

1. INTRODUCCIÓN SOBRE HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE (HAC) Y HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS (HRF).

1.1. IDEAS BÁSICAS SOBRE HAC Y HRF.

1.1.1. Introducción

En primer lugar, se incluirá una introducción general sobre el HAC y el HRF, un planteamiento básico de sus características desde el punto de vista del comportamiento en estado fresco, así como una justificación de su interés en la construcción.

A continuación se realizará un estudio bibliográfico detallado de las diferencias esperables entre características mecánicas de los HAC y las de un HT equivalente, así como la definición de los parámetros de composición que pueden ser la causa del comportamiento diferenciado.

Evidentemente se hará especial hincapié en la revisión sobre comportamiento estructural de elementos de HAC y HRF y especialmente frente a cortante.

1.1.2. Conceptos básicos.

1.1.2.1. HAC.

El empleo de un hormigón que pudiera ser colocado sin utilizar ningún tipo de medios de compactación, y que simplemente por gravedad llenase los moldes de las piezas sin sufrir defectos de hormigonado ni segregación, nació con los trabajos del profesor Okamura en Japón, que a partir de 1983 desarrolló esta línea de investigación, consiguiendo en 1988 un prototipo de hormigón colocable en obra sin utilizar medidas de compactación.

Se define como hormigón autocompactante (HAC) como aquel hormigón que, como consecuencia de una dosificación estudiada y del empleo de aditivos superplastificantes específicos, se compacta por la acción de su propio peso, sin necesidad de energía de vibración ni de cualquier otro método de compactación, no presentando segregación, bloqueo de árido grueso, sangrado, ni exudación de la lechada. (Art. 1. Anejo 17. EHE-08).

El hormigón autocompactante (HAC) es utilizado ya con gran profusión en las empresas de prefabricados de hormigón cubriendo en España del orden de 50% de la cota de mercado. Sin embargo, su entrada en el campo del hormigón preparado está siendo muy lenta. Desde el punto de vista de los ingenieros y arquitectos que redactan los proyectos, no existía una norma a la que ceñirse. Además, gran parte de los laboratorios acreditados no están preparados para realizar con garantías el control del HAC, precisamente por este vacío normativo. Por otra parte, cabe recordar el papel que juegan en la edificación las OCT's (organismos de control técnico), y aunque es cierto que la Instrucción EHE permite a los Autores del Proyecto y Direcciones de Obra,

en el Art.1, emplear sistemas de cálculo, disposiciones constructivas, etc., diferentes a los citados en la mencionada Instrucción, es siempre bajo su responsabilidad y previa justificación de que no se reducen los niveles de prestaciones, lo que supone una gran responsabilidad que no todo el mundo está dispuesto a asumir. La aparición de un anejo específico dedicado a la utilización del HAC en la EHE 2008, y normalización de los métodos de ensayo debería marcar un punto de inflexión en esta tendencia de cara a utilizar el HAC como hormigón habitual en obra.

1.1.2.2. HRF.

Los hormigones y morteros de cemento tienen como característica principal su elevada resistencia a compresión, pero escasa resistencia a tracción. Dichos hormigones y morteros son reforzados con armaduras convencionales de acero para soportar esfuerzos de tracción, generando un refuerzo continuo de gran efectividad y utilidad en la construcción de estructuras para edificación y obra civil.

Según el ACI 116R-00, el HRF es una combinación de cemento hidráulico, agua, áridos finos y gruesos, aditivos, adiciones y fibras dispersas aleatoriamente orientadas. Las fibras pueden ser naturales o artificiales según su naturaleza y tienen como fin reforzar la masa del cemento incrementando la resistencia a la tracción disminuyendo la fisuración y aumentando la tenacidad mediante la transmisión de esfuerzos a través de la sección fisurada. Por otro lado la adición de fibras disminuye los efectos de la retracción por fraguado y aumenta la resistencia al impacto y la resistencia a la fatiga.

La norma ASTM C 1116 define las fibras como: "Filamentos finos y alongados en forma de haz, malla o trenza, de algún material natural o manufacturado que pueda ser distribuido a través de una mezcla de hormigón fresco."

A su vez, la norma ACI 544 considera como fibras para el hormigón los filamentos discontinuos de acero, las fibras sintéticas, las de vidrio y las naturales.

Mediante el avance progresivo de la tecnología se ha logrado crear una gran cantidad de materiales sintéticos, siguiendo la idea de reforzar los materiales constructivos, similar a la observada en el adobe, y así dar refuerzo discontinuo a hormigones y morteros.

