/2011 – Ensayo de resistencia a compresión de probetas sin retardador</b>	<b>120</b>
<b>4.20</b>	<b>Día 22/06/2011 – Ensayo de resistencia a compresión de probeta con retardador 1,5%</b>	<b>120</b>
<b>4.21</b>	<b>Día 23/06/2011 – Ensayo nº 29 con retardador 1,5%</b>	<b>121</b>
<b>4.22</b>	<b>Día 24/06/2011 – Ensayo de resistencia a compresión de probetas con retardador 1%</b>	<b>122</b>





### Día 11/05/2011

1. Dejaremos la grava y la arena tanto la fina como la gruesa 24 horas en el interior del laboratorio para que no pierda humedad.
2. Estudiaremos una dosificación que pueda ajustarse bien a los resultados que pretendemos conseguir, y esta es:

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0
<b>Sp 1,5</b>	<b>5,3</b>	1,05	5,0
<b>Mv 0,55</b>	<b>1,9</b>	1,03	1,9
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>439,8</b>	2,65	
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>659,7</b>	2,65	691,5
<b>Grava 40%</b>	<b>733,0</b>	2,65	
	<b>2399,6</b>		1025,0

### Día 12/05/2011

Calculo de la humedad:

Árido 0/2 :

Peso de la sartén	529,20 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	662,50 gr
Peso de la sartén + Muestra	656,70 gr

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra} + \text{agua}) - (\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) = \text{Agua} = 5,899 \text{ gr.}$$

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) - (\text{Peso de sartén}) = \text{Peso de la muestra} = 127,50 \text{ gr.}$$

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$(A / M) * 100 = H_s - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$\underline{H_s = 3,63 \%}$$



Árido 0/4 :

Peso de la sartén	528,70 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	672,30 gr
Peso de la sartén + Muestra	664,90 gr

$$( \text{Peso de sartén} + \text{muestra} + \text{agua} ) - ( \text{Peso de sartén} + \text{muestra} ) = \text{Agua} = 7,40 \text{ gr.}$$

$$( \text{Peso de sartén} + \text{muestra} ) - ( \text{Peso de sartén} ) = \text{Peso de la muestra} = 136,20 \text{ gr.}$$

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$( A / M ) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$Hs = 4,43 \%$$

Dosificación con corrección de la humedad:

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	15 l
CEM	350,0	3,00	116,7		350,0	5,250
Agua	210,0	1,00	210,0		164,7	2,470
Sp 1,5	5,3	1,05	5,0		5,3	0,079
AMV 0	0,0	1,03	0,0		0,0	0,000
Ar 0/2 24%	441,0	2,65		3,63	457,0	6,855
Ar 0/4 36%	661,4	2,65	693,3	4,43	690,7	10,361
Grava 40%	734,9	2,65			734,9	11,024
	2402,6		1025,0		2402,6	36,039

ENSAYO 1º

Ensayo de escurrimiento:

RESULTADOS		
ESCURRIMIENTO	Ø	780 – 780 mm
	TIEMPO	0,98 seg

El resultado es nulo, ya que tiene exceso de escurrimiento.  
Hay que echarle un AMV para cohesionar.



ENSAYO 2°

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	15 l
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>5,250</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>164,8</b>	<b>2,930</b>
<b>Sp 1,5</b>	<b>5,3</b>	1,05	5,0		<b>5,3</b>	<b>0,079</b>
<b>AMV 0,55</b>	<b>1,9</b>	1,03	1,9		<b>1,9</b>	<b>0,029</b>
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>439,8</b>	2,65		<b>3,6</b>	<b>455,7</b>	<b>6,750</b>
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>659,7</b>	2,65	<b>691,5</b>	<b>4,43</b>	<b>688,9</b>	<b>10,792</b>
<b>Grava 40%</b>	<b>733,0</b>	2,65			<b>733,0</b>	<b>10,875</b>
	<b>2399,6</b>		<b>1025,0</b>		<b>2399,6</b>	<b>35,993</b>

Ensayo de escurrimiento:

RESULTADOS		
ESCURRIMIENTO	Ø	560 - 570 mm
	TIEMPO	3,2 seg

El resultado es nulo, ya que no tiene escurrimiento.

Hay que reducirle el AMV, que pasara de 0,55 % a 0,42 %.

ENSAYO 3°

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	15 l
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>5,250</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>164,8</b>	<b>2,472</b>
<b>Sp 1,5</b>	<b>5,3</b>	1,05	5,0		<b>5,3</b>	<b>0,079</b>
<b>AMV 0,42</b>	<b>1,5</b>	1,03	1,4		<b>1,5</b>	<b>0,022</b>
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>440,1</b>	2,65		<b>3,6</b>	<b>456,0</b>	<b>6,840</b>
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>660,1</b>	2,65	<b>691,9</b>	<b>4,43</b>	<b>689,3</b>	<b>10,340</b>
<b>Grava 40%</b>	<b>733,4</b>	2,65			<b>733,4</b>	<b>11,001</b>
	<b>2400,3</b>		<b>1025,0</b>		<b>2400,3</b>	<b>36,004</b>

Ensayo de escurrimiento:

RESULTADOS		
ESCURRIMIENTO	Ø	650 – 650 mm
	TIEMPO	2,02 seg

El resultado es nulo, ya que no tiene escurrimiento.

Hay que aumentar el superplastificante, que pasará de 1,5 % a 1,7 %.

ENSAYO 4°

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	15 l
CEM	350,0	3,00	116,7		350,0	5,250
Agua	210,0	1,00	210,0		164,8	2,472
Sp 1,7	6,0	1,05	5,7		6,0	0,089
AMV 0,42	1,5	1,03	1,4		1,5	0,022
Ar 0/2 24%	439,6	2,65		3,6	455,6	6,834
Ar 0/4 36%	659,4	2,65	691,2	4,43	688,7	10,330
Grava 40%	732,7	2,65			732,7	10,991
	2399,2		1025,0		2399,2	35,988

Ensayo de escurrimiento:

RESULTADOS		
ESCURRIMIENTO	Ø	750 – 750 mm
	TIEMPO	0,71 seg

El resultado es nulo, ya que tiene una excesiva segregación.  
Hay que aumentar el AMV, que pasará de 0,42 % a 0,5 %.

ENSAYO 5°

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	15 l
CEM	350,0	3,00	116,7		350,0	5,250
Agua	210,0	1,00	210,0		164,8	2,473
Sp 1,7	6,0	1,05	5,7		6,0	0,089
AMV 0,5	1,8	1,03	1,7		1,8	0,026
Ar 0/2 24%	439,5	2,65		3,6	455,4	6,831
Ar 0/4 36%	659,2	2,65	691,0	4,43	688,4	10,326
Grava 40%	732,4	2,65			732,4	10,986
	2398,8		1025,0		2398,8	35,981

Ensayo de escurrimiento:

RESULTADOS		
ESCURRIMIENTO	Ø	750 – 750 mm
	TIEMPO	0,85 seg

El resultado es nulo, ya que tiene una excesiva segregación.  
Hay que aumentar el AMV, que pasará de 0,42 % a 0,55 %.





ENSAYO 6°

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	15 l
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>5,250</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>164,9</b>	<b>2,473</b>
<b>Sp 1,7</b>	<b>6,0</b>	1,05	5,7		<b>6,0</b>	<b>0,089</b>
<b>AMV 0,55</b>	<b>1,9</b>	1,03	1,9		<b>1,9</b>	<b>0,029</b>
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>439,3</b>	2,65		<b>3,6</b>	<b>455,3</b>	<b>6,829</b>
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>659,0</b>	2,65	<b>690,8</b>	<b>4,43</b>	<b>688,2</b>	<b>10,323</b>
<b>Grava 40%</b>	<b>732,2</b>	2,65			<b>732,2</b>	<b>10,984</b>
	<b>2398,5</b>		<b>1025,0</b>		<b>2398,5</b>	<b>35,977</b>

Ensayo de escurrimiento:

RESULTADOS		
ESCURRIMIENTO	Ø	700 – 720 mm
	TIEMPO	1,65 seg

El resultado es correcto.

Seguiremos probando dosificaciones para mejorar este resultado aunque es correcto.

El AMV, que pasará de 0,5 % a 0,25 %, y el superplastificante de 1,7 % a 1,6 %.

ENSAYO 7°

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	15 l
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>5,250</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>164,8</b>	<b>2,472</b>
<b>Sp 1,6</b>	<b>5,6</b>	1,05	5,3		<b>5,6</b>	<b>0,084</b>
<b>AMV 0,25</b>	<b>0,9</b>	1,03	0,8		<b>0,9</b>	<b>0,013</b>
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>440,2</b>	2,65		<b>3,6</b>	<b>456,2</b>	<b>6,843</b>
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>660,3</b>	2,65	<b>692,2</b>	<b>4,43</b>	<b>689,6</b>	<b>10,343</b>
<b>Grava 40%</b>	<b>733,7</b>	2,65			<b>733,7</b>	<b>11,005</b>
	<b>2400,7</b>		<b>1025,0</b>		<b>2400,7</b>	<b>36,010</b>

Ensayo de escurrimiento:

RESULTADOS		
ESCURRIMIENTO	Ø	720 – 720 mm
	TIEMPO	1,70 seg

El resultado es nulo, ya que tiene una excesiva segregación.

Hay que aumentar el AMV, que pasará de 0,25 % a 0,375 %.

ENSAYO 8º

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	15 l
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>5,250</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>164,8</b>	<b>2,472</b>
<b>Sp 1,6</b>	<b>5,6</b>	1,05	5,3		<b>5,6</b>	<b>0,084</b>
<b>AMV 0,375</b>	<b>1,3</b>	1,03	1,3		<b>1,3</b>	<b>0,020</b>
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>439,9</b>	2,65		<b>3,6</b>	<b>455,9</b>	<b>6,839</b>
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>659,9</b>	2,65	<b>691,7</b>	<b>4,43</b>	<b>689,1</b>	<b>10,337</b>
<b>Grava 40%</b>	<b>733,2</b>	2,65			<b>733,2</b>	<b>10,998</b>
	<b>2400,0</b>		<b>1025,0</b>		<b>2400,0</b>	<b>36,000</b>

Ensayo de escurrimiento:

RESULTADOS		
ESCURRIMIENTO	Ø	700 – 700 mm
	TIEMPO	0,61 seg

El resultado es nulo, ya que tiene segregación.  
Hay que aumentar el AMV, que pasará de 0,375 % a 0,5 %.

ENSAYO 9º

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	15 l
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>5,250</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>164,8</b>	<b>2,472</b>
<b>Sp 1,6</b>	<b>5,6</b>	1,05	5,3		<b>5,6</b>	<b>0,084</b>
<b>AMV 0,5</b>	<b>1,8</b>	1,03	1,7		<b>1,8</b>	<b>0,026</b>
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>439,7</b>	2,65		<b>3,6</b>	<b>455,6</b>	<b>6,834</b>
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>659,5</b>	2,65	<b>691,3</b>	<b>4,43</b>	<b>688,7</b>	<b>10,331</b>
<b>Grava 40%</b>	<b>732,8</b>	2,65			<b>732,8</b>	<b>10,992</b>
	<b>2399,3</b>		<b>1025,0</b>		<b>2399,3</b>	<b>35,989</b>

Ensayo de escurrimiento:

RESULTADOS		
ESCURRIMIENTO	Ø	670 – 670 mm
	TIEMPO	1,60 seg

El resultado es correcto, ya que no segrega ni exuda y la cohesión es correcta.

Ensayo de escurrimiento con anillo japonés:

<b>Ø</b>	660 – 660 mm
<b>TIEMPO</b>	1,90 seg
<b>1) h FUERA</b>	9,4 cm
<b>2) h DENTRO</b>	8,0 cm
<b>3) h FUERA</b>	8,5 cm
<b>4) h DENTRO</b>	8,0 cm
<b>5) h FUERA</b>	9,2 cm
<b>6) h DENTRO</b>	8,2 cm
<b>7) h FUERA</b>	9,7 cm
<b>8) h DENTRO</b>	8,4 cm

Ensayo de embudo en V:

<b>TIEMPO</b>	4,15 seg
---------------	----------

ENSAYO 10°

Repetiremos la amasada del ensayo 6°, ya que era correcto pero la amasada estaba usada y no hicimos el ensayo de escurrimiento con anillo japonés ni el del embudo en V.

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	15 l
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>5,250</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>164,9</b>	<b>2,473</b>
<b>Sp 1,7</b>	<b>6,0</b>	1,05	5,7		<b>6,0</b>	<b>0,089</b>
<b>AMV 0,55</b>	<b>1,9</b>	1,03	1,9		<b>1,9</b>	<b>0,029</b>
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>439,3</b>	2,65		<b>3,6</b>	<b>455,3</b>	<b>6,829</b>
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>659,0</b>	2,65	<b>690,8</b>	<b>4,43</b>	<b>688,2</b>	<b>10,323</b>
<b>Grava 40%</b>	<b>732,2</b>	2,65			<b>732,2</b>	<b>10,984</b>
	<b>2398,5</b>		<b>1025,0</b>		<b>2398,5</b>	<b>35,977</b>

Ensayo de escurrimiento:

<b>RESULTADOS</b>		
<b>ESCURRIMIENTO</b>	<b>Ø</b>	660 – 650 mm
	<b>TIEMPO</b>	1,44 seg

El resultado es correcto, ya que no segrega ni exuda y la cohesión es correcta.



Ensayo de escurrimiento con anillo japonés:

<b>Ø</b>	685 – 700 mm
<b>TIEMPO</b>	1,69 seg
<b>1) h FUERA</b>	10,4 cm
<b>2) h DENTRO</b>	10,3 cm
<b>3) h FUERA</b>	10,1 cm
<b>4) h DENTRO</b>	9,8 cm
<b>5) h FUERA</b>	10,4 cm
<b>6) h DENTRO</b>	9,9 cm
<b>7) h FUERA</b>	10,7 cm
<b>8) h DENTRO</b>	10,1 cm

Ensayo de embudo en V:

<b>TIEMPO</b>	3,31 seg
---------------	----------

**Día 13/05/2011**

Calculo de la humedad:

Árido 0/2 :

Peso de la sartén	528,90 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	653,00 gr
Peso de la sartén + Muestra	648,30 gr

$( \text{Peso de sartén} + \text{muestra} + \text{agua} ) - ( \text{Peso de sartén} + \text{muestra} ) = \text{Agua} = 4,70 \text{ gr.}$

$( \text{Peso de sartén} + \text{muestra} ) - ( \text{Peso de sartén} ) = \text{Peso de la muestra} = 119,40 \text{ gr.}$

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$( A / M ) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$Hs = 2,93 \%$$



Árido 0/4 :

Peso de la sartén	528,90 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	681,90 gr
Peso de la sartén + Muestra	673,90 gr

( Peso de sartén + muestra + agua ) – ( Peso de sartén + muestra ) = Agua = 8,0 gr.

( Peso de sartén + muestra ) – ( Peso de sartén ) = Peso de la muestra = 145,00 gr.

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$( A / M ) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$Hs = 4,51 \%$$

ENSAYO 11°

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	30 l
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>10,500</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>167,3</b>	<b>5,019</b>
<b>Sp 1,6</b>	<b>5,6</b>	1,05	5,3		<b>5,6</b>	<b>0,168</b>
<b>AMV 0,175</b>	<b>0,6</b>	1,03	0,6		<b>0,6</b>	<b>0,018</b>
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>440,4</b>	2,65		<b>2,9</b>	<b>453,3</b>	<b>13,598</b>
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>660,6</b>	2,65	<b>692,4</b>	<b>4,51</b>	<b>690,3</b>	<b>20,710</b>
<b>Grava 40%</b>	<b>733,9</b>	2,65			<b>733,9</b>	<b>22,018</b>
	<b>2401,1</b>		<b>1025,0</b>		<b>2401,1</b>	<b>72,033</b>

Ensayo de escurrimiento:

RESULTADOS		
ESCURRIMIENTO	Ø	640 – 650 mm
	TIEMPO	2,65 seg

El resultado es nulo.

