



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE  
VALENCIA**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN**



**PROYECTO FINAL DE GRADO INGENIERIA  
DE EDIFICACIÓN**

**ESTUDIO DE LA ROBUSTEZ EN  
EL HORMIGÓN  
AUTOCOMPACTANTE CON  
BAJO CONTENIDO DE FINOS**

**SERGIO CREMADES ESCRIG**

***DIRECTORES:* LUIS GARCÍA BALLESTER**

**JOSÉ RAMÓN ALBIOL IBÁÑEZ**

**JUNIO 2011**



# ÍNDICE

---

<b>Capítulo 1 - Objetivos</b> .....	1
<b>Capítulo 2 – Estudio del Arte</b> .....	3
2.1 - Introducción .....	4
2.2 - Materiales empleados para fabricar HAC .....	6
2.2.1 - Introduccion .....	6
2.2.2 - Cemento .....	6
2.2.3 - Áridos.....	7
2.2.3.1 - Árido fino.....	7
2.2.3.2 - Árido grueso .....	7
2.2.4 - Adiciones .....	8
2.2.5 - Aditivos.....	9
2.2.5.1 - Aditivo superplastificante.....	9
2.2.5.2 - Aditivo modulador de viscosidad .....	10
2.2.6 - Agua .....	10
2.3 - Métodos de dosificación.....	11
2.3.1 - Introducción .....	11
2.3.2 - Ensayos previos sobre pasta y morteros .....	12
2.3.3 - Método de dosificación CBI .....	14
2.3.4 - Método de dosificación LCPC .....	15
2.3.5 - Método general de dosificación .....	15
2.3.6 - Métodos de dosificación basados en el método zeneral.....	16
2.3.7 - Método de dosificación JSCE.....	18
2.3.8 - Método de dosificación UPC .....	18
2.3.9 - Método de dosificación EFNARC.....	20
2.3.10 - Método de dosificación ACI.....	20
2.3.11 - Composición orientativa de la mezcla .....	21
2.3.12 - Designación del hormigón autocompactante .....	23
2.4 - Caracterización del hac en estado fresco.....	25
2.4.1 - Propiedades en estado fresco .....	25
2.4.1.1 - Reología .....	25
2.4.1.2 - Capacidad de relleno .....	27
2.4.1.3 - Capacidad de paso .....	27
2.4.1.4 - Resistencia a la segregación .....	28
2.4.1.5 - Fiabilidad .....	28
2.4.1.6 - Tiempo abierto .....	28
2.4.1.7 - Robustez.....	29
2.4.2 - Métodos de ensayos para la caracterización del HAC.....	30
2.4.2.1 - Ensayo de escurrimiento.....	31
2.4.2.2 - Ensayo de escurrimiento con el anillo japonés .....	34

2.4.2.3 - Ensayo de la caja en L.....	38
2.4.2.4 - Ensayo del embudo en V .....	40
2.4.2.5 - Otros ensayos .....	41
2.4.3 - Exigencias de autocompatibilidad.....	43
2.5 - Caracterización del HAC en estado endurecido .....	45
2.5.1 - Resistencia a compresión.....	45
<b>Capítulo 3 - Fase experimental.....</b>	<b>46</b>
3.1 - Introducción.....	47
3.2 - Criterios de diseño .....	47
3.3 - Características materiales utilizados.....	47
3.3.1 - Materiales empleados.....	47
3.3.1.1 - Áridos .....	47
3.3.1.2 - Cemento .....	49
3.3.1.3 - Agua .....	50
3.3.1.4 - Aditivos.....	50
3.4 - Plan experimental.....	51
3.4.1 - Proceso de fabricación del hormigón autcompactante.....	51
3.4.2 - Tipo de probetas.....	54
3.4.3 - Ensayos en estado fresco.....	56
3.4.3.1 - Ensayo de escurrimiento.....	56
3.4.3.2 - Ensayo de anillo japonés.....	57
3.4.3.3 - Ensayo del embudo en V .....	58
3.4.4 - Ensayos en estado endurecido .....	59
3.4.4.1 - Ensayo de resistencia a compresión .....	59
3.5 - Dosificaciones adoptadas.....	59
<b>Capítulo 4 – Análisis de los resultados .....</b>	<b>60</b>
4.1 - Resultados .....	61
4.1.1- Resultados de los ensayos en estado fresco .....	61
4.1.1.1 - Ensayo de escurrimiento.....	62
4.1.1.2 - Ensayo de escurrimiento con el anillo japonés .....	63
4.1.1.3 - Ensayo del embudo en V .....	64
4.1.2 - Resultados de los ensayos en estado endurecido.....	65
4.1.2.1 - Ensayo de resistencia a compresión .....	65
<b>Capítulo 5 - Líneas de trabajo futuras .....</b>	<b>66</b>
<b>Capítulo 6 - Conclusiones .....</b>	<b>69</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>71</b>

Anejo 1 - Resultados de los ensayos del hormigón fresco de las dosif. de prueba .....	76
Anejo 2 - Dosificaciones adoptadas .....	83
Anejo 3 - Resultados de los ensayos de hormigón fresco para las dosif. adoptadas .....	85
Anejo 4 - Resultados de los ensayos de horm. endurecido para las dosif. adoptadas ...	122
Anejo 5 - Fotografías de los ensayos de horm. fresco de las dosif. adoptadas .....	150
Anejo 6 - Resultados del ensayo de la granulometría .....	160

# **CAPÍTULO 1**

## **OBJETIVOS**

Este trabajo final de Grado se inicia con la idea de continuar con el estudio de los hormigones autocompactantes del departamento de Materiales Avanzados de la Escuela de Ingeniería de la Edificación de la Universidad Politécnica de Valencia. A continuación se describen los objetivos de este proyecto:

- Realizar un profundo estudio bibliográfico, identificar los métodos, procedimientos y propuestas de dosificación utilizados en la obtención de este material, así como analizar el comportamiento y los efectos del HAC (hormigón autocompactante).
- Identificar qué cambios sufre el HAC en estado fresco, lo comprobaremos con ensayos que realizaremos más adelante, y que desarrollaremos, basándonos en las normas vigentes.
- A partir de una mezcla optimizada, que a priori funciona de manera idónea, averiguar como de robusta es, y que cambios se producen variando la cantidad de agua total, ya sea por humedad del árido o por ser añadida sin más.
- Obtención de resultados indicativos de las cualidades de las dosificaciones de Hormigón autocompactante analizadas en el laboratorio de la E.T.S.I.E.
- Aportar soluciones para que el momento de la puesta en obra sea exitosa y el hormigón aporte a la estructura todas las características que se nos pide en el proyecto inicial.

# **CAPÍTULO 2**

**Estudio de Arte del HAC**

## 2.1 – INTRODUCCIÓN

El hormigón autocompactante, es un concepto nuevo, donde el material, métodos de diseño de la mezcla y control del hormigón fresco difieren del hormigón tradicional.

En los últimos años se han realizado investigaciones para el desarrollo del hormigón autocompactante, con la finalidad de encontrar una nueva forma de ver el hormigón que puede revolucionar el mundo de la construcción en cuanto a la mejora de la calidad de la obra y de las condiciones de trabajo.

Lo que se pretende con el hormigón autocompactante es obtener un hormigón, que sin necesidad de vibración o de cualquier otro método de compactación, sea capaz de rellenar todos los rincones del encofrado pasando a través de las armaduras sin que se produzca segregación del árido grueso.

Este hormigón debe ir acompañado de una correcta dosificación que debe tener en cuenta las características particulares del material a preparar, el tipo de elemento para el cual se va a utilizar y los métodos de control propios del HAC.

El primer ejemplo se desarrolló en Japón en 1986, por el profesor Hajima Okamura del Department of Civil Engineering University of Tokio, empleando escoria granulada de alto horno y cenizas volantes junto con un plastificante o aditivo químico, cuyos objetivos principales se perfilaron para sus dos estados:

- En el estado fresco, una autocompactación que resistiera a la segregación. A edad temprana, evitar la formación de fisuras, generadas por la generación del calor que proviene de la hidratación del cemento, el endurecimiento o la retracción por secado.
- En el estado endurecido, debía brindar una protección contra factores agresivos externos, es decir, presentar una permeabilidad muy baja y ser resistente a las heladas.

Estos factores ayudaron a la aparición del hormigón autocompactante, que se ha empleado en muchas estructuras por las siguientes razones:

- Mayor productividad.
- Disminución de los plazos de construcción.
- Ahorro en mano de obra.
- Mejor entorno de trabajo.
- Mayor calidad de los elementos hormigonados.
- Adaptabilidad en condiciones difíciles.

Otra de las razones para el empleo del hormigón autocompactante es el hecho de que es una tecnología orientada a la preservación del medio ambiente. El HAC

incorpora subproductos industriales que contribuyen al desarrollo sostenible de la tecnología del hormigón.

Entre los subproductos industriales más adecuados se encuentran el humo de sílice, las cenizas volantes y las escorias de alto horno pues mejoran algunas propiedades del hormigón. Esto se debe a que estos materiales actúan como microfílleres que mejoran el relleno en la interfaz pasta de cemento - árido, formando una microestructura más densa y homogénea en la zona de transición. Además se produce una reacción puzolánica con el hidróxido de calcio (CH) acelerando la hidratación del cemento. Cuanto más finas y más vítreas son estas puzolanas, más rápido se produce la reacción con el CH. Por tanto, los morteros y hormigones que incorporan estos materiales ven mejoradas su resistencia a compresión y su durabilidad.

La tecnología de estos hormigones se basa fundamentalmente en el uso de un aditivo superfluidificante reductor de agua de alta eficacia cuya base química es un éter policarboxílico, que con su nuevo Mecanismo de Eficacia Sucesiva (MDES) reduce enormemente el problema de la rápida pérdida de asentamiento. Como parte de su química, una segunda molécula del mismo reacciona atrasada respecto a la primera. La alcalinidad creciente de la lechada de cemento durante la mezcla y la puesta en obra del hormigón, activa y conduce la segunda molécula. Esta acción diferida hace posible un tiempo de trabajabilidad más largo del hormigón fresco sin los indeseables efectos secundarios de retardos en el fraguado.

Este aditivo entra a formar parte del diseño del HAC para conseguir un hormigón de mayores prestaciones permitiendo reducciones de agua de hasta el 40%, con dosificaciones del 1-1,5% respecto de la masa del cemento, con excelente mantenimiento de la trabajabilidad como ya se ha indicado anteriormente (Efecto MDES).

El secreto del aditivo radica en su gran capacidad dispersante. Consta de una molécula larga y flexible, que contiene grupos carboxílicos cargados negativamente que provocan la repulsión electrostática entre las partículas de cemento.

Asociadas a la cadena principal, las moléculas del aditivo presentan largas cadenas laterales que dan lugar a una 'repulsión estérica'. Esta repulsión estérica es el gran avance aportado ya que evita la floculación del cemento incluso cuando la reacción de hidratación ya ha comenzado.

El desarrollo de esta tecnología, como se dijo anteriormente, se ha producido en Japón, pero todavía no ha penetrado en los diferentes mercados en gran escala.

Se está trabajando en dicho país para que más del 50 % de las obras sean realizadas con esta tecnología durante el presente año.

De los 1.200.000 m<sup>3</sup> de HAC que se han colocado en Japón, el 20-30% pertenece a edificios y en cuanto a la producción correspondiente a hormigón elaborado representa solamente el 0,1%.

En nuestro país, se está tratando de desarrollar a fondo esta tecnología dado que este tipo de hormigón (HAC) será seguramente un material de aplicación continua en las construcciones de primer orden.

## **2.2 - MATERIALES EMPLEADOS PARA FABRICAR HAC**

### **2.2.1 – INTRODUCCION**

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.

### **2.2.2 – CEMENTO**

No existen requerimientos especiales en cuanto el tipo de cemento. Tanto el cemento I como el tipo II son perfectamente utilizables, incluso cementos compuestos. En algunas publicaciones se recomienda limitar el contenido de C<sub>3</sub>A del cemento o emplear cementos con bajo calor de hidratación para minimizar los problemas de retracción que una masa con tanta cantidad de finos puede generar.

La cantidad mínima de cemento recomendada es 350 kg/m<sup>3</sup> para satisfacer la demanda de finos y de tal modo que ésta esté equilibrada con la cantidad de adición y con la demanda de agua. Esta cantidad es relativa ya que estará en relación al tipo de adición empleada (básicamente si es reactiva o no).

En general los requerimientos básicos en cuanto al tipo de cemento los marcará el tipo de aplicación. Por ello se recomienda los cementos I - 42.5 y I - 52.5 (y su variante R) para prefabricado y aplicaciones donde se demande elevada resistencia inicial y cementos tipo II para hormigón preparado con mayor demanda de mantenimiento de la consistencia.

### **2.2.3 – ARIDOS**

#### **2.2.3.1 - ARIDO FINO**

No existen limitaciones en cuanto a la naturaleza de las arenas empleadas. Sobre su distribución de tamaños, es necesario emplear arenas continuas, sin cortes en su granulometría, y preferiblemente sin formas lajosas (típico de las arenas silíceas machacadas) su cantidad deberá estar en la consonancia con la cantidad de grava. Generalmente el contenido de arena puede representar el 60-50 % de la cantidad de árido total, en función de la naturaleza y cantidad de la adición empleada y de cemento y de las características de la grava.

Es preferible un cierto aporte de finos (pase por el tamiz 0.08 o 0.063) por parte de las arenas ya que esto puede reducir la demanda de adición y cemento para corregir los 500-550 kg/m<sup>3</sup> de finos inferiores a 0.1 mm demandados.

Si se emplean arenas correctoras (con pase por el tamiz 0.08 o 0.063 cercanos al 10% o más) para satisfacer la demanda de finos su cantidad a emplear deberá estar en relación a la cantidad de finos demandada y a la cantidad de cemento empleada.

#### **2.2.3.2 – ARIDO GRUESO**

Las mayores exigencias en cuanto a materiales para la confección de hormigón autocompactable están en la grava. A pesar que no existe limitación en cuanto a su naturaleza, sí existen limitaciones con el tamaño máximo y el coeficiente de forma.

El tamaño máximo del árido se limita a 25 mm, aunque es preferible limitarlo a 20 mm. Evidentemente, el tamaño máximo del árido deberá guardar relación con la distancia entre armaduras, pero dado el caso que fuera posible trabajar con tamaños superiores a 20-25 mm no deberá excederse este tamaño ya que implica un elevado riesgo de bloqueo y segregación de la masa. De todas formas, los mejores resultados globales se consiguen empleando tamaños máximos entre 12-16 mm.

En cuanto al coeficiente de forma, este debe ser lo más bajo posible ya que las mejores propiedades autocompactables sin bloqueo y elevada fluencia del hormigón se consiguen con gravas rodadas. Las formas lajosas dificultan que el hormigón fluya adecuadamente y aumentan el riesgo de bloqueo.

#### 2.2.4 – ADICIONES

El empleo de adición es imprescindible para satisfacer la demanda de finos que requiere el hormigón autocompactable. Dentro de lo que se entiende como adición para hormigón autocompactable se incluye también la aportación de finos por parte de las arenas, en general el pase por el tamiz 0.08 o 0.063 (arenas correctoras). En cualquier caso, el empleo de adición es imprescindible para confeccionar el hormigón autocompactable.

Sobre la naturaleza de la adición, no existe limitación. Cenizas volantes, filler calizo (o de otra naturaleza), microsílíce, etc. Son perfectamente utilizables. En general, las cenizas volantes ofrecen grandes resultados en aplicaciones donde no se demande elevada resistencia inicial o se requiera elevado mantenimiento de la consistencia. Contrariamente, no representan la mejor opción en prefabricados. El empleo de cenizas permite trabajar con cantidades de cemento mas ajustadas debido a su puzolanidad pero debe asegurarse que la cantidad de la ceniza sea óptima. Cenizas con elevado contenido de residuo inquemado pueden provocar manchas negras en la superficie del hormigón ya que éstos, por diferencia de densidades y apoyado por la elevada fluidez del hormigón autocompactable, emergen con facilidad a la superficie.

En el campo del prefabricado y en general donde la demanda de resistencia inicial sea elevada, la adición más recomendada es el filler calizo (o por extensión arenas correctoras). El empleo de adición no reactiva implica trabajar con mayores cantidades de cemento pero como normalmente en este tipo de aplicaciones ya se trabaja con cantidades elevadas no representa un problema importante.

La microsílíce puede ser empleada en cualquier tipo de aplicación y a pesar que ofrece buenos resultados, tiene alguna limitación. En primer plano su cantidad está limitada por motivos de resistencia a flexión, motivos económicos y por su elevada cantidad de agua. Trabajar con microsílíce a las cantidades típicas generalmente no es suficiente para satisfacer la demanda de finos a no ser que la cantidad de cemento sea elevada y demande mayor cantidad de aditivo superplastificante por su elevado efecto cohesionante. Otra razón que limita el empleo de microsílíce es su alteración del aspecto (color) del hormigón a no ser que se emplee microsílíce blanca.

La utilización de caolines requiere que la cantidad de aditivo superfluidificante sea mucho mayor (EFNARC, 2005) con lo que podría producir problemas de segregación y exudación. El empleo de caolines como adición es utilizable pero requiere elevadas cantidades de aditivo superplastificantes debido a su elevada demanda de agua.

## 2.2.5 – ADITIVOS

### 2.2.5.1 - ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE / REDUCTOR DE AGUA DE ALTA ACTIVIDAD

El aditivo superplastificante es imprescindible para la confección de hormigón autocompactable. No todos los tipos son utilizables. Los aditivos basados en naftaleno-sulfonatos o condensados de melamina no ofrecen suficiente poder reductor de agua y en consecuencia, los únicos tipos utilizables son los basados en éter policarboxílico modificado, capaces de reducir agua en valores superiores al 35%.

- Naftaleno-Sulfonatos son productos resultantes del proceso de refinado del carbón. Como características principales destacaríamos que permiten reducir aproximadamente un 20 % el agua de amasado del hormigón, le confieren una buena manejabilidad al mismo y las resistencias a los 28 días suelen mejorar considerablemente. Tienen como efecto negativo que pueden ocluir aire en el hormigón, aunque en cantidades no demasiado elevadas.
- Melaminas-sulfonatos están basados en polímeros sintéticos. Confieren una reducción similar de agua a la de los aditivos basados en naftaleno y como característica fundamental podemos destacar que las resistencias a edades tempranas son más elevadas. Son muy adecuados para la fabricación de elementos arquitectónicos con cemento blanco porque el polímero es incoloro. Puede ocurrir que a bajas a/c, se pueda producir flujo viscoso. Como efecto negativo principal es la pérdida de trabajabilidad del hormigón demasiado rápida. Esta pérdida de trabajabilidad tan acelerada se ha mejorado considerablemente con los aditivos superplastificantes de tercera generación, los policarboxílicos.

Los policarboxílicos confieren al hormigón las siguientes características:

- Reducción de agua elevada
- Gran cohesión
- Tiempo de manejabilidad muy superior a la de los superplastificantes convencionales.
- Gran impermeabilidad
- Excelentes acabados

Independientemente del poder reductor de agua, las características del aditivo deben ajustarse a las características de cada aplicación y en correspondencia al tipo de cemento, adición y áridos empleados. En este aspecto, si se emplean las adiciones más adecuadas para cada aplicación el efecto del aditivo sobre el desarrollo de resistencias o sobre el fraguado no es tan acusado, especialmente en el caso de emplear cenizas, donde éstas colaboran de forma muy importante en el mantenimiento de la consistencia y

dejan las particularidades del aditivo en segundo plano. Este razonamiento no es válido en los casos donde se demanda elevada resistencia inicial. Ante estas situaciones las particularidades del aditivo en el desarrollo de resistencias sí son muy trascendentes.

#### **2.2.5.2 - ADITIVO MODULADOR DE VISCOSIDAD**

Es un producto el cual confiere cohesión interna a la masa sin apenas pérdidas de fluidez. El empleo de este aditivo puede no ser imprescindible en el caso de emplear las adiciones y el cemento en su cantidad óptima. En estos casos, el aporte de finos será suficiente para mantener la cohesión interna y el empleo de aditivo modular de viscosidad en estos casos podría incluso ser perjudicial por la elevada cohesión de la masa, que requería elevados volúmenes de hormigón para su autocompacidad.

El empleo de modulador de viscosidad es imprescindible en el caso de insuficiencias en el aporte de finos. En estos casos, el modulador de viscosidad representa una gran ayuda para mantener hormigones con contenidos de finos inferiores a los recomendados en perfecto estado de cohesión interna, manteniendo la fluidez de la masa.

El empleo del modulador ofrece grandes resultados como elemento tolerante de las variaciones en las características de los materiales. Por ejemplo si el árido puede ofrecer ligeras variaciones en su contenido de humedad, al emplear modulador estas variaciones pueden ser toleradas, obteniendo resultados más uniformes y seguros, independientemente de las ligeras variaciones de las características de los materiales empleados.

#### **2.2.6 – AGUA**

No se requieren prescripciones específicas para la fabricación del hormigón autocompactante, salvo las generales que se establecen para el hormigón convencional en la Instrucción EHE-08.

## 2.3 – METODOS DE DOSIFICACION

### 2.3.1 – INTRODUCCIÓN

Como se ha especificado anteriormente, un hormigón autocompactante debe cumplir simultáneamente sus propiedades en estado fresco por lo que su dosificación debe de estudiarse cuidadosamente. En la bibliografía existente se han identificado tres factores que influyen principalmente en el estado fresco del hormigón y son los siguientes:

- Volumen de árido grueso.
- Uso de aditivos superplastificantes y moduladores de la viscosidad, que como ya se ha dicho anteriormente, si se usa más de un tipo de aditivo se deben realizar pruebas de compatibilidad entre ambos y, entre el aditivo y el cemento.
- Las propiedades en estado fresco de la pasta y mortero.

Como se indica en su Artículo 71.3.2º del Anejo 17 de la Instrucción EHE-08, al dosificar un hormigón autocompactante se deberán tener en cuenta las siguientes exigencias relacionadas con el proyecto:

- **Estructurales**, como el espaciado entre barras de armadura, dimensiones del elemento, caras vistas o la complejidad arquitectónica del encofrado, entre otras.
- **Operativas**, como la modalidad de llenado, velocidad y duración del mismo, características del encofrado o la accesibilidad al camión hormigonera, entre otras.
- **Ambientales**, como el clima y la temperatura en el momento del llenado, temperatura de los materiales o la duración del transporte, entre otras.
- **De prestaciones**, como la clase de exposición ambiental, resistencia característica entre otros requisitos del proyecto.

Muchos de los métodos de dosificación propuestos establecen la optimización de la pasta, mortero y esqueleto granular por separado así como sus proporciones entre ellos.

La optimización de la pasta y del mortero es muy importante porque sirve de base para la dosificación del hormigón autocompactante. Debe de ser fluida y cohesiva para evitar la segregación de los áridos y exudación del agua. Estas propiedades se

consiguen mediante el empleo de adiciones minerales o moduladores de viscosidad o una combinación de ambos.

El esqueleto granular es clave porque asegura que las características de fluidez del hormigón sean adecuadas pero se debe de tener cuidado con el tamaño máximo y cantidad del mismo para que no se produzca una resistencia al bloqueo y a la segregación.

En los últimos años se han propuesto diversos métodos de dosificación para el hormigón autocompactante siendo la mayoría empíricos, aunque también hay modelos teóricos o semiteóricos, que se basan en sistemas iterativos hasta obtener la dosificación final. A continuación se describen algunos de estos modelos.