Las cantidades por volumen usadas de fibras en el hormigón varían dependiendo del tipo de fibra y de la finalidad del hormigón.

Las fibras son elementos de corta longitud y pequeña sección que se incorporan a la masa del hormigón a fin de conferirle ciertas propiedades específicas.

De una manera general se pueden clasificar como fibras estructurales, aquellas que proporcionan una mayor energía de rotura al hormigón en masa (en el caso de las fibras estructurales, la contribución de las mismas puede ser considerada en el cálculo de la respuesta de la sección de hormigón), o fibras no estructurales, a aquellas que sin considerar en el cálculo esta energía suponen una mejora ante determinadas

propiedades como por ejemplo el control de la fisuración por retracción, incremento de la resistencia al fuego, abrasión, impacto y otros. (Anejo 14. EHE-08).

Las características geométricas de las fibras (Longitud (l_f), Diámetro equivalente (d_f), Esbeltez (λ)), se establecerán de acuerdo con UNE 83500-1 y UNE 83500-2. (Anejo 14. EHE-08). Por otro, de acuerdo con su naturaleza las fibras se clasifican en:

- Fibras de acero.
- Fibras poliméricas.
- Otras fibras orgánicas.

Se define además la longitud crítica, L_c , como la longitud de la fibra que cumple las siguientes hipótesis. Si, $L < L_c$, la fibra saldrá de la matriz por falta de adherencia y si por lo contrario, $L > L_c$, la fibra fallará por tracción. La adherencia es mayor en fibras de superficie rugosa que presenten extremos agrandados. La orientación de la fibra también es un factor importante para su efectividad siendo máximo el beneficio cuando la fibra está posicionada y paralelamente al esfuerzo de tracción aplicado y es de menor influencia cuando se orientan al azar en tres dimensiones.



Figura 1.1. Acción de la fibra en el proceso de fisuración.

Las fibras que más se utilizan son de acero, de vidrio y de polipropileno y por otro lado las de Carbono y Aramida. Las propiedades de las mismas son las que se muestran en la *Tabla 1.1*:

Tipo de Fibra	Densidad	Resistencia a Tracción (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Gpa)	Alargamiento %
Acero	7.84	500 a 2000	200	0.5 a 3.5
Vidrio	2.60	2000 a 4000	70 a 80	2 a 3.5
Polipropileno	0.90	400 a 700	8 a 16	8
Carbono	1.90	2600	230	1
Aramida	1.45	3600	65 a 130	2.1 a 4
Hormigón	2.3	5 a 8	30	

Tabla 1.1. Características mecánicas de las fibras más usuales.

Las fibras de acero, en dosificaciones que oscilan entre 2% y 0,25 en volumen, han mostrado dar al hormigón mejoras en la resistencia, flexotracción y una mayor ductilidad cuando el mismo está solicitado a compresión, así como importantes beneficios en caso de impacto.

Como se observa en la *figura 1.2*, un hormigón reforzado con fibras puede soportar cargas de flexión mayores que aquella en la cual aparece la primera fisura en la matriz, incrementando además su tenacidad entendida como la capacidad que posee el hormigón de soportar carga (área bajo la curva carga-deformación).

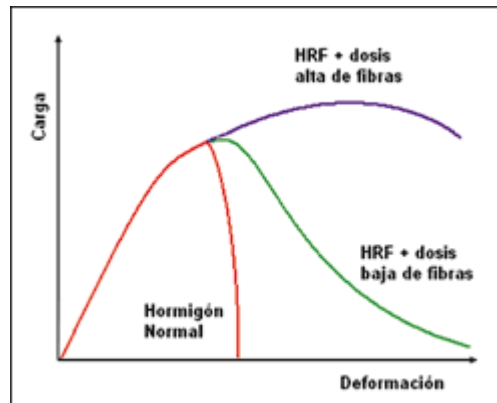


Figura 1.2. Curvas típicas Carga-Deformación en hormigón reforzado con fibras (HRF).

En los últimos cuarenta años han salido al mercado una gran variedad de fibras sintéticas entre las que se pueden mencionar las fibras acrílicas, de carbono, de poliéster, de vidrio, de polietileno, de nylon, de polipropileno, entre otras.

Dentro de los hormigones reforzados con fibras, los reforzados con fibras de acero convencional (HRFA) son los más adecuados y utilizados con fines ingenieriles por lo que serán en los que centraremos este trabajo.



Figura 1.3. Fibras de acero convencional.