Hay que aumentar el superplastificante, que pasará de 1,6 % a 1,7 %.



ENSAYO 12°

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	30 l
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>10,500</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>167,3</b>	<b>5,020</b>
<b>Sp 1,7</b>	<b>6,0</b>	1,05	5,7		<b>6,0</b>	<b>0,179</b>
<b>AMV 0,175</b>	<b>0,6</b>	1,03	0,6		<b>0,6</b>	<b>0,018</b>
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>440,2</b>	2,65		<b>2,9</b>	<b>453,1</b>	<b>13,592</b>
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>660,2</b>	2,65	<b>692,1</b>	<b>4,51</b>	<b>690,0</b>	<b>20,700</b>
<b>Grava 40%</b>	<b>733,6</b>	2,65			<b>733,6</b>	<b>22,008</b>
	<b>2400,6</b>		<b>1025,0</b>		<b>2400,6</b>	<b>72,017</b>

Ensayo de escurrimiento:

RESULTADOS		
ESCURRIMIENTO	Ø	670 – 690 mm
	TIEMPO	1,97 seg

El resultado es nulo.

Hay que aumentar el AMV, que pasará de 0,175 % a 0,275 %.

ENSAYO 13°

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	30 l
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>10,500</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>167,3</b>	<b>5,020</b>
<b>Sp 1,7</b>	<b>6,0</b>	1,05	5,7		<b>6,0</b>	<b>0,179</b>
<b>AMV 0,275</b>	<b>1,0</b>	1,03	0,9		<b>1,0</b>	<b>0,029</b>
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>439,9</b>	2,65		<b>2,9</b>	<b>452,8</b>	<b>13,585</b>
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>659,9</b>	2,65	<b>691,7</b>	<b>4,51</b>	<b>689,7</b>	<b>20,690</b>
<b>Grava 40%</b>	<b>733,2</b>	2,65			<b>733,2</b>	<b>21,997</b>
	<b>2400,0</b>		<b>1025,0</b>		<b>2400,0</b>	<b>72,000</b>

Ensayo de escurrimiento:

RESULTADOS		
ESCURRIMIENTO	Ø	620 – 620 mm
	TIEMPO	1,97 seg

El resultado es nulo.

Hay que aumentar el superplastificante, que pasará de 1,7 % a 1,8 %.



ENSAYO 14°

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	30 l
CEM	350,0	3,00	116,7		350,0	10,500
Agua	210,0	1,00	210,0		167,4	5,021
Sp 1,8	6,3	1,05	6,0		6,3	0,189
AMV 0,275	1,0	1,03	0,9		1,0	0,029
Ar 0/2 24%	439,7	2,65		2,9	452,6	13,578
Ar 0/4 36%	659,6	2,65	691,4	4,51	689,3	20,680
Grava 40%	732,9	2,65			732,9	21,986
	2399,5		1025,0		2399,5	71,984

Ensayo de escurrimiento:

RESULTADOS		0	15	30
ESCURRIMIENTO	Ø	670 – 670 mm	540 – 550 mm	430 – 470 mm
	TIEMPO	2,06 seg	3,78 seg	infinito

El resultado es nulo.

ENSAYO 15°

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	15 l
CEM	350,0	3,00	116,7		350,0	5,250
Agua	210,0	1,00	210,0		167,8	2,518
Sp 1,6	5,6	1,05	5,3		5,6	0,084
AMV 0,2	0,7	1,03	0,7		0,7	0,011
Ar 0/2 24%	440,3	2,65		2,9	453,2	6,798
Ar 0/4 36%	660,5	2,65	692,3	4,43	689,7	10,346
Grava 40%	733,9	2,65			733,9	11,008
	2400,9		1025,0		2400,9	36,014

Ensayo de escurrimiento:

RESULTADOS		
ESCURRIMIENTO	Ø	710 – 710 mm
	TIEMPO	1,25 seg

El resultado es nulo por excesiva segregación.  
Hay que aumentar el AMV, que pasará de 0,2 % a 0,3 %.



**ENSAYO 16°**

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	15 l
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>5,250</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>167,9</b>	<b>2,518</b>
<b>Sp 1,6</b>	<b>5,6</b>	1,05	5,3		<b>5,6</b>	<b>0,084</b>
<b>AMV 0,3</b>	<b>1,1</b>	1,03	1,0		<b>1,1</b>	<b>0,016</b>
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>440,1</b>	2,65		<b>2,9</b>	<b>453,0</b>	<b>6,795</b>
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>660,1</b>	2,65	<b>692,0</b>	<b>4,43</b>	<b>689,4</b>	<b>10,341</b>
<b>Grava 40%</b>	<b>733,5</b>	2,65			<b>733,5</b>	<b>11,002</b>
	<b>2400,4</b>		<b>1025,0</b>		<b>2400,4</b>	<b>36,006</b>

Ensayo de escurrimiento:

<b>RESULTADOS</b>		
<b>ESCURRIMIENTO</b>	<b>Ø</b>	600 – 620 mm
	<b>TIEMPO</b>	2,46 seg

El resultado es nulo por excesiva cohesión.

Hay que aumentar el superplastificante, que pasará de 1,6 % a 1,7 %.

**ENSAYO 17°**

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	15 l
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>5,250</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>167,9</b>	<b>2,518</b>
<b>Sp 1,7</b>	<b>6,0</b>	1,05	5,7		<b>6,0</b>	<b>0,089</b>
<b>AMV 0,3</b>	<b>1,1</b>	1,03	1,0		<b>1,1</b>	<b>0,016</b>
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>439,9</b>	2,65		<b>2,9</b>	<b>452,8</b>	<b>6,792</b>
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>659,8</b>	2,65	<b>691,6</b>	<b>4,43</b>	<b>689,1</b>	<b>10,336</b>
<b>Grava 40%</b>	<b>733,1</b>	2,65			<b>733,1</b>	<b>10,997</b>
	<b>2399,9</b>		<b>1025,0</b>		<b>2399,9</b>	<b>35,998</b>

Ensayo de escurrimiento:

<b>RESULTADOS</b>		
<b>ESCURRIMIENTO</b>	<b>Ø</b>	700 – 730 mm
	<b>TIEMPO</b>	2,20 seg

El resultado es nulo por una leve segregación.



**Día 16/05/2011**

Calculo de la humedad:

Árido 0/2 :

Peso de la sartén	528,940 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	647,50 gr
Peso de la sartén + Muestra	643,20 gr

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra} + \text{agua}) - (\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) = \text{Agua} = 4,30 \text{ gr.}$$

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) - (\text{Peso de sartén}) = \text{Peso de la muestra} = 114,80 \text{ gr.}$$

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$(A / M) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$\underline{Hs = 2,74 \%}$$

Árido 0/4 :

Peso de la sartén	528,90 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	658,40 gr
Peso de la sartén + Muestra	652,50 gr

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra} + \text{agua}) - (\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) = \text{Agua} = 5,9 \text{ gr.}$$

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) - (\text{Peso de sartén}) = \text{Peso de la muestra} = 123,60 \text{ gr.}$$

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$(A / M) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$\underline{Hs = 3,77 \%}$$

**ENSAYO 18°**

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	15 l
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>5,250</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>173,1</b>	<b>2,596</b>
<b>Sp 1,65</b>	<b>5,8</b>	1,05	5,5		<b>5,8</b>	<b>0,087</b>
<b>Mv 0,25</b>	<b>0,9</b>	1,03	0,8		<b>0,9</b>	<b>0,013</b>
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>440,1</b>	2,65		<b>2,7</b>	<b>452,2</b>	<b>6,782</b>
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>660,2</b>	2,65	<b>692,0</b>	<b>3,77</b>	<b>685,0</b>	<b>10,276</b>
<b>Grava 40%</b>	<b>733,5</b>	2,65			<b>733,5</b>	<b>11,003</b>
	<b>2400,4</b>		<b>1025,0</b>		<b>2400,4</b>	<b>36,006</b>

Ensayo de escurrimiento:

<b>RESULTADOS</b>		
<b>ESCURRIMIENTO</b>	<b>Ø</b>	700 – 700 mm
	<b>TIEMPO</b>	1,70 seg

El resultado es nulo por una leve segregación y exudación.  
Hay que aumentar el AMV, que pasará de 0,25 % a 0,3 %.

**ENSAYO 19°**

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	15 l
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>5,250</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>173,1</b>	<b>2,596</b>
<b>Sp 1,65</b>	<b>5,8</b>	1,05	5,5		<b>5,8</b>	<b>0,087</b>
<b>Mv 0,3</b>	<b>1,1</b>	1,03	1,0		<b>1,1</b>	<b>0,016</b>
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>440,0</b>	2,65		<b>2,7</b>	<b>452,0</b>	<b>6,781</b>
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>660,0</b>	2,65	<b>691,8</b>	<b>3,77</b>	<b>684,9</b>	<b>10,273</b>
<b>Grava 40%</b>	<b>733,3</b>	2,65			<b>733,3</b>	<b>11,000</b>
	<b>2400,1</b>		<b>1025,0</b>		<b>2400,1</b>	<b>36,002</b>

Ensayo de escurrimiento:

<b>RESULTADOS</b>		
<b>ESCURRIMIENTO</b>	<b>Ø</b>	670 – 680 mm
	<b>TIEMPO</b>	1,97 seg

El resultado es valido.

Ensayo de escurrimiento con anillo japonés:

<b>Ø</b>	620 – 620 mm
<b>TIEMPO</b>	1,69 seg
<b>1) h FUERA</b>	10,2 cm
<b>2) h DENTRO</b>	8,5 cm
<b>3) h FUERA</b>	10,3 cm
<b>4) h DENTRO</b>	9,5 cm
<b>5) h FUERA</b>	10,2 cm
<b>6) h DENTRO</b>	9,6 cm
<b>7) h FUERA</b>	10,2 cm
<b>8) h DENTRO</b>	9,6 cm

Ensayo de embudo en V:

<b>TIEMPO</b>	8,25 seg
---------------	----------

Sacaremos 2 probetas y probaremos a realizarlo con una amasada de 30 litros.

### ENSAYO 20°

<b>a/c=0,6</b>	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	<b>30 l</b>
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>10,500</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>173,1</b>	<b>5,192</b>
<b>Sp 1,65</b>	<b>5,8</b>	1,05	5,5		<b>5,8</b>	<b>0,173</b>
<b>Mv 0,3</b>	<b>1,1</b>	1,03	1,0		<b>1,1</b>	<b>0,032</b>
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>440,0</b>	2,65		<b>2,7</b>	<b>452,0</b>	<b>13,561</b>
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>660,0</b>	2,65	<b>691,8</b>	<b>3,77</b>	<b>684,9</b>	<b>20,546</b>
<b>Grava 40%</b>	<b>733,3</b>	2,65			<b>733,3</b>	<b>22,000</b>
	<b>2400,1</b>		<b>1025,0</b>		<b>2400,1</b>	<b>72,004</b>

<b>ENSAYO</b>		<b>TIEMPO ( minutos )</b>				
		<b>0´</b>	<b>15´</b>	<b>30´</b>	<b>45´</b>	<b>60´</b>
<b>ESCURRIMIENTO</b>	<b>Ø medio ( mm )</b>	740	720	700	635	520
	<b>TIEMPO ( segundos )</b>	1,20	1,03	1,12	1,31	1,84

A los 60 minutos ya no da resultados óptimos, ya que está demasiado seco y cohesivo como para usarlo en obra. Se probará a hacer la misma dosificación usando un retardador de fraguado, usando un 1% sobre el peso del cemento.



ENSAYO 21°

<b>a/c=0,6</b>	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	<b>30 l</b>
CEM	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>10,500</b>
Agua	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>173,1</b>	<b>5,192</b>
Sp 1,65	<b>5,8</b>	1,05	5,5		<b>5,8</b>	<b>0,173</b>
Mv 0,3	<b>1,1</b>	1,03	1,0		<b>1,1</b>	<b>0,032</b>
Retardador 1	<b>3,5</b>	1,17	3		<b>3,5</b>	<b>0,105</b>
Ar 0/2 24%	<b>440,0</b>	2,65		<b>2,7</b>	<b>452,0</b>	<b>13,561</b>
Ar 0/4 36%	<b>660,0</b>	2,65	<b>691,8</b>	<b>3,77</b>	<b>684,9</b>	<b>20,546</b>
Grava 40%	<b>733,3</b>	2,65			<b>733,3</b>	<b>22,000</b>
	<b>2403,6</b>		<b>1025,0</b>		<b>2403,6</b>	<b>72,109</b>

ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0'	15'	30'	45'	60'	75'	90'
ESCURRIMIENTO	Ø medio ( mm )	640	640	700	695	650	575	520
	TIEMPO ( segundos )	2,52	2,59	2,44	2,16	2,51	2,62	4,03

**Día 17/05/2011**

Después de 24 horas, se desenmoldan las probetas, las numeramos y nombramos y las introducimos en la cámara húmeda.

Los encofrados se limpiarán, se engrasarán y guardarán.

**Día 18/05/2011**

Calculo de la humedad:

Árido 0/2 :

Peso de la sartén	476,60 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	676,40 gr
Peso de la sartén + Muestra	669,10 gr

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra} + \text{agua}) - (\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) = \text{Agua} = 7,30 \text{ gr.}$$

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) - (\text{Peso de sartén}) = \text{Peso de la muestra} = 194,50 \text{ gr.}$$

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$(A / M) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$Hs = 2,75 \%$$

Árido 0/4 :

Peso de la sartén	474,50 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	765,80 gr
Peso de la sartén + Muestra	751,00 gr

$$( \text{Peso de sartén + muestra + agua} ) - ( \text{Peso de sartén + muestra} ) = \text{Agua} = 14,80 \text{ gr.}$$

$$( \text{Peso de sartén + muestra} ) - ( \text{Peso de sartén} ) = \text{Peso de la muestra} = 276,50 \text{ gr.}$$

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$(A / M) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$Hs = 4,35 \%$$

Se repetirán las amasadas del día 16/05/2011, para corroborar los resultados.

ENSAYO 22°

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	15 l
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>5,250</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>169,2</b>	<b>2,538</b>
<b>Sp 1,65</b>	<b>5,8</b>	1,05	5,5		<b>5,8</b>	<b>0,087</b>
<b>Mv 0,3</b>	<b>1,1</b>	1,03	1,0		<b>1,1</b>	<b>0,016</b>
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>440,0</b>	2,65		<b>2,75</b>	<b>452,1</b>	<b>6,781</b>
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>660,0</b>	2,65	<b>691,8</b>	<b>4,35</b>	<b>688,7</b>	<b>10,331</b>
<b>Grava 40%</b>	<b>733,3</b>	2,65			<b>733,3</b>	<b>11,000</b>
	<b>2400,1</b>		<b>1025,0</b>		<b>2400,1</b>	<b>36,002</b>



Ensayo de escurrimiento:

RESULTADOS		
ESCURRIMIENTO	Ø	650 – 660 mm
	TIEMPO	1,53 seg

El resultado es correcto.

Ensayo de escurrimiento con anillo japonés:

Ø	630 – 640 mm
TIEMPO	4,09 seg
1) h FUERA	11 cm
2) h DENTRO	7 cm
3) h FUERA	10,7 cm
4) h DENTRO	8,5 cm
5) h FUERA	11 cm
6) h DENTRO	9 cm
7) h FUERA	11 cm
8) h DENTRO	8,4 cm

Ensayo de embudo en V:

TIEMPO	3,72 seg
--------	----------

Se sacan 2 probetas.

### ENSAYO 23°

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	30 l
CEM	350,0	3,00	116,7		350,0	10,500
Agua	210,0	1,00	210,0		169,2	5,076
Sp 1,65	5,8	1,05	5,5		5,8	0,173
Mv 0,3	1,1	1,03	1,0		1,1	0,032
Ar 0/2 24%	440,0	2,65		2,75	452,1	13,563
Ar 0/4 36%	660,0	2,65	691,8	4,35	688,7	20,661
Grava 40%	733,3	2,65			733,3	22,000
	2400,1		1025,0		2400,1	72,004



RESULTADOS		0´	15´	30´
ESCURRIMIENTO	Ø	640 – 650 mm	560 – 570 mm	460 – 460 mm
	TIEMPO	2,59 seg	2,02 seg	Infinito
COMENTARIO		BIEN	cohesivo	Muy seco

Se probará a repetir la amasada anterior usando un retardador de fraguado en un 1% sobre el peso del cemento.