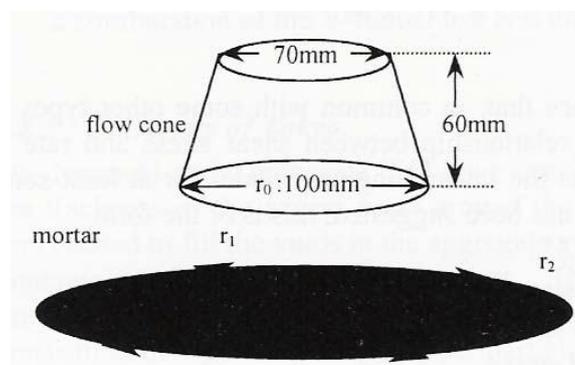
### 2.3.2 - ENSAYOS PREVIOS SOBRE PASTA Y MORTEROS

Para la evaluación de la pasta y mortero de hormigones autocompactantes existen diversos métodos entre los que destacan los siguientes:

- **Ensayo de flujo de morteros.** Fue propuesto por Okamura (Okamura et al., 2000) para morteros. El procedimiento del ensayo es idéntico al ensayo de escurrimiento para hormigones descrito anteriormente pero se emplea un molde con menores dimensiones como se puede observar en la Figura 2.1. Los parámetros que se miden son los diámetros  $r_1$  y  $r_2$  de la huella del hormigón. El resultado del ensayo se expresa mediante el parámetro  $m \Gamma$  que se calcula según las expresiones 1.1 y 1.2.

$$r = \frac{r_1 + r_2}{2} \quad (1.1)$$

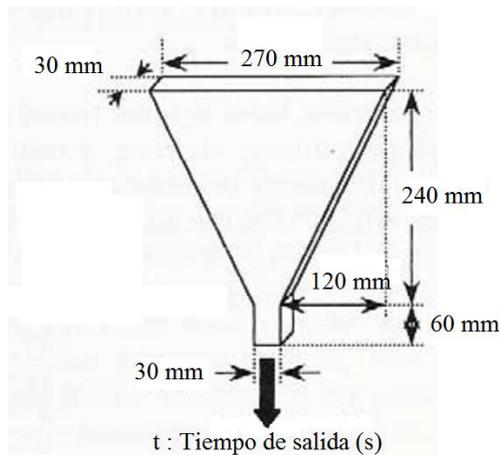
$$\Gamma_m = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 - 1 \quad (1.2)$$



**Figura 2.1.** Ensayo de flujo de mortero (Skarendahl et al., 2000).

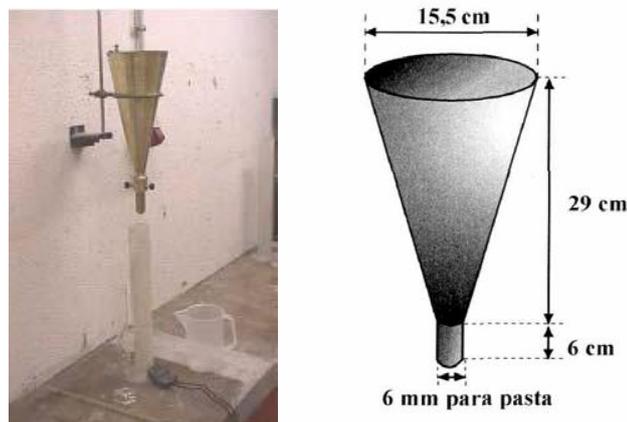
- **Ensayo embudo en V.** Fue propuesto por Okamura (Okamura et al., 2000) para morteros. El procedimiento del ensayo es idéntico al ensayo del embudo en V para hormigones descrito anteriormente, pero empleando un molde con menores dimensiones como se puede observar en la Figura 2.2. Se mide el tiempo,  $t$ , que tarda en fluir la muestra a través del embudo. El parámetro resultante del ensayo es  $R_m$  que se calcula según la expresión 1.3.

$$R_m = \frac{10}{t} \quad (1.3)$$



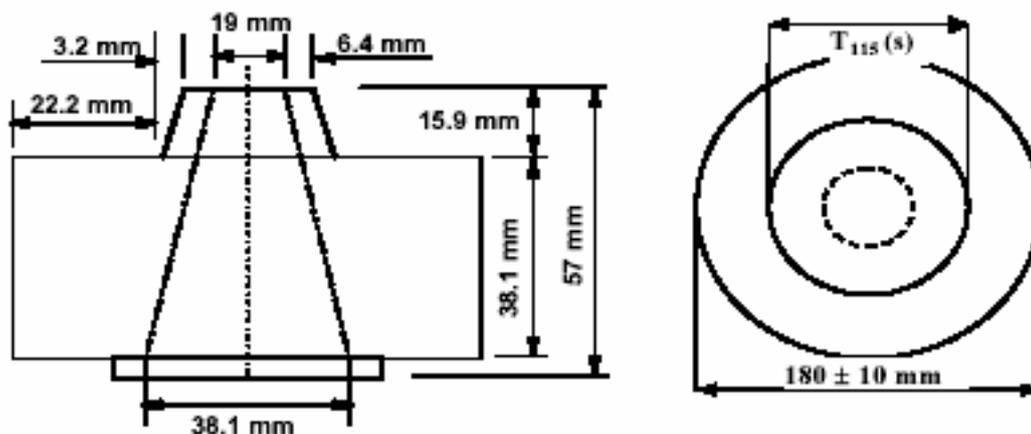
**Figura 2.2.** Ensayo de embudo en V de mortero

- **Ensayo del cono de Marsh.** Este ensayo está normalizado (UNE-EN 445:1996). Se emplea durante la fase de diseño para evaluar la compatibilidad entre el cemento, el aditivo y las adiciones empleadas y se obtiene el punto de saturación del aditivo (Gettu et al., 2003). Se utiliza un recipiente en forma de embudo cónico cuya apertura de salida es de 8 mm como se puede observar en la Figura 2.3. para la realización del ensayo. Se introduce un litro de pasta por el embudo y se mide el tiempo que tarda en salir la cantidad de 500 ml.



**Figura 2.3.** Cono de Marsh (Molina, 2004) y (Gettu 2004)

- **Ensayo del mini-cono**, *mini-slump* en inglés. Fue propuesto por Kantro en 1980 y se emplea durante la fase de diseño para la optimización del contenido de adición, también se utiliza para obtener el punto de saturación del aditivo. Para la realización del ensayo se emplea un molde como se muestra en la Figura 2.4, el cual se rellena con la muestra de pasta a ensayar. Los parámetros que se obtienen son el diámetro final y el tiempo transcurrido hasta alcanzar un diámetro de 115 mm.



**Figura 2.4.** Mini-cono (Kantro, 1980; Gettu et al., 2003; ACHE, 2008).

### 2.3.3 - MÉTODO DE DOSIFICACIÓN CBI

El método de dosificación de CBI (Swedish Cement and Concrete Institute) fue desarrollado por Peterson (1996) y Billberg (1999b). El método consta de tres fases. En la primera de ellas se determina el volumen mínimo de pasta. En la segunda fase se obtiene la composición de la pasta, y en la tercera se comprueban las propiedades físicas del hormigón, tanto en estado fresco como en estado endurecido (Pettersson et al., 1996; Gettu et al., 2003, 2004).

Una de las diferencias de este método respecto a los otros es que se tiene en cuenta el volumen de huecos en el esqueleto granular, y ello determina el volumen mínimo de pasta necesario para llenar todos los huecos existentes entre las partículas de los áridos y recubriéndolas. De esta manera se evita el bloqueo ante la presencia de obstáculos. El volumen de huecos se calcula a partir del grado de compacidad de distintas relaciones entre el árido grueso y el árido fino.

La determinación del mortero se obtiene a través del ajuste de la relación entre el factor agua/conglomerante y los aditivos (superplastificante o moduladores de viscosidad o ambos) a través de un viscosímetro.

### 2.3.4 - MÉTODO DE DOSIFICACIÓN LCPC

El método de dosificación LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) fue desarrollado por Sedran et al. (1996). Se basa en el modelo de suspensión de sólidos (De Larrard et al., 1997) cuyo principio es que parte del agua del hormigón se emplea para rellenar los huecos entre el esqueleto granular (árido más ligantes) y el resto para controlar la trabajabilidad (ACHE, 2008).

Este modelo utiliza un programa informático para la optimización del esqueleto granular con el mínimo de huecos llamado *Solid Suspension Model* basado en las experiencias obtenidas mediante la utilización de un reómetro tipo BTRHEOM en cuanto a la elección de los materiales, granulometrías, la compatibilidad entre el cemento y los aditivos y el contenido de cemento y las adiciones.

### 2.3.5 - MÉTODO GENERAL DE DOSIFICACIÓN

El método general de dosificación fue propuesto por Okamura y Ozawa en 1998. Probablemente sea el método más usado. Se considera al hormigón dividido en dos fases. La primera sería el árido grueso y, la segunda el mortero incluyendo la pasta de cemento y los áridos finos. El procedimiento es el siguiente (ACHE, 2008):

1. Se fija el contenido de árido grueso en el 50% del volumen de sólidos total del hormigón.
2. Se fija el árido fino en el 40% sobre el volumen de mortero.
3. La relación agua/(cemento + filler) se asume en el rango de 0,9 a 1% en volumen, dependiendo de las propiedades del cemento y adiciones empleadas.
4. La cantidad de superplastificante y la relación agua/conglomerante se ajusta mediante ensayos sobre la pasta.
5. El procedimiento concluye cuando se alcanza un diámetro de 650 mm en el ensayo de escurrimiento sobre hormigón.

### 2.3.6 - MÉTODOS DE DOSIFICACIÓN BASADOS EN EL MÉTODO ZENERAL

Ha habido un gran número de modificaciones y desarrollos del método general cuyos objetivos son optimizar la pasta y permitir usar un amplio rango de materiales. Entre ellos destacan los siguientes:

- **Universidad Tecnológica de Kochi.** Edamatsu et al. (1999) desarrollaron un método para determinar el contenido de árido fino del mortero con el objetivo de poder usar cualquier tipo de cemento, adición o árido fino independientemente de su naturaleza y distribución y tamaño de partícula. La interacción entre el mortero y el árido se evaluó sobre mezclas en las cuales se utilizaron “áridos de vidrio” de 10 mm de diámetro. Los ensayos se realizan con el embudo en V para morteros. El parámetro que se obtiene es el índice de capacidad de llenado del hormigón que es la razón entre los tiempos obtenidos en los ensayos del embudo en V para un mismo mortero con y sin “áridos de vidrio”. Este índice obtenido permite reducir el volumen de pasta.
- **Universidad de Tokio.** Ouchi et al. (1997, 1998) desarrollaron un método para determinar satisfactoriamente la relación agua/cemento y la cantidad de aditivo. Cada parámetro se determina de manera independiente minimizando el número de ensayos a realizar. Los ensayos que se realizan son el ensayo de flujo y el de embudo en V para morteros. Los ensayos demostraron que existe una relación entre  $R_m$  y  $\Gamma_m$ , que es (Skarendahl et al., 2000):
  - lineal para cualquier cantidad de superplastificante por peso de cemento  $(S_p/P)$  y,
  - $R_m = A \cdot \Gamma_m^{0.4}$  para cualquier valor de la razón en volumen entre el agua y el cemento  $(V_w/V_p)$ .

Existe una única combinación de  $V_w/V_p$  y  $S_p/P$ , para cualquier combinación de

$\Gamma_m$  y  $R_m$ .

- **Universidad de Delft.** Pelova et al. (1998) redujeron en un 10% el contenido de pasta respecto al método general de dosificación debido al factor máximo de

empaquetamiento que se consiguió aumentando el volumen de árido grueso de un 50% a un 60%. El tamaño máximo del árido se limitó a 16 mm.

- **University College London.** Este método fue desarrollado por Domone et al. (1999) optimizando linealmente la mezcla de agua, partículas finas y áridos, basándose en el método general de dosificación. En la Tabla 1.1 se muestran los límites de las proporciones propuestos para alcanzar la autocompactabilidad de las mezclas de hormigón.

Al igual que en el método general de dosificación, la relación agua/finos se obtiene con el ensayo de flujo para morteros. Los ensayos que se realizan sobre el hormigón son el ensayo de escurrimiento, embudo en V y caja en U, donde en la Tabla 1.2 se muestran los valores objetivo dependiendo del tamaño máximo de árido.

	TAMAÑO MÁXIMO DE ÁRIDO 20 mm		TAMAÑO MÁXIMO DE ÁRIDO 10 mm	
Contenido de árido grueso (kg/m <sup>3</sup> )	0,5 x peso seco compactado del árido		0,50 – 0,54 x peso seco compactado del árido	
Máximo contenido de agua (kg/m <sup>3</sup> )	200			
Relación agua/cemento en peso	0,28 – 0,40		0,28 – 0,50	
Relación agua/finos* en peso	0,12 – 0,14		0,12 – 0,17	
Volumen de pasta (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> de hormigón)	0,38 – 0,42			
Volumen arena/volumen mortero (v <sub>fa</sub> /v <sub>m</sub> )	a/c	v <sub>fa</sub> /v <sub>m</sub>	a/c	v <sub>fa</sub> /v <sub>m</sub>
	< 0,3	0,4	< 0,3	0,4
	0,30 – 0,34	0,40 – 0,45	0,30 – 0,34	0,40 – 0,45
	0,34 – 0,40	0,45 – 0,47	0,34 – 0,40	0,45 – 0,47
	0,40 – 0,50	no emplear	0,40 – 0,50	> 0,45

- **Finos**= cemento + filler + finos áridos

**TABLA 1.1.** Rangos propuestos por Domone et al. (1999).

TAMAÑO MÁXIMO DE ÁRIDO (mm)	ENSAYO DE ESCURRIMIENTO (mm)	ENSAYO DE EMBUDO EN V (s)	ENSAYO DE CAJA EN U (mm)
20	650 – 700	4 – 10	300 – 350
10	600 - 700	2 – 4	300 – 350

**TABLA 1.2.** Valores de ensayos propuestos por University College London (Skarendahl et al., 2000).

### 2.3.7 - MÉTODO DE DOSIFICACIÓN JSCE

El método de dosificación JSCE (Sociedad de Ingenieros Civiles de Japón) hace una distinción entre hormigones autocompactantes con finos, con agente modulador de viscosidad y con ambos simultáneamente. En el primero de ellos especifica que el contenido de árido grueso, cuyo tamaño máximo se sitúa en 20 ó 25 mm, depende del grado de compactibilidad que se desee obtener y, el contenido de finos del hormigón está comprendido entre el 16 y el 19% del total. En el segundo, se utiliza un agente modificador de viscosidad; el método únicamente fija el contenido de árido grueso. Y, por último, si se emplean finos y agente modificador de viscosidad se especifica el contenido de áridos y una mínima cantidad de finos (Gettu et al., 2003, 2004a).

### 2.3.8 - MÉTODO DE DOSIFICACIÓN UPC

El método de dosificación de la UPC (Universidad Politécnica de Cataluña) fue propuesto por Gomes et al. (2001). Inicialmente se desarrolló para hormigones autocompactantes de alta resistencia, pero actualmente se ha generalizado para hormigones de resistencias medias. Se basa en la optimización de la composición de la pasta (formada por cemento, adición, agua y superplastificante) y el esqueleto granular (formado por árido fino y grueso) por separado, para posteriormente combinar ambas optimizaciones.

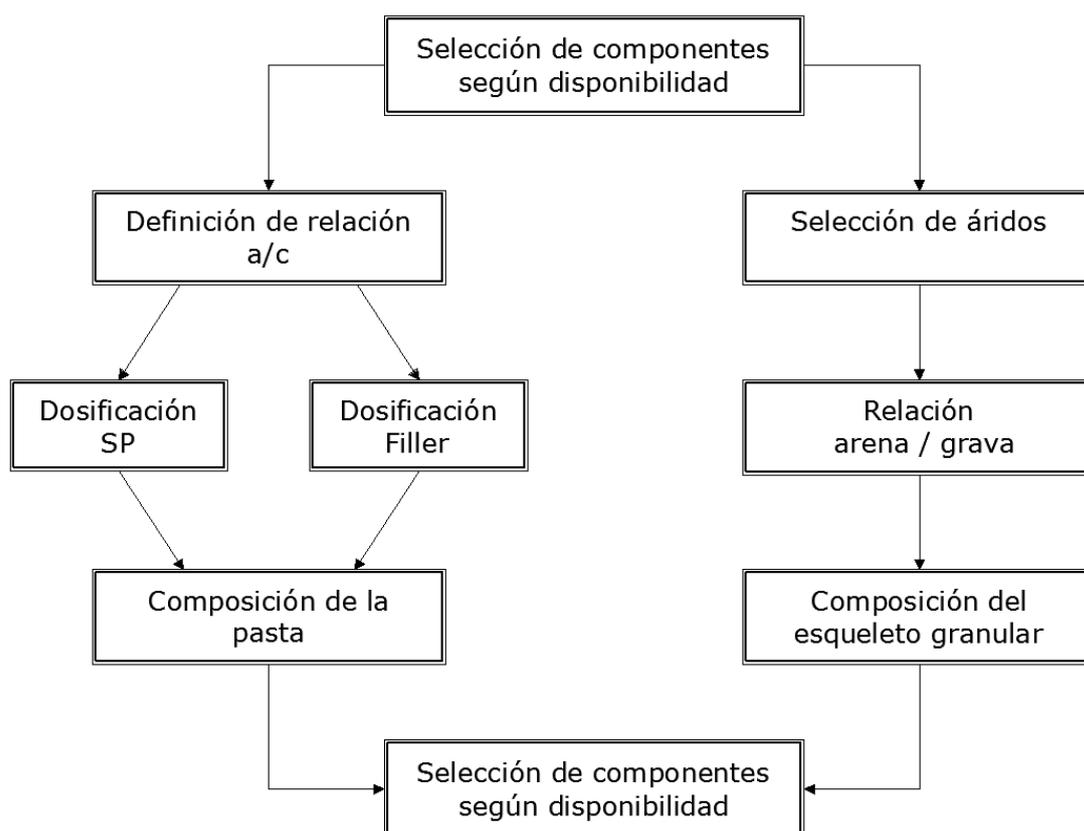
Lo primero que se realiza es la selección de los materiales y se fijan las relaciones agua/cemento y humo de sílice/cemento, si es el caso. Mediante el cono de Marsh, se determina la dosificación de superplastificante a fin de buscar el punto de saturación que es la relación entre el superplastificante y el cemento. El punto de saturación es aquel que un incremento de aditivo no mejora la fluidez de la mezcla (Gettu et al., 2004a). Como el punto de saturación depende de la relación filler/cemento,

se debería de realizar el ensayo para los distintos valores de dicha relación, se puede adoptar como orden de magnitud de 0,1 a 0,5 la relación filler/cemento.

Una vez fijado el punto de saturación del superplastificante se determina la dosificación óptima del filler mediante el ensayo de mini-cono de Kantro. Se recomienda que el diámetro de extensión de flujo esté en el rango de  $180 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ , que para el caso de hormigones autocompactantes de altas resistencia se sitúa el parámetro T115 en un rango de 2 a 3,5 s.

La composición del esqueleto granular (arena y grava) se determina experimentalmente mediante el criterio de máxima compacidad en seco según la norma ASTM C29/CM29. El objetivo es obtener el mínimo contenido de huecos.

Posteriormente se determina el mínimo volumen de pasta necesario para satisfacer los requisitos de resistencia y autocompactabilidad del hormigón requerido (Gettu et al., 2004a). Se fabrican diversos hormigones en los que el contenido de pasta se va incrementando hasta alcanzar el mínimo volumen de pasta que satisfaga con los requerimientos de autocompactabilidad que se evalúan a través de los ensayos de caracterización de estado fresco visto anteriormente. Figura 2.5.



**Figura 2.5.** Esquema del método de dosificación UPC (Gomes et al., 2001; ACHE, 2008).

### **2.3.9 - MÉTODO DE DOSIFICACIÓN EFNARC**

EFNARC no presenta ningún modelo de dosificación en particular, únicamente da una serie de pasos para la dosificación del hormigón autocompactante, especificando las siguientes condiciones:

- Relación en volumen agua/finos: 0,80-1,10.
- Contenido de finos: 400-600 kg/m<sup>3</sup>.
- Granulometría de la arena situada entre 0,125 y 4 mm.

El proceso de dosificación se establece según los siguientes pasos:

1. Se fija el contenido de aire deseado.
2. Se fija la relación agua/cemento dependiendo de los requisitos del hormigón.
3. Se determina el volumen del árido grueso en función de su densidad situándolo entre el 50% y el 60%.
4. La cantidad de arena viene determinada en función de las propiedades de la pasta y se sitúa en un rango entre el 40-50% del volumen del mortero.
5. Se diseña la pasta experimentalmente mediante el ensayo de flujo de mortero con diferentes relaciones de agua/finos. Mediante una regresión lineal con los resultados obtenidos se obtiene la relación buscada.
6. Mediante los ensayos de flujo y embudo en V para morteros se determina la relación agua/finos y la cantidad de superplastificante. La relación agua/finos varía en un margen de 0,8 a 0,9 del valor obtenido en el proceso anteriormente descrito.
7. Se evalúa el hormigón mediante los ensayos de caracterización en estado fresco vistos anteriormente.

### **2.3.10 - MÉTODO DE DOSIFICACIÓN ACI**

El método de dosificación de la ACI (ACI, 2007) parte del resultado del ensayo de escurrimiento. A partir de este resultado se ajustan las proporciones de los materiales siguiendo las recomendaciones de las Tablas 1.3 y 1.4. Una vez fijada la dosificación, se fabrica el hormigón y se realizan los ensayos de caracterización en estado fresco. En base a esos resultados se ajusta la dosificación hasta que se alcancen las propiedades de autocompactabilidad.

<b>ENSAYO DE ESCURRIMIENTO (mm)</b>	< 550	550 – 600	> 650
<b>CONTENIDO DE FINOS (Kg)</b>	355 – 385	385 – 445	> 458

**TABLA 1.3.** Sugerencia del contenido de finos de la ACI para 1 m<sup>3</sup> de hormigón (ACI, 2007).

<b>PARÁMETRO</b>	<b>RECOMENDACIÓN</b>
% Grava (< 12 mm)	28 – 32
% Pasta	34 – 40
% Mortero	68 – 72
Relación agua/cemento	0,32 – 0,45
Contenido de cemento (kg)	386 – 475

**TABLA 1.4.** Valores recomendados para la dosificación de un hormigón autocompactante según la ACI (ACI, 2007).

### 2.3.11 - COMPOSICIÓN ORIENTATIVA DE LA MEZCLA

En el Anejo 17 de la Instrucción EHE-08, en su Artículo 71.3.2º, se definen unos rangos típicos de los materiales constituyentes del hormigón autocompactante y están recogidos en la Tabla 1.5.

La Tabla 1.6 muestra los rangos típicos de contenido en peso y contenido en volumen de los materiales constituyentes del hormigón autocompactante propuestos por EFNARC.

En la bibliografía existen diversas dosificaciones publicadas por diversos autores, estas dosificaciones son para hormigones autocompactantes de resistencia media, podemos observarlas en la tabla 1.7.

MATERIAL	CONTENIDO
Filler (*)	≤ 250 kg/m <sup>3</sup>
Cemento	250 - 500 kg/m <sup>3</sup>
Finos totales (cemento + filler + adiciones)	450 - 600 kg/m <sup>3</sup>
Pasta (cemento + filler + adiciones + agua)	> 350 l/m <sup>3</sup>
Árido grueso (tamaño máximo: 25 mm)	≤ 50 %

(\*) Incluyendo la adición caliza del cemento y partículas de los áridos < 63 μm

NOTA: las limitaciones de contenido de agua y cemento quedarán precisadas según las condiciones de exposición definidas en la Instrucción.

**TABLA 1.5.** Rangos típicos para la dosificación de un hormigón autocompactante según la Instrucción EHE-08 (ACHE, 2008).

MATERIAL	CONTENIDO EN PESO (kg/m <sup>3</sup> )	CONTENIDO EN VOLUMEN (l/m <sup>3</sup> )
Cemento	380 – 600	
Pasta		300 – 380
Agua	150 – 210	150 – 210
Árido grueso	750 – 1000	270 – 360
Árido fino (arena)	48 – 55% del peso total del árido	
Volumen agua / Volumen de cemento		0,85 – 1,10

**TABLA 1.6.** Rangos típicos para la dosificación de un hormigón autocompactante según EFNARC (EFNARC, 2002).

Mezclas (kg/m <sup>3</sup> ) / Otras propiedades	AUTORES					
	Sendran et al. (1996)	Kim et al. (1998)	Bartos y Grauers (1999)	Ambroise y Perá (2001)	Su et al. (2001)	Pacios et al. (2002)
Cemento	350	370	280	380	300	450
Cenizas volantes	-	159	-	-	148	-
Escorias	-	-	-	-	63	-
Filler calcáreo	134	-	240	20	-	100
Area	852	782	865	900	928	840
Árido Grueso						
<b>Max. 10 mm</b>	363	-	-	-	-	-
<b>Max. 16 mm</b>	-	-	-	800	-	-
<b>Max. 20 mm</b>	571	820	750	-	718	770
Superplastificante	7,1	10	4,2	4,0	8,2	9,6
Modulador de la viscosidad	-	-	-	2,0	-	-
Ocluser de aire	-	-	-	-	-	-
Relación a/c	0,48	0,50	0,71	0,53	0,57	0,33
Relación agua/finos	0,34	0,35	0,36	0,50	0,40	0,27
Resistencia a compresión a 28 días (MPa)	50	47	47*	48	41	50

n.d.: datos no disponibles

\* resistencia obtenida en probetas cúbicas de 15 cm

**Tabla 1.7.** Dosificación de un hormigón autocompactante de resistencias medias (Gettu et al., 2003, 2004a).

### 2.3.12 - DESIGNACIÓN DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

La designación del hormigón autocompactante es similar a la del hormigón convencional con la salvedad de usar las siglas AC como indicativo de la consistencia, según se especifica en el Artículo 39.2º del Anejo 17 de la Instrucción EHE-08. Pero dentro de esta categoría se puede clasificar el hormigón autocompactante en función de su grado de autocompactabilidad expresándose a través de los valores específicos que deben de cumplir en los diferentes ensayos.

Según lo anterior, el citado anejo establece tres clasificaciones de autocompactabilidad según: el diámetro final T<sub>50</sub> del ensayo de escurrimiento (Tabla 1.8); el tiempo TV del ensayo del embudo en V (Tabla 1.9); y la resistencia al bloqueo (Tabla 1.10).

CLASE	RANGO
AC-E1	$550 \text{ mm} \leq d_f \leq 650 \text{ mm}$
AC-E2	$650 \text{ mm} < d_f \leq 750 \text{ mm}$
AC-E3	$750 \text{ mm} < d_f \leq 850 \text{ mm}$

**TABLA 1.8.** Clasificación de autocompactabilidad en función del ensayo de escurrimiento (Instrucción EHE-08).

CLASE	RANGO
AC-V1	$10 \text{ s} \leq T_v \leq 20 \text{ s}$
AC-V2	$6 \text{ s} \leq T_v \leq 10 \text{ s}$
AC-V3	$4 \text{ s} \leq T_v \leq 6 \text{ s}$

**TABLA 1.9.** Clasificación de autocompactabilidad en función del ensayo del embudo en V (Instrucción EHE-08).

CLASE	EXIGENCIA DE LA CARACTERÍSTICA	CRITERIO POR EL ENSAYO DE ESCURRIMIENTO CON ANILLO JAPONÉS	CRITERIO POR EL ENSAYO DE LA CAJA EN L
AC-RB1	Exigible cuando el tamaño máximo del árido sea superior a 20 mm o el espesor de los huecos por los que pase el hormigón esté comprendido entre 80 y 100 mm	$d_{JF} \geq d_f - 50 \text{ mm}$ , con un anillo de 12 barras	$\geq 0,80$ con dos barras
AC-RB2	Exigible cuando el tamaño máximo del árido sea igual o inferior a 20 o el espesor de los huecos por los que pase el hormigón esté comprendido entre 60 y 80 mm	$d_{JF} \geq d_f - 50 \text{ mm}$ , con un anillo de 20 barras	$\geq 0,80$ con tres barras

**TABLA 1.10.** Clasificación de autocompactabilidad en función de la resistencia al bloqueo (Instrucción EHE-08).

## 2.4 - CARACTERIZACIÓN DEL HAC EN ESTADO FRESCO

### 2.4.1 - PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO

La autocompactabilidad es la principal propiedad en estado fresco del hormigón autocompactante, y que lo diferencia del hormigón convencional.

La evaluación de las propiedades en estado fresco del hormigón autocompactante se puede realizar de dos maneras. La primera es mediante el estudio de los parámetros reológicos y, la segunda es mediante la realización de ensayos.

Las características en estado fresco que se deben de cumplir simultáneamente en un hormigón son las siguientes:

- Capacidad de relleno.
- Resistencia al bloqueo o capacidad de paso.
- Resistencia a la segregación.

#### 2.4.1.1 - REOLOGÍA

La reología es la ciencia que estudia la deformación y el flujo de materiales sometidos a tensiones. Desde los años 70 se ha avanzado mucho en el estudio de la reología del hormigón en su estado fresco.

Los fluidos, según su estructura, se pueden dividir en dos tipos: fluidos de estructura simple (*fluidos Newtonianos*) o fluidos con estructuras más complejas (*fluidos no-Newtonianos*).

Los fluidos con estructura simple como es el caso del agua se pueden caracterizar según la ley de Newton (ver ecuación 1.1 y Figura 2.4.1.1.1).

$$\tau = \eta \cdot \gamma' \quad (1.1)$$

Dónde:

- $\tau$  Tensión de corte.  
 $\eta$  Viscosidad.  
 $\gamma'$  Velocidad de corte producida.

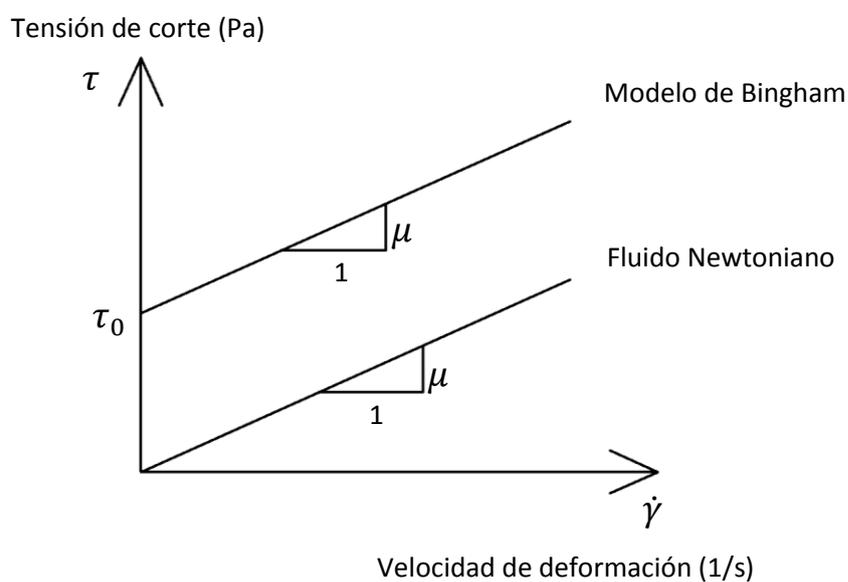
Los fluidos con estructuras más complejas como es el caso del hormigón presentan propiedades elásticas y viscosas. La mayoría de estos casos se pueden caracterizar según el modelo de Bingham. Este modelo es el más usado para la caracterización reológica del hormigón. Básicamente el modelo está caracterizado por la *tensión umbral*

la *viscosidad* (ver ecuación 1.2 y Figura 2.6). La viscosidad está relacionada con la estabilidad y la resistencia a segregarse del hormigón.

$$\tau = \tau_0 + \mu \cdot \dot{\gamma} \quad (1.2)$$

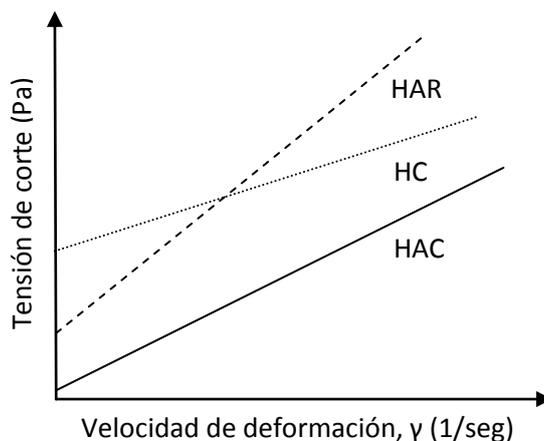
Dónde:

- $\tau$  Tensión de flujo.
- $\tau_0$  Tensión umbral.
- $\mu$  Viscosidad plástica.
- $\dot{\gamma}$  Velocidad de deformación transversal.



**Figura 2.6.** Curvas de flujos correspondientes a los de modelos de Bingham y Newton (Skarendahl et al., 2000).

En el caso del hormigón autocompactante, la tensión umbral es muy baja, como se puede observar en la Figura 2.7 donde se muestra una comparación del comportamiento reológico de tres tipos de hormigones. Se observa que la curva de flujo del hormigón autocompactante se acerca a la curva de flujo de un *fluido Newtoniano*.



**Figura 2.7.** Curvas de flujo de un hormigón autocompactante (HAC), de un hormigón convencional (HC) y un hormigón de alta resistencia (HAR) (ACHE, 2008).

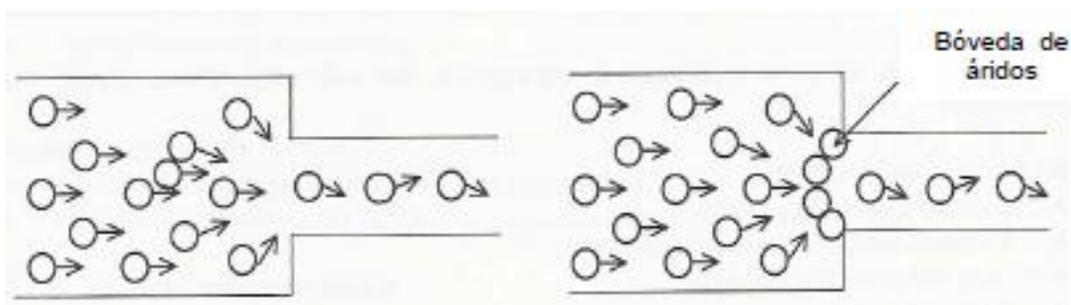
#### 2.4.1.2 - CAPACIDAD DE RELLENO

La capacidad de relleno o capacidad de fluir es la capacidad que tiene el hormigón de fluir y rellenar un encofrado bajo la acción de su propio peso sin ayuda externa. Las armaduras deben de quedar perfectamente recubiertas y no deben producirse coqueas. Para que la capacidad de relleno sea adecuada se tiene que reducir la fricción entre las partículas y conseguir una adecuada deformabilidad en la mezcla.

#### 2.4.1.3 - CAPACIDAD DE PASO

La capacidad de paso o resistencia al bloqueo es la capacidad que tiene el hormigón de pasar entre las armaduras, estrechamientos o cualquier obstáculo sin que se produzca un bloqueo de los áridos.

Esta propiedad del hormigón depende tanto de la geometría de la pieza y distribución de las armaduras como de la cantidad y tamaño de árido grueso en el hormigón. En la Figura 2.8 se puede observar cómo funciona el mecanismo de bloqueo.



**Figura 2.8.** Mecanismo de bloqueo (Skarendahl et al., 2000).

#### **2.4.1.4 - RESISTENCIA A LA SEGREGACIÓN**

La resistencia a la segregación es la capacidad del hormigón de mantenerse homogéneo sin que se produzca la separación de los áridos o exudación del agua. Esta propiedad del hormigón está relacionada con la estabilidad y con la viscosidad de la mezcla porque si se tiene una viscosidad adecuada, la composición de la mezcla se mantiene homogénea.

#### **2.4.1.5 - FIABILIDAD**

Es la capacidad del hormigón de mantener sus características en estado fresco dentro de los rangos especificados cuando se producen pequeñas variaciones en las propiedades de los componentes, la variación de la temperatura o una combinación de ambos (ACHE, 2008).

#### **2.4.1.6 - TIEMPO ABIERTO**

Se define tiempo abierto al lapso de tiempo desde la fabricación durante el cual se mantienen las características de autocompactabilidad de dicho hormigón (ACHE, 2008). Al igual que en el hormigón convencional influyen la temperatura, las condiciones climáticas o los aditivos, entre otros factores.

### 2.4.1.7 – ROBUSTEZ

La robustez se puede considerar como la capacidad de la mezcla del HAC de mantener las propiedades en estado fresco, antes y después del vertido de una amasada o de amasadas sucesivas. Debido a la composición de la mezcla y debido a algunos pequeños cambios en los contenidos de los ingredientes de la mezcla, la robustez depende de una serie de condiciones que incluyen la composición de la mezcla y la historia de mezcla, esto es la energía de corte, la velocidad de corte y la aplicación específica.

El HAC podría ser más sensible a los cambios que el hormigón convencional a causa de su diseño de mezcla más complejo, por su esfuerzo en el punto de fluencia bajo y por su viscosidad. Las variaciones de sus propiedades se atribuyen a los efectos específicos de los ingredientes en las propiedades reológicas de la mezcla y los efectos de las propiedades físicas (tamaño y densidad específica) del árido.

La descripción de que un hormigón autocompactante presenta un alto nivel de robustez implica que el hormigón es menos sensible a cambios en las características de los componentes esenciales de la mezcla (finura de la arena, granulometría del árido, humedad de la arena, características del cemento, etc.) sobre la capacidad de relleno, capacidad de paso y estabilidad.

Una falta de robustez se puede manifestar de varias formas, afectando a la docilidad/trabajabilidad y a otras propiedades del HAC, como aptitud de fluidez, capacidad de paso y estabilidad.

La falta de robustez por la que elaboramos este estudio es, la que da lugar a la exudación significativa y segregación cuando el contenido de agua es mayor al límite, variando la relación a/c de la mezcla (por ejemplo, debido a cambios de humedad de la arena).

El efecto del contenido de humedad del árido afecta al contenido de agua de amasado de dos maneras:

1. Si el contenido de humedad del árido es más alto que el de superficie saturada seca (SSS), entonces la cantidad de agua de amasado (libre) en la mezcla se reduce, o
2. Si el contenido de humedad natural del árido es más bajo que el SSS, entonces se aumenta cantidad de agua de amasado.

Al no tener en cuenta estos dos factores, comprobaremos que a la hora de realizar los determinados ensayos característicos del HAC, como sea el ensayo de escurrimiento, aumentarán o disminuirán los resultados notablemente.

## 2.4.2 - MÉTODOS DE ENSAYOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES

Debido a que el estado fresco del hormigón autocompactante es diferente al del hormigón convencional, no se pueden usar los ensayos tradicionales que nos permitan evaluar las características de autocompactabilidad descritas anteriormente.

En la bibliografía existente se recogen numerosos ensayos que nos permiten evaluar la capacidad de relleno, la resistencia a la segregación y la capacidad de paso del hormigón autocompactante. En España, como se ha visto, solamente están normalizados los ensayos de escurrimiento, escurrimiento con anillo japonés, caja en L y embudo en V, que se describen a continuación.

Como todavía no se ha desarrollado un único ensayo que nos permita evaluar las propiedades en estado fresco del hormigón, hay que realizar, al menos, dos tipos de ensayos que nos permitan caracterizar la autocompactabilidad del hormigón.

En la tabla 2.8.1 se muestra un cuadro resumen de los diferentes ensayos con sus respectivas propiedades y un cuadro de las propiedades de trabajabilidad del HAC y métodos de ensayo alternativos.

	MÉTODO	PROPIEDAD
1	Ensayo de flujo de asentamiento con cono Abrams	Capacidad de relleno
2	Flujo de asentamiento T50 cm	Capacidad de relleno
3	Anillo J	Capacidad de paso
4	Embudo V	Capacidad de relleno
5	Embudo V a T5 minutos	Resistencia a la segregación
6	Caja en L	Capacidad de paso
7	Caja en U	Capacidad de paso
8	Caja de relleno	Capacidad de paso
9	Ensayo de estabilidad GTM	Resistencia a la segregación
10	Orimet	Capacidad de relleno

**Tabla 2.8.1** - Lista de métodos de ensayo para las propiedades de trabajabilidad del HAC

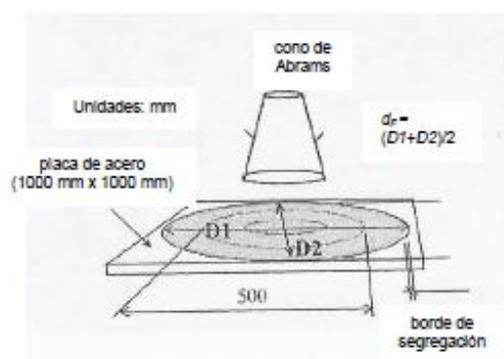
PROPIEDAD	MÉTODOS DE ENSAYO		
	LABORATORIO (diseño de mezcla)	CAMPO (Control de Calidad)	MODIFICACIÓN DEL ENSAYO SEGÚN EL TAMAÑO MÁX. DE LOS ÁRIDOS
Capacidad de relleno	1 flujo de asentamiento 2 flujo asentamiento T <sub>50cm</sub> 4 Embudo V 10 Orimet	1 flujo de asentamiento 2 flujo asentamiento T <sub>50cm</sub> 4 Embudo V 10 Orimet	Ninguno  Máx. 20 mm
Capacidad de paso	6 Caja en L 7 Caja en U 8 Caja de relleno	3 Anillo J	Distintas aperturas en caja en L, caja en U y anillo J
Resistencia a la segregación	9 Ensayo GTM 5 Embudo V a T <sub>5 minutos</sub>	9 Ensayo GTM 5 Embudo V a T <sub>5 minutos</sub>	Ninguno

**Tabla 2.8.2** - Propiedades de trabajabilidad del HAC y métodos de ensayo alternativos

### 2.4.2.1 - ENSAYO DE ESCURRIMIENTO

El ensayo de escurrimiento, slump-flow en inglés, evalúa la fluidez y la velocidad de flujo del hormigón autocompactante en ausencia de obstrucciones. Se basa en el ensayo de asentamiento descrito en la Norma EN 12350-2. El resultado es un indicador de la capacidad de relleno del hormigón autocompactante. El tiempo  $t_{500}$  es una medida de la velocidad de flujo y un indicador de la viscosidad relativa del hormigón Autocompactante.

Para la realización del ensayo se necesita el cono de Abrams, según norma UNE 1235-2, y una placa de acero plana cuyas dimensiones aproximadas son 900 x 900 mm y 2 mm de espesor. La placa debe tener una cruz marcada en el centro, cuyas líneas sean paralelas a los bordes de la placa, y debe tener marcados dos círculos de  $(210 \pm 1)$  mm de diámetro y  $(500 \pm 1)$  mm de diámetro cuyos centros deben coincidir con el punto central de la placa. Véase la Figura 2.9. Ninguna línea debe exceder 2,0 mm de anchura y 1,0 mm de profundidad.



**Figura 2.9.** Dimensiones y montaje del ensayo de escurrimiento (De Schutter et al., 2008).

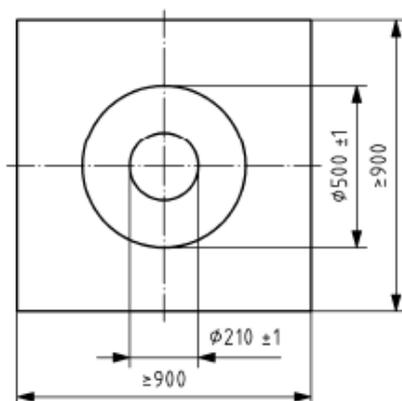


Figura 1 – Placa base

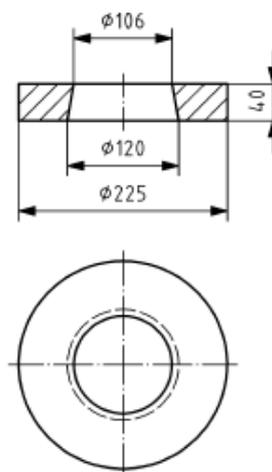


Figura 2 – Ejemplo de dimensiones de un collar de acero

El procedimiento de este ensayo es el siguiente. Se deposita la placa base en una superficie plana y horizontal libre de vibraciones o sacudidas externas. Con el nivel de burbuja se comprueba la horizontalidad de la superficie. Se limpian la mesa y el cono, y se humedecen inmediatamente antes del ensayo, pero evitando un exceso de agua.

Se acopla el collar al cono, en caso de que se use.

Se coloca el cono centrado en el círculo de 210 mm de la placa base y se mantiene en esa posición apoyándose sobre las piezas fijas de pie (o se utiliza el collar), procurando que no escape nada de hormigón de la base del cono.

Se llena el cono de una vez sin ninguna agitación ni compactación mecánica, y se enrasa la parte superior del cono retirando el exceso de hormigón. El cono relleno se deja reposar no más de 30 s; durante ese tiempo se retira el hormigón que haya salpicado la placa base.

Se levanta el cono verticalmente en un movimiento que dure entre 1 s y 3 s, sin interferir con el flujo de hormigón. Si se ha requerido el tiempo  $t_{500}$  el cronómetro se pone en marcha cuando el cono deja de estar en contacto con la placa base y se registra el tiempo transcurrido hasta que el hormigón alcanza el círculo de 500 mm, redondeado al 0,1 s más próximo.

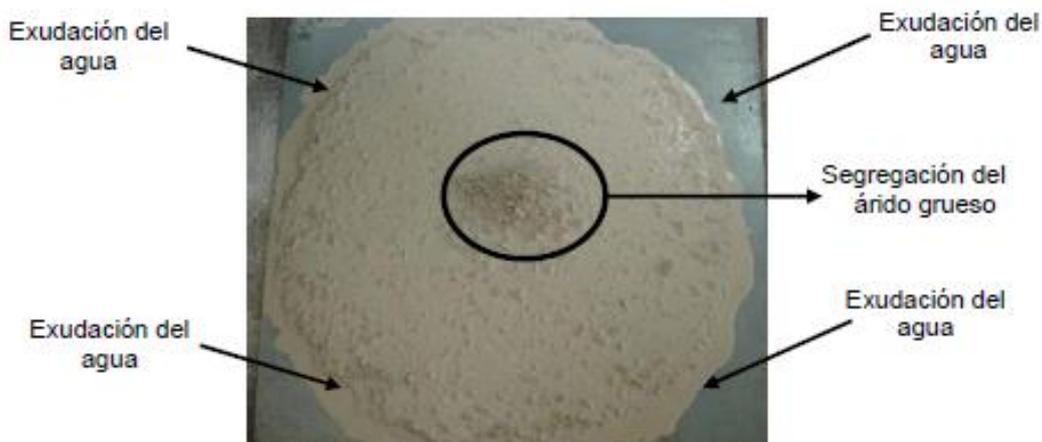
Después de que el flujo de hormigón se haya estabilizado, sin perturbar la placa base ni el hormigón, se mide el mayor diámetro del hormigón extendido redondeando a los 10 mm más próximos y se anota como  $d_1$ . A continuación se mide el diámetro del flujo extendido perpendicular a  $d_1$  redondeando a los 10 mm más próximos y se anota como  $d_2$ . Si la diferencia entre  $d_1$  y  $d_2$  es mayor de 50 mm debe tomarse otra muestra y se debe repetir el proceso.

Si dos ensayos consecutivos presentan una diferencia mayor de 50 mm entre  $d_1$  y  $d_2$ , el hormigón carece de la fluidez necesaria para que el ensayo de escurrimiento sea adecuado.

Se revisa el hormigón extendido para buscar signos de segregación figura 2.10 y 2.11 y se indican cualitativamente en el punto f) del capítulo 8, por ejemplo sin ningún signo de segregación, claros signos de segregación.



**Figura 2.10.** Resultado final del ensayo de escurrimiento.



**Figura 2.11.** Aspecto de un hormigón autocompactante donde se ha producido segregación del árido grueso en el centro y de pérdida de agua en el frente de avance del ensayo.

Los resultados del ensayo de escurrimiento SF es la media de  $d_1$  y  $d_2$ , redondeada a los 10 mm más próximos, obtenida con la siguiente ecuación.

$$SF = \frac{(d_1 + d_2)}{2}$$

Donde

$SF$  es el escurrimiento, en milímetros;

$d_1$  es el mayor diámetro de flujo extendido, en milímetros;

$d_2$  es el flujo extendido a  $90^\circ$  de  $d_1$ , en milímetros.

El tiempo  $t_{500}$  se expresa redondeado a los 0,5 s más próximos.

#### 2.4.2.2 - ENSAYO DE ESCURRIMIENTO CON EL ANILLO JAPONÉS

El ensayo de escurrimiento con el anillo japonés, *J-Ring* en inglés, determina la capacidad de paso del hormigón autocompactante para fluir a través de aberturas estrechas, incluidos los espacios entre las armaduras y otras obstrucciones sin segregación ni bloqueo.

Se describe un ensayo usando una mayor separación entre las barras y otro con una separación menor de las barras. El ensayo con menor separación entre las barras simula un armado más denso.

El ensayo del anillo japonés es una alternativa al ensayo de la caja en L de la Norma EN 12350-10, pero el resultado no se puede comparar directamente.

El método sigue el procedimiento detallado en la Norma UNE 12350-8, exceptuando que antes de llenar el cono con el hormigón, se coloca sobre éste el anillo japonés, que está formado por un anillo con una serie de barras lisas dispuestas verticalmente y con separación constante entre ellas.

También se debe medir y anotar el tiempo  $t_{500J}$  que tarda el hormigón en fluir hasta alcanzar un diámetro de 500 mm.