ENSAYO 24º

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	30 l
CEM	350,0	3,00	116,7		350,0	10,500
Agua	210,0	1,00	210,0		169,2	5,076
Sp 1,65	5,8	1,05	5,5		5,8	0,173
Mv 0,3	1,1	1,03	1,0		1,1	0,032
Retardador 1	3,5	1,17	3,0		3,5	0,105
Ar 0/2 24%	440,0	2,65		2,75	452,1	13,563
Ar 0/4 36%	660,0	2,65	691,8	4,35	688,7	20,661
Grava 40%	733,3	2,65			733,3	22,000
	2403,6		1025,0		2403,6	72,109

ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0´	15´	30´	45´	60´	75´	90´
ESCURRIMIENTO	Ø medio ( mm )	575	685	735	735	720	675	620
	TIEMPO ( segundos )	2,66	2,25	1,75	2,18	2,09	2,47	3,75

Calculo de la humedad pasadas 4 horas:

Árido 0/2 :

Peso de la sartén	527,00 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	630,40 gr
Peso de la sartén + Muestra	626,70 gr

$( \text{Peso de sartén} + \text{muestra} + \text{agua} ) - ( \text{Peso de sartén} + \text{muestra} ) = \text{Agua} = 3,70 \text{ gr.}$

$( \text{Peso de sartén} + \text{muestra} ) - ( \text{Peso de sartén} ) = \text{Peso de la muestra} = 99,70 \text{ gr.}$

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$( A / M ) * 100 = H_s - 1\%$





Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$\underline{Hs = 2,71 \%}$$

Ha perdido:  $2,75\% - 2,71\% = 0,04\%$ .

Árido 0/4 :

Peso de la sartén	527,60 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	667,60 gr
Peso de la sartén + Muestra	661,10 gr

$( \text{Peso de sartén} + \text{muestra} + \text{agua} ) - ( \text{Peso de sartén} + \text{muestra} ) = \text{Agua} = 6,50 \text{ gr.}$

$( \text{Peso de sartén} + \text{muestra} ) - ( \text{Peso de sartén} ) = \text{Peso de la muestra} = 133,50 \text{ gr.}$

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$( A / M ) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$\underline{Hs = 3,86 \%}$$

Ha perdido:  $4,35\% - 3,86\% = 0,49\%$ .

### Día 19/05/2011

Después de 24 horas, se desenmoldan las probetas, las numeramos y nombramos y las introducimos en la cámara húmeda.

Los encofrados se limpiarán, se engrasarán y guardarán.





**Día 25/05/2011**

Calculo de la humedad:

Árido 0/2 :

Peso de la sartén	473,90 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	589,40 gr
Peso de la sartén + Muestra	585,20 gr

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra} + \text{agua}) - (\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) = \text{Agua} = 4,20 \text{ gr.}$$

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) - (\text{Peso de sartén}) = \text{Peso de la muestra} = 111,30 \text{ gr.}$$

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$(A / M) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$\underline{Hs = 2,77 \%}$$

Árido 0/4 :

Peso de la sartén	474,50 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	604,20 gr
Peso de la sartén + Muestra	598,70 gr

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra} + \text{agua}) - (\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) = \text{Agua} = 5,50 \text{ gr.}$$

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) - (\text{Peso de sartén}) = \text{Peso de la muestra} = 124,20 \text{ gr.}$$

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$(A / M) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$\underline{Hs = 3,43 \%}$$



ENSAYO 25°

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	30 l
CEM	350,0	3,00	116,7		350,0	10,500
Agua	210,0	1,00	210,0		175,2	5,255
Sp 1,65	5,8	1,05	5,5		5,8	0,173
Mv 0,3	1,1	1,03	1,0		1,1	0,032
Retardador 1,5	5,3	1,17	4,5		5,3	0,1575
Ar 0/2 24%	440,0	2,65		2,77	452,2	13,565
Ar 0/4 36%	660,0	2,65	691,8	3,43	682,6	20,479
Grava 40%	733,3	2,65			733,3	22,000
	2405,35		1025,0		2405,35	72,161

ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0'	15'	30'	45'	60'	75'	90'
ESCURRIMIENTO	Ø medio ( mm )	635	505	580	620	625	600	535
	TIEMPO ( segundos )	2,28	6,19	3,16	2,62	1,97	3,44	4,09

A los 15 minutos, dio un valor anómalo, de seguir así, haremos un ensayo de principio y final de fraguado de mortero de cemento para ver los resultados.

Sacamos una probeta.

**Día 26/05/2011**

La probeta del día 25/05/2011 no se puede desmoldar porque aun no ha fraguado.

**Día 27/05/2011**

La probeta del día 25/05/2011 no se puede desmoldar porque aun no ha fraguado.

Calculo de la humedad:

Árido 0/2 :

Peso de la sartén	473,80 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	580,60 gr
Peso de la sartén + Muestra	577,80 gr



( Peso de sartén + muestra + agua ) – ( Peso de sartén + muestra ) = Agua = 2,80 gr.

( Peso de sartén + muestra ) – ( Peso de sartén ) = Peso de la muestra = 104,00 gr.

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$( A / M ) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$\underline{Hs = 1,69 \%}$$

Árido 0/4 :

Peso de la sartén	474,60 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	588,40 gr
Peso de la sartén + Muestra	582,90 gr

( Peso de sartén + muestra + agua ) – ( Peso de sartén + muestra ) = Agua = 5,50 gr.

( Peso de sartén + muestra ) – ( Peso de sartén ) = Peso de la muestra = 108,30 gr.

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$( A / M ) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$\underline{Hs = 4,08 \%}$$

**ENSAYO 26°**

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	30 l
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>10,500</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>175,6</b>	<b>5,269</b>
<b>Sp 1,65</b>	<b>5,8</b>	1,05	5,5		<b>5,8</b>	<b>0,173</b>
<b>Mv 0,3</b>	<b>1,1</b>	1,03	1,0		<b>1,1</b>	<b>0,032</b>
<b>Retardador 1</b>	<b>3,5</b>	1,17	3,0		<b>3,5</b>	<b>0,105</b>
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>440,0</b>	2,65		<b>1,69</b>	<b>447,4</b>	<b>13,423</b>
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>660,0</b>	2,65	<b>691,8</b>	<b>4,08</b>	<b>686,9</b>	<b>20,608</b>
<b>Grava 40%</b>	<b>733,3</b>	2,65			<b>733,3</b>	<b>22,000</b>
	<b>2403,6</b>		<b>1025,0</b>		<b>2403,6</b>	<b>72,109</b>

ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0'	15'	30'	45'	60'	75'	90'
<b>ESCURRIMIENTO</b>	<b>Ø medio ( mm )</b>	640	625	630	645	630	615	535
	<b>TIEMPO ( segundos )</b>	2,22	2,44	3,13	3,28	3,56	3,69	6,90

ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0'	15'	30'	45'	60'	75'	90'
<b>ESCURRIMIENTO CON ANILLO JAPONES</b>	<b>Ø medio ( mm )</b>	645	655	665	680	635	615	525
	<b>TIEMPO ( segundos )</b>	3,26	2,66	2,10	2,03	4,16	6,19	6,37
	<b>1) H exterior</b>	11,0	11,0	11,0	10,5	10,8	11,2	9,7
	<b>1) H interior</b>	9,0	9,5	9,5	10,2	9,0	9,4	8,4
	<b>2) H exterior</b>	11,2	10,8	10,6	10,7	10,0	11,4	9,5
	<b>2) H interior</b>	8,8	9,7	9,6	9,9	9,3	8,9	8,0
	<b>3) H exterior</b>	10,8	10,5	10,6	10,5	10,0	10,5	10,0
	<b>3) H interior</b>	8,8	9,4	9,5	10,0	9,5	9,4	8,3
	<b>4) H exterior</b>	11,5	10,7	10,6	10,3	10,5	11,0	10,0
<b>4) H interior</b>	9,0	9,5	9,8	10,0	9,4	9,4	8,4	

ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0'	15'	30'	45'	60'	75'	90'
<b>EMBUDO EN V</b>	<b>TIEMPO ( segundos )</b>	5,28	5,44	5,51	5,84	7,00	7,42	9,47

Se sacan 2 probetas.

Calculo de la humedad pasadas 4 horas:

Árido 0/2 :

Peso de la sartén	473,70 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	625,10 gr
Peso de la sartén + Muestra	621,50 gr

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra} + \text{agua}) - (\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) = \text{Agua} = 3,60 \text{ gr.}$$

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) - (\text{Peso de sartén}) = \text{Peso de la muestra} = 147,80 \text{ gr.}$$

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$(A / M) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$\underline{Hs = 1,43 \%}$$

$$\text{Ha perdido: } 1,69\% - 1,43\% = 0,26\%.$$

Árido 0/4 :

Peso de la sartén	474,50 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	752,60 gr
Peso de la sartén + Muestra	741,90 gr

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra} + \text{agua}) - (\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) = \text{Agua} = 10,70 \text{ gr.}$$

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) - (\text{Peso de sartén}) = \text{Peso de la muestra} = 267,40 \text{ gr.}$$

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$(A / M) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$\underline{Hs = 3,00 \%}$$

$$\text{Ha perdido: } 4,08\% - 3,00\% = 1,08\%.$$

**Día 30/05/2011**

Las probetas del día 25/05/2011 y 27/05/2011 no se pueden desmoldar porque aun no ha fraguado.

**Día 1/06/2011**

Las probetas del día 25/05/2011 y 27/05/2011 no se pueden desmoldar porque aun no ha fraguado.

**Día 3/06/2011**

Después de 8 y 5 días respectivamente, se desmoldan las probetas de los días 25/05/2011 y 27/05/2011, las numeramos y nombramos y las introducimos en la cámara húmeda.

Los encofrados se limpiarán, se engrasarán y guardarán.

**Día 6/06/2011**

Calculo de la humedad:

Árido 0/2 :

Peso de la sartén	473,90 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	603,60 gr
Peso de la sartén + Muestra	600,50 gr

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra} + \text{agua}) - (\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) = \text{Agua} = 3,10 \text{ gr.}$$

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) - (\text{Peso de sartén}) = \text{Peso de la muestra} = 126,60 \text{ gr.}$$

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$(A / M) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$Hs = 1,45 \%$$



Árido 0/4 :

Peso de la sartén	474,10 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	580,50 gr
Peso de la sartén + Muestra	578,10 gr

( Peso de sartén + muestra + agua ) – ( Peso de sartén + muestra ) = Agua = 2,40 gr.

( Peso de sartén + muestra ) – ( Peso de sartén ) = Peso de la muestra = 104,00 gr.

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$( A / M ) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$Hs = 1,30 \%$$

ENSAYO 27°

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	30 l
Retardador 0,5	1,75	1,17	1,5		1,75	0,0525
CEM	350,0	3,00	116,7		350,0	10,500
Agua	210,0	1,00	210,0		195,0	5,851
Sp 1,65	5,8	1,05	5,5		5,8	0,173
Mv 0,3	1,1	1,03	1,0		1,1	0,032
Ar 0/2 24%	440,0	2,65		1,45	446,4	13,391
Ar 0/4 36%	660,0	2,65	691,8	1,3	668,6	20,057
Grava 40%	733,3	2,65			733,3	22,000
	2401,85		1025,0		2401,85	72,056

ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0´	15´	30´	45´	60´	75´	90´
ESCURRIMIENTO	Ø medio ( mm )	680	725	725	700	675	625	560
	TIEMPO ( segundos )	2,53	1,84	1,82	2,59	2,47	3,25	4,03





ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0'	15'	30'	45'	60'	75'	90'
ESCURRIMIENTO CON ANILLO JAPONES	Ø medio ( mm )	725	765	730	725	665	625	535
	TIEMPO ( segundos )	2,75	1,97	2,03	2,09	2,62	3,70	5,41
	1) H exterior	10,6	11,0	11,0	11,0	10,5	10,2	9,9
	1) H interior	10,5	10,8	9,5	10,1	10,0	9,0	8,0
	2) H exterior	10,7	10,9	11,0	10,8	10,6	10,2	9,7
	2) H interior	10,6	10,5	9,4	10,4	9,8	9,1	8,5
	3) H exterior	10,8	11,1	11,5	10,7	10,6	10,3	9,9
	3) H interior	10,5	10,6	9,6	10,5	10,0	9,0	8,0
	4) H exterior	10,6	11,3	11,2	10,9	11,0	10,5	10,1
4) H interior	10,5	10,7	9,6	10,1	9,3	8,9	8,5	

ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0'	15'	30'	45'	60'	75'	90'
EMBUDO EN V	TIEMPO ( segundos )	8,91	4,68	7,84	6,02	8,62	11,18	11,62

Se sacan 2 probetas.

### Día 7/06/2011

La probetas del día 6/06/2011 no se pueden desmoldar porque aun no ha fraguado.

### Día 8/06/2011

Después de 48 horas, se desmoldan las probetas del día 6/06/2011, las numeramos y nombramos y las introducimos en la cámara húmeda.

Los encofrados se limpiarán, se engrasarán y guardarán.





**Día 10/06/2011**

Calculo de la humedad:

Árido 0/2 :

Peso de la sartén	474,50 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	606,90 gr
Peso de la sartén + Muestra	599,30 gr

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra} + \text{agua}) - (\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) = \text{Agua} = 7,60 \text{ gr.}$$

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) - (\text{Peso de sartén}) = \text{Peso de la muestra} = 124,80 \text{ gr.}$$

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$(A / M) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$\underline{Hs = 5,09 \%}$$

Árido 0/4 :

Peso de la sartén	473,90 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	606,90 gr
Peso de la sartén + Muestra	600,80 gr

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra} + \text{agua}) - (\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) = \text{Agua} = 6,10 \text{ gr.}$$

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) - (\text{Peso de sartén}) = \text{Peso de la muestra} = 126,90 \text{ gr.}$$

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$(A / M) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$\underline{Hs = 3,81 \%}$$

## ENSAYO 28°

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	30 l
CEM	350,0	3,00	116,7		350,0	10,500
Agua	210,0	1,00	210,0		162,5	4,874
Sp 1,65	5,8	1,05	5,5		5,8	0,173
Mv 0,3	1,1	1,03	1,0		1,1	0,032
Retardador 0,75	2,60	1,17	2,2		2,60	0,0735
Ar 0/2 24%	440,0	2,65		5,09	462,4	13,872
Ar 0/4 36%	660,0	2,65	691,8	3,81	685,1	20,554
Grava 40%	733,3	2,65			733,3	22,000
	2402,7		1025,0		2402,7	72,083

ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0'	15'	30'	45'	60'	75'	90'
ESCURRIMIENTO	Ø medio ( mm )	640	720	725	715	705	680	635
	TIEMPO ( segundos )	2,13	1,87	1,62	1,91	1,90	2,34	2,41

ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0'	15'	30'	45'	60'	75'	90'
ESCURRIMIENTO CON ANILLO JAPONES	Ø medio ( mm )	640	735	720	705	705	655	645
	TIEMPO ( segundos )	2,91	2,06	2,45	2,89	2,98	3,34	3,72
	1) H exterior	10,8	10,8	10,8	10,6	10,8	10,6	10,4
	1) H interior	9,3	10,2	9,5	9,9	9,6	9,4	9,7
	2) H exterior	10,6	10,9	10,7	11,0	10,9	10,8	10,4
	2) H interior	8,9	10,6	10,1	10,1	10,0	9,3	9,5
	3) H exterior	10,8	10,8	10,9	10,6	10,9	10,5	10,6
	3) H interior	9,6	10,2	9,5	10,2	10,1	9,6	9,7
	4) H exterior	11,0	11,1	11,0	10,7	10,9	10,5	10,5
4) H interior	9,3	10,5	10,3	9,8	9,9	9,8	9,7	

ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0'	15'	30'	45'	60'	75'	90'
EMBUDO EN V	TIEMPO ( segundos )	5,69	4,78	4,57	4,93	5,32	5,78	5,91

Se sacan 2 probetas.



**Día 13/06/2011**

Después de 24 horas, las probetas han fraguado, ya que a ser viernes me llevo una muestra a casa. Se desenmoldan las probetas del día 10/06/2011, las numeramos y nombramos y las introducimos en la cámara húmeda.

Los encofrados se limpiarán, se engrasarán y guardarán.

Debido a que han transcurrido 28 días desde que hicimos las probetas del día 16/05/2011, procederemos a sacarlas de la cámara húmeda y realizar sus ensayos de resistencia a compresión, y los resultados son:

PROBETAS	KN ( 1 )	Mpa ( 1 )	KN ( 2 )	Mpa ( 2 )	KN medio	Mpa medio
Sin retardador 16/05/2011	658,00	37,23	626,90	35,48	<b>642,45</b>	<b>36,35</b>

**Día 15/06/2011**

Debido a que han transcurrido 28 días desde que hicimos las probetas del día 18/05/2011, procederemos a sacarlas de la cámara húmeda y realizar sus ensayos de resistencia a compresión, y los resultados son:

PROBETAS	KN ( 1 )	Mpa ( 1 )	KN ( 2 )	Mpa ( 2 )	KN medio	Mpa medio
Sin retardador 18/05/2011	730,00	41,31	739,70	41,86	<b>734,85</b>	<b>41,58</b>

**Día 22/06/2011**

Debido a que han transcurrido 28 días desde que hicimos las probetas del día 25/05/2011, procederemos a sacarlas de la cámara húmeda y realizar sus ensayos de resistencia a compresión, y los resultados son:

PROBETA	KN ( 1 )	Mpa ( 1 )
Sin retardador 25/05/2011	<b>766,20</b>	<b>43,36</b>



**Día 23/06/2011**

Calculo de la humedad:

Árido 0/2 :

Peso de la sartén	474,90 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	593,40 gr
Peso de la sartén + Muestra	589,20 gr

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra} + \text{agua}) - (\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) = \text{Agua} = 4,20 \text{ gr.}$$

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) - (\text{Peso de sartén}) = \text{Peso de la muestra} = 114,30 \text{ gr.}$$

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$(A / M) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$\underline{Hs = 2,67 \%}$$

Árido 0/4 :

Peso de la sartén	473,50 gr
Peso de la sartén + Muestra + Agua	597,45 gr
Peso de la sartén + Muestra	592,10 gr

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra} + \text{agua}) - (\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) = \text{Agua} = 5,35 \text{ gr.}$$

$$(\text{Peso de sartén} + \text{muestra}) - (\text{Peso de sartén}) = \text{Peso de la muestra} = 118,60 \text{ gr.}$$

La humedad superficial del árido se obtiene de la expresión:

$$(A / M) * 100 = Hs - 1\%$$

Donde:

A = Agua.

M = Peso de la muestra.

1 % = Humedad natural del árido.

$$\underline{Hs = 3,51 \%}$$

ENSAYO 29°

a/c=0,6	kg/m3	Densidad	Volumen	A sup %	kg/m3	30 l
<b>CEM</b>	<b>350,0</b>	3,00	116,7		<b>350,0</b>	<b>10,500</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>	1,00	210,0		<b>175,2</b>	<b>5,253</b>
<b>Sp 1,65</b>	<b>5,8</b>	1,05	5,5		<b>5,8</b>	<b>0,173</b>
<b>Mv 0,3</b>	<b>1,1</b>	1,03	1,0		<b>1,1</b>	<b>0,032</b>
<b>Retardador 1,5</b>	<b>5,3</b>	1,17	4,5		<b>5,3</b>	<b>0,1575</b>
<b>Ar 0/2 24%</b>	<b>440,0</b>	2,65		<b>2,67</b>	<b>451,7</b>	<b>13,552</b>
<b>Ar 0/4 36%</b>	<b>660,0</b>	2,65	<b>691,8</b>	<b>3,51</b>	<b>683,2</b>	<b>20,495</b>
<b>Grava 40%</b>	<b>733,3</b>	2,65			<b>733,3</b>	<b>22,000</b>
	<b>2405,35</b>		<b>1025,0</b>		<b>2405,40</b>	<b>72,161</b>

ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0'	15'	30'	45'	60'	75'	90'
<b>ESCURRIMIENTO</b>	<b>Ø medio ( mm )</b>	610	635	620	620	605	580	535
	<b>TIEMPO ( segundos )</b>	2,61	2,23	2,49	2,98	3,23	3,67	4,09

**Día 24/06/2011**

Debido a que han transcurrido 28 días desde que hicimos las probetas del día 27/05/2011, procederemos a sacarlas de la cámara húmeda y realizar sus ensayos de resistencia a compresión, y los resultados son:

PROBETAS	KN ( 1 )	Mpa ( 1 )	KN ( 2 )	Mpa ( 2 )	KN medio	Mpa medio
Sin retardador 27/05/2011	769,90	43,57	776,20	43,92	<b>773,05</b>	<b>43,75</b>

El resto de probetas de los días 6/06/2011 con retardador 0,5% y 10/06/2011, con retardador 0,75%, realizarán los ensayos de resistencia a compresión los días 4/07/2011 y 8/07/2011 respectivamente.







## **CAPITULO 5**

# **CONCLUSIONES**

**Y**

# **FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**



En este capítulo se exponen las principales conclusiones obtenidas a lo largo del presente proyecto y se indican posibles líneas de trabajo futuros.

## 5.1 CONCLUSIONES

1. Después de realizar el estudio de la dosificación óptima para realizar el hormigón autocompactante con las características descritas en el capítulo 4, se llega a la siguiente dosificación:

<b>a/c=0,6</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
<b>CEM II/B-M (S-L) 42,5R</b>	<b>350,0</b>
<b>Agua</b>	<b>210,0</b>
<b>Sp SIKA VISCOCRETE-3425 1,65%</b>	<b>5,8</b>
<b>Amv SIKA ESTABILIZER-4R 0,3%</b>	<b>1,1</b>
<b>Arena de machaqueo 0/2 24%</b>	<b>440,0</b>
<b>Arena de machaqueo 0/4 36%</b>	<b>660,0</b>
<b>Grava de machaqueo 40%</b>	<b>733,3</b>
	<b>2401,85</b>

2. Debido a que el tiempo abierto de este hormigón autocompactante no es óptima, ya que no sobrepasa de los 45', se estudio la compatibilidad cemento/aditivo, que se puede comprobar mediante la perdida de fluidez medida con el cono de Marsh, de manera que si se mantiene durante una hora u hora y media, se puede considerar que la combinación es muy compatible. Por tanto, para aumentar dicho tiempo abierto, se utiliza un retardador de fraguado denominado SIKATARD, ya que la dosificación optima que nos proporciona un cumplimiento estricto de la EHE-08, es la incorpora una cantidad de 0,75% sobre el peso del cemento de este retardador, que además, no retrasa el inicio del fraguado, ya que otras cantidades de porcentaje, nos sitúan en un tiempo de fraguado de 48 horas en el caso de una cantidad de 0,50% sobre el peso del cemento, de 120 horas en el caso de una cantidad de 1% sobre el peso del cemento y de 192 horas en el caso de una cantidad de 1,50% sobre el peso del cemento.
3. Una vez comparado los resultados de escurrimiento de las distintas amasadas, se observa, que en el tiempo inicial, a medida que se le añade más cantidad de retardador, el diámetro de escurrimiento disminuye, ya que parece ser que el aditivo actúa de cohesionante o de reductor de la segregación.





4. Para el tiempo T50, en los coeficientes de la ecuación de la curva, y mirando las líneas de tendencia, se observa que siempre hay un aumento de diámetro con el retardador, y que el tiempo, parece ser que con respecto al inicial, disminuye la fluidez, pero a partir de este, hay una mejora de resistencia en un periodo determinado a partir del cual, acercándonos a los 45' o 60' se produce una pérdida de valor, por tanto, con el retardador, el tiempo mejor de colocación del hormigón sería, por decirlo de manera llana, el tiempo entre que sale el camión hormigonera hasta que llega a la obra en un periodo de 60', pero con este retardador se consigue llegar hasta los 75' con un valor de escurrimiento de 680 mm, consiguiendo una suficiente trabajabilidad, por tanto si se usa para obras con desplazamiento cercanos, este retardador sería útil, aunque si se usa para sitios mas alejados, podría producir algún posible problema, ya que a los 90' se obtienen valores mas bajos de escurrimiento de 635 mm.
5. Observado las graficas, se observa que la amasada con retardador 0,75%, tiene mayor coeficiente de correlación que el resto, y que la relación entre el tiempo de escurrimiento y el tiempo de amasado, hace que el tiempo de escurrimiento, aumente, a medida que aumenta el tiempo de amasado, siendo mas o menos estable entre la zona de tiempo inicial y tiempo a los 45' - 60'.
6. La mayor sensibilidad frente al tiempo de escurrimiento se observa durante los primeros 45'. En este tiempo, el hormigón se estabiliza, y el escurrimiento no se ve afectado entre los 15' y los 45', aunque aparece una primera pérdida del escurrimiento inicial a los 45'. A partir de los 45' ya empieza a tener una influencia muy importante la pérdida de actuación del aditivo, y tras pasar los 60', va decayendo de manera progresiva dicho escurrimiento.
7. Los resultados de resistencia a compresión, indican que la cantidad de porcentaje de retardador sobre el peso del cemento, no influye sobre la resistencia del hormigón autocompactante.
8. Se deduce que:
  - La temperatura y humedad.
  - El tiempo de espera ( reposo o agitación ).
  - Las condiciones de mantenimiento del material.
  - Tipos de aditivos.

Afectan significativamente en la trabajabilidad y la autocompactabilidad de este tipo de hormigones.



## 5.2 FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto, podía ser objeto de una tesis doctoral, ya que haciendo un estudio del aditivo, midiendo otros tiempos abiertos mas amplios de hasta 180' en lugar de 90', acercando la precisión de los resultados mediante amasadas mas cortas de 10' en lugar de cada 15', utilizando distintos aditivos y porcentajes de este, distintos hormigones, distintas temperaturas, distintas amasadoras, etc., se estudiaría todo el comportamiento del hormigón fresco hasta el momento de puesta en obra y que actuaciones habría que hacer para poder alargar su tiempo abierto.







## CAPITULO 6

# BIBLIOGRAFÍA





## BIBLIOGRAFÍA

E.U.A.T de Sevilla, “ Áridos para hormigón “, Apuntes de materiales II.

Borralleras, P.: “ Nuevas tendencias en aditivos para hormigones autocompactantes”, jordanas Técnicas 2009-JT-01, E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos, en Barcelona a 26 de Febrero de 2009.

Rigueira, J.: “Estudio de la sensibilidad e influencia de la composición en las propiedades reológicas y mecánicas de los hormigones autocompactantes.” Tesis doctoral – Universidad Politécnica de Valencia – Octubre de 2007.

Zerbino, R., Roncero, J., Barragán, B.: “Efecto de la temperatura, el tiempo y las condiciones de espera sobre la reológica del hormigón autocompactante.”, BASF Construction Chemicals, España, Abril de 2010.

ACI Comité 237 “Self Compacting Concrete”. ACI 237R-07.

Bettencourt, A., R., Gonçalves, A., “A low Cost Self-Compacting Concrete.” Proceedings of the Second International Symposium on Self-Compacting Concrete, [339 – 348], Tokyo – 2001.

Carracedo, J. Duce, J. M.: “ Hormigón Autocompacto (H.A.C.) – Glenium. La última tecnología aplicada al hormigón de altas prestaciones”. Hormigón Preparado nº 45, [52 – 58], 1999.

Cavero, L., “El Hormigón Autocompactable en España: Obra de El Portal en Jerez de la Frontera.” Hormigón Preparado, Nº 71, [56 – 62] – 2005.

de la Cruz, C., “Desarrollo de hormigones autocompactables de resistencia media para aplicaciones estructurales”., Tesis doctoral – Universidad Politécnica de Catalunya – Barcelona – Julio 2006.

Cuevas, J.D.G.: “Utilización de los aditivos en el hormigón atocompactable”. Hormigón Preparado, V.17, Nº 59, [68 – 70], 2003.

The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. “Specification, Production and Use. Mayo 2005. [www.efca.info](http://www.efca.info) / [www.efnarc.org](http://www.efnarc.org)

Fernández, J., “El Hormigón Autocompactable.” SIABE 05: Simposio Ibero- Americano Hormigón en las Estructuras. [651 – 657], Coimbra, julio 5-7, 2005.

Fernández, M., “Hormigón.” Rugarte S.L, Madrid, 1989 – ISBN: 84-7493-125-8.

Gettu, R., Agulló L., Barragán, B., Gomes, P.C.C., Martín, M.A., Mora, J.: "Avances Recientes en la caracterización de Hormigones." Laboratório de Tecnologia de Estructuras, Universidad Politécnica de Catalunya.

Gettu, R., Agulló L. “Estado del Arte del Hormigón Autocompactable y su Caracterización” Informe C4745/1 - Depto. de Ing. de la Construcción – Universidad Politécnica de Catalunya. Abril 2003.



Gomes, P.C.C.: “Diseño de Hormigones Autocompactables de Alta Resistencia. Procedimiento para su Dosificación y Métodos de Caracterización”; Hormigón Preparado, [30 – 42] enero 2002.

Gomes, P.C.C.: “Optimization and Characterization of High-Strength Self- Compacting Concrete.” Tesis doctoral – Universidad Politécnica de Catalunya – Barcelona Septiembre 2002.

Guettu, R., Garcia, T., Bernad, C., Colli, H., “ Utilización de hormigón Autocompactable en elementos prefabricados”. Cemento y Hormigón N° 874, [58 – 67] – 04/2005.

Izquierdo, J.: “Hormigón Auto compactable” . Hormigón Preparado N° 49, [33 – 37], 2001.

Jose Maria Garcia San Martiil, Pere Borralleraz Mas; "Hormigón Auto compacto y Glenium: Un compromiso perfecto"; Hormigon preparado nº52 - Septiembre 2001.

Khayat, K.: “Use of Viscosit-Modifying Admixture to Enhance Stability of Fluid Concrete.” ACI Materials Journal, Vol. 94, nº 4, [332 – 340], 1997.

Khayat, K.: “Workability, Testing and Performance of Self-Consolidationg Concrete.” ACI Materials Journal, Vol. 96, nº 4, [346 – 353], 1999.

López García, Victor; Pacios Álvarez, Antonia; Galvache, Serrano; Gutiérrez Abascal, José; “Hormigones de Altas Prestaciones su uso en la Prefabricación”.

Ma, J., Dietz, J., “Ultra High Performance Self-Compacting Concrete.” Lacer, N° 7, [33 – 42] – 2002.

Michael j. Campion, Philippe Jost; "Concreto autocompactante: avances en las posibilidades del diseño y el colado."; Construcción y tecnología, Mayo 2001.

Okamura, H., Ozawa, K. "Self-Compacting High Performace Concrete"; Structural Engineering International, N°4, [269 – 270], 1996.

Okamura, H.: “Self-Compacting. High-Performance Concrete”. Concrete International, Vol.19, N° 7, [50-54], 1997.

Okamura, H., Ouchi, M.: “Self-Compacting Concrete Development, Present and Future”. Proceedings of the First International RILEM Symposium [3 – 14] Sweden – 1999.

Okamura, H., Ozawa, K., Ouchi, M.: "Self-Compacting Concrete." Structural Concrete, V.1, N°1, [3 – 17], 2000.

Okamura, H., “Self-Compacting Concrete”. Journal of Advanced Concrete Technology – Vol 1, N° 5, [5 – 15], 2003.

Puertas, F., Alonso, M<sup>a</sup> del Mar, Vázquez, T.: “Efecto de un Aditivo Basado en Policarboxilatos Sobre la Reología y el Fraguado de Pastas de Cemento Pórtland.” Cemento y Hormigón, N° 844, [4 – 12], 2002.