Los aparatos deben ser conformes a la Norma EN 12350-8, con los elementos adicionales detallados a continuación, expuestos en la Figura 1.7 y 1.8:

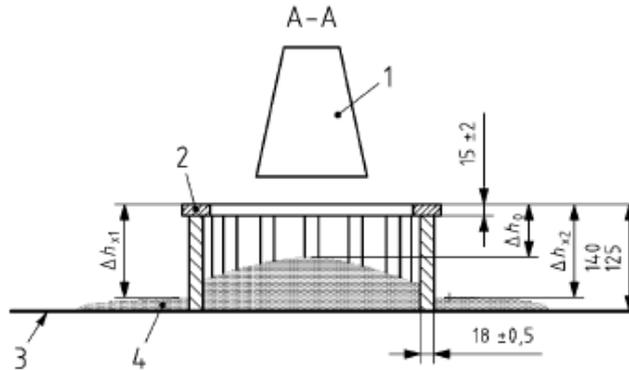
- **Anillo japonés de barras poco separadas**

Barras lisas de acero, de  $(18 \pm 0,5)$  mm  $\emptyset$ , dispuestas en un anillo de  $(300 \pm 2)$  mm de diámetro (con un espaciado entre las barras de  $(41 \pm 1)$  mm) con las dimensiones que se muestran en las figuras 1 y 2.

- **Anillo japonés de barras muy separadas**

Barras lisas de acero, de  $(18 \pm 0,5)$  mm  $\varnothing$ , dispuestas en un anillo de  $(300 \pm 2)$  mm de diámetro (con un espaciado entre las barras de  $(59 \pm 1)$  mm) con las dimensiones que se muestran en las figuras 2.11.1 y 2.11.2.

Medidas en milímetros

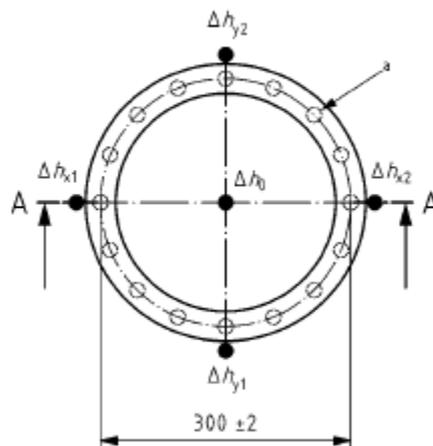


donde

- 1 Cono
- 2 Anillo japonés
- 3 Placa base
- 4 Hormigón
- $\Delta h$  Diferencia de altura entre la parte superior del anillo japonés y la altura máxima del hormigón en los puntos indicados

**Figura 2.11.1** Sección A-A' del anillo japonés

Medidas en milímetros

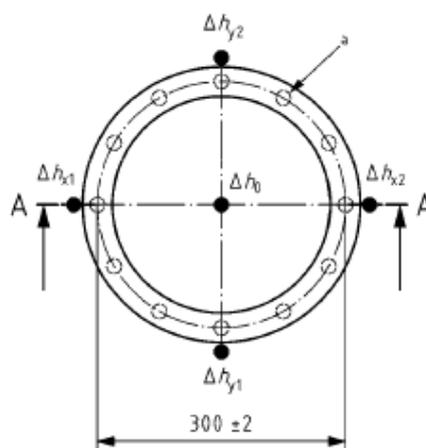


donde

a 16 barras lisas de acero con separación constante ( $\pm 0,5$  mm)

$\Delta h$  Diferencia de altura entre la parte superior del anillo japonés y la altura máxima del hormigón en los puntos indicados

Medidas en milímetros



Leyenda

a 12 barras lisas de acero con separación constante ( $\pm 0,5$  mm)

$\Delta h$  Diferencia de altura entre la parte superior del anillo japonés y la altura máxima del hormigón en los puntos indicados

**Figura 2.11.2** Anillo japonés de barras poco separadas y Anillo japonés de barras muy separadas

El procedimiento de este ensayo es el siguiente. Se prepara el cono y la placa base según se describe en la Norma EN 12350-8.

Se centra el cono en el círculo de 210 mm de la placa base y se sujeta en esa posición (o se usa el collar pesado), y se comprueba que el hormigón no se sale por la base del cono.

Se coloca el anillo japonés en la placa base, alrededor del cono concéntricamente.

Se llena el cono de una vez sin agitar ni compactarlo mecánicamente y se enrasa la parte superior para retirar el hormigón sobrante. Se deja reposar el cono hasta 30 s; durante este tiempo se retiran las salpicaduras de hormigón de la placa base y se comprueba que toda la superficie de la placa base está húmeda pero sin exceso de agua.

Se levanta el cono verticalmente en un movimiento de entre 1 s y 3 s sin interferir con el flujo de hormigón. Si se ha solicitado el tiempo  $t_{500J}$ , se pone en marcha el cronómetro en cuanto el cono deja de estar en contacto con la placa base y se anota el tiempo en el momento en el que el hormigón alcanza cualquier punto del círculo de 500 mm redondeando al 0,1 s más próximo.

Sin agitar la placa base ni el hormigón, se mide el mayor diámetro del flujo expandido y se anota como  $d_1$  redondeando a los 10 mm más próximos. A continuación se mide el diámetro del flujo en la dirección perpendicular a  $d_1$  redondeando a los 10 mm más próximos y se anota como  $d_2$  redondeando a los 10 mm más próximos.

Se apoya la barra de enrasar en la parte superior del anillo japonés y se mide la diferencia de altura relativa entre el ángulo inferior de la barra y la superficie del hormigón en la parte central  $\Delta h_0$  y en los cuatro puntos exteriores al anillo, dos  $\Delta h_{x1}$ ,  $\Delta h_{x2}$  en el eje  $x$  y los otros dos  $\Delta h_{y1}$ ,  $\Delta h_{y2}$  en el eje  $y$  (perpendicular al eje  $x$ ), tal y como se muestra en las figuras 2 y 3, redondeando la medida al milímetro más próximo.

Se observa el hormigón extendido para buscar signos de segregación, como observaciones cualitativas, por ejemplo sin ningún signo de segregación, claros signos de segregación...

Los resultados del ensayo de capacidad de paso del anillo japonés  $PJ$ , medida por medio del escalón de bloqueo, se calcula con la siguiente ecuación, redondeando al milímetro más próximo:

$$PJ = \frac{(\Delta h_{x1} + \Delta h_{x2} + \Delta h_{y1} + \Delta h_{y2})}{4} - \Delta h_0$$

donde

$PJ$  es la capacidad de paso calculada mediante el escalón de bloqueo, en milímetros;

$\Delta h$  son las medidas de las alturas, en milímetros

Los resultados del escurrimiento del anillo japonés  $SFJ$  es la media de  $d_1$  y  $d_2$ , redondeada a los 10 mm más próximos, que resulta de la siguiente ecuación:

$$SFJ = \frac{(d_1 + d_2)}{2}$$

donde

$SFJ$  es el escurrimiento, en milímetros;

$d_1$  es el mayor diámetro del flujo expandido, en milímetros;

$d_2$  es la medida del flujo expandido a 90° de  $d_1$ , en milímetros.

### 2.4.2.3 - ENSAYO DE LA CAJA EN L

El ensayo de la caja en L, *L-Box* en inglés, determinar la capacidad de paso del hormigón autocompactante para fluir a través de aberturas estrechas, incluidos los espacios entre las barras de refuerzo y otras obstrucciones sin segregación ni bloqueo. Existen dos variantes: el ensayo con dos barras y el ensayo con tres barras. El ensayo con tres barras simula un armado más denso.

La caja en L debe ser de estructura rígida con superficies lisas, planas y no debe ser fácilmente atacada por la pasta de cemento ni ser propensa a oxidarse. El cuerpo vertical puede ser desmontable para facilitar la limpieza.

El sistema de colocación de las barras debe ser tal que las dos barras lisas de acero de  $(12 \pm 0,2)$  mm de diámetro proporcionen una separación de  $(59 \pm 1)$  mm para el ensayo de dos barras y que las tres barras de  $(12 \pm 0,2)$  mm de diámetro proporcionen una separación de  $(41 \pm 1)$  mm para el ensayo de tres barras. El sistema debe situar las barras en la caja en L en posición vertical y equidistantes unas de otras a lo ancho de la caja, tal y como se muestra en la figura 2.11.3.

donde

- 1 Compuerta corredera

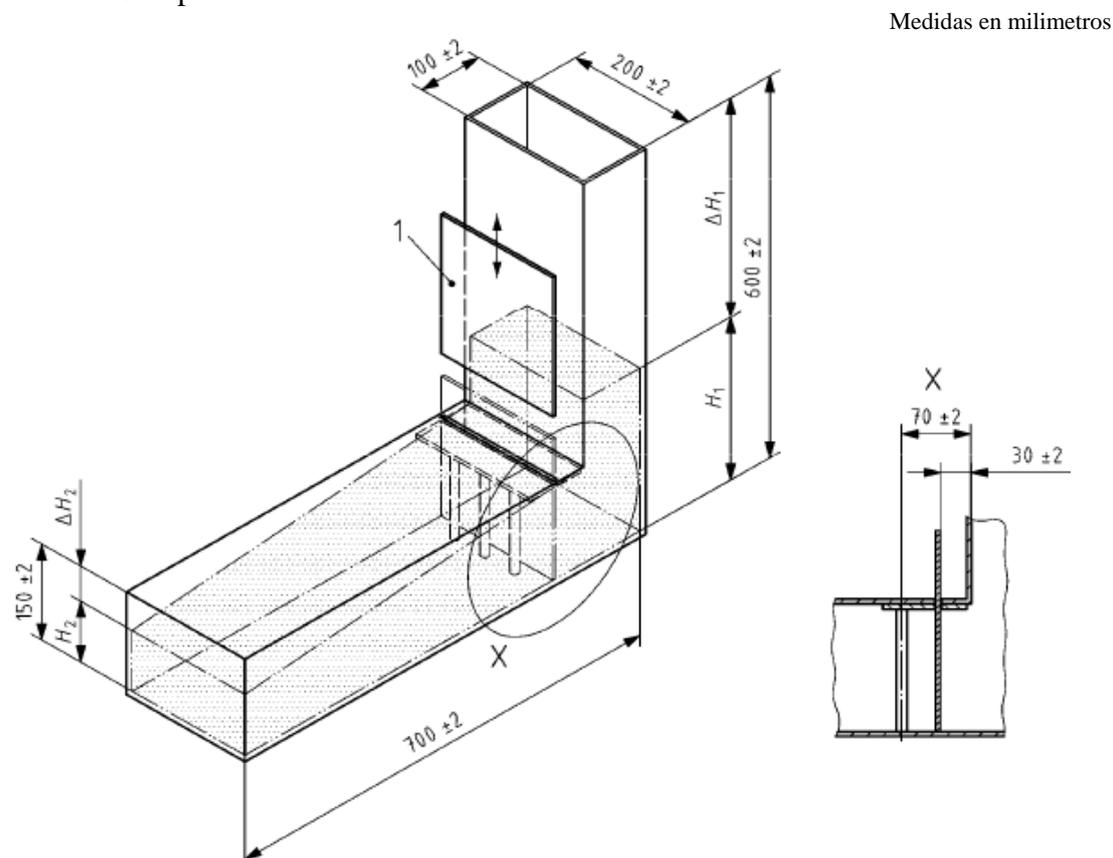
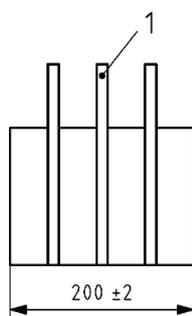


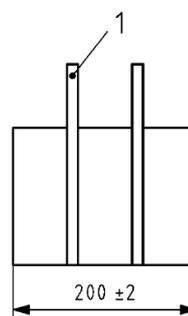
Figura 2.11.3 – Recipiente ensayo de la caja en L

La posición de las barras en la caja en L es:

Medidas en milímetros



a) Espacio libre entre barras,  $(41 \pm 1)$  mm



b) Espacio libre entre barras,  $(59 \pm 1)$  mm

donde

- 1 Barras lisas de acero con  $(12 \pm 0,2)$  mm de diámetro

El procedimiento del ensayo de la caja en es el siguiente, se apoya la caja en L sobre una superficie horizontal y con el nivel de burbuja se comprueba la horizontalidad. Se limpia la caja en L y se humedece inmediatamente antes del ensayo evitando un exceso de agua. Se cierra la compuerta entre los cuerpos vertical y horizontal. Se vierte de una vez el hormigón del recipiente(s) en el cuerpo vertical de la caja en L sin agitación ni compactación mecánica, y después con la barra se enrasa la superficie superior del hormigón con el borde superior del cuerpo vertical y se deja reposar  $(60 \pm 10)$  s.

Se abre totalmente la compuerta corredera en un movimiento continuo y suave para permitir que el hormigón fluya horizontalmente dentro del cuerpo horizontal. Cuando cesa el movimiento se mide el descenso en altura del nivel del hormigón  $\Delta H_1$  en el cuerpo vertical y en el lado de la compuerta de la caja, redondeado al milímetro más próximo, en tres puntos separados la misma distancia a lo largo de toda la anchura de la caja. La altura media del hormigón  $H_1$  es la diferencia entre la altura del cuerpo vertical y la media de las tres lecturas de  $\Delta H_1$ . Se anota  $H_1$  redondeando al milímetro más próximo. El mismo procedimiento sirve para calcular la altura media del hormigón al final del cuerpo horizontal de la caja en L  $H_2$  como la diferencia entre la altura del cuerpo horizontal y la media de las tres lecturas de  $\Delta H_2$ . Se anota  $H_2$  redondeando al milímetro más próximo.

Los resultados que se obtienen de la capacidad de paso PL calculada mediante el ensayo de la caja en L se deduce de la siguiente ecuación, redondeando al 0,01 más próximo:

$$PL = \frac{H_2}{H_1}$$

Donde

$PL$  es la capacidad de paso calculada mediante el ensayo de la caja en L  
 $H_1$  es la altura media de hormigón en el cuerpo vertical de la caja, en milímetros  
 $H_2$  es la altura media del hormigón al final del cuerpo horizontal de la caja, en milímetros.

#### 2.4.2.4 - ENSAYO DEL EMBUDO EN V

El ensayo del embudo en V, *V-funnel* en inglés, sirve para determinar la viscosidad y la capacidad de llenado del hormigón autocompactante. Está normalizado por la norma UNE EN 12350-9:2010. Figura 2.12.

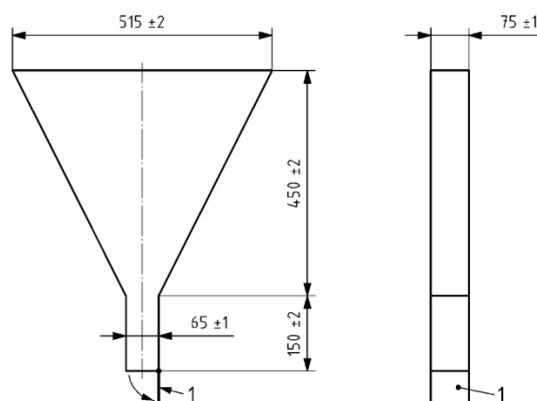
Se llena de hormigón fresco un embudo con forma de V y se registra el tiempo que tarda el hormigón en fluir fuera del cono como tiempo de flujo en el embudo en V.

El embudo en un V es fabricado con las medidas internas y las tolerancias indicadas en la figura 1.9, con una compuerta hermética de abertura rápida, articulada o corredera, acoplada en la base y sostenido por un bastidor de modo que la parte superior del embudo se mantenga en posición horizontal con suficiente espacio bajo la compuerta para colocar el recipiente debajo del embudo.

El embudo en V debe estar hecho de metal que debe ser el material de referencia; las superficies deben ser lisas y no deben ser fácilmente atacadas por la pasta de cemento ni ser propensas a oxidarse.

Si el embudo en V está hecho de otros materiales, debe disponerse de datos de ensayo de comportamiento durante la utilización que demuestren su equivalencia a largo plazo con el de metal.

Medidas en milímetros



**Figura 2.12.** Embudo en V

Donde

1 Compuerta articulada o corredera

El procedimiento del ensayo de la caja en es el siguiente, se limpia el embudo y la compuerta de la base y se humedece toda la superficie interna, incluida la compuerta. Se cierra la compuerta y se vierte la muestra de hormigón dentro del embudo de una vez sin ninguna agitación ni compactación mecánica, y a continuación se enrasa el hormigón en la parte superior del embudo con la barra para nivelarlo con el borde del embudo. Se coloca el recipiente debajo del embudo para recoger el hormigón. Tras llenar el embudo se esperan  $(10 \pm 2)$  s, y después se abre rápidamente la compuerta y se mide el tiempo  $t_V$ , con una precisión de 0,1 s, desde que se abre la compuerta hasta el momento en que es posible ver verticalmente a través del embudo el recipiente situado debajo. El tiempo  $t_V$  es el tiempo de flujo del embudo en V.

El flujo de hormigón del embudo debe ser continuo. Si se produce un bloqueo el ensayo debe repetirse. Si se produce un segundo bloqueo el hormigón carece de la viscosidad y la capacidad de llenado necesarias para ser hormigón autocompactante. Si se produce algún bloqueo debe indicarse en el informe.

La muestra debe ser de al menos 12 l y debe obtenerse siguiendo el procedimiento indicado en la Norma EN 12350-1.

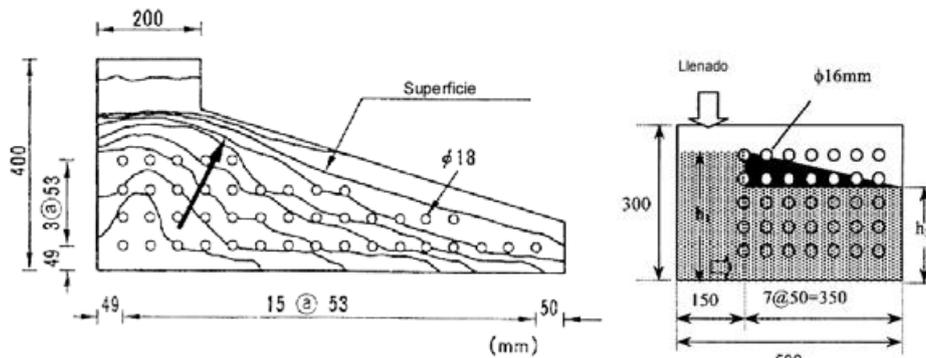
#### 2.4.2.5 – OTROS ENSAYOS

- **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. 2.13.

Posteriormente este ensayo sufrió algunas modificaciones; Yurugi, M – 1993 y Takada, K – 1998. Se evalúa la capacidad de nivelación del hormigón a través de la ecuación 1:

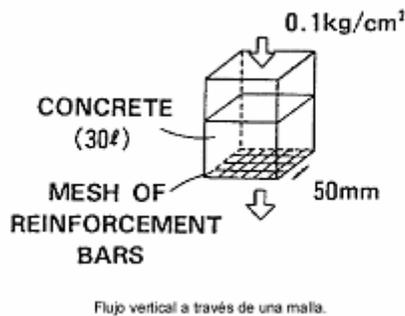
$$F(\%) = \frac{h_1+h_2}{2h_1} \times 100 \quad (1)$$



**Figura 2.13. Vessel test.** (Aparato original y 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. 2.14. Tras el llenado, se aplica una pequeña presión ( $0.1\text{kg/cm}^2$ ) y el hormigón empieza a fluir a través de la armadura.



**Figura 2.14. Ensayo de flujo vertical** (Ozawa – 1992)

- **ORIMET TEST**

El Orimet Test (fig. 2.15) 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.



**Figura 2.15.** Ensayo Orimet

### **2.4.3 - EXIGENCIAS DE AUTOCOMPATIBILIDAD**

Como ya se ha visto al comienzo de este apartado, en el hormigón autocompactante, se tienen que cumplir simultáneamente los tres requisitos principales de autocompactabilidad que se evalúan a través de los ensayos descritos anteriormente. En España, las normas UNE solamente recogen cuatro de los ensayos como ya se ha mencionado y mediante esos ensayos las características de autocompactabilidad se evalúan del siguiente modo:

- Capacidad de relleno: ensayos de escurrimiento y embudo en V.

- Resistencia de bloqueo: ensayo del embudo en V, caja en L y escurrimiento con anillo japonés.
- Resistencia a la segregación: la Instrucción EHE-08 estipula que la resistencia a segregación se mida indirectamente a través de los ensayos de escurrimiento con y sin anillo japonés, y si se quiere de una manera directa se podría realizar con el ensayo de columna o con el tubo-U, aunque son ensayos que no están recogidos en las normas UNE.

En el Anejo 17 de la Instrucción EHE-08, en su Artículo 31.5º, se especifican los rangos admisibles de los parámetros de los ensayos normalizados y que se recogen en la tabla 1.13. Es importante destacar que se tienen que cumplir simultáneamente para así obtener los requisitos de autocompactabilidad. Figura 1.13.

ENSAYO	PARÁMETRO MEDIDO	RANGO ADMISIBLE
Escurrecimiento	$T_{50}$	$T_{50} \leq 8 \text{ seg}$
	$d_f$	$550 \text{ mm} \leq d_f \leq 850 \text{ mm}$
Embudo en V	$T_V$	$4 \text{ s} \leq T_V \leq 20 \text{ s}$
Caja en L	$C_{bL}$	$0,75 \leq C_{bL} \leq 1,00$
Escurrecimiento con anillo japonés	$d_{IF}$	$\geq d_f - 50 \text{ mm}$

**Tabla 1.13.** Requisitos de autocompatibilidad EHE 08

Los Criterios de aceptación establecidos por la EFNARC se encuentran en la tabla 1.14.

MÉTODO	UNIDAD	MARGEN HABITUAL DE VALORES		
		MÍNIMO	MÁXIMO	
1	Flujo asentamiento por cono Abrams	mm	650	800
2	Flujo de asentamiento $T_{50 \text{ mm}}$	segundos	2	5
3	Anillo Japonés	mm	0	10
4	Embudo V	segundos	6	12
5	Embudo V a $T_{5 \text{ min}}$	segundos	0	+3
6	Caja en L	$(h_2/h_1)$	0,8	1,0
7	Caja en U	$(h_2-h_1) \text{ mm}$	0	30
8	Caja de relleno	%	90	100
9	Ensayo de estabilidad GTM	%	0	15
10	Orimet	segundos	0	5

**Tabla 1.14.** Criterios de aceptación para el hormigón autocompactante (TM 20 mm) por la EFNARC

## 2.5 – CARACTERIZACIÓN DEL HAC EN ESTADO ENDURECIDO

### 2.5.1 – RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia a compresión es una de las propiedades más importantes del hormigón donde la relación agua/cemento juega un papel decisivo, pero en el autocompactante influyen otros factores como son: una microestructura más densa, el tamaño máximo del árido, la ausencia de vibración, el empleo de adiciones activas o una baja relación agua/finos entre otros factores (Skarendahl, et al., 2000; Klug et al., 2003; Georgiadis et al., 2007; Agranati, 2008) que hacen que, de forma general, se pueda decir que la resistencia a compresión es mayor en un hormigón autocompactante que en uno convencional, ambos con igual relación agua/cemento.

La vibración puede ser también un factor importante porque si un hormigón convencional tiene una mala vibración se producen coqueas en su interior y, por lo tanto, no se desarrollan adecuadamente sus propiedades. En cambio, en el hormigón autocompactante este problema desaparece.

Otro de los posibles factores que pueden influir notablemente en el desarrollo de resistencias son los superplastificantes de tipo policarboxilatos. Según la ACI (2007), este tipo de aditivos hacen que se mejore la resistencia a compresión sobre la que se tendría si se usasen otro tipo de aditivos en el hormigón autocompactante. Además, también recomienda determinar la resistencia a compresión a 91 días debido a que se mejoran las propiedades del hormigón autocompactante por el mayor contenido de material cementante.

En la bibliografía existente no existe consenso sobre cómo se desarrolla la resistencia a compresión en el hormigón autocompactante respecto al convencional como se puede ver a continuación (Agranati, 2008):

- Song et al. (2001) dicen que el desarrollo de la resistencia a compresión es más lento en el hormigón autocompactante que en el convencional, debido al uso de adiciones activas.
- Persson (2005) indica que la resistencia a compresión, a edades tempranas, es mayor en el hormigón autocompactante.
- Parra et al. (2007) determinan que la resistencia es equivalente en ambos hormigones si se emplea el mismo tipo de cemento y la misma relación agua/cemento.

# **CAPÍTULO 3**

**Fase experimental**

### **3.1 – INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presentan los materiales y se detallan los procedimientos utilizados durante el desarrollo de los trabajos realizados, así como los resultados obtenidos de los ensayos realizados.

### **3.2 – CRITERIOS DE DISEÑO**

Los criterios adoptados para la fabricación del hormigón autocompactante han sido:

- La cantidad máxima de cemento a emplear es de 350 kg/m<sup>3</sup>, pudiéndose superar excepcionalmente.
- Tamaño máximo de árido grueso: 16 mm.
- La cantidad máxima de partículas de árido fino (que pasan por el tamiz UNE 0,063 mm) añadida, incluida la adición del cemento, no debe superar 250 kg/m<sup>3</sup> de hormigón.
- Por razones de economía, la cantidad de aditivos a emplear debe reducirse a la menor posible.

### **3.3 – CARACTERÍSTICAS MATERIALES UTILIZADOS**

#### **3.3.1 – MATERIALES EMPLEADOS**

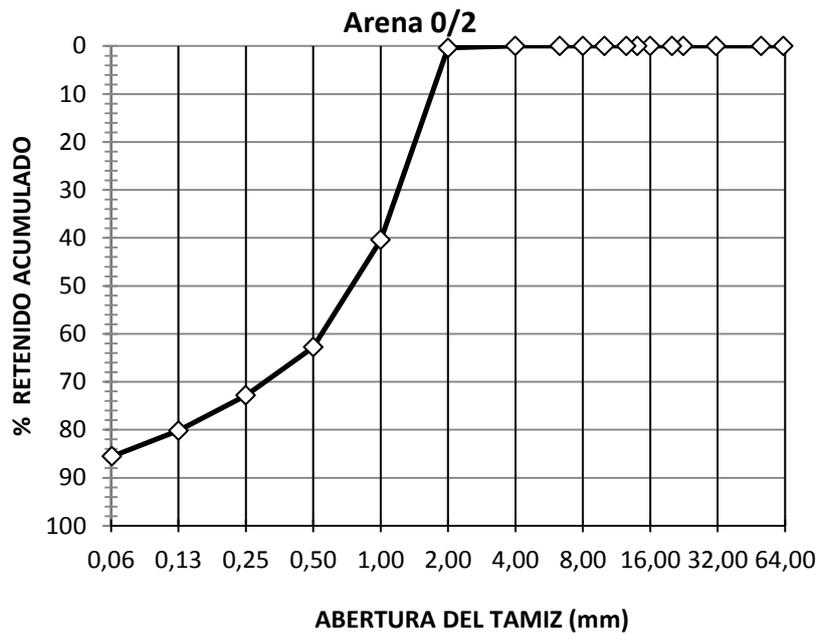
##### **3.3.1.1 – ÁRIDOS**

El árido empleado ha sido arena silíceo de río y grava silíceo por machaqueo. El tamaño máximo de árido grueso se ha fijado en 16 mm, aunque en la Instrucción EHE-08, en su Anejo 17, permite usar hasta un tamaño máximo de 25 mm (Artículo 28°).

El análisis granulométrico de los áridos se realizó según la norma UNE-EN 933-1:1998.

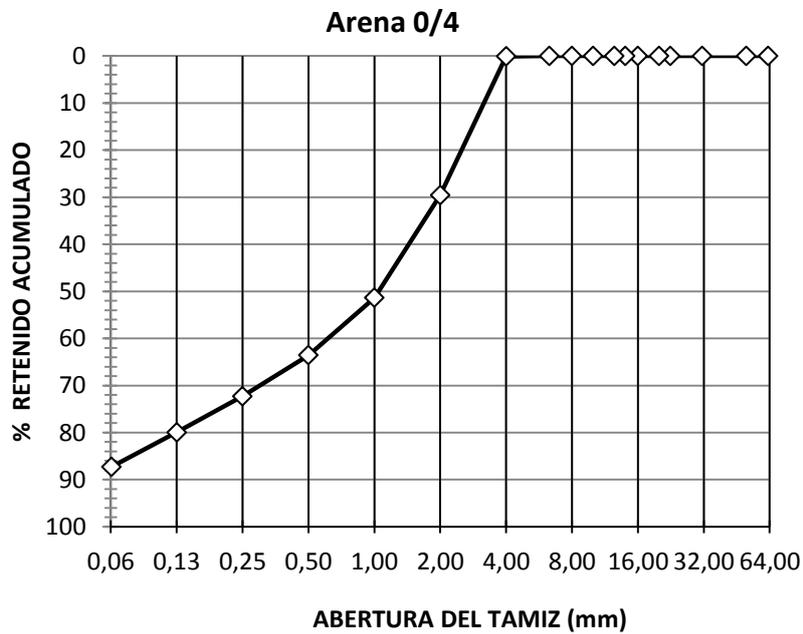
En el Anejo 6 se detallan los resultados del estudio granulométrico.

El módulo granulométrico de la arena 0/2 era de 2,57 con un contenido de finos del 14,46 %, figura 3.1.



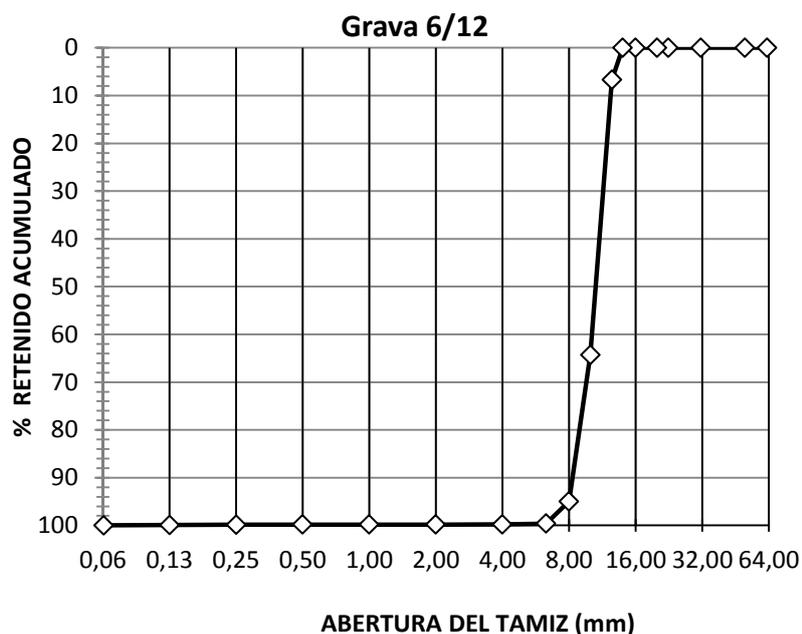
**Figura 3.1.** Granulometría del árido 0/2

El módulo granulométrico de la arena 0/4 era de 2,97 con un contenido en finos del 12,74 %, figura 3.2.



**Figura 3.2.** Granulometría del árido 0/4

Y el módulo granulométrico de la grava era de 6,94 con un contenido en finos del 1,20 %, figura 3.3.



**Figura. 3.3.** Granulometría del árido 6/12

### 3.3.1.2 – CEMENTO

El cemento utilizado es:

- Cemento Portland Mixto CEM II/B –M (S – L) 42,5 R (tabla 3.1) distribuido en sacos de 35 Kg con Certificación de Conformidad CE concedido por APPLUS, atiende a la norma UNE\_EN 197 – 1.

CARACTERÍSTICAS		ESPECIFICACIONES NORMA
Componentes	Clínker (%)	65-79
	Caliza (%)	21-35
	Escorias (%)	
	Componentes minoritarios (%)	0-5
Químicas	Sulfato (%)	≤4,0
	Cloruro (%)	≤0,10
Físicas	Principio de fraguado (min)	≥60
	Final de fraguado (min)	-
	Expansión (mm)	≤10,0
Mecánicas	Resistencia a compresión 2 días (N/mm <sup>2</sup> )	≥20
	Resistencia a compresión 7 días (N/mm <sup>2</sup> )	-
	Resistencia a compresión 28días (N/mm <sup>2</sup> )	42,5 - 62,5

**Tabla 3.1.** Características Cemento CEM II/B –M (S – L) 42,5 R

- Cemento Portland Resistente a Sulfatos I / 42,5 R / SR (tabla 3.2) distribuido en sacos de 35 Kg con Certificación de Conformidad CE concedido por APPLUS, atiende a la norma UNE 80303-1 / EN 197-1.

	<b>CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO</b>	<b>NORMA</b>	<b>HABITUAL</b>
<b>Componentes*</b>	Clinker (%)	95-100	97
	Caliza (L) (%)	-	3
	Regulador de fraguado, “yeso” (%)	-	3
<b>Químicas</b>	Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ) (%)	4 máx	3,5
	Cloruros (Cl-) (%)	0,10 máx	0,03
	Pérdida por calcinación (%)	5 máx	2,0
	Residuo insoluble (%)	5 máx	0,3
<b>Físicas</b>	Expansión Le Chatelier (mm)	10 máx	0
	Tiempo de inicio de fraguado (minutos)	60 mín	195
	Tiempo final de fraguado (minutos)	-	260
	Superficie específica Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	-	3.900
<b>Mecánicas</b>	Compresión a 1 día (MPa)	-	13
	Compresión a 2 días (MPa)	20 mín	27
	Compresión a 7 días (MPa)	-	42
	Compresión a 28 días (MPa)	42-62	58
<b>Adicionales</b>	C3A	5 máx	4
	C3A+C4AF	22 máx	13

\* Referidos al núcleo del cemento, incluido el regulador de fraguado.

**Tabla 3.2.** Características Cemento I / 42,5 R / SR

### 3.3.1.3 - AGUA

El agua que se utilizó procedía del sistema de suministro Aguas de Valencia. No se requieren prescripciones específicas, salvo las generales que se establecen para el hormigón estructural.

### 3.3.1.4 – ADITIVOS

En todas las dosificaciones se ha empleado el mismo aditivo superplastificante, Sika Viscocrete 3425 (tabla 3.3), de tipo policarboxilato modificado en base acuosa. El aditivo modulador de la viscosidad que hemos utilizado es Sika Stabilizer 4R (tabla

3.4), de tipo polisacárido, su uso es como cohesionante del hormigón, así evitamos la segregación de éste.

<b>SIKA VISCOCRETE®-3425</b> SUPERPLASTIFICANTE DE ALTO RENDIMIENTO	
<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
<b>Contenido en Cloruros</b>	Libre de cloruros
<b>Efecto del fraguado</b>	No retardante
<b>Efecto de sobredosificación</b>	Puede producir exudación
<b>Detalles de Aplicación</b>	
<b>Consumo/Dosificación</b>	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

**Tabla 3.3.** Características Aditivo Superplastificante

<b>SIKA® STABILIZER-4R</b> ADITIVO ESTABILIZADOR Y COHESIONANTE PARA HORMIGÓN BOMBEADO Y COMPACTADO	
<b>Datos Técnicos</b>	
<b>Composición química</b>	Polisacáridos
<b>Densidad (20 °C)</b>	Aprox. 1,0 kg/l
<b>Contenido en sólidos</b>	Aprox. 3 – 3,5 %
<b>Valor de pH</b>	Aprox. 8,5 – 9,5
<b>Detalles de Aplicación</b>	
<b>Consumo/Dosificación</b>	Del 0,2 % al 2% del peso del cemento, hasta el 4% para usos especiales.

**Tabla 3.4.** Características Aditivo Modulador de la Viscosidad.

### 3.4 – PLAN EXPERIMENTAL

#### 3.4.1 – PROCESO DE FABRICACIÓN DEL HORMIGÓN AUTOMPACTANTE

Antes del proceso de amasado, se obtuvieron las granulometrías de la arena y la grava, según la norma UNE-EN 933-1:1998. A continuación, como ya se ha indicado

anteriormente, se tamizó la grava para garantizar que no hubiese áridos de tamaño superior a 16 mm.

Primero se confeccionó un hormigón autocompactante inicial, en base a las recomendaciones de los fabricantes de los aditivos, aplicándolas en nuestra mezcla y siguiendo los criterios de diseño indicados en el apartado 3.2, buscando así la dosificación definitiva para comenzar con nuestro estudio, creando una serie de hormigones de prueba, hasta conseguir el adecuado. En el anejo 1 se muestran los resultados de las distintas dosificaciones de las pruebas realizadas hasta alcanzar la dosificación adecuada. El criterio de aceptación o rechazo de las dosificaciones en función de los resultados de fluidez, cohesión y capacidad de paso, se fijó según la bibliografía consultada (Gettu et al., 2004; EFNARC, 2005; Fernández et al., 2005).

Una vez conseguida la dosificación adecuada para una relación a/c de 0,6, habiéndola ensayado y verificando que la mezcla no presentaba errores ni carencias como son la segregación o la exudación, probamos a variar la relación a/c de 0,6 a 0,45, pues la mezcla no funcionó y decidimos continuar la línea de investigación en un hormigón con relación a/c de 0,6, pero cambiando el tipo de cemento, pasando del CEM II/B –M (S – L) 42,5 R a I / 42,5 R / SR.

Una vez conseguido nuestro propósito, crear un hormigón autocompactante estable con el tipo de cemento descrito anteriormente, se tomó de hormigón base en nuestro estudio. A partir de este momento nuestro estudio trata de averiguar la robustez de esta dosificación, más concretamente de analizar cómo le afecta la variación de agua a la mezcla.

El proceso llevado a cabo para cada dosificación tanto de prueba como de estudio fue:

El amasado se realizó en una amasadora planetaria de eje vertical con una capacidad máxima de 50 litros. Las amasadas tenían un volumen de 15 litros y se siguió el mismo procedimiento para todas ellas. En la Figura 3.4.1 se muestran algunas imágenes del proceso de amasado que se detalla a continuación.

Primero, se determinó la humedad de la arena. A continuación se pesaron los materiales y se introdujeron en la hormigonera en el siguiente orden: arena, grava, y por último el cemento. Posteriormente se midió la cantidad de agua, corrigiendo el aporte de la arena húmeda y de los aditivos.

Una vez que se habían incorporado todos los materiales, excepto el agua y los aditivos en la amasadora, se inició el proceso de amasado que duraba 2 minutos con el objetivo de homogenizar bien la mezcla.

Pasados los 2 minutos, sin parar la hormigonera, se añadía la mitad del agua, contábamos 1 minuto y se vertía el resto del agua a la que previamente se había adicionado el aditivo superplastificante. 4 minutos más tarde vertíamos el aditivo

modulador de la viscosidad. Continuábamos 4 minutos más, amasando y finalizaba el proceso de amasado. Figura 3.4.



**Figura 3.4. Proceso de fabricación del HAC:**

- 1) Averiguar humedad del árido, 2) Mezcla componentes, 3) Amasado

Una vez finalizado el proceso de amasado se procedió a descargar el hormigón de la hormigonera para realizar los ensayos de caracterización del hormigón autocompactante en estado fresco (se detallan en el apartado 3.4.3). Los ensayos realizados fueron tres: escurrimiento, escurrimiento con anillo Japonés y embudo V (siempre en el mismo orden).Figura 3.5.



**Escurremient**



**Anillo Japonés**



**Embudo en V**

**Figura 3.5.** Ensayos realizados

En la primera fase, el diseño del hormigón objeto de estudio, se ensayaban los hormigones de prueba obteniendo los resultados de los parámetros de cada ensayo de hormigón fresco, verificando si estaban dentro de los márgenes de aceptación y a la vista de esto se decidió si se aceptaba o se rechazaba la dosificación de prueba. En el caso de rechazo se corregía la dosificación de acuerdo a los resultados obtenidos y se procedía a realizar la siguiente amasada de prueba. El Anejo 1 muestra los resultados de los ensayos de hormigón fresco para cada amasada de prueba hasta alcanzar la dosificación propuesta. En el Anejo 4 se muestran las fotografías de las amasadas finales para cada dosificación estudiada.

El proceso de amasado del hormigón de ensayo fue el mismo que el de las amasadas de prueba, descrito anteriormente. En estas amasadas se repitieron los ensayos de caracterización del hormigón en estado fresco y, tras el proceso de amasado, se procedió al llenado de probetas, exactamente 2 probetas (se detallan en el apartado 3.4.2) por cada amasada.

### **3.4.2 – TIPO DE PROBETAS**

Se fabricaron un tipo:

- Cilíndricas de 150 Ø x 300 mm. Empleadas para la caracterización mecánica y los ensayos de durabilidad y retracción. Figura 3.6.

Una vez confeccionado el hormigón, se llenaron los moldes de las probetas, según la norma UNE-EN 12390-2:2001. Posteriormente se enrasaron y se protegieron con una cubierta de polietileno durante 24 horas, manteniéndolas a temperatura ambiente de laboratorio. Transcurrido este tiempo, se desmoldaron y se guardaron en

una cámara de curado a temperatura de  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa  $\geq 95\%$  hasta el momento de realización de los ensayos.



**Figura 3.6.** Probetas

El proceso de curado de las probetas se realizó en cámara húmeda a  $20^{\circ}\text{C}$  y humedad al 95%. Únicamente las probetas estuvieron fuera de la cámara húmeda las 24h primeras después 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 la máquina pulidora de probetas de hormigón IBERTESTE, figura 3.7. El procedimiento consiste en introducir la cara a pulir o refrentar de la probeta en el orificio de la máquina y basta con accionar el botón de encendido, el disco comienza a rodar y manualmente accionamos la manivela, acercando así la probeta al disco de diamante el cual poco a poco pule la cara de la probeta hasta donde digamos basta, este método sustituye al refrentado habitual con mortero de azufre y negro de humo, lo que evita el uso de productos químicos potencialmente tóxicos y los malos olores derivados del uso de azufre, que obligan a trabajar bajo cabina de extracción.

El refrentado de las probetas cilíndricas (figura 3.7.) 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 con que la probeta se rompiera con cargas por debajo de su capacidad real.



**Figura 3.7.** Refrentado de probetas

### 3.4.3 – ENSAYOS EN ESTADO FRESCO

En este apartado se describen los ensayos que permiten caracterizar el hormigón autocompactante en estado fresco.

Los ensayos realizados fueron tres: escurrimiento, anillo japonés y embudo V (siempre en el mismo orden). Se siguieron las normas UNE EN 12350 – 2, UNE EN 12350 – 10, UNE EN 12359-9:2010

A continuación se describe cómo se realizaron estos ensayos.

#### 3.4.3.1 - ENSAYO DE ESCURRIMIENTO

El objetivo del ensayo de escurrimiento es evaluar la capacidad de fluir el hormigón y, además, permite comprobar visualmente la posible segregación del hormigón.

Para la realización del ensayo se utilizó el cono de Abrams y una placa de acero plana metálica de 850 x 850 mm (figura 3.8.). En el centro de la misma se encuentra grabada una cruz, cuyas líneas son paralelas a los bordes de la bandeja y es el centro de dos círculos concéntricos de 200 y 500 mm de diámetro.

El ensayo se efectuó de la siguiente manera. Primero, se colocó el cono en el centro de la bandeja, ayudándose de la marca circular de 200 mm. Se llenó el molde de una sola vez y sin compactar el hormigón. Se enrasó y se levantó el molde, midiéndose el tiempo que tardaba el hormigón en alcanzar la circunferencia de 500 mm de diámetro ( $T_{500}$ ) y el diámetro final alcanzado por el hormigón una vez que había cesado el movimiento ( $d_f$ ), siendo aquél la media de dos medidas perpendiculares.



Antes de verter el hormigón.



Resultado del ensayo.

**Figura 3.8.** Ensayo del Escurrimiento

### 3.4.3.2 - ENSAYO DE ANILLO JAPONÉS

La finalidad del ensayo de escurrimiento con anillos japonés es cuantificar la capacidad de bloqueo al pasar la masa fresca entre armaduras y la fluidez que presenta el hormigón.

Para la realización del ensayo se usaron el mismo cono de Abrams y la misma plancha de acero que en el ensayo de escurrimiento cuyas dimensiones se han indicado anteriormente (figura 3.9.). El anillo se compone de un anillo de 300 mm de diámetro y de 16 barras lisas de acero dispuestas en la longitud del anillo, cada una separada de la siguiente 59 mm.

El ensayo se efectuó de la siguiente manera. Primero, se colocó el cono en el centro de la bandeja junto con el anillo japonés, ayudándose de la marca circular de 200 mm. Se llenó el molde de una sola vez y sin compactar el hormigón. Se enrasó y se levantó el molde, midiéndose el tiempo que tardaba el hormigón en alcanzar la circunferencia de 500 mm de diámetro ( $T_{500}$ ), el diámetro final alcanzado por el hormigón una vez que había cesado el movimiento ( $d_f$ ) y tomando 8 alturas en 4 puntos del anillo japonés, tomando como altura tope el anillo.



Inicio Ensayo



Resultado Ensayo

**Figura 3.9.** Ensayo de Escurrimiento con el anillo Japonés

### 3.4.3.3 - ENSAYO DEL EMBUDO EN V

El fin del ensayo del embudo en V es evaluar la capacidad del hormigón para fluir por zonas estrechas y la capacidad de relleno de los moldes.

Para la ejecución de este ensayo se empleó un molde con forma de “V”, como se ha visto anteriormente y un recipiente para la recogida del hormigón. Se llenó el embudo, como se muestra en la siguiente figura y se enrasó. Posteriormente, se abrió la compuerta inferior del embudo y simultáneamente se accionó el cronómetro para determinar el tiempo ( $T_V$ ) que tardaba en salir el hormigón del molde. El tiempo se detuvo en el momento en que, desde la parte superior, se vislumbraba luz a través de la parte inferior (figura 3.10.).



Principio del ensayo



Final del ensayo

**Figura 3.10.** Ensayo del Embudo en V

### 3.4.4 – ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO

#### 3.4.4.1 – ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La rotura de las probetas se realizó utilizando una prensa IBERTEST de 1500 kN de capacidad (figura 3.11.)



**Figura 3.11.** Prensa IBERTEST

### 3.5 – DOSIFICACIONES ADOPTADAS

La dosificación adoptada fue creada por el método de fuller modificado con los criterios de diseño anteriormente descritos, su diseño se encuentra detallado en el Anejo 2. Nuestro objetivo no es otro que averiguar la robustez de la mezcla, para ello nombramos a la mezcla en cuestión Hormigón 0, a partir de su diseño reducimos y aumentamos el agua en la mezcla, existiendo así, 8 hormigones también detallados en el Anejo 2.

Con más precisión encontramos en el Anejo 3 cada dosificación que se ha empleado y las propiedades mecánicas de cada una de ellas.

Estas dosificaciones han permitido obtener hormigones autocompactantes de resistencias características superiores a 30 N/mm<sup>2</sup>, que cumplen con los requisitos de hormigón autocompactante en estado fresco.

# **CAPÍTULO 4**

**Análisis de los resultados**

## **4.1 – RESULTADOS**

Como ya se ha explicado en el Capítulo 3, estudiamos la robustez de un hormigón autocompactante llamado hormigón 0. Este estudio se basa principalmente en variar la cantidad de agua suministrada en la dosificación, por ello, decidimos aumentar y disminuir en porcentaje esta cantidad en la mezcla apareciendo así 8 nuevos hormigones. En todos ellos se ha utilizado cemento sulforesistente (I 42,5 R/SR).

Se han ajustado las dosificaciones a un contenido máximo de cemento de 350 kg/m<sup>3</sup> de hormigón.

La cantidad de áridos (grava y arena) ha sido la misma para todos los hormigones. La relación agua/cemento ha sido de 0,60 para la mezcla inicial, las variaciones han ido de 1,5 % en 1,5 % tanto en aumento como en disminución, llegando a una relación a/c máxima de 0,636 y una relación a/c mínima de 0,564. Hay que señalar que la dosis de agua que se fija en cada una de las dosificaciones corresponde al agua total, incluyendo la humedad de los áridos y la que aporta el aditivo.

Respecto a los aditivos, se ha usado aditivo modificador de viscosidad de tipo polisacárido, a pesar de que económicamente sea más costosa la mezcla, y únicamente un superplastificante de tipo policarboxilato modificado en base acuosa.