Soen, H., “Application of SCC for In-situ Concrete” Lecture Stufib, May 2001.

Valcuende, M. O., Parra, C., Benloch, J., “Permeabilidad, Porosidad y Resistencia a Compresión de Hormigones Autocompactables.” Materiales de Construcción, Vol. 55, N° 280, [17 – 26] – 2005.



Wallevik, O. H., “¿Por qué es tan Diferente el Hormigón Autocompactante en Algunos Países?” Planta de Hormigón Internacional, Nº 2, [30 – 36], Abril 2006, ISSN 1862-0027.

Zerbino, R., Agulló, L., Barragán, B., García, T., Guettu, R., “Caracterización Reológica de Hormigones Autocompactables.” Departamento de Ingeniería de la Construcción – Universidad Politécnica de Catalunya – Barcelona – 2006 – ISBN 84- 87691-40-4.

UNE-EN 196-1:2005. Método de ensayo de cementos: Parte 1. Determinación de Resistencia mecánicas.

UNE-EN 480-8:1997. Aditivos para hormigones, morteros y pastas: Métodos de ensayo. Parte 8: Determinación del extracto seco convencional.

UNE-EN 932-1:1997. Ensayos para determinar las propiedades generales de los áridos. Parte 1: Métodos de muestreo.

UNE-EN 12620:2009. Áridos para hormigón.

UNE 146121:2000. Áridos para la fabricación de hormigones.

UNE-EN 933-1:1998. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos: Parte 1. Determinación de la granulometría de las partículas. Método del tamizado.

UNE 7142:58. Determinación de la exudación de agua en el hormigón.

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 12390-2:2001 “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 83-133-90. Áridos para hormigones: Determinación de las densidades, coeficiente de absorción y contenido en agua del árido fino. Mayo 1990.

UNE 83-134-90. Áridos para hormigones: Determinación de las densidades, porosidad, coeficiente de absorción y contenido en agua del árido grueso. Mayo 1990.

UNE 83361:2007 “Hormigón autocompactante. Caracterización de la fluidez. Ensayo del escurrimiento”.

UNE 83362:2007) “Hormigón autocompactante. Caracterización de la fluidez en presencia de barras. Ensayo del Anillo japonés”.

UNE 83364:2007 “Hormigón autocompactante. Determinación del tiempo de flujo. Ensayo del embudo en V”.

EHE – “Instrucción de Hormigón Estructural”. Edición 2008. Ministerio de fomento.

ACHE – “Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural” [www.e-ache.net](http://www.e-ache.net)









## **ANEXOS**

<b>I GRANULOMETRÍA</b>	<b>132</b>
<b>II CARACTERÍSTICAS DE LOS ADITIVOS</b>	<b>139</b>
<b>III RESULTADOS ENSAYOS DEL TIEMPO ABIERTO</b>	<b>146</b>





## ANEXO I

# GRANULOMETRÍA



**ARIDO Grava 6/12**

PESO MUESTRA INICIAL 3368,8 grs  
 PESO MUESTRA FINAL

TAMIZ MM	grs Retenidos	% R	% RAC
63	-		
50			
31,5			
22,5			
20			
16			
14			
12,5	226,20	6,71	6,71
10	1.899,67	56,39	63,10
8	1.033,40	30,68	93,78
6,3	156,00	4,63	98,41
4	6,40	0,19	98,60
2	0,40	0,01	98,61
1	0,40	0,01	98,62
0,5	0,40	0,01	98,64
0,25	0,40	0,01	98,65
0,125	2,00	0,06	98,71
0,063	3,10	0,09	98,80
Pasa	40,43	1,20	100,00

3.328,37

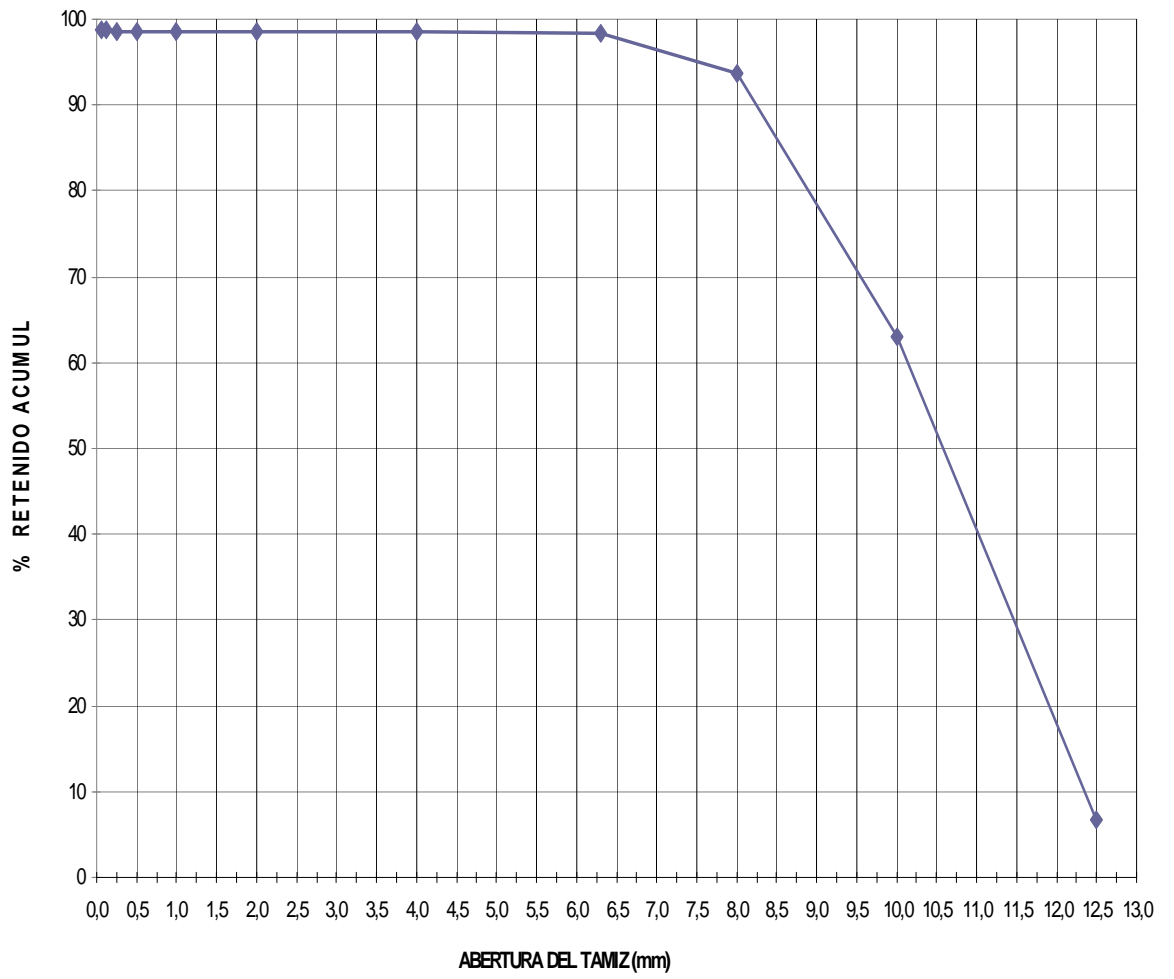
MÓDULO GRANULOMÉTRICO 6,86

**CONTENIDO DE FINOS**

PESO MUESTRA 3409,7 grs  
 PESO SECO 3368,8 grs

Contenido de finos 1,20 %





**ARIDO Arena 0/4**

PESO MUESTRA INICIAL 748,13 grs  
 PESO MUESTRA FINAL

TAMIZ MM	grs Retenidos	% R	% RAC
63			
50			
31,5			
22,5			
20			
16			
14			
12,5			
10			
8			
6,3			
4	0,70	0,09	0,09
2	220,70	29,50	29,59
1	163,00	21,79	51,38
0,5	91,30	12,20	63,59
0,25	65,00	8,69	72,27
0,125	57,50	7,69	79,96
0,063	54,70	7,31	87,27
Pasa	95,23	12,73	100,00
	652,90		

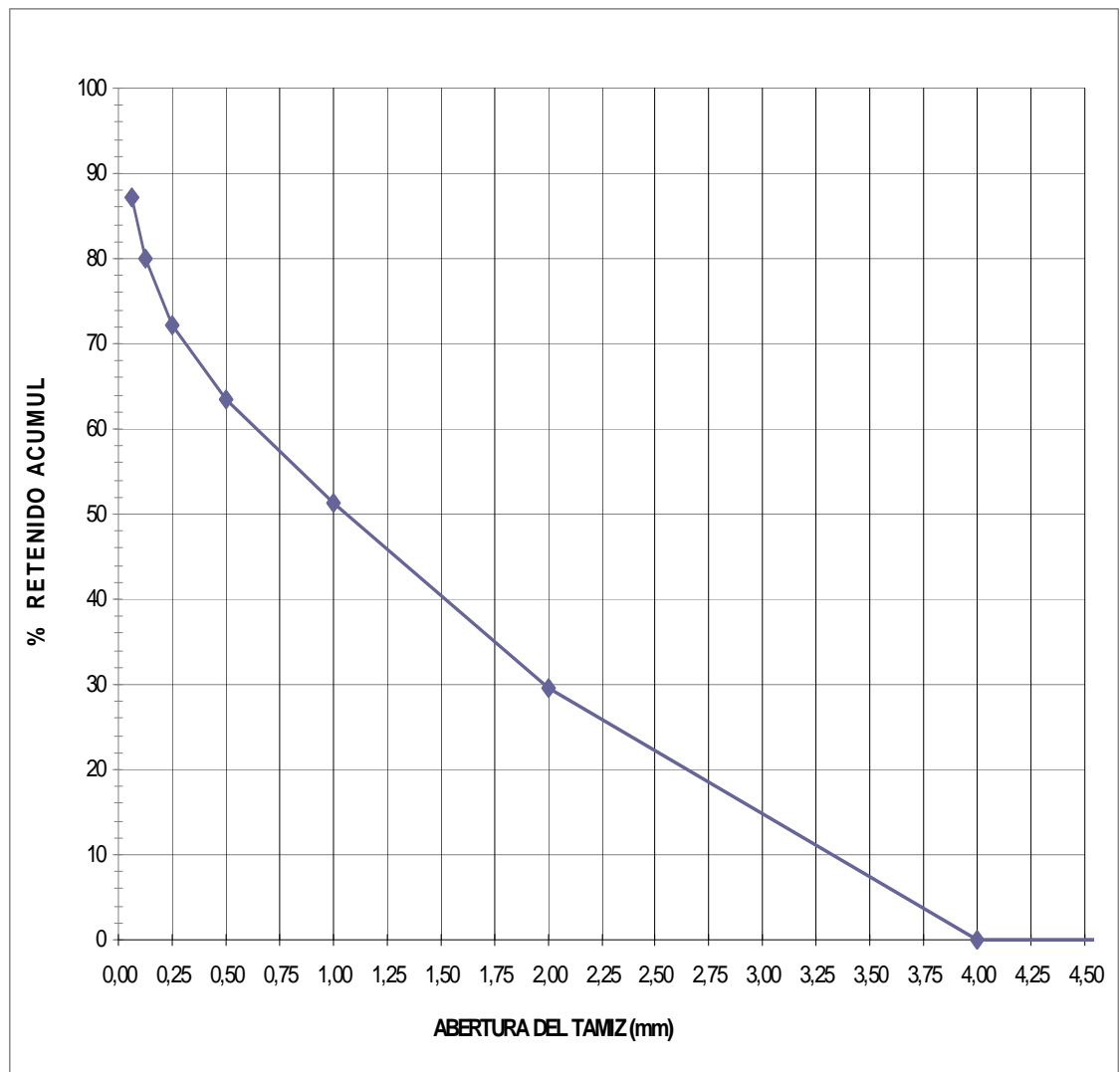
MÓDULO GRANULOMÉTRICO 2,97

**CONTENIDO DE FINOS**

PESO MUESTRA 1549,7 grs  
 PESO SECO 1352,3 grs

Contenido de finos 12,74 %





**ARIDO Arena 0/2**PESO MUESTRA INICIAL 514,31 grs  
PESO MUESTRA FINAL

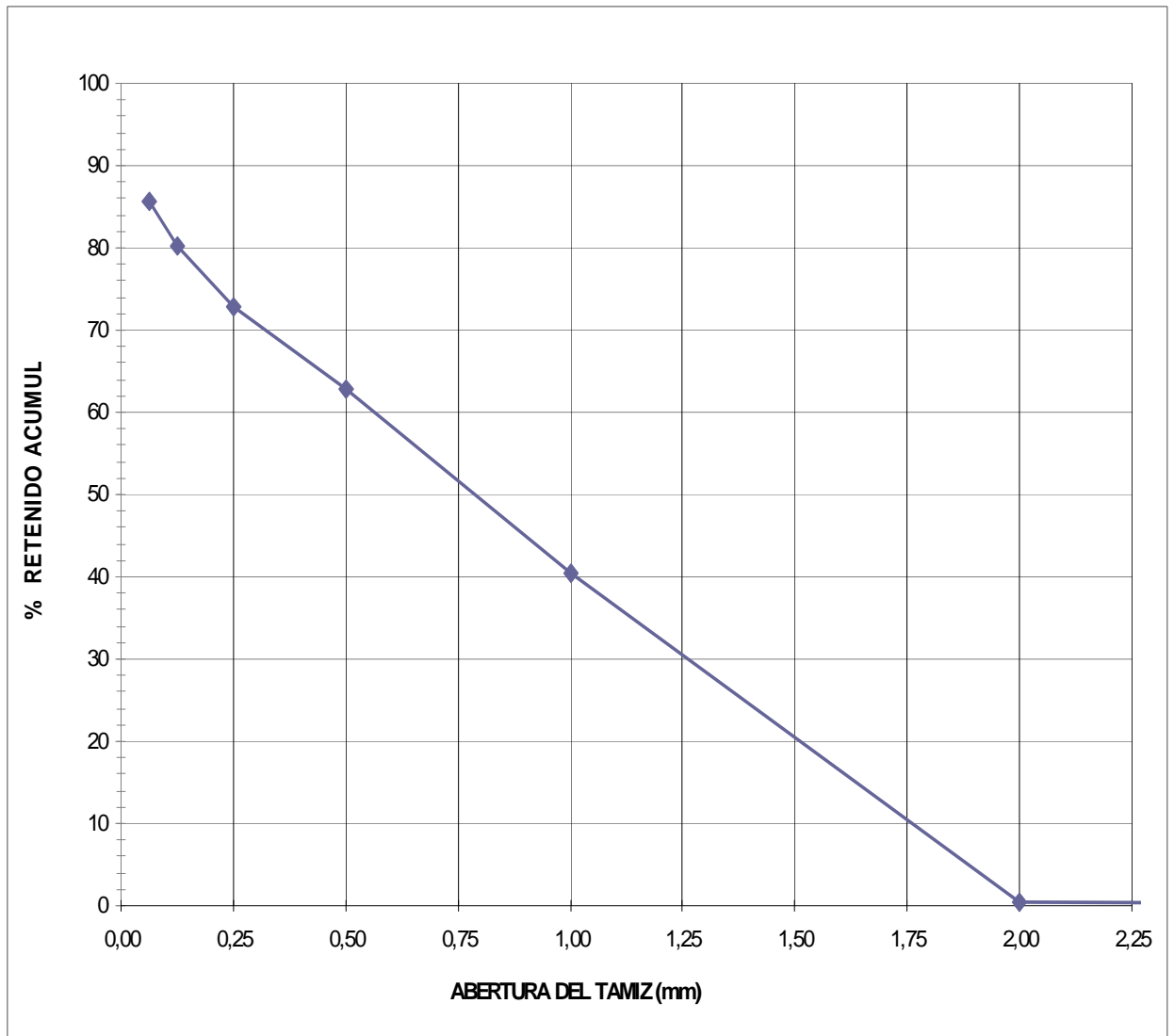
TAMIZ MM	grs Retenidos	% R	% RAC
63			
50			
31,5			
22,5			
20			
16			
14			
12,5			
10			
8			
6,3			
4			
2	1,90	0,37	0,37
1	206,00	40,05	40,42
0,5	115,10	22,38	62,80
0,25	51,60	10,03	72,84
0,125	37,80	7,35	80,19
0,063	27,60	5,37	85,55
Pasa	74,31	14,45	100,00