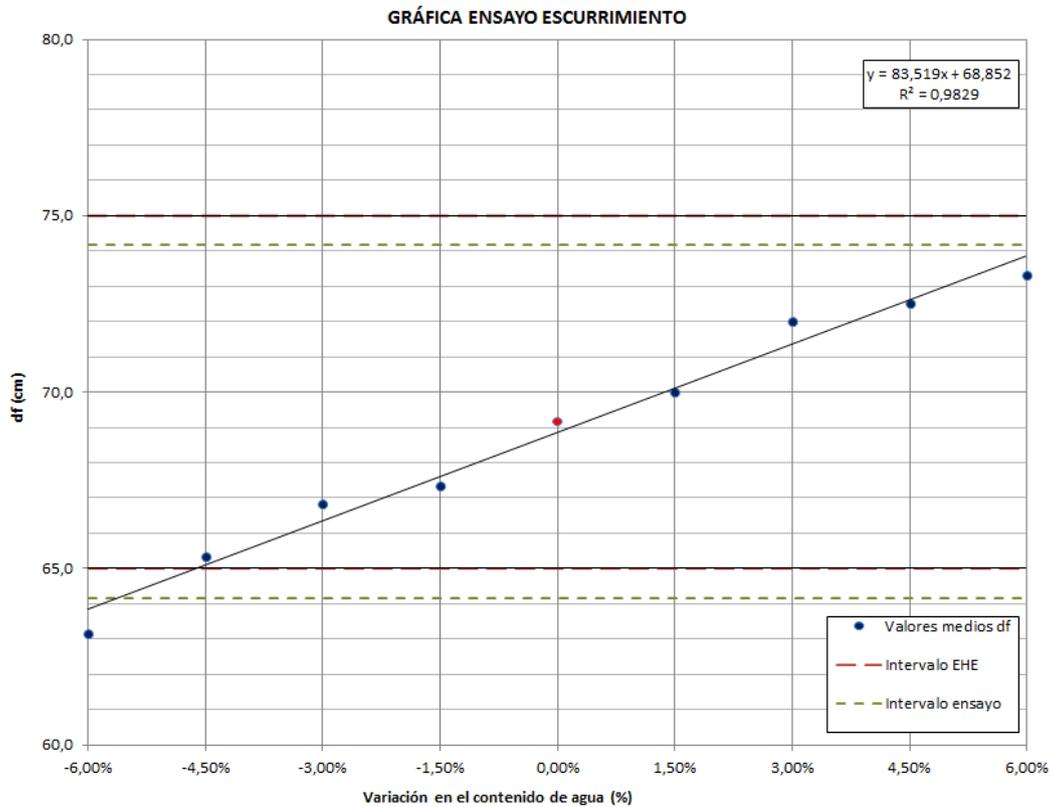
Se ha observado que un contenido de superplastificante superior al 2% del peso de cemento provoca una pérdida de fluidez rápida en el hormigón por lo que se ha intentado reducir su cantidad aproximadamente al 1,6%.

### **4.1.1- RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EN ESTADO FRESCO**

En el Anejo 3 se muestran los resultados de los ensayos del hormigón en estado fresco para cada una de las dosificaciones adoptadas.

### 4.1.1.1 - ENSAYO DE ESCURRIMIENTO

En la figura 4.1. se observan los resultados del ensayo.



**Figura 4.1.** Ensayo escurrimiento.

Observamos que la relación a/c del hormigón 8 (anejo2) es muy baja, las dimensiones del ensayo de escurrimiento no llegan a las dimensiones mínimas de autocompactabilidad ni de la mezcla ni de la EHE-08, la cantidad de agua vertida en la mezcla es la menor de todas las reducciones y el contenido de finos junto con el aditivo modulador de la viscosidad hacen que la cohesión del hormigón sea mayor y la fluidez sea menor, como resultado nos encontramos un hormigón demasiado cohesionado, ya que el fin es crear un hormigón que fluya entre 650 – 750 mm en el ensayo de escurrimiento, por lo tanto la robustez alcanzada en cuanto disminución de agua en la mezcla no alcanza el -6%.

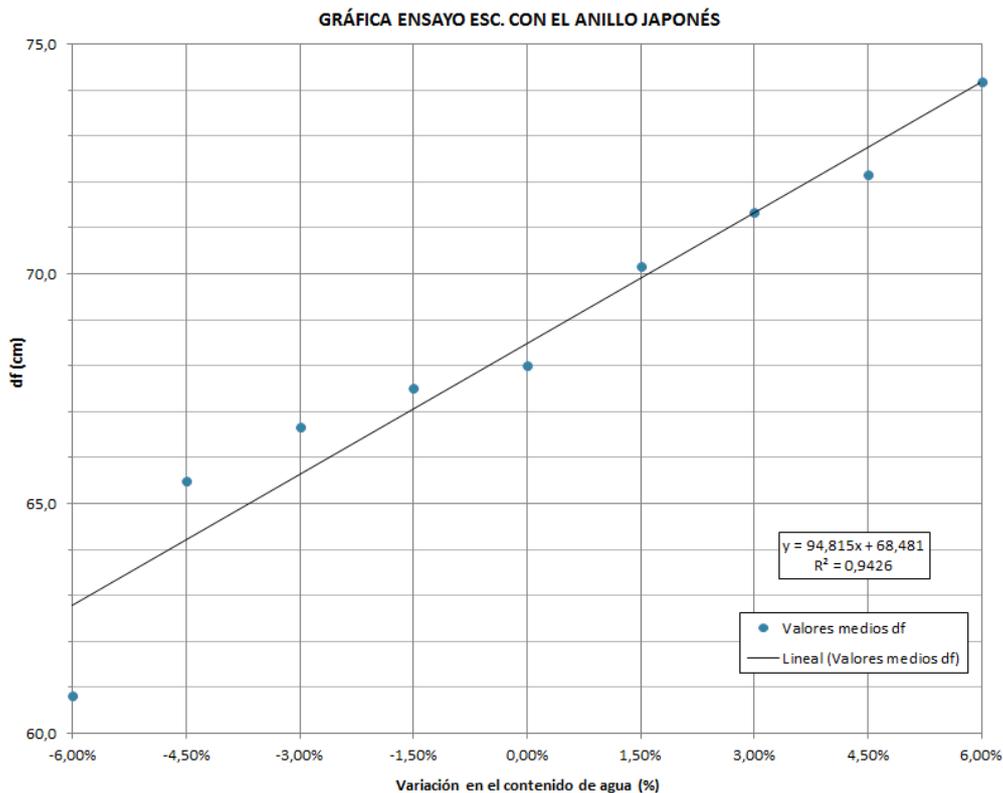
Observamos también en el hormigón 7 (anejo 2), un aumento de la fluidez considerable, pues la cantidad de agua en la mezcla aumenta un 6% de la mezcla inicial, y observamos que no rebasan los límites establecidos en ninguno de los ensayos, pero creemos conveniente reducir en un pequeño porcentaje la cantidad de superplastificante, ya que se le conferirá una mejor cohesión al hormigón y por lo tanto sus propiedades se verán favorecidas, aun así el ensayo entra dentro de los parámetros establecidos en la gráfica, por esta razón es válido el aumento de agua en un 6% de la cantidad de agua total de la mezcla estudiada.

A lo largo de los ensayos observamos que algunas amasadas dan resultados anómalos, creemos que estos resultados están dentro de lo normal, ya que al hormigonar no siempre se encuentran las mismas condiciones climáticas, por ello corroboramos que ese resultado es anómalo repitiendo cada dosificación 3 veces con sus respectivos ensayos siempre de la misma manera y con la misma precisión, demostrando así que los resultados son acorde a una serie de pruebas sin desestimar ninguna de ellas.

Respecto al ensayo de escurrimiento, todos los hormigones autocompactantes cumplen con los rangos admisibles estipulados. Los valores obtenidos para el  $T_{50}$  se sitúan entre 1,2 y 7 s, y para el  $d_f$  entre 650 y 750 mm.

#### 4.1.1.2 - ENSAYO DE ESCURRIMIENTO CON EL ANILLO JAPONÉS

Se observa en la figura 4.2 los resultados del ensayo.



**Figura 4.2.** Ensayo escurrimiento con el anillo Japonés.

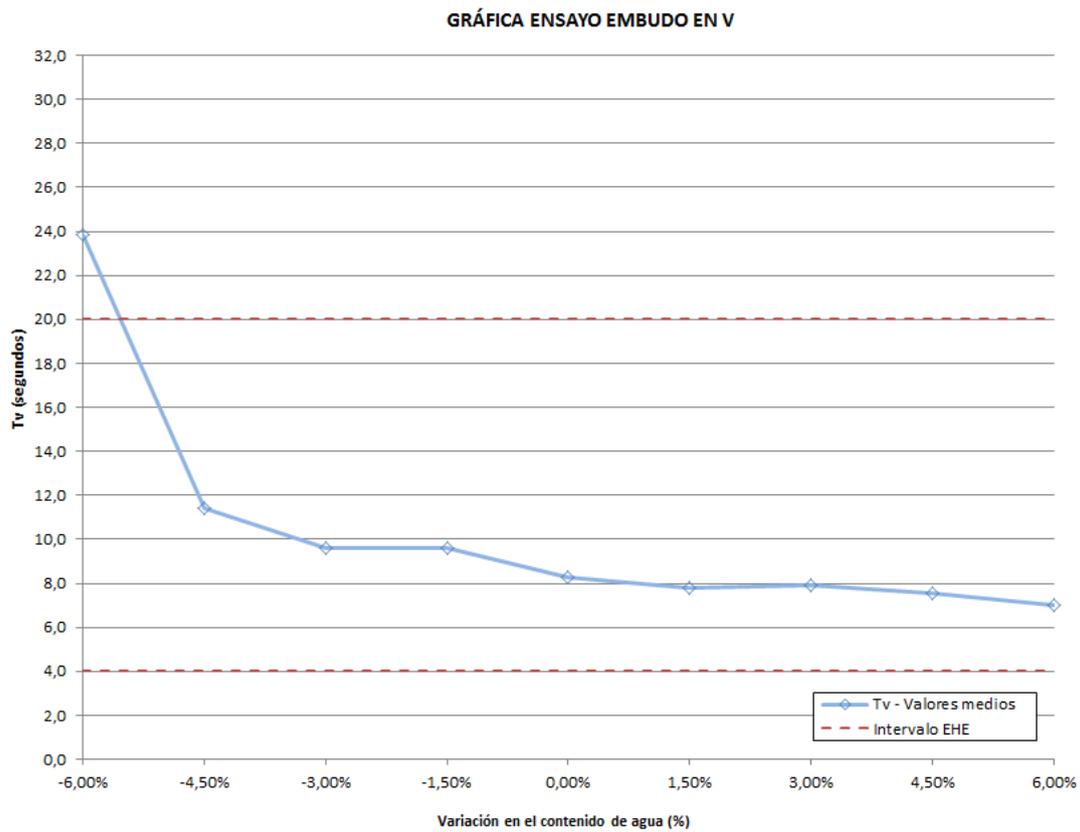
Deducimos de estos resultados la uniformidad numérica junto con la concordancia de éstos, respecto los unos de los otros, es decir podemos ver, que cuanto más agua hay en la mezcla, los resultados en el escurrimiento con el anillo japonés aumentan como máximo 20 mm para un aumento del 1,5% en 1,5% del total del agua, en cambio cuando disminuimos el agua en la mezcla vemos que como máximo

disminuyen los resultados 10 mm para una reducción del 1,5% en 1,5% del total del agua, excepto en el ensayo del hormigón 8 (ver anejo 2), el cual se reduce un 6% de agua y vemos que la fluidez en comparación con el hormigón 6 sufre un descenso no acorde con los resultados de las demás dosificaciones. Por lo tanto podemos decir en este ensayo también que la robustez del hormigón estudiado no alcanza la reducción del 6% de agua en la mezcla, en cambio los resultados aumentando el agua un 6% sí son válidos y correlativos a los anteriores, por lo tanto la robustez alcanza un 6% de aumento en la cantidad de agua en la mezcla.

#### 4.1.1.3 - ENSAYO DEL EMBUDO EN V

En la figura 4.3. se observan los resultados del ensayo.

En el ensayo del embudo en V también se cumple el rango admisible de valores  $T_V$ , establecido en al EHE-08. Exceptuando el hormigón 8 (ver anejo 2), que por su condición de poca fluidez, el ensayo tarda más tiempo del establecido, añadiendo así un resultado más a su lista por la cual lo desestimamos y no lo damos por válido.

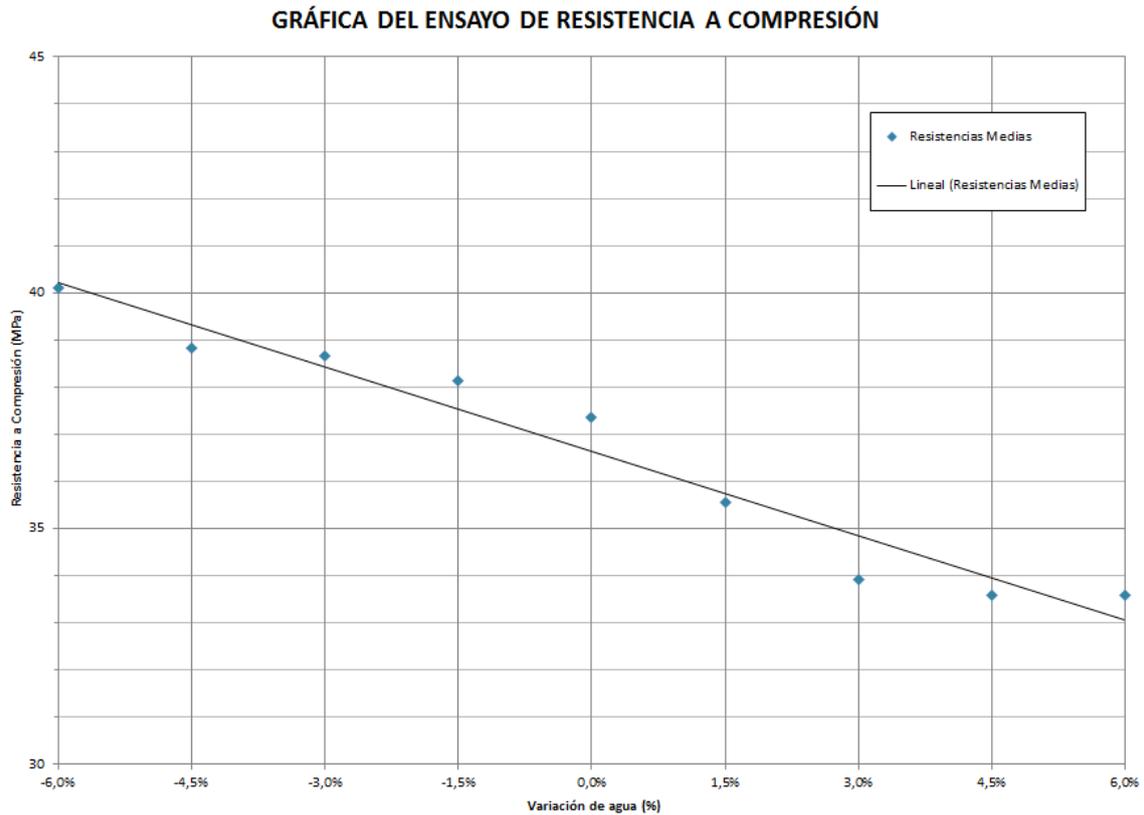


**Figura 4.3.** Ensayo escurrimiento con el anillo Japonés.

## 4.1.2 - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EN ESTADO ENDURECIDO

### 4.1.2.1 - ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

En la figura 4.3. se observan los resultados del ensayo.



**Figura 4.4.** Gráfica ensayo de resistencia a compresión

Se observa en la gráfica que para todas las dosificaciones la resistencia alcanzada es superior a 30 MPa, también, se observa como aumentando la relación a/c la resistencia disminuye y de lo contrario al disminuir la relación a/c la resistencia aumenta. Por lo tanto podemos decir que los resultados de las dosificaciones 7 (ver anejo 2) son resultados anómalos respecto a las demás dosificaciones. Ya que con mayor cantidad de agua en la mezcla en vez de disminuir la resistencia a compresión, aumenta aunque en muy poca cantidad. El motivo de estos resultados podría ser las condiciones de amasado, las condiciones climáticas en el momento de amasado que no fueran idénticas a las demás dosificaciones, aun así los resultados entran dentro de unos parámetros lógicos y las resistencias no son deficientes ya que son superiores a 30 MPa y no mayor a 2 MPa ni por encima ni por debajo de la mezcla inicial.

# **CAPÍTULO 5**

**Líneas de trabajo futuras posibles**

Aunque la aparición del hormigón autocompactante es relativamente nueva, se han dedicado importantes esfuerzos a su investigación con la finalidad de alcanzar un mejor conocimiento de los mismos; sin embargo, aún existen numerosos temas por investigar desarrollar con mayor detalle.

Como posibles líneas de investigación futuras cabe destacar las siguientes:

- Estudiar la caracterización del mortero y la pasta de cemento.
- Estudiar la durabilidad del hormigón autocompactante, realizar los ensayos de penetración de agua bajo presión, de penetración del ión cloruro, de carbonatación acelerada, análisis térmico y rayos-x.
- Estudiar la reología de las pastas de los *cementos especiales*, es decir, sin la presencia del aditivo mediante el empleo de un reómetro.
- Estudiar la velocidad de hidratación, así como de sus productos del conjunto de cemento-adición-aditivo en los diferentes hormigones autocompactantes del estudio.
- Analizar las deformaciones a largo plazo del resto de los hormigones autocompactantes que no se han estudiado por problemas técnicos.
- Estudiar la adherencia entre la armadura y el hormigón autocompactante mediante la realización de ensayos “pull-out” y “beam-test” considerando diferentes tipos de hormigones y estableciendo la diferencia de comportamiento si es que la hay.
- Estudiar el comportamiento, tanto en fresco como endurecido, del hormigón autocompactante al cual se le hayan adicionado fibras de acero o fibras plásticas.

# **CAPÍTULO 6**

**Conclusiones**

- Un contenido elevado de superplastificante, superior al 2% en peso de cemento, puede resultar perjudicial, produciendo una rápida pérdida de fluidez en el hormigón, e incluso segregación.
- Un contenido elevado de moduador de la viscosidad superior al 2% del peso del cemento, puede resultar perjudicial, produciendo excesiva cohesión perdiendo su trabajabilidad.
- Es posible la obtener hormigones autocompactantes con un contenido bajo en finos, como es el caso del hormigón estudiado, la cohesión que confieren los finos en la mezcla es sustituida por la cantidad de aditivo moduador de la viscosidad, sin ser una cantidad elevada, porque podrían aparecer contraindicaciones como son la exudación y la segregación.
- La combinación de ambos aditivos, superplastificante y viscosante, son necesarios para una perfecta trabajabilidad y una posterior funcionalidad, cada uno confiriendo propiedades distintas, sin ellos no sería funcional el hormigón autocompactante, ellos mantienen la relación a/c a la de un hormigón convencional, añadiendo la fluidez característica del hormigón autocompactante y la posterior cohesión de los componentes.
- Es posible obtener hormigones autocompactantes de resistencias medias usando los cementos convencionales cuya clase resistente sea de 42,5, empleando un contenido de cemento de 350 kg/m<sup>3</sup>.
- El componente, agua, es el componentes más importante de la dosificación de un hormigón, como bien observamos en el estudio, su aumento en la mezcla origina perdida de resistencia, excesivo escurrimiento – fluidez que a su vez origina la segregación, es decir la separación de los componentes: árido, cemento y agua. En cambio si reducimos el agua en la mezcla ocurre lo contrario no hay suficiente agua en la mezcla y no todos los componentes se combinan correctamente.

# **BIBLIOGRAFÍA**

**REFERENCIAS:**

1. ACHE (2008). *Monografía nº 13. Hormigón autocompactante: Diseño y aplicación*. ACHE, Madrid, España.
2. EFNARC (2002). *Specification and guidelines for self-compacting concrete*.
3. EFNARC y EFCA (2005). *The European guidelines for self-compacting concrete*.
4. Fernández Gómez, J. y Burón Maestro, M. (2005). *Guía práctica para la utilización del hormigón autocompatante*. IECA, Madrid, España.
5. Gettu R. y Agulló L. (2003). *Estado del arte del hormigón autocompactable y su caracterización. Informe C4745/1*. Departamento de Ingeniería de la Construcción, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.
6. Gettu R. y Agulló L. (2004a). “Estado del arte del hormigón autocompactable y su caracterización (Parte I)”, *Cemento y Hormigón*
7. Gettu R. y Agulló L. (2004b). “Estado del arte del hormigón autocompactable y su caracterización (Parte II)”, *Cemento y Hormigón*.
8. Gomes, P.C.C., Gettu, R. Agulló, L. y Bernad, C. (2002). “Diseño de hormigones autocompactantes de alta resistencia. Procedimiento para su dosificación y métodos de caracterización”. *Cemento y Hormigón*.
9. Grupo de Proyecto Europeo (GPE) del Hormigón Autocompactable (2006). *Directrices Europeas para el Hormigón Autocompactable. Especificaciones, Producción y Uso*. ANDECE, ANFAH, ANEFHOP, IECA.
10. ‘Hormigón’, Número de Septiembre de 2001, artículo ‘Hormigón autocompacto’.
11. ‘Hormigón y Acero’, año 2001, Nº 221 -222 P.C.C. Gomes, R. Gettu y L. Agulló.
12. [www.efnarc.org](http://www.efnarc.org)
13. [www.efca.info](http://www.efca.info)
14. [www.sika.cl](http://www.sika.cl)
15. [www.concretonline.com](http://www.concretonline.com)
16. [www.hormigonelaborado.com](http://www.hormigonelaborado.com)

17. [www.aahe.com.ar](http://www.aahe.com.ar)
18. [www.cemex.es](http://www.cemex.es)
19. [www.arquitectura-tecnica.com](http://www.arquitectura-tecnica.com)
20. [www.arquitecturasociada.cl](http://www.arquitecturasociada.cl)
21. [www.boviar.com](http://www.boviar.com)
22. <http://icc.ucv.cl>
23. [www.minetti.com](http://www.minetti.com)
24. <http://bettor-mbt.es>
25. <http://anfah.org>

#### **NORMAS:**

1. AENOR. “UNE-EN 933-1:1998” Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos
2. AENOR. “UNE-EN 933-1:1998/A1:2006”, Método de tamizado
3. AENOR. “UNE-EN 12350-1”, Ensayos de hormigón fresco Parte 1: Toma de muestras
4. AENOR. “EN 12350-8:2010”, Ensayos de hormigón fresco Parte 8: Hormigón autocompactante Ensayo del escurrimiento
5. AENOR. “UNE-EN 12350-12”, Ensayos de hormigón fresco Parte 12: Hormigón autocompactante Ensayo con el anillo japonés
6. AENOR. “UNE-EN 12350-10”, Ensayos de hormigón fresco Parte 10: Hormigón autocompactante Método de la caja en L
1. AENOR. “UNE-EN 12350-9” Ensayos de hormigón fresco Parte 9: Hormigón autocompactante Ensayo del embudo en V
2. FOMENTO, “EHE 08, Instrucción de hormigón estructural”, Anejo 17. Recomendaciones para la utilización del hormigón autocompactante

# **ANEJO 1**

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS  
DEL HORMIGÓN FRESCO DE LAS  
DOSIFICACIONES DE PRUEBA**

**PRUEBA 1:**

**TIPO DE CEMENTO:** CEM II/B –M (S – L) 42,5 R

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO</b>			
Agua	195,3 Kg	2,930 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	450,0 Kg	6,75 Kg	13 s	56 cm	57 cm	56,5 cm
Arena 0/4	679,3 Kg	10,19 Kg	<b>NO</b>			
Grava	724,7 Kg	10,87 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,3 Kg	0,07875 Kg (1,5% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,9 Kg	0,02888 Kg (0,55% CEM)	<b>Tiempo</b>			
			-			
			-			
Humedad Arena 0/2	3,42 %					
Humedad Arena 0/4	4,15 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES</b>			
a/c	0,6		T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		-	-	-	-
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		-	-	-	-
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		-	-	-	-
			<b>PJ</b>			
			-			
			-			

**VÁLIDO:** NULO, ESCURRIMIENTO MENOR A 65 cm.

**PRUEBA 2:**

**TIPO DE CEMENTO:** CEM II/B –M (S – L) 42,5 R

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO</b>			
Agua	195,3 Kg	2,930 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	450,0 Kg	6,75 Kg	1,90 d	64 cm	65 cm	64,5 cm
Arena 0/4	679,3 Kg	10,19 Kg	<b>NO</b>			
Grava	724,7 Kg	10,87 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,3 Kg	0,07875 Kg (1,5% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,5 Kg	0,02205 Kg (0,42% CEM)	<b>Tiempo</b>			
			-			
			-			
Humedad Arena 0/2	3,42 %					
Humedad Arena 0/4	4,15 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES</b>			
a/c	0,6		T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		-	-	-	-
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		-	-	-	-
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		-	-	-	-
			<b>PJ</b>			
			-			
			-			

**VÁLIDO:** NULO, ESCURRIMIENTO MENOR A 65 cm.

**PRUEBA 3:**

**TIPO DE CEMENTO:** CEM II/B –M (S – L) 42,5 R

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO</b>			
Agua	195,3 Kg	2,930 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	450,0 Kg	6,75 Kg	0,69 s	75 cm	75 cm	75 cm
Arena 0/4	679,3 Kg	10,19 Kg	<b>OK</b>			
Grava	724,7 Kg	10,87 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	6 Kg	0,08925 Kg (1,7% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,5 Kg	0,02205 Kg (0,42% CEM)	-			
			-			
Humedad Arena 0/2	3,42 %					
Humedad Arena 0/4	4,15 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES</b>			
a/c	0,6		T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		-	-	-	-
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		-	-	-	-
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		-	-	-	-
			<b>PJ</b>			
			-			
			-			