440,00

MÓDULO GRANULOMÉTRICO 

## CONTENIDO DE FINOS

PESO MUESTRA 1928,6 grs  
PESO SECO 1649,8 grsContenido de finos 







## **ANEXO II**

# **CARACTERÍSTICAS DE LOS ADITIVOS**



## Sika ViscoCrete®-3425

### Superplastificante de alto rendimiento



<b>Descripción del Producto</b>	El Sika ViscoCrete®-3425 es un superplastificante de altas prestaciones para hormigones.
<b>Usos</b>	<p>El Sika ViscoCrete®-3425 se utiliza para la confección de hormigones con gran necesidad de reducción de agua y de excelente fluidez</p> <p>El Sika ViscoCrete®-3425 se utiliza principalmente para las siguientes aplicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Hormigón prefabricado.</li> <li>■ Hormigón autocompactante.</li> </ul>
<b>Características/Ventajas</b>	<p>El Sika ViscoCrete®-3425 es un poderoso superplastificante que combina diferentes mecanismos de actuación.</p> <p>Debido a la adsorción superficial y el efecto esteérico, que separan las partículas, se consiguen las siguientes propiedades :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Reducción muy importante de agua de amasado dando hormigones de alta densidad, altas resistencias y gran impermeabilidad.</li> <li>■ Excelente plasticidad, mejorando la fluidez, la colocación y la compactación.</li> <li>■ Bajo coste de energía en elementos prefabricados curados al vapor.</li> <li>■ Especialmente indicado para la preparación de hormigón auto compactable.</li> <li>■ Disminuye la retracción</li> </ul> <p>No contiene cloruros ni sustancias que puedan provocar o favorecer la corrosión del acero y por lo tanto pueden utilizarse sin restricciones en hormigones armados o pretensados.</p>
<b>Ensayos</b>	
<b>Certificados/Normas</b>	Cumple las especificaciones de la norma UNE-EN 934-2. Tablas 11.1 y 11.2: retardador / reductor / superplastificante
<b>Datos del Producto</b>	
<b>Forma</b>	
<b>Apariencia/Color</b>	Líquido incoloro
<b>Presentación</b>	Contenedores de m <sup>3</sup> y bajo pedido puede suministrarse a granel
<b>Almacenamiento</b>	
<b>Condiciones de Almacenamiento/Conservación</b>	12 meses desde su fecha de fabricación, en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados entre + 5 °C y +35°C. Proteger de la acción directa de la luz solar y de las heladas.
<b>Datos Técnicos</b>	
<b>Composición química</b>	Policarboxilato modificado en base acuosa
<b>Densidad</b>	1,05 kg/l ± 0,01
<b>Valor de pH</b>	4 ± 1.





Contenido en Cloruros	Libre de cloruros	(EN 934-2)
Efecto del fraguado	No retardante	
Efecto de sobredosificación	Puede producir exudación	

### Información del Sistema

#### Detalles de Aplicación

Consumo/Dosificación	Dosificación recomendada: Para media trabajabilidad: 0,2-0,8% del peso del cemento Para una alta trabajabilidad, con baja relación agua/cemento y para hormigón autocompactable: 1,0-1,5 % del peso del cemento.
----------------------	--

#### Condiciones de Aplicación/Limitaciones

Compatibilidad	El Sika ViscoCrete®-3425 se combina con los siguientes productos Sika entre otros: <ul style="list-style-type: none"> <li>- SikaPump®</li> <li>- Sika® Ferrogard®-901</li> <li>- Sikafume®</li> <li>- SikaRapid®</li> <li>- Sika® Stabilizer®-229</li> <li>- Sika® Retarder®</li> </ul> Se recomienda hacer ensayos antes de combinar los productos.
----------------	--

#### Instrucciones de Aplicación

Incorporación al hormigón	El Sika ViscoCrete®-3425 se añadirá al agua de amasado o a la mezcla de hormigón.
Método de aplicación/ Herramientas	Se deben seguir las reglas de buena práctica del hormigonado en cuanto a producción y colocación. El hormigón debe curar adecuadamente.
Notas de aplicación/ Limitaciones	<i>Hormigón auto compactable:</i> Para la realización de hormigones autocompactables con Sika ViscoCrete®-3425 se deben hacer diseños del hormigón específicos. <i>Heladas:</i> Si el Sika ViscoCrete®-3425 se helase, puede utilizarse sin que se vea disminuida ninguna de sus propiedades después de deshelarse lentamente a temperatura ambiente y agitado cuidadosamente.
Notas	Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

#### Instrucciones de Seguridad e Higiene

Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.

#### Notas Legales

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil, de acuerdo a las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno otorgado, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario de los productos debe realizar las pruebas para comprobar su idoneidad de acuerdo al uso que se le quiere dar. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben de conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos local, copia de las cuales se mandarán a quien las solicite, o también se pueda conseguir en la página «www.sika.es».





## Sika® Stabilizer-4R



### Aditivo estabilizador y cohesionante para hormigón bombeado y compactado

<b>Descripción del Producto</b>	Aditivo para hormigón, que mejora la mezcla en cuanto a viscosidad, estabilidad y cohesión, que se emplea en hormigones muy líquidos, autocompactables y bombeados
<b>Usos</b>	<p><i>Está particularmente indicado para la confección de hormigones con contenido de finos muy variable, con bajo contenido de cemento o granulometría desfavorable, con poder inadecuado de retención de agua, que durante el bombeo tienden a disgregarse causando prestiones grandes. Algunos usos son:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Hormigón bajo agua.</li> <li>■ Hormigón bombeado.</li> <li>■ Hormigón muy fluido, con mucho agua.</li> <li>■ Hormigón autocompactante (H.A.C.)</li> <li>■ Trabajos de inyección.</li> </ul>
<b>Características/Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Aumenta enormemente la cohesión interna del hormigón fresco, reduciendo la segregación incluso con contenidos elevados de agua.</li> <li>■ Es compatible con otros aditivos.</li> <li>■ No tiene influencia sobre otras propiedades del hormigón.</li> <li>■ Utilizado en las dosificaciones indicadas no produce ningún efecto secundario negativo sobre el hormigón.</li> </ul>
<b>Ensayos</b>	
<b>Certificados/Normas</b>	Cumple con la Norma UNE -EN 934-2, tabla 4:retenedor de agua.
<b>Datos del Producto</b>	
<b>Forma</b>	
<b>Apariencia/Color</b>	Líquido marrón semi-viscoso
<b>Presentación</b>	Contenedores de 1 m <sup>3</sup>
<b>Almacenamiento</b>	
<b>Condiciones de almacenamiento/Conservación</b>	6 meses desde su fecha de fabricación, en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados. En lugar seco y fresco protegiéndolos de las heladas y el frío excesivo, a una temperatura entre +5 °C y +30 °C
<b>Datos Técnicos</b>	
<b>Composición química</b>	Polsacáridos
<b>Densidad (20 °C)</b>	Aprox. 1,0 kg/l
<b>Contenido en sólidos</b>	Aprox. 3 - 3,5 %
<b>Valor del pH</b>	Aprox. 8,5 - 9,5





## Información del Sistema

### Detalles de Aplicación

Consumo/Dosificación	Del 0,2% al 2% del peso del cemento, hasta el 4% para usos especiales.
Instrucciones de aplicación	<p>Se añade a la homigonera junto con el agua de amasado (no dosificar sobre la mezcla seca de áridos/cemento).</p> <p>El efecto óptimo de este producto se alcanza amasando la mezcla durante al menos un minuto por cada metro cúbico.</p>

Notas de aplicación/ Limitaciones	<p>Normalmente se utiliza conjuntamente con un superplastificante del tipo Sika-ment® o Sika Viscocrete® sin que se perjudiquen sus cualidades.</p> <p>La adición de este producto permite elaborar hormigones de alta calidad. Cuando se utiliza, deben respetarse las normas generales para la elaboración, manipulación y curado del hormigón.</p> <p>Si se sobredosifica se pueden producir retrasos de fraguado.</p> <p>En combinación con los productos mencionados es mejor realizar ensayos previos para determinar las dosificaciones adecuadas.</p> <p>Cuando se utilice en combinación con aditivos no fabricados por SIKKA se deben realizar previamente ensayos de compatibilidad.</p> <p>En caso de que se hubiera congelado, puede utilizarse de nuevo sin que se vea disminuida ninguna de sus cualidades, después de deshelarlo lentamente a temperatura ambiente, sin dejar de agitar.</p> <p>Para cualquier aclaración rogamos consulten a nuestro Departamento Técnico.</p>
--------------------------------------	---

Notas	<p>Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.</p>
-------	---

Instrucciones de Seguridad e Higiene	<p>Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.</p>
--------------------------------------	--

Notas Legales	<p>Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil, de acuerdo a las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario de los productos debe realizar las pruebas para comprobar su idoneidad de acuerdo al uso que este quiere dar. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Los derechos de propiedad de terceros partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben de conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos local, copia de las cuales se mandarán a quien las solicite, o también se puede conseguir en la página «www.sika.se».</p>
---------------	--





## Sikatard®

### Estabilizador de fraguado para mortero

<b>Descripción del Producto</b>	Aditivo líquido para hacer mortero estabilizado. Esta exento de cloruros.
<b>Usos</b>	<p>Para confeccionar cualquier tipo de mortero de cemento con un tiempo de puesta en obra prolongado para:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Asiento de fábrica de ladrillo, de bloques...</li> <li>■ Rejuntado.</li> <li>■ Enfoscados, revocos, etc.</li> <li>■ Morteros estabilizados.</li> </ul>
<b>Características/Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Se pueden fabricar grandes volúmenes de mortero y utilizarlo fraccionadamente.</li> <li>■ Debido al retraso controlado de fraguado, el mortero conserva las propiedades de «recién hecho» durante un tiempo prolongado, pero una vez colocado el fraguado se desarrolla normalmente.</li> <li>■ Después de cada jornada de trabajo, la limpieza de los recipientes de almacenamiento y herramientas es más fácil al conservarse el mortero fresco.</li> </ul>
<b>Datos del Producto</b>	
<b>Forma</b>	
<b>Apariencia/Colores</b>	Líquido marrón.
<b>Presentación</b>	Garrafa de 30 kg, bidón de 200 kg y contenedor de 1 m <sup>3</sup> . bajo pedido puede suministrarse a granel.
<b>Almacenamiento</b>	
<b>Condiciones de almacenamiento/Conservación</b>	1 año, desde su fecha de fabricación, en sus envase de origen bien cerrados y no deteriorados. En lugar seco y fresco, al abrigo de las heladas.
<b>Datos Técnicos</b>	
<b>Composición química</b>	Solución acuosa de sales de sodio.
<b>Densidad</b>	Aprox. 1,17 kg/l.
<b>Valor de pH</b>	Aprox. 6
<b>Contenido en sólidos</b>	Aprox. 35%





## Información del Sistema

### Detalles de Aplicación

<b>Consumo/Dosificación</b>	Variable entre el 0.5% y el 1.5% del peso de cemento.  Para determinar la dosificación óptima, de acuerdo con el retraso deseado, es necesario hacer ensayos ya que dicho retraso dependerá entre otros factores del tipo de cemento utilizado, de su dosificación por cada m <sup>2</sup> , de la cantidad y calidad de la arena, de su granulometría, de las condiciones climatológicas, etc.
-----------------------------	---

### Instrucciones de Aplicación

<b>Mezclado</b>	Se adiciona con el agua de amasado y no directamente sobre la mezcla seca cemento-arena.
-----------------	--

<b>Notas de aplicación/ Límites</b>	Con el fin de complementar los efectos del Sikatar <sup>®</sup> se utiliza el plastificante aireante Sikanol <sup>®</sup> M. El uso de ambos aditivos cumple con la Norma UNE-EN 934-3. T3: como aditivo fuertemente retardado a igual consistencia.  Con Sikatar <sup>®</sup> se puede retardar el fraguado hasta 48 horas o más, siendo utilizable el mortero durante ese tiempo.  El producto helado puede utilizarse después de deshelarlo lentamente y agitarlo cuidadosamente.
---	--

<b>Notas</b>	Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.
--------------	--

<b>Instrucciones de Seguridad e Higiene</b>	Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.
---	---

<b>Notas Legales</b>	Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil, de acuerdo a las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario de los productos debe realizar las pruebas para comprobar su idoneidad de acuerdo al uso que se le quiere dar. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben de conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos local, copia de las cuales se mandarán a quien las solicite, o también se puede conseguir en la página «www.sika.es».
----------------------	--





## **ANEXO III**

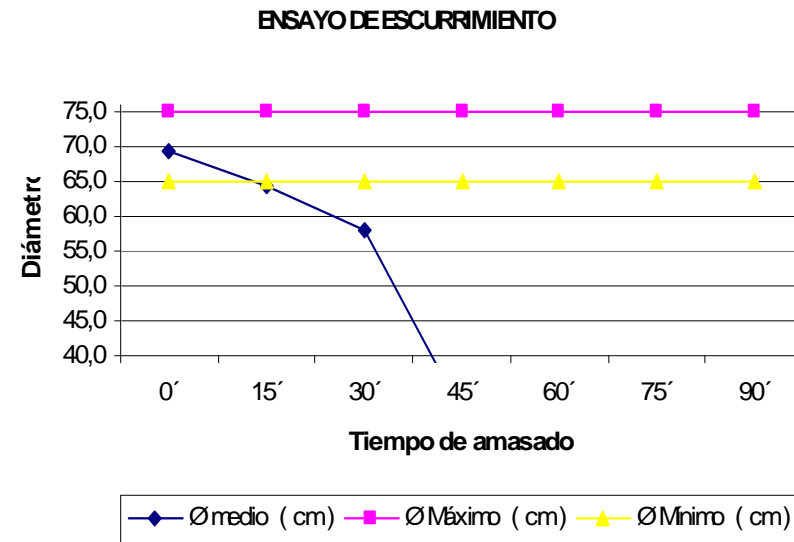
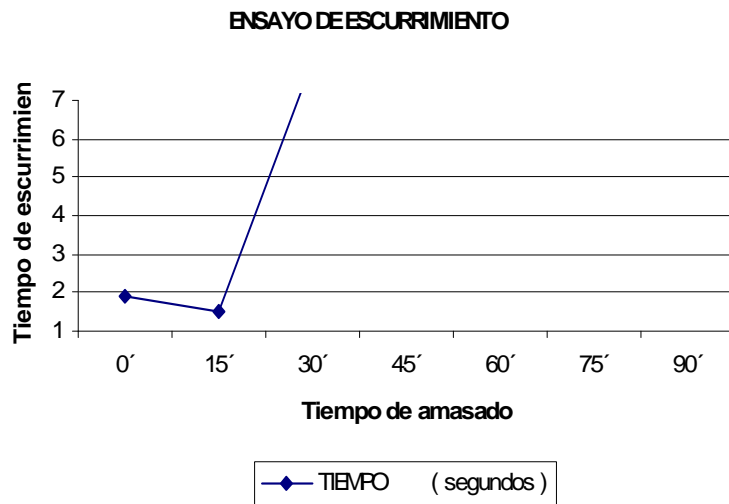
# **RESULTADOS**