**VÁLIDO:** NULO, EXCESO DE SEGREGACIÓN.

**PRUEBA 4:**

**TIPO DE CEMENTO:** CEM II/B –M (S – L) 42,5 R

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO</b>			
Agua	195,3 Kg	2,930 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	450,0 Kg	6,75 Kg	0,85 s	75 cm	75 cm	75 cm
Arena 0/4	679,3 Kg	10,19 Kg	<b>OK</b>			
Grava	724,7 Kg	10,87 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	6 Kg	0,08925 Kg (1,7% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,8 Kg	0,02625 Kg (0,50% CEM)	-			
			-			
Humedad Arena 0/2	3,42 %					
Humedad Arena 0/4	4,15 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES</b>			
a/c	0,6		T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		-	-	-	-
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		-	-	-	-
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		-	-	-	-
			<b>PJ</b>			
			-			
			-			

**VÁLIDO:** NULO, EXCESO DE SEGREGACIÓN.

**PRUEBA 5:**

**TIPO DE CEMENTO:** CEM II/B –M (S – L) 42,5 R

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO</b>			
Agua	195,3 Kg	2,930 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	450,0 Kg	6,75 Kg	1,69 s	68 cm	69 cm	68,5 cm
Arena 0/4	679,3 Kg	10,19 Kg	<b>OK</b>			
Grava	724,7 Kg	10,87 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	6 Kg (1,7% CEM)	0,08925 Kg (1,7% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,9 Kg (0,55% CEM)	0,02625 Kg (0,55% CEM)	3,31 s			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	3,42 %					
Humedad Arena 0/4	4,15 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES</b>			
a/c	0,6		T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		2,3 s	68,5 cm	70 cm	69,2 cm
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,4 cm	10,3 cm	10,1 cm	9,8 cm
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,4 cm	9,9 cm	10,7 cm	10,1 cm
			<b>PJ</b>			
			3,75 cm			
			<b>OK</b>			

**VÁLIDO:** SI, PERO FLUYE DEMASIADO.

**PRUEBA 6:**

**TIPO DE CEMENTO:** CEM II/B –M (S – L) 42,5 R

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO</b>			
Agua	195,3 Kg	2,930 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	450,0 Kg	6,75 Kg	1,6 s	67 cm	66 cm	67,5 cm
Arena 0/4	679,3 Kg	10,19 Kg	<b>OK</b>			
Grava	724,7 Kg	10,87 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,6 Kg (1,6% CEM)	0,084 Kg (1,6% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,8 Kg (0,5% CEM)	0,02625 Kg (0,5% CEM)	4,15 s			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	3,42 %					
Humedad Arena 0/4	4,15 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES</b>			
a/c	0,6		T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		3,1s	65 cm	66 cm	65,5 cm
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		8 cm	9,4 cm	8,2 cm	9,2 cm
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		8 cm	8,5 cm	8,4 cm	9,7 cm
			<b>PJ</b>			
			1,05 cm			
			<b>OK</b>			

**VÁLIDO:** SI.

# **ANEJO 2**

**DOSIFICACIONES ADOPTADAS**

	<b>HORMIGÓN</b>								
	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>Variación de Agua (*)</b>	<b>0 %</b>	<b>+ 1,5%</b>	<b>- 1,5%</b>	<b>+ 3%</b>	<b>- 3%</b>	<b>+ 4,5%</b>	<b>- 4,5%</b>	<b>+ 6%</b>	<b>- 6%</b>
<b>Relación a/c</b>	<b>0,6</b>	<b>0,609</b>	<b>0,591</b>	<b>0,618</b>	<b>0,582</b>	<b>0,627</b>	<b>0,573</b>	<b>0,636</b>	<b>0,564</b>
<b>Cemento</b>	<b>350 Kg</b>								
<b>Agua</b>	<b>210 Kg</b>	<b>213,2 Kg</b>	<b>206,9 Kg</b>	<b>216,3 Kg</b>	<b>203,7 Kg</b>	<b>219,5 Kg</b>	<b>200,6 Kg</b>	<b>222,6 Kg</b>	<b>197,4 Kg</b>
<b>Arena 0/2</b> ( 24% del ARIDO )	<b>440 Kg</b>	<b>438 Kg</b>	<b>442 Kg</b>	<b>436 Kg</b>	<b>444 Kg</b>	<b>434 Kg</b>	<b>446 Kg</b>	<b>432 Kg</b>	<b>448 Kg</b>
<b>Arena 0/4</b> ( 36% del ARIDO )	<b>660 Kg</b>	<b>657 Kg</b>	<b>663 Kg</b>	<b>654 Kg</b>	<b>666 Kg</b>	<b>651 Kg</b>	<b>669 Kg</b>	<b>648 Kg</b>	<b>672 Kg</b>
<b>Grava</b> ( 40% del ARIDO )	<b>733,3 Kg</b>	<b>730 Kg</b>	<b>736,7 Kg</b>	<b>726,6Kg</b>	<b>740 Kg</b>	<b>723,3 Kg</b>	<b>743,3 Kg</b>	<b>720 Kg</b>	<b>746,7 Kg</b>
<b>Aditivo Superplastificante</b> ( 1,65 % del CEM )	<b>5,8 Kg</b>								
<b>Aditivo Modulador de la Viscosidad</b> ( 0,3 % del CEM )	<b>1,1 Kg</b>								

\* Las cantidades de agua varían su proporción a partir del hormigón tomado como base (hormigón 0).

# **ANEJO 3**

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS  
DE HORMIGÓN FRESCO PARA  
LAS DOSIFICACIONES  
ADOPTADAS**

**HORMIGÓN: 0**

**VARIACIÓN DE AGUA: 0%**

**AMASADA: 1°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	210,0 Kg	2,635 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	440,0 Kg	6,711 Kg	2,4	67	70	68,5
Arena 0/4	660,3 Kg	10,304 Kg	<b>OK</b>			
Grava	733,3 Kg	11,00 Kg	<b>EMBUDO V</b>			
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	10,6			
Humedad Arena 0/2	1,69 %		<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/4	4,08 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub> (s)	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		4,97	66	67	66,5
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,3	6,8	9,7	7,8
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,6	8	10,8	7,1
			<b>PJ</b>			
			2,925			
a/c	0,6		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 0**

**VARIACIÓN DE AGUA: 0%**

**AMASADA: 2°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	210,0 Kg	2,513 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	440,0 Kg	6,826 Kg	2,3	68	69	68,5
Arena 0/4	660,3 Kg	10,311 Kg	<b>OK</b>			
Grava	733,3 Kg	11,00 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	8,7			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	3,42 %					
Humedad Arena 0/4	4,15 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		4,3	65	65	65
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		11	10,7	10,8	10
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		11	8,9	10,9	9,3
			<b>PJ</b>			
			1,2			
a/c	0,6		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 0**

**VARIACIÓN DE AGUA: 0%**

**AMASADA: 3°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	210,0 Kg	2,930 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	440,0 Kg	6,688 Kg	1,62	70	71	70,5
Arena 0/4	660,3 Kg	10,158 Kg	<b>OK</b>			
Grava	733,3 Kg	11,00 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	5,44			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	1,33 %					
Humedad Arena 0/4	2,61 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		1,9	72	73	72,5
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		11	10,4	11	9,2
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		11	10,5	11	10
			<b>PJ</b>			
			0.975			
a/c	0,6		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 0**

**VARIACIÓN DE AGUA: 0%**

**AMASADA: MEDIA (1°-2°-3°)**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg		<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	210,0 Kg		T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	440,0 Kg		2,1	68,3	70,0	69,2
Arena 0/4	660,3 Kg		<b>OK</b>			
Grava	733,3 Kg					
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)		<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)		8,2			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2						
Humedad Arena 0/4						
			<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		3,7	67,7	68,3	68,0
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,8	9,3	10,5	9,0
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,9	9,1	10,9	8,8
			<b>PJ</b>			
			1,7			
a/c	0,6		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 1**

**VARIACIÓN DE AGUA: +1,5 %**

**AMASADA: 1°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	213,2Kg	2,684 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	438,0 Kg	6,681 Kg	1,96	70	70	70
Arena 0/4	657,0Kg	10,257 Kg	<b>OK</b>			
Grava	733,0 Kg	10,950Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	8,87			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	1,69 %					
Humedad Arena 0/4	4,08 %					
			<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		3,87	70	71	70,5
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,7	9,4	11	8,6
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,9	9,5	10,8	9,2
			<b>PJ</b>			
			1.675			
a/c	<b>0,609</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 1**

**VARIACIÓN DE AGUA: +1,5 %**

**AMASADA: 2°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	213,2Kg	2,564 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	438,0 Kg	6,795 Kg	2,06	69	69	69
Arena 0/4	657,0Kg	10,264 Kg	<b>OK</b>			
Grava	733,0 Kg	10,950 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			Tiempo (segundos)			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	8,9			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	3,42 %					
Humedad Arena 0/4	4,15 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
			4,37	64	70	67
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
			10,7	9,8	11	9,4
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
			10,7	9,9	10,8	9,1
			<b>PJ</b>			
			1,25			
a/c	<b>0,609</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 1**

**VARIACIÓN DE AGUA: +1,5 %**

**AMASADA: 3°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO</b>			
Agua	213,2Kg	2,853 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	438,0 Kg	6,657 Kg	1,61	71	71	71
Arena 0/4	657,0Kg	10,112 Kg	<b>OK</b>			
Grava	733,0 Kg	10,950 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			Tiempo (segundos)			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	5,53			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	1,33 %					
Humedad Arena 0/4	2,61 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		1,8	73	73	73
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		11	10,4	10,9	10,2
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,9	10,3	10,8	10,4
			<b>PJ</b>			
			0,575			
a/c	<b>0,609</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 1**

**VARIACIÓN DE AGUA: +1,5%**

**AMASADA: MEDIA (1°-2°-3°)**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg		<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	213,2Kg		T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	438,0 Kg		1,9	70,0	70,0	70,0
Arena 0/4	657,0Kg		<b>OK</b>			
Grava	733,0 Kg					
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)		<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)		7,8			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2						
Humedad Arena 0/4						
			<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		3,3	69,0	71,3	70,2
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,8	9,9	11,0	9,4
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,8	9,9	10,8	9,6
			<b>PJ</b>			
			1,2			
a/c	<b>0,609</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 2**

**VARIACIÓN DE AGUA: -1,5 %**

**AMASADA: 1°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	206,9Kg	2,585 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	442,0 Kg	6,742 Kg	2,07	69	70	69,5
Arena 0/4	663,0Kg	10,351 Kg	<b>OK</b>			
Grava	736,7Kg	11,050Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	6,3			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	1,69 %					
Humedad Arena 0/4	4,08 %					
			<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		3,09	63	66	64,5
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,6	9,3	10,5	9,3
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,6	10	10,7	8,5
			<b>PJ</b>			
			1,325			
a/c	<b>0,591</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 2**

**VARIACIÓN DE AGUA: -1,5 %**

**AMASADA: 2°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	206,9Kg	2,463 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	442,0 Kg	6,857 Kg	4,6	63	64	63,5
Arena 0/4	663,0Kg	10,358 Kg	<b>OK</b>			
Grava	736,7Kg	11,050 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	15,4			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	3,42 %					
Humedad Arena 0/4	4,15 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		7,71	68	69	68,5
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10	8,8	10,2	8,6
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,3	9	9,8	9,2
			<b>PJ</b>			
			1,175			
a/c	<b>0,591</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 2**

**VARIACIÓN DE AGUA: -1,5 %**

**AMASADA: 3°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	206,9Kg	2,755 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	442,0 Kg	6,718 Kg	2,1	69	69	69
Arena 0/4	663,0Kg	10,204 Kg	<b>OK</b>			
Grava	736,7Kg	11,050 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	7,06			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	1,33 %					
Humedad Arena 0/4	2,61 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		1,71	69	70	69,5
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,9	10,5	11	9,3
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		11	9,5	10,8	10
			<b>PJ</b>			
			1,1			
a/c	<b>0,591</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 2**

**VARIACIÓN DE AGUA: -1,5 %**

**AMASADA: MEDIA (1°-2°-3°)**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg		<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	206,9Kg		T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	442,0 Kg		2,9	67,0	67,7	67,3
Arena 0/4	663,0Kg		<b>OK</b>			
Grava	736,7Kg					
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)		<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
			9,6			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)		<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2						
Humedad Arena 0/4						
			<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		4,2	66,7	68,3	67,5
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,5	9,5	10,6	9,1
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,6	9,5	10,4	9,2
			<b>PJ</b>			
			<b>1,2</b>			
a/c	<b>0,591</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 3**

**VARIACIÓN DE AGUA: +3 %**

**AMASADA: 1°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	216,3 Kg	2,734 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	436,0 Kg	6,650 Kg	1,47	71	73	72
Arena 0/4	654,0Kg	10,210 Kg	<b>OK</b>			
Grava	726,6Kg	10,900 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			Tiempo (segundos)			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	13			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	1,69 %					
Humedad Arena 0/4	4,08 %					
			<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		3,68	67	69	68
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,7	10	10,6	8,9
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,7	9,6	10,9	8,5
			<b>PJ</b>			
			1,475			
a/c	<b>0,618</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 3**

**VARIACIÓN DE AGUA: +3 %**

**AMASADA: 2°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	216,3 Kg	2,614 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	436,0 Kg	6,763 Kg	1,54	71	74	72,5
Arena 0/4	654,0Kg	10,217 Kg	<b>OK</b>			
Grava	726,6Kg	10,900 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	4,89			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	3,42 %					
Humedad Arena 0/4	4,15 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		2,9	73	74	73,5
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		11	10	11	10,4
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		11	10,7	10,5	10
			<b>PJ</b>			
			0,6			
a/c	<b>0,618</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 3**

**VARIACIÓN DE AGUA: +3 %**

**AMASADA: 3°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	203,7 Kg	2,535 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	444,0 Kg	6,773 Kg	1,59	72	71	71,5
Arena 0/4	666,0 Kg	10,398 Kg	<b>OK</b>			
Grava	740,0 Kg	11,100 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	5,78			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	1,33 %					
Humedad Arena 0/4	2,61 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		1,9	71	74	72,5
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,8	9,5	11	8,8
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		11	8,6	10,9	10
			<b>PJ</b>			
			1,7			
a/c	<b>0,618</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 3**

**VARIACIÓN DE AGUA: + 3%**

**AMASADA: MEDIA (1°-2°-3°)**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg		<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	203,7 Kg		T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	444,0 Kg		1,5	71,3	72,7	72,0
Arena 0/4	666,0 Kg		<b>OK</b>			
Grava	740,0 Kg					
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)		<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)		7,9			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2						
Humedad Arena 0/4						
			<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		2,8	70,3	72,3	71,3
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,1	10,7	10,1	10,1
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,1	10,4	10,5	6,7
			<b>PJ</b>			
			<b>0,7</b>			
a/c	<b>0,618</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 4**

**VARIACIÓN DE AGUA: -3 %**

**AMASADA: 1°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	203,7 Kg	2,535 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	444,0 Kg	6,773 Kg	2,05	65	66	65,5
Arena 0/4	666,0 Kg	10,398 Kg	<b>OK</b>			
Grava	740,0 Kg	11,100 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	9,12			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	1,69 %					
Humedad Arena 0/4	4,08 %					
			<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		2,26	63	63	63
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		11	10,4	10,6	10,3
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		11	10,4	10,9	10,6
			<b>PJ</b>			
			0,45			
a/c	<b>0,582</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 4**

**VARIACIÓN DE AGUA: -3 %**

**AMASADA: 2°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	203,7 Kg	2,413 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	444,0 Kg	6,888 Kg	4	66	68	67
Arena 0/4	666,0 Kg	10,405 Kg	<b>OK</b>			
Grava	740,0 Kg	11,100 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	11,5			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	3,42 %					
Humedad Arena 0/4	4,15 %					
			<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		3,22	65	67	66
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		11	9,2	10,8	8,4
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,9	9,8	10,4	10
			<b>PJ</b>			
			1,425			
a/c	<b>0,582</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 4**

**VARIACIÓN DE AGUA: -3 %**

**AMASADA: 3°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	203,7 Kg	2,706 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	444,0 Kg	6,749 Kg	2,16	68	68	68
Arena 0/4	666,0 Kg	10,251 Kg	<b>OK</b>			
Grava	740,0 Kg	11,100 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	8,22			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	1,33 %					
Humedad Arena 0/4	2,61 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		1,8	71	71	71
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,7	10,5	10,9	10,3
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,9	10,4	10,5	10,2
			<b>PJ</b>			
			0,4			
a/c	<b>0,582</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 4**

**VARIACIÓN DE AGUA: -3 %**

**AMASADA: MEDIA (1°-2°-3°)**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg		<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	203,7 Kg		T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	444,0 Kg		2,7	66,3	67,3	66,8
Arena 0/4	666,0 Kg		<b>OK</b>			
Grava	740,0 Kg					
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)		<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)		9,6			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2						
Humedad Arena 0/4						
			<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		2,4	66,3	67,0	66,7
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,8	10,2	10,6	9,9
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,8	10,2	10,5	7,0
			<b>PJ</b>			
			<b>1,4</b>			
a/c	<b>0,582</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 5**

**VARIACIÓN DE AGUA: +4,5 %**

**AMASADA: 1°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	219,5 Kg	2,783 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	434,0 Kg	6,620 Kg	1,26	71	74	72,5
Arena 0/4	651,0 Kg	10,163 Kg	<b>OK</b>			
Grava	723,3 Kg	10,850 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	12,7			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	1,69 %					
Humedad Arena 0/4	4,08 %					
			<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		2,72	67	69	68
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,7	9,4	11,2	8
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,9	7,9	10,4	8,6
			<b>PJ</b>			
			2,325			
a/c	<b>0,627</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 5**

**VARIACIÓN DE AGUA: +4,5 %**

**AMASADA: 2°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	219,5 Kg	2,664 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	434,0 Kg	6,732 Kg	1,46	70	73	71,5
Arena 0/4	651,0 Kg	10,170 Kg	<b>OK</b>			
Grava	723,3 Kg	10,850 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	4,6			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	3,42 %					
Humedad Arena 0/4	4,15 %					
			<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		10,9	73	75	74
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,8	10,7	10,9	10,6
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,9	10,6	10,8	10,7
			<b>PJ</b>			
			0,2			
a/c	<b>0,627</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 5**

**VARIACIÓN DE AGUA: +4,5 %**

**AMASADA: 3°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	219,5 Kg	2,950 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	434,0 Kg	6,596 Kg	1,38	73	74	73,5
Arena 0/4	651,0 Kg	10,019 Kg	<b>OK</b>			
Grava	723,3 Kg	10,850 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	5,4			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	1,33 %					
Humedad Arena 0/4	2,61 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		7,76	74	75	74,5
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,9	10,7	10,9	10,5
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,9	10,2	11	10,5
			<b>PJ</b>			
			0,45			
a/c	<b>0,627</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 5**

**VARIACIÓN DE AGUA: + 4,5%**

**AMASADA: MEDIA (1°-2°-3°)**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg		<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	219,5 Kg		T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	434,0 Kg		1,4	71,3	73,7	72,5
Arena 0/4	651,0 Kg		<b>OK</b>			
Grava	723,3 Kg					
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)		<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)		7,6			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2						
Humedad Arena 0/4						
			<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		7,1	71,3	73,0	72,2
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,8	10,3	11,0	9,7
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,9	9,6	10,7	9,9
			<b>PJ</b>			
			<b>1,0</b>			
a/c	<b>0,627</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 6**

**VARIACIÓN DE AGUA: -4,5 %**

**AMASADA: 1°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	200,6 Kg	2,486 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	446,0 Kg	6,803 Kg	2,97	64	64	64
Arena 0/4	669,0 Kg	10,445 Kg	<b>OK</b>			
Grava	743,3 Kg	11,150 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	17,4			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	1,69 %					
Humedad Arena 0/4	4,08 %					
			<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		4,11	65	66	65,5
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,8	8,9	10,9	8,5
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		11	9,2	10,7	9
			<b>PJ</b>			
			1,95			
a/c	<b>0,573</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 6**

**VARIACIÓN DE AGUA: -4,5 %**

**AMASADA: 2°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	200,6 Kg	2,363 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	446,0 Kg	6,919 Kg	2,7	66	68	67
Arena 0/4	669,0 Kg	10,452 Kg	<b>OK</b>			
Grava	743,3 Kg	11,150 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	7,5			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	3,42 %					
Humedad Arena 0/4	4,15 %					
			<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		6,3	60	70	65
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10	9,5	10,8	9
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,8	9	10,5	8,5
			<b>PJ</b>			
			1,525			
a/c	<b>0,573</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 6**

**VARIACIÓN DE AGUA: -4,5 %**

**AMASADA: 3°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	200,6 Kg	2,657 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	446,0 Kg	6,779 Kg	2,65	65	65	65
Arena 0/4	669,0 Kg	10,297 Kg	<b>OK</b>			
Grava	743,3 Kg	11,150 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			Tiempo (segundos)			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	9,41			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	1,33 %					
Humedad Arena 0/4	2,61 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
			3,53	65	67	66
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
			10,7	9,3	10,7	9,4
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
			10,6	9,4	10,7	9,7
			<b>PJ</b>			
			1,225			
a/c	<b>0,573</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 6**

**VARIACIÓN DE AGUA: - 4,5 %**

**AMASADA: MEDIA (1°-2°-3°)**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg		<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	200,6 Kg		T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	446,0 Kg		2,8	65,0	65,7	65,3
Arena 0/4	669,0 Kg		<b>OK</b>			
Grava	743,3 Kg					
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)		<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)		11,4			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2						
Humedad Arena 0/4						
			<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		4,6	63,3	67,7	65,5
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,5	9,2	10,8	9,0
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,8	9,2	10,6	9,1
			<b>PJ</b>			
			<b>1,6</b>			
a/c	<b>0,573</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 7**

**VARIACIÓN DE AGUA: +6 %**

**AMASADA: 1°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	222,6 Kg	2,833 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	432,0 Kg	6,589 Kg	1,05	72	74	73
Arena 0/4	648,0 Kg	10,116 Kg	<b>OK</b>			
Grava	720,0 Kg	10,800 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	8,81			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	1,69 %					
Humedad Arena 0/4	4,08 %					
			<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		2,69	70	71	70,5
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		11	9,5	10,8	9,5
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		11	9,5	11	9,5
			<b>PJ</b>			
			1,45			
a/c	<b>0,636</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 7**

**VARIACIÓN DE AGUA: +6 %**

**AMASADA: 2°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	222,6 Kg	2,714 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	432,0 Kg	6,701 Kg	1,4	74	72	73
Arena 0/4	648,0 Kg	10,123 Kg	<b>OK</b>			
Grava	720,0 Kg	10,800 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	8,81			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	3,42 %					
Humedad Arena 0/4	4,15 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		2,1	74	75	74,5
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,9	9,8	11	9,7
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		11	10,5	11	10,6
			<b>PJ</b>			
			0,825			
a/c	<b>0,636</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 7**

**VARIACIÓN DE AGUA: +6 %**

**AMASADA: 3°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	222,6 Kg	2,999 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	432,0 Kg	6,566 Kg	1,2	74	74	74
Arena 0/4	648,0 Kg	9,973 Kg	<b>OK</b>			
Grava	720,0 Kg	10,800 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	3,4			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	1,33 %					
Humedad Arena 0/4	2,61 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		1,69	77	78	77,5
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		11	10,5	11	10,6
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		11	10,4	10,9	10,5
			<b>PJ</b>			
			0,475			
a/c	<b>0,636</b>		<b>NO</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 7**

**VARIACIÓN DE AGUA: +6 %**

**AMASADA: MEDIA (1°-2°-3°)**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg		<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	222,6 Kg		T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	432,0 Kg		1,2	73,3	73,3	73,3
Arena 0/4	648,0 Kg		<b>OK</b>			
Grava	720,0 Kg					
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)		<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)		7,0			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2						
Humedad Arena 0/4						
			<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		2,2	73,7	74,7	74,2
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		11,0	9,9	10,9	9,9
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		11,0	10,1	11,0	10,2
			<b>PJ</b>			
			<b>0,9</b>			
a/c	<b>0,636</b>		<b>OK</b>			

**VÁLIDO: SI.**

**HORMIGÓN: 8**

**VARIACIÓN DE AGUA: -6 %**

**AMASADA: 1°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	197,4 Kg	2,436 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	448,0 Kg	6,834 Kg	3,32	63	63	63
Arena 0/4	672,0 Kg	10,491 Kg	<b>NO</b>			
Grava	746,7 Kg	11,200 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	30			
			<b>NO</b>			
Humedad Arena 0/2	1,69 %					
Humedad Arena 0/4	4,08 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		6,5	59	61	60
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,5	8,7	10,7	8,7
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,7	8,2	10,9	8,5
			<b>PJ</b>			
			2,175			
a/c	<b>0,564</b>		<b>NO</b>			