**DOSIFICACIÓN SIN RETARDADOR**

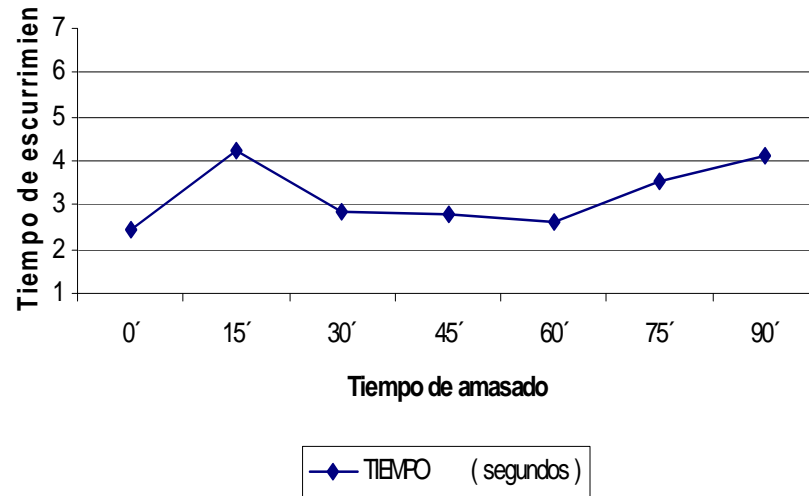
ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0´	15´	30´	45´	60´	75´	90´
ESCURRIMIENTO	Ø medio ( cm )	69,3	64,3	58,0	31,8	SECO	SECO	SECO
	TIEMPO ( segundos )	1,895	1,525	8	Infinito	Infinito	Infinito	Infinito



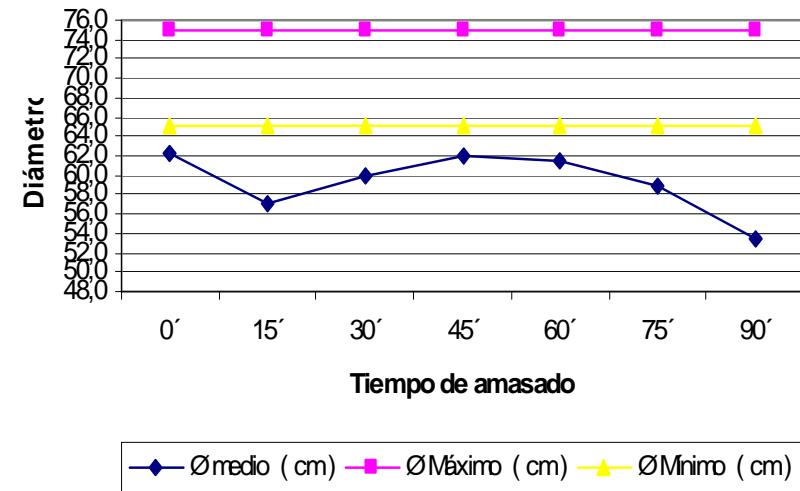
**DOSIFICACIÓN CON RETARDADOR 1,5%**

ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0'	15'	30'	45'	60'	75'	90'
ESCURRIMIENTO	Ø medio ( cm )	62,3	57,0	60,0	62,0	61,5	59,0	53,5
	TIEMPO ( segundos )	2,445	4,21	2,825	2,8	2,6	3,555	4,09

ENSAYO DE ESCURRIMIENTO



ENSAYO DE ESCURRIMIENTO



**DOSIFICACIÓN CON RETARDADOR 1%**

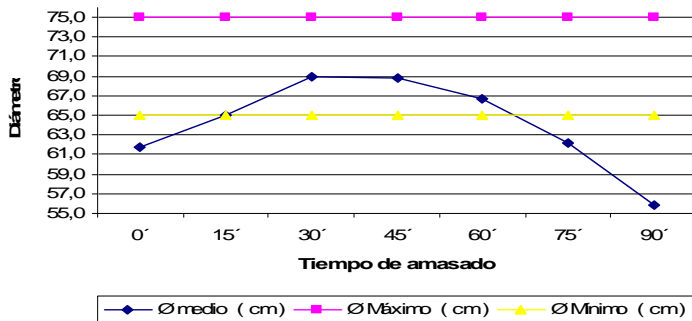
ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0´	15´	30´	45´	60´	75´	90´
ESCURRIMIENTO	Ø medio ( cm )	61,8	65,0	69,0	68,8	66,7	62,2	55,8
	TIEMPO ( segundos )	2,47	2,43	2,44	2,54	2,72	2,93	4,89

ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0´	15´	30´	45´	60´	75´	90´
ESCURRIMIENTO CON ANILLO JAPONES	Ø medio ( cm )	64,5	65,5	66,5	68,0	63,5	61,5	52,5
	TIEMPO ( segundos )	3,26	2,66	2,10	2,03	4,16	6,19	6,37
	1) H exterior	11	11	11	10,5	10,8	11,2	9,7
	1) H interior	9	9,5	9,5	10,2	9	9,4	8,4
	2) H exterior	11,2	10,8	10,6	10,7	10	11,4	9,5
	2) H interior	8,8	9,7	9,6	9,9	9,3	8,9	8
	3) H exterior	10,8	10,5	10,6	10,5	10	10,5	10
	3) H interior	8,8	9,4	9,5	10	9,5	9,4	8,3
	4) H exterior	11,5	10,7	10,6	10,3	10,5	11	10
	4) H interior	9	9,5	9,8	10	9,4	9,4	8,4

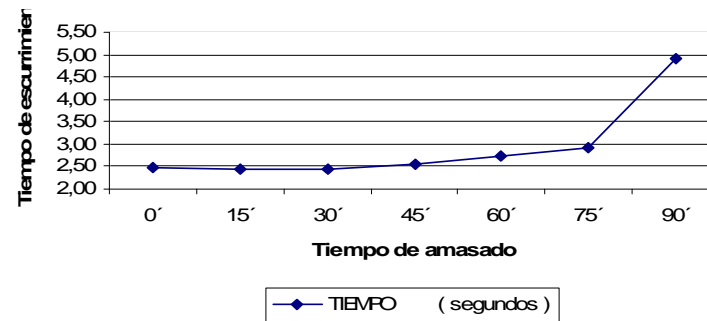
ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0´	15´	30´	45´	60´	75´	90´
EMBUDO EN V	TIEMPO ( segundos )	5,28	5,44	5,51	5,84	7	7,42	9,47



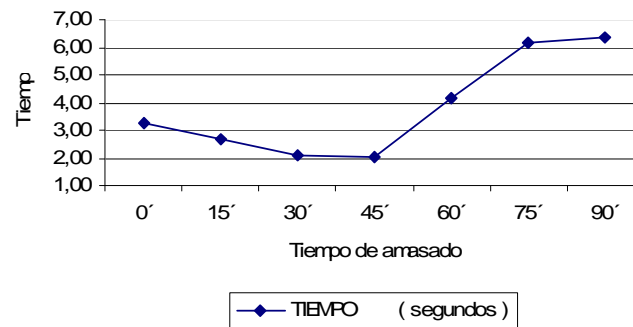
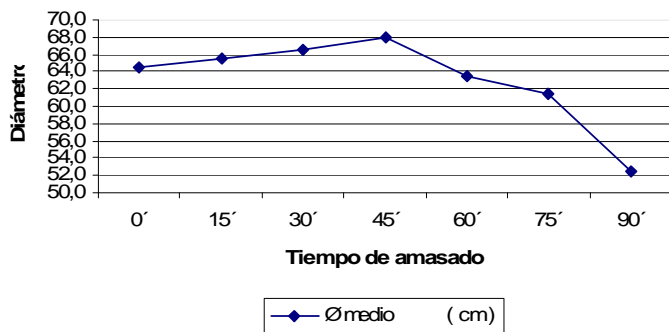
ENSAYO DE ESCURRIMIENTO



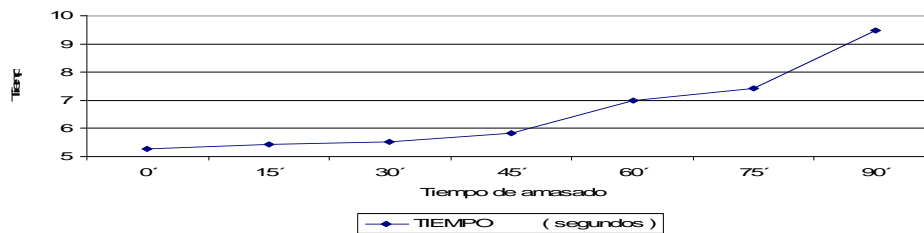
ENSAYO DE ESCURRIMIENTO



ENSAYO DEL ANILLO JAPONÉS



ENSAYO DE EMBUDO EN V



**DOSIFICACIÓN CON RETARDADOR 0,5%**

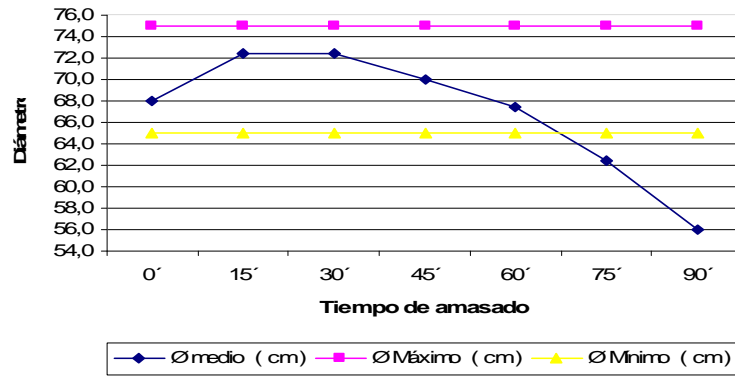
ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0´	15´	30´	45´	60´	75´	90´
ESCURRIMIENTO	Ø medio ( cm )	68,0	72,5	72,5	70,0	67,5	62,5	56,0
	TIEMPO ( segundos )	2,53	1,84	1,82	2,59	2,47	3,25	4,03

ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0´	15´	30´	45´	60´	75´	90´
ESCURRIMIENTO CON ANILLO JAPONES	Ø medio ( cm )	72,5	77,0	73,0	72,5	66,5	62,5	53,5
	TIEMPO ( segundos )	2,75	1,97	2,03	2,09	2,62	3,70	5,41
	1) H exterior	10,6	11,0	11,0	11,0	10,5	10,2	9,9
	1) H interior	10,5	10,8	9,5	10,1	10,0	9,0	8,0
	2) H exterior	10,7	10,9	11,0	10,8	10,6	10,2	9,7
	2) H interior	10,6	10,5	9,4	10,4	9,8	9,2	8,5
	3) H exterior	10,8	11,1	11,5	10,7	10,6	10,3	9,9
	3) H interior	10,5	10,6	9,6	10,5	10,0	9,0	8,0
	4) H exterior	10,5	11,3	11,2	10,9	11,0	10,6	10,1
	4) H interior	10,6	10,7	9,6	10,1	9,3	8,9	8,5

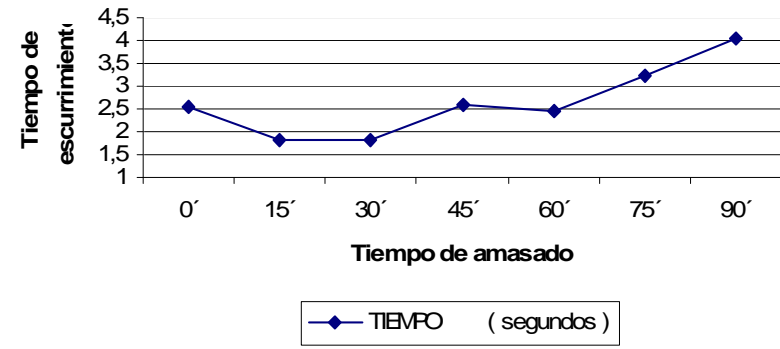
ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0´	15´	30´	45´	60´	75´	90´
EMBUDO EN V	TIEMPO ( segundos )	8,91	4,68	7,84	6,02	8,62	11,18	11,62



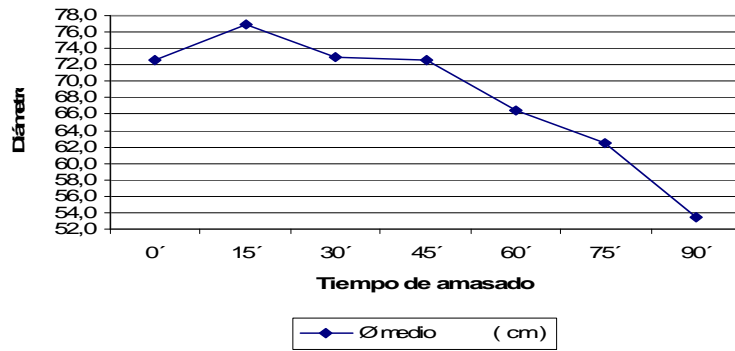
ENSAYO DE ESCURRIMIENTO



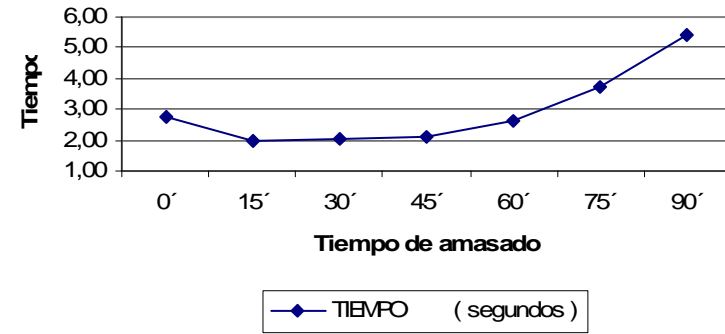
ENSAYO DE ESCURRIMIENTO



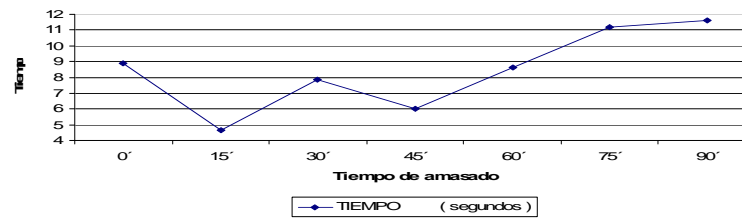
ENSAYO DE ANILLO JAPONÉS



ENSAYO DE ANILLO JAPONÉS



ENSAYO DE EMBUDO EN V



**DOSIFICACIÓN CON RETARDADOR 0,75%**

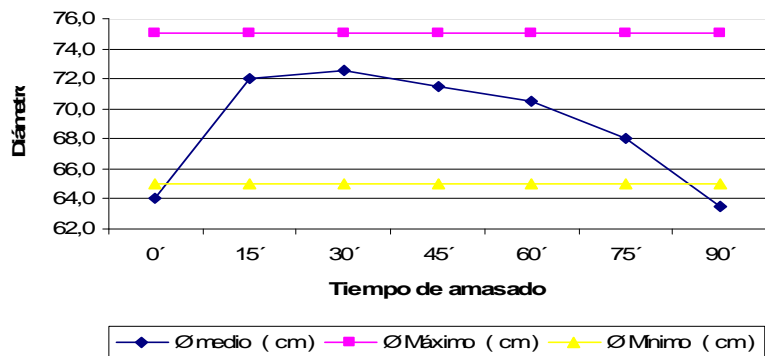
ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0´	15´	30´	45´	60´	75´	90´
ESCURRIMIENTO	Ø medio ( cm )	64,0	72,0	72,5	71,5	70,5	68,0	63,5
	TIEMPO ( segundos )	2,13	1,87	1,62	1,91	1,90	2,34	2,41

ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0´	15´	30´	45´	60´	75´	90´
ESCURRIMIENTO CON ANILLO JAPONES	Ø medio ( cm )	64,0	73,5	72,0	70,5	70,5	65,5	64,5
	TIEMPO ( segundos )	2,91	2,06	2,45	2,89	2,98	3,34	3,72
	1) H exterior	10,8	10,8	10,8	10,6	10,8	10,6	10,4
	1) H interior	9,3	10,2	9,5	9,9	9,6	9,4	9,7
	2) H exterior	10,6	10,9	10,7	11	10,9	10,8	10,4
	2) H interior	8,9	10,6	10,1	10,1	10	9,3	9,5
	3) H exterior	10,8	10,8	10,9	10,6	10,9	10,5	10,6
	3) H interior	9,6	10,2	9,5	10,2	10,1	9,6	9,7
	4) H exterior	11	11,1	11	10,7	10,9	10,5	10,5
4) H interior	9,3	10,5	10,3	9,8	9,9	9,8	9,7	