**VÁLIDO: NO.**

**HORMIGÓN: 8**

**VARIACIÓN DE AGUA: -6 %**

**AMASADA: 2°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	197,4 Kg	2,313 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	448,0 Kg	6,950 Kg	3,6	62	64	63
Arena 0/4	672,0 Kg	10,498 Kg	<b>NO</b>			
Grava	746,7 Kg	11,200 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	22,4			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	3,42 %					
Humedad Arena 0/4	4,15 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		5,69	57	61	59
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,7	8,9	11	8,6
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,5	8,8	10,7	9,2
			<b>PJ</b>			
			1,85			
a/c	<b>0,564</b>		<b>NO</b>			

**VÁLIDO: NO.**

**HORMIGÓN: 8**

**VARIACIÓN DE AGUA: -6 %**

**AMASADA: 3°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	197,4 Kg	2,609 Kg	T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	448,0 Kg	6,809 Kg	3,53	63	64	63,5
Arena 0/4	672,0 Kg	10,343 Kg	<b>NO</b>			
Grava	746,7 Kg	11,200 Kg				
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)	19,15			
			<b>OK</b>			
Humedad Arena 0/2	1,33 %					
Humedad Arena 0/4	2,61 %		<b>ESC. CON ANILLO JAPONES (cm)</b>			
			T <sub>500J</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		4,78	63	64	63,5
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,9	8,2	10,5	8,7
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,8	8,5	10,6	8,5
			<b>PJ</b>			
			2,225			
a/c	<b>0,564</b>		<b>NO</b>			

**VÁLIDO: NO.**

**HORMIGÓN: 8**

**VARIACIÓN DE AGUA: -6 %**

**AMASADA: MEDIA (1°-2°-3°)**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO			
Cemento	350,0 Kg		<b>ESCURRIMIENTO (cm)</b>			
Agua	197,4 Kg		T <sub>500</sub>	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Arena 0/2	448,0 Kg		3,5	62,7	63,7	63,2
Arena 0/4	672,0 Kg		<b>NO</b>			
Grava	746,7 Kg					
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)		<b>EMBUDO V</b>			
			<b>Tiempo (segundos)</b>			
			23,9			
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)		<b>NO</b>			
Humedad Arena 0/2						
Humedad Arena 0/4						
			T <sub>500l</sub> (s)	Ø <sub>1</sub>	Ø <sub>2</sub>	Ø <sub>M</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57		5,7	59,7	62,0	60,8
			H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97		10,7	8,6	10,7	8,7
			H <sub>5</sub>	H <sub>6</sub>	H <sub>7</sub>	H <sub>8</sub>
Módulo Granulométrico: Grava	6,94		10,7	8,5	10,7	8,7
			<b>PJ</b>			
			<b>2,1</b>			
a/c	<b>0,564</b>					

**VÁLIDO: SI.**

# **ANEJO 4**

**RESULTADOS DE LOS ENSAYOS  
DE HORMIGÓN ENDURECIDO  
PARA LAS DOSIFICACIONES  
ADOPTADAS**

**HORMIGÓN: 0**

**VARIACIÓN DE AGUA: 0%**

**AMASADA: 1°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYO a 28 DIÁS	
<b>Cemento</b>	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
<b>Agua</b>	210,0 Kg	2,635 Kg	<b>Probeta 1</b>	37,1
<b>Arena 0/2</b>	440,0 Kg	6,711 Kg		
<b>Arena 0/4</b>	660,3 Kg	10,304 Kg		
<b>Grava</b>	733,3 Kg	11,00 Kg		
<b>Aditivo ( Visconcrete 3425 )</b>	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	39,9
<b>Aditivo ( Stabilizer 229 )</b>	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
<b>Humedad Arena 0/2</b>	1,69 %		<b>MEDIA</b>	38,8
<b>Humedad Arena 0/4</b>	4,08 %			
<b>Módulo Granulométrico: Arena 0/2</b>	2,57			
<b>Módulo Granulométrico: Arena 0/4</b>	2,97			
<b>Módulo Granulométrico: Grava</b>	6,94			
<b>a/c</b>	<b>0,6</b>			

**HORMIGÓN: 0**

**VARIACIÓN DE AGUA: 0%**

**AMASADA: 2°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
<b>Cemento</b>	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
<b>Agua</b>	210,0 Kg	2,513 Kg	<b>Probeta 1</b>	<b>37,1</b>
<b>Arena 0/2</b>	440,0 Kg	6,826 Kg		
<b>Arena 0/4</b>	660,3 Kg	10,311 Kg		
<b>Grava</b>	733,3 Kg	11,00 Kg		
<b>Aditivo ( Visconcrete 3425 )</b>	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	<b>35,3</b>
<b>Aditivo ( Stabilizer 229 )</b>	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
<b>Humedad Arena 0/2</b>	3,42 %		<b>MEDIA</b>	<b>36,2</b>
<b>Humedad Arena 0/4</b>	4,15 %			
<b>Módulo Granulométrico: Arena 0/2</b>	2,57			
<b>Módulo Granulométrico: Arena 0/4</b>	2,97			
<b>Módulo Granulométrico: Grava</b>	6,94			
<b>a/c</b>	<b>0,6</b>			

**HORMIGÓN: 0**

**VARIACIÓN DE AGUA: 0%**

**AMASADA: 3°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	210,0 Kg	2,930 Kg		
Arena 0/2	440,0 Kg	6,688 Kg	<b>Probeta 1</b>	
Arena 0/4	660,3 Kg	10,158 Kg		
Grava	733,3 Kg	11,00 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	1,33 %		<b>MEDIA</b>	
Humedad Arena 0/4	2,61 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	0,6			

**HORMIGÓN: 1**

**VARIACIÓN DE AGUA: +1,5 %**

**AMASADA: 1°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYO a 28 DIÁS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	213,2Kg	2,684 Kg	<b>Probeta 1</b>	38
Arena 0/2	438,0 Kg	6,681 Kg		
Arena 0/4	657,0Kg	10,257 Kg		
Grava	733,0 Kg	10,950Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	37,8
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	1,69 %		<b>MEDIA</b>	37,9
Humedad Arena 0/4	4,08 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,609</b>			

**HORMIGÓN: 1**

**VARIACIÓN DE AGUA: +1,5 %**

**AMASADA: 2°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	213,2Kg	2,564 Kg	<b>Probeta 1</b>	<b>36,1</b>
Arena 0/2	438,0 Kg	6,795 Kg		
Arena 0/4	657,0Kg	10,264 Kg		
Grava	733,0 Kg	10,950 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	<b>30,4</b>
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	3,42 %		<b>MEDIA</b>	<b>33,2</b>
Humedad Arena 0/4	4,15 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,609</b>			

**HORMIGÓN: 1**

**VARIACIÓN DE AGUA: +1,5 %**

**AMASADA: 3°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	213,2Kg	2,853 Kg		
Arena 0/2	438,0 Kg	6,657 Kg	<b>Probeta 1</b>	
Arena 0/4	657,0Kg	10,112 Kg		
Grava	733,0 Kg	10,950 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	1,33 %		<b>MEDIA</b>	
Humedad Arena 0/4	2,61 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,609</b>			

**HORMIGÓN: 2**

**VARIACIÓN DE AGUA: -1,5 %**

**AMASADA: 1°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYO a 28 DIÁS	
<b>Cemento</b>	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
<b>Agua</b>	206,9Kg	2,585 Kg	<b>Probeta 1</b>	38,1
<b>Arena 0/2</b>	442,0 Kg	6,742 Kg		
<b>Arena 0/4</b>	663,0Kg	10,351 Kg		
<b>Grava</b>	736,7Kg	11,050Kg		
<b>Aditivo ( Visconcrete 3425 )</b>	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	39,5
<b>Aditivo ( Stabilizer 229 )</b>	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
<b>Humedad Arena 0/2</b>	1,69 %		<b>MEDIA</b>	38,82
<b>Humedad Arena 0/4</b>	4,08 %			
<b>Módulo Granulométrico: Arena 0/2</b>	2,57			
<b>Módulo Granulométrico: Arena 0/4</b>	2,97			
<b>Módulo Granulométrico: Grava</b>	6,94			
<b>a/c</b>	<b>0,591</b>			

**HORMIGÓN: 2**

**VARIACIÓN DE AGUA: -1,5 %**

**AMASADA: 2°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
<b>Cemento</b>	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
<b>Agua</b>	206,9Kg	2,463 Kg	<b>Probeta 1</b>	<b>37,5</b>
<b>Arena 0/2</b>	442,0 Kg	6,857 Kg		
<b>Arena 0/4</b>	663,0Kg	10,358 Kg		
<b>Grava</b>	736,7Kg	11,050 Kg		
<b>Aditivo ( Visconcrete 3425 )</b>	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	<b>37,4</b>
<b>Aditivo ( Stabilizer 229 )</b>	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
<b>Humedad Arena 0/2</b>	3,42 %		<b>MEDIA</b>	<b>37,5</b>
<b>Humedad Arena 0/4</b>	4,15 %			
<b>Módulo Granulométrico: Arena 0/2</b>	2,57			
<b>Módulo Granulométrico: Arena 0/4</b>	2,97			
<b>Módulo Granulométrico: Grava</b>	6,94			
<b>a/c</b>	<b>0,591</b>			

**HORMIGÓN: 2**

**VARIACIÓN DE AGUA: -1,5 %**

**AMASADA: 3°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	206,9Kg	2,755 Kg		
Arena 0/2	442,0 Kg	6,718 Kg	<b>Probeta 1</b>	
Arena 0/4	663,0Kg	10,204 Kg		
Grava	736,7Kg	11,050 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	1,33 %		<b>MEDIA</b>	
Humedad Arena 0/4	2,61 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,591</b>			

**HORMIGÓN: 3**

**VARIACIÓN DE AGUA: +3 %**

**AMASADA: 1°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYO a 28 DIÁS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	216,3 Kg	2,734 Kg	<b>Probeta 1</b>	36,9
Arena 0/2	436,0 Kg	6,650 Kg		
Arena 0/4	654,0Kg	10,210 Kg		
Grava	726,6Kg	10,900 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	36,3
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	1,69 %		<b>MEDIA</b>	36,6
Humedad Arena 0/4	4,08 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,618</b>			

**HORMIGÓN: 3**

**VARIACIÓN DE AGUA: +3 %**

**AMASADA: 2°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	216,3 Kg	2,614 Kg	<b>Probeta 1</b>	<b>33,5</b>
Arena 0/2	436,0 Kg	6,763 Kg		
Arena 0/4	654,0Kg	10,217 Kg		
Grava	726,6Kg	10,900 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	<b>29,0</b>
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	3,42 %		<b>MEDIA</b>	<b>31,2</b>
Humedad Arena 0/4	4,15 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,618</b>			

**HORMIGÓN: 3**

**VARIACIÓN DE AGUA: +3 %**

**AMASADA: 3°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	203,7 Kg	2,535 Kg		
Arena 0/2	444,0 Kg	6,773 Kg	<b>Probeta 1</b>	
Arena 0/4	666,0 Kg	10,398 Kg		
Grava	740,0 Kg	11,100 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	1,33 %		<b>MEDIA</b>	
Humedad Arena 0/4	2,61 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,618</b>			

**HORMIGÓN: 4**

**VARIACIÓN DE AGUA: -3 %**

**AMASADA: 1°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYO a 28 DIÁS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	203,7 Kg	2,535 Kg	<b>Probeta 1</b>	41
Arena 0/2	444,0 Kg	6,773 Kg		
Arena 0/4	666,0 Kg	10,398 Kg		
Grava	740,0 Kg	11,100 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	38,4
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	1,69 %		<b>MEDIA</b>	39,7
Humedad Arena 0/4	4,08 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,582</b>			

**HORMIGÓN: 4**

**VARIACIÓN DE AGUA: -3 %**

**AMASADA: 2°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	203,7 Kg	2,413 Kg	<b>Probeta 1</b>	<b>35,8</b>
Arena 0/2	444,0 Kg	6,888 Kg		
Arena 0/4	666,0 Kg	10,405 Kg		
Grava	740,0 Kg	11,100 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	<b>39,4</b>
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	3,42 %		<b>MEDIA</b>	<b>37,6</b>
Humedad Arena 0/4	4,15 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,582</b>			

**HORMIGÓN: 4**

**VARIACIÓN DE AGUA: -3 %**

**AMASADA: 3°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	203,7 Kg	2,706 Kg		
Arena 0/2	444,0 Kg	6,749 Kg	<b>Probeta 1</b>	
Arena 0/4	666,0 Kg	10,251 Kg		
Grava	740,0 Kg	11,100 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	1,33 %		<b>MEDIA</b>	
Humedad Arena 0/4	2,61 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,582</b>			

**HORMIGÓN: 5**

**VARIACIÓN DE AGUA: +4,5 %**

**AMASADA: 1°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYO a 28 DIÁS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	219,5 Kg	2,783 Kg	<b>Probeta 1</b>	33,9
Arena 0/2	434,0 Kg	6,620 Kg		
Arena 0/4	651,0 Kg	10,163 Kg		
Grava	723,3 Kg	10,850 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	35,1
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	1,69 %		<b>MEDIA</b>	34,5
Humedad Arena 0/4	4,08 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,627</b>			

**HORMIGÓN: 5**

**VARIACIÓN DE AGUA: +4,5 %**

**AMASADA: 2°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	219,5 Kg	2,664 Kg	<b>Probeta 1</b>	<b>31,8</b>
Arena 0/2	434,0 Kg	6,732 Kg		
Arena 0/4	651,0 Kg	10,170 Kg		
Grava	723,3 Kg	10,850 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	<b>33,5</b>
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	3,42 %		<b>MEDIA</b>	<b>32,6</b>
Humedad Arena 0/4	4,15 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,627</b>			

**HORMIGÓN: 5**

**VARIACIÓN DE AGUA: +4,5 %**

**AMASADA: 3°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	219,5 Kg	2,950 Kg		
Arena 0/2	434,0 Kg	6,596 Kg	<b>Probeta 1</b>	
Arena 0/4	651,0 Kg	10,019 Kg		
Grava	723,3 Kg	10,850 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	1,33 %		<b>MEDIA</b>	
Humedad Arena 0/4	2,61 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,627</b>			

**HORMIGÓN: 6**

**VARIACIÓN DE AGUA: -4,5 %**

**AMASADA: 1°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYO a 28 DIÁS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	200,6 Kg	2,486 Kg	<b>Probeta 1</b>	37,7
Arena 0/2	446,0 Kg	6,803 Kg		
Arena 0/4	669,0 Kg	10,445 Kg		
Grava	743,3 Kg	11,150 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	41,3
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	1,69 %		<b>MEDIA</b>	39,5
Humedad Arena 0/4	4,08 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,573</b>			

**HORMIGÓN: 6**

**VARIACIÓN DE AGUA: -4,5 %**

**AMASADA: 2°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
<b>Cemento</b>	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
<b>Agua</b>	200,6 Kg	2,363 Kg	<b>Probeta 1</b>	<b>35,8</b>
<b>Arena 0/2</b>	446,0 Kg	6,919 Kg		
<b>Arena 0/4</b>	669,0 Kg	10,452 Kg		
<b>Grava</b>	743,3 Kg	11,150 Kg		
<b>Aditivo ( Visconcrete 3425 )</b>	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	<b>40,4</b>
<b>Aditivo ( Stabilizer 229 )</b>	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
<b>Humedad Arena 0/2</b>	3,42 %		<b>MEDIA</b>	<b>38,1</b>
<b>Humedad Arena 0/4</b>	4,15 %			
<b>Módulo Granulométrico: Arena 0/2</b>	2,57			
<b>Módulo Granulométrico: Arena 0/4</b>	2,97			
<b>Módulo Granulométrico: Grava</b>	6,94			
<b>a/c</b>	<b>0,573</b>			

**HORMIGÓN: 6**

**VARIACIÓN DE AGUA: -4,5 %**

**AMASADA: 3°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	200,6 Kg	2,657 Kg		
Arena 0/2	446,0 Kg	6,779 Kg	<b>Probeta 1</b>	
Arena 0/4	669,0 Kg	10,297 Kg		
Grava	743,3 Kg	11,150 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	1,33 %		<b>MEDIA</b>	
Humedad Arena 0/4	2,61 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,573</b>			

**HORMIGÓN: 7**

**VARIACIÓN DE AGUA: +6 %**

**AMASADA: 1°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYO a 28 DIÁS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	222,6 Kg	2,833 Kg	<b>Probeta 1</b>	35,1
Arena 0/2	432,0 Kg	6,589 Kg		
Arena 0/4	648,0 Kg	10,116 Kg		
Grava	720,0 Kg	10,800 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	34,3
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	1,69 %		<b>MEDIA</b>	34,6
Humedad Arena 0/4	4,08 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,636</b>			

**HORMIGÓN: 7**

**VARIACIÓN DE AGUA: +6 %**

**AMASADA: 2°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	222,6 Kg	2,714 Kg	<b>Probeta 1</b>	<b>31,3</b>
Arena 0/2	432,0 Kg	6,701 Kg		
Arena 0/4	648,0 Kg	10,123 Kg		
Grava	720,0 Kg	10,800 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	<b>33,6</b>
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	3,42 %		<b>MEDIA</b>	<b>32,5</b>
Humedad Arena 0/4	4,15 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,636</b>			

**HORMIGÓN: 7**

**VARIACIÓN DE AGUA: +6 %**

**AMASADA: 3°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	222,6 Kg	2,999 Kg		
Arena 0/2	432,0 Kg	6,566 Kg	<b>Probeta 1</b>	
Arena 0/4	648,0 Kg	9,973 Kg		
Grava	720,0 Kg	10,800 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	1,33 %		<b>MEDIA</b>	
Humedad Arena 0/4	2,61 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,636</b>			

**HORMIGÓN: 8**

**VARIACIÓN DE AGUA: -6 %**

**AMASADA: 1°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	197,4 Kg	2,436 Kg	<b>Probeta 1</b>	39
Arena 0/2	448,0 Kg	6,834 Kg		
Arena 0/4	672,0 Kg	10,491 Kg		
Grava	746,7 Kg	11,200 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	39,7
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	1,69 %		<b>MEDIA</b>	39,38
Humedad Arena 0/4	4,08 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,564</b>			

**HORMIGÓN: 8**

**VARIACIÓN DE AGUA: -6 %**

**AMASADA: 2°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
<b>Cemento</b>	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
<b>Agua</b>	197,4 Kg	2,313 Kg	<b>Probeta 1</b>	<b>41,4</b>
<b>Arena 0/2</b>	448,0 Kg	6,950 Kg		
<b>Arena 0/4</b>	672,0 Kg	10,498 Kg		
<b>Grava</b>	746,7 Kg	11,200 Kg		
<b>Aditivo ( Visconcrete 3425 )</b>	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	<b>40,3</b>
<b>Aditivo ( Stabilizer 229 )</b>	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
<b>Humedad Arena 0/2</b>	3,42 %		<b>MEDIA</b>	<b>40,8</b>
<b>Humedad Arena 0/4</b>	4,15 %			
<b>Módulo Granulométrico: Arena 0/2</b>	2,57			
<b>Módulo Granulométrico: Arena 0/4</b>	2,97			
<b>Módulo Granulométrico: Grava</b>	6,94			
<b>a/c</b>	<b>0,564</b>			

**HORMIGÓN: 8**

**VARIACIÓN DE AGUA: -6 %**

**AMASADA: 3°**

AMASADA	DISEÑO TEÓRICO	MEZCLA DE LAB.	ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO	
			ENSAYOS 28 DÍAS	
Cemento	350,0 Kg	5,250 Kg	<b>COMPRESIÓN (MPa)</b>	
Agua	197,4 Kg	2,609 Kg		
Arena 0/2	448,0 Kg	6,809 Kg	<b>Probeta 1</b>	
Arena 0/4	672,0 Kg	10,343 Kg		
Grava	746,7 Kg	11,200 Kg		
Aditivo ( Visconcrete 3425 )	5,8 Kg (1,65% CEM)	0,087 Kg (1,65% CEM)	<b>Probeta 2</b>	
Aditivo ( Stabilizer 229 )	1,1 Kg (0,3% CEM)	0,016 Kg (0,3% CEM)		
Humedad Arena 0/2	1,33 %		<b>MEDIA</b>	
Humedad Arena 0/4	2,61 %			
Módulo Granulométrico: Arena 0/2	2,57			
Módulo Granulométrico: Arena 0/4	2,97			
Módulo Granulométrico: Grava	6,94			
a/c	<b>0,564</b>			

# **ANEJO 5**

**FOTOGRAFÍAS DE LOS ENSAYOS  
DE HORMIGÓN FRESCO  
CORRESPONDIENTE A LAS  
DOSIFICACIONES ADOPTADAS**

**HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE:**

DOSIFICACIÓN 0

VARIACIÓN DE AGUA: 0 %



Aspecto del hormigón



Ensayo Embudo en V



Ensayo de Escurrimiento



Ensayo de escurrimiento con el anillo Japonés

**HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE:**

DOSIFICACIÓN 1

VARIACIÓN DE AGUA: +1,5 %



Aspecto del Hormigón



Ensayo de Escurrimiento



Ensayo de esc. Con el anillo Japonés



Ensayo del embudo en V

**HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE:**

DOSIFICACIÓN 2

VARIACIÓN DE AGUA: -1,5 %



Ensayo de Escurrimiento



Ensayo de esc. con el anillo Japonés



Ensayo del embudo en V

**HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE:**

DOSIFICACIÓN 3

VARIACIÓN DE AGUA: + 3 %



Aspecto del Hormigón



Ensayo de Escurrimiento



Ensayo de esc. con el anillo Japonés



Ensayo del embudo en V

**HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE:**

DOSIFICACIÓN 4

VARIACIÓN DE AGUA: - 3 %



Ensayo de Escurrimiento



Ensayo del embudo en V



Ensayo de Escurrimiento del anillo Japonés

**HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE:**

DOSIFICACIÓN 5

VARIACIÓN DE AGUA: + 4,5 %



Aspecto del Hormigón



Ensayo de Ecurrimiento



Ensayo de esc. con el anillo Japonés



Ensayo de embudo en V

**HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE:**

DOSIFICACIÓN 6

VARIACIÓN DE AGUA: - 3 %



Ensayo de Ecurrimiento



Ensayo de escurrimiento con el anillo Japonés

**HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE:**

DOSIFICACIÓN 7

VARIACIÓN DE AGUA: + 6 %



Aspecto del Hormigón



Ensayo de escurrimiento con el anillo Japonés

**HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE:**

DOSIFICACIÓN 8

VARIACIÓN DE AGUA: - 6 %



Ensayo de Ecurrimiento



Ensayo de escurrimiento con el anillo Japonés

# **ANEJO 6**

## **RESULTADOS DEL ENSAYO DE LA GRANULOMETRÍA**

**ARENA 0/2**

PESO MUESTRA  
INICIAL

**514,31 gr**

TAMIZ ( mm )	Retenidos ( gr )	Retenido ( % )	Retenido Acumulado ( % )
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	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
<b>Pasa</b>	<b>74,31</b>	<b>14,45</b>	<b>100</b>

MÓDULO GRANULOMÉTRICO

**2,57**

CONTENIDO DE  
FINOS

**14,45 gr**

**ARENA 0/4**

PESO MUESTRA  
INICIAL **748,13 gr**

TAMIZ ( mm )	Retenidos ( gr )	Retenido ( % )	Retenido Acumulado ( % )
63	-	-	-
50	-	-	-
31,5	-	-	-
22,5	-	-	-
20	-	-	-
16	-	-	-
14	-	-	-
12,5	-	-	-
10	-	-	-
8	-	-	-
6,3	-	-	-
4	0,7	0,09	0,09
2	220,7	29,5	29,59
1	163	21,79	51,38
0,5	91,3	12,2	63,59
0,25	65	8,69	72,27
0,125	57,5	7,69	79,96
0,063	54,7	7,31	87,27
<b>Pasa</b>	<b>95,23</b>	<b>12,74</b>	<b>100</b>

MÓDULO GRANULOMÉTRICO **2,97**

CONTENIDO DE  
FINOS **12,74 gr**

**GRAVA**

PESO MUESTRA  
INICIAL

**3.368,8 gr**

<b>TAMIZ ( mm )</b>	<b>Retenidos ( gr )</b>	<b>Retenido ( % )</b>	<b>Retenido Acumulado ( % )</b>
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
<b>Pasa</b>	40,43	1,20	100

MÓDULO GRANULOMÉTRICO

**6,86**

CONTENIDO DE  
FINOS

**1,2 gr**