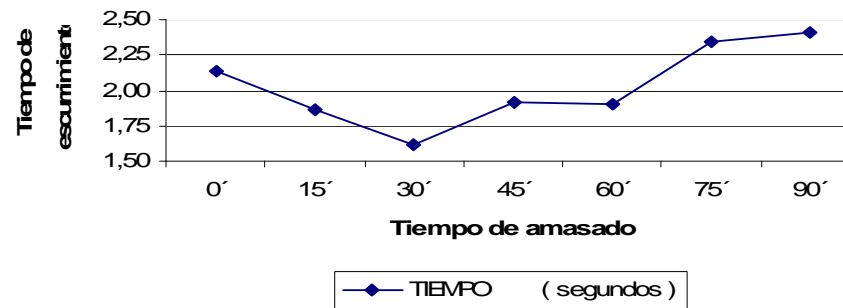
ENSAYO		TIEMPO ( minutos )						
		0´	15´	30´	45´	60´	75´	90´
EMBUDO EN V	TIEMPO ( segundos )	5,69	4,78	4,57	4,93	5,32	5,78	5,91



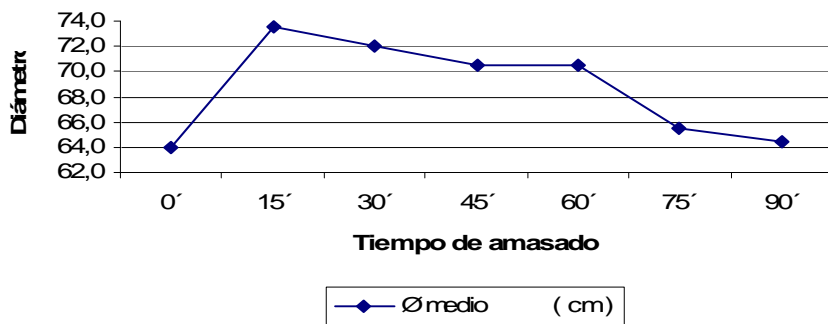
ENSAYO DE ESCURRIMIENTO



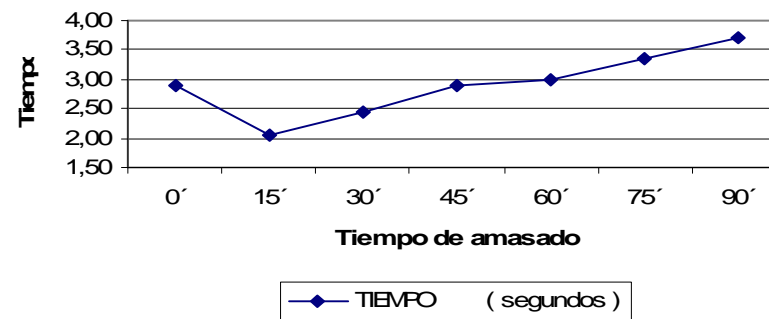
ENSAYO DE ESCURRIMIENTO



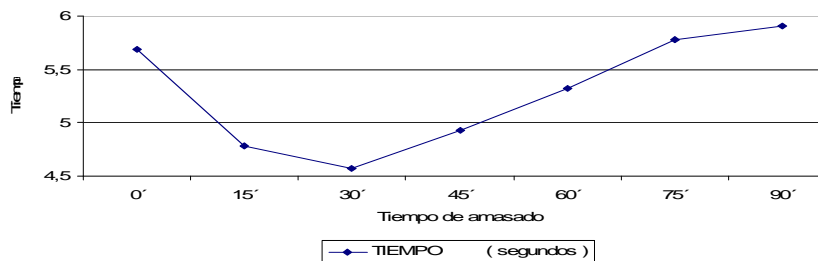
ENSAYO DE ANJO JAPONÉS



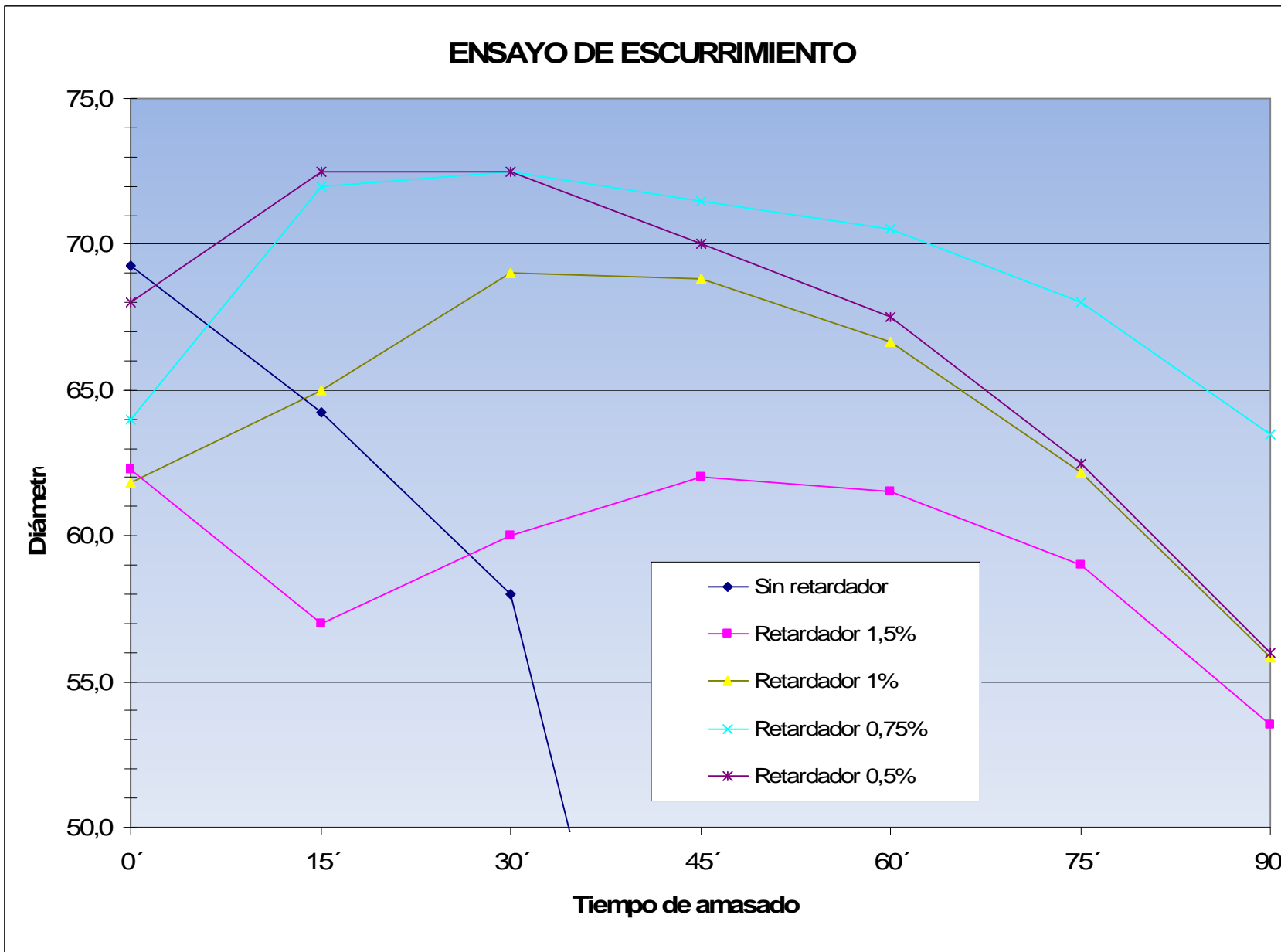
ENSAYO DE ANILLO JAPONÉS

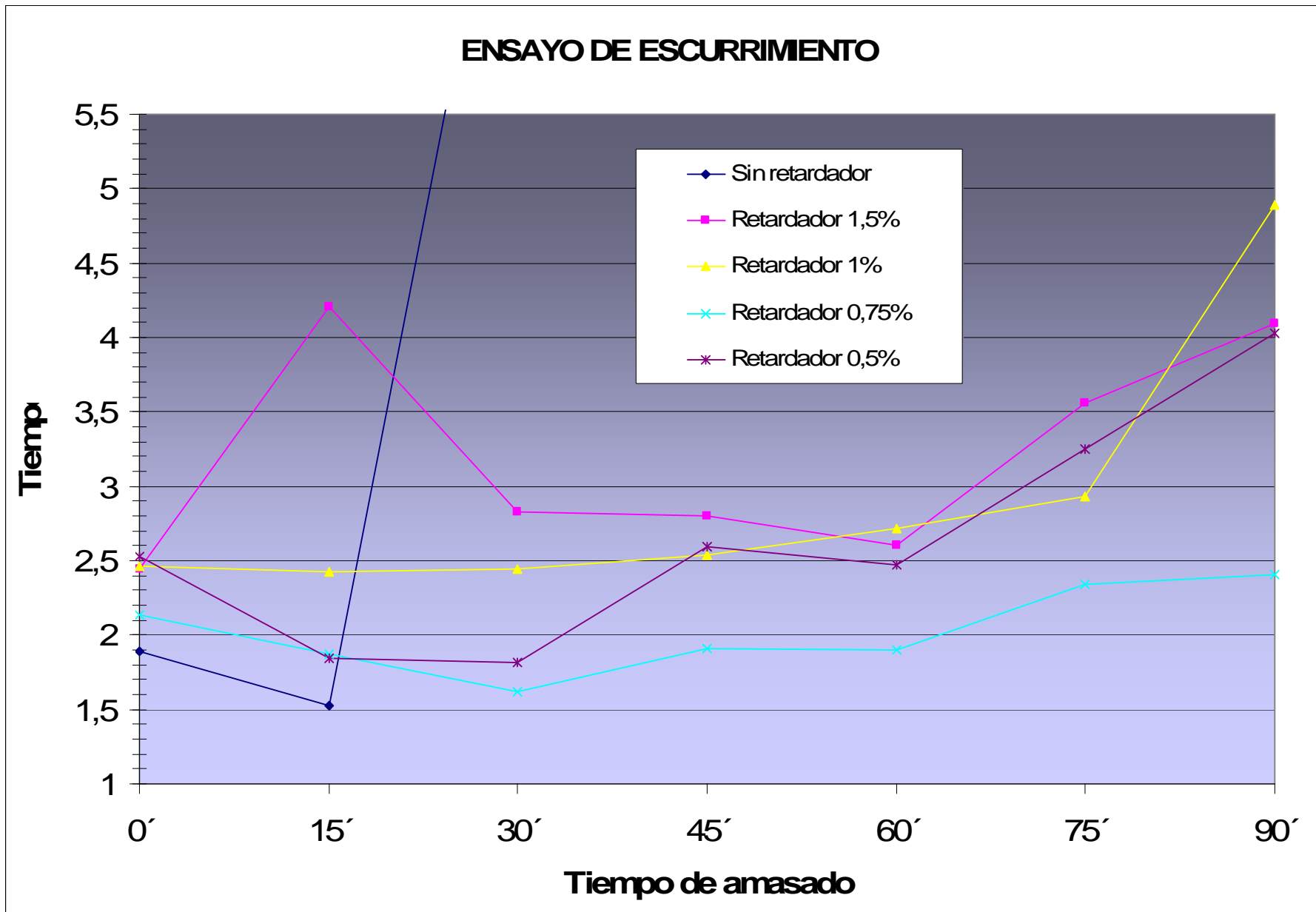


ENSAYO DE EMBUDO EN V

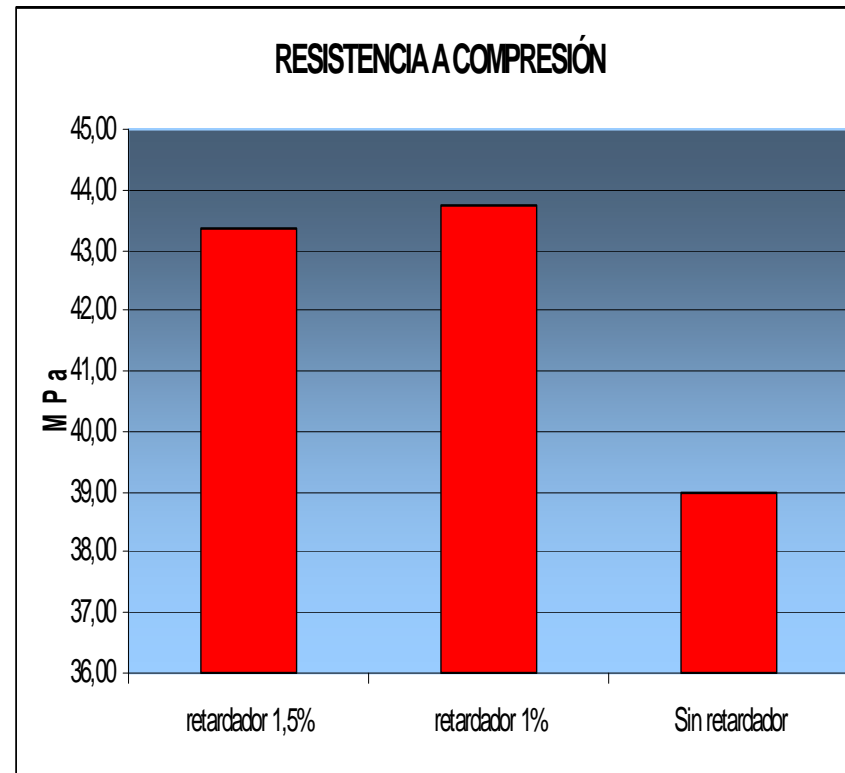
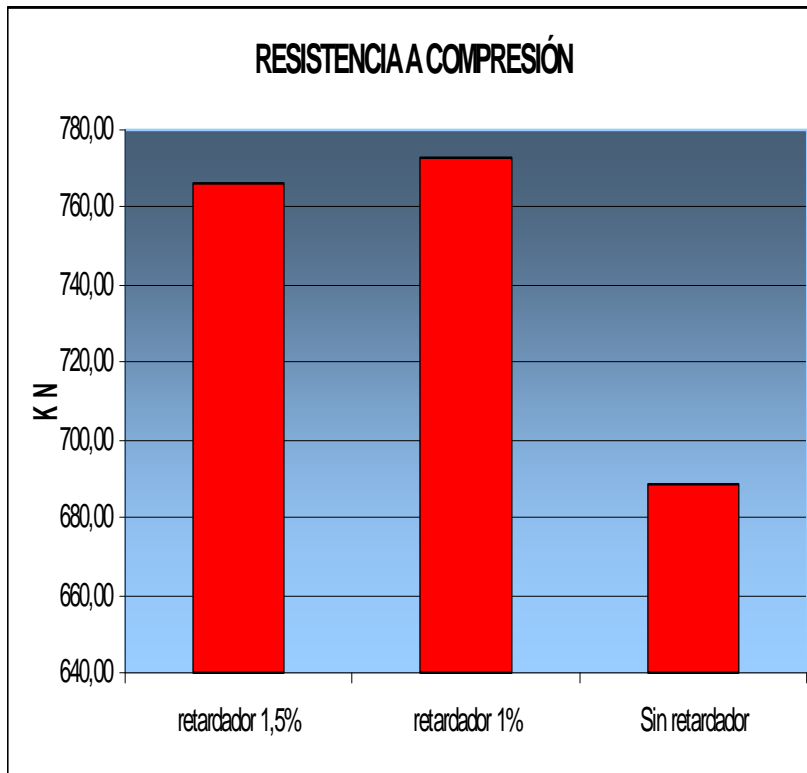








### RESISTENCIA A COMPRESIÓN



PROBETA	KN ( 1 )	Mpa ( 1 )	KN ( 2 )	Mpa ( 2 )	KN	Mpa
SIN RETARDADOR	658,00	37,23	626,90	35,48	642,45	36,35
SIN RETARDADOR	730,00	41,31	739,70	41,86	734,85	41,58
<b>MEDIA SIN RETARDADOR</b>	694,00	39,27	683,30	38,67	<b>688,65</b>	<b>38,97</b>
RETARDADOR 1,5%	766,20	43,36			<b>766,20</b>	<b>43,36</b>
RETARDADOR 1%	769,90	43,57	776,20	43,92	<b>773,05</b>	<b>43,75</b>