1.1.3. Propiedades y caracterización.

Como se desprende de su definición, el HAC tiene tres propiedades intrínsecas básicas (Art.31. Anejo 17. EHE-08):

- Fluidez o **habilidad de fluir** sin ayuda externa y llenar el encofrado (**capacidad de llenado**): Es la capacidad que el hormigón debe tener a la hora de fluir dentro del

encofrado rellenando todas las superficies. Por un lado esta propiedad garantiza la calidad del acabado, de manera que este presentará una superficie lisa, con color homogéneo y libre de coqueras. Por otra parte, las armaduras deben estar perfectamente recubiertas evitando la ocurrencia de bolsas de aire en la parte inferior de las mismas). Se caracteriza mediante ensayos de **escurrimiento** según UNE 83.361 o de ensayos de escurrimiento en embudo en V, según UNE 83.364.

Además de que la **pasta tenga una excelente deformabilidad**, para conseguir una buena capacidad de llenado, también debe tenerse en cuenta la **fricción entre las partículas**. Para hacer que el hormigón se deforme bien, es beneficioso reducir la fricción entre las partículas sólidas: árido grueso, árido fino y finos. Para reducir la fricción entre áridos, es necesario reducir la posibilidad de contacto entre las partículas de árido. Una manera de conseguirlo es aumentando la distancia entre las partículas de árido reduciendo el contenido de áridos o, en otras palabras, aumentando el contenido de pasta.

- **Resistencia al bloqueo** o habilidad de pasar entre las barras de armadura (**capacidad de paso**: Se define como la capacidad que el hormigón debe tener para pasar por sitios estrechos sin que el contacto entre los áridos cause el bloqueo de la mezcla. La obtención de esta propiedad se da incrementando la fluidez de la pasta con la utilización de superplastificantes, reduciendo el volumen de árido grueso de la mezcla y ajustando el diámetro máximo del árido en función de los espacios por donde el hormigón debe pasar. Así, la geometría de la pieza a hormigonar y la distribución de las armaduras son los principales factores a tenerse en cuenta). Se caracteriza mediante ensayos del **escurrimiento con anillo J**, según UNE 83.362 y mediante ensayos de la **caja en L**, según UNE 83.363.

- Estabilidad dinámica y estática, o **resistencia a la segregación**, que le permite alcanzar finalmente una distribución uniforme del árido en toda su masa. Esta propiedad está relacionada con la estabilidad del hormigón. En un HAC la mezcla debe permanecer homogénea durante y tras el proceso de hormigonado sin que ocurra separación de los áridos o exudación.

En cuanto al HRF, las propiedades destacables del hormigón en estado fresco son la consistencia, docilidad y la homogeneidad, como cualquier hormigón.

Se define como consistencia o “cohesión” a la aptitud de un hormigón para conservar las posiciones relativas de sus componentes en estado fresco. La docilidad es la propiedad del hormigón fresco que define la aptitud de un hormigón para admitir deformaciones plásticas, adaptándose a la forma del molde, bajo determinadas condiciones de compactación sin perder su homogeneidad.

En referencia a la homogeneidad del hormigón fresco éste se considera homogéneo cuando en cualquier parte de su masa la composición es similar. En HRFA, la homogeneidad se puede ver afectada por tres causas fundamentales:

1.-Segregación de los componentes: el riesgo de segregación aumenta si se incrementa el tamaño máximo del árido, se adopta una granulometría discontinua o se dispone un volumen insuficiente de pasta de cemento;

2.-Exudación: esta se produce cuando el volumen de agua empleada en el amasado es superior al que el cemento y los áridos (en particular la fracción fina) son capaces de retener por absorción y adsorción;

3.-Formación de bolas o erizos: se produce por una concentración local de fibras entrecruzadas o enmarañadas.

Existen distintos métodos de ensayo y control de calidad del HRF. Existen ensayos para la medida de: la consistencia, la flexotracción, la tenacidad a compresión, la resistencia a compresión, índice de tenacidad, resistencia a cortante, del contenido de fibras de acero, de la resistencia a punzonamiento sobre placa y para el control del hormigón. Para más información sobre los ensayos, consúltese PFC, A. Beltrán (2008).

1.1.4. Materiales para fabricar un HAC y un HRF.

Los componentes del HAC son los mismos que los del hormigón estructural convencional (HT), aunque las proporciones de los mismos pueden variar respecto a las habituales para estos últimos, caracterizándose el HAC por un menor contenido de árido grueso, un mayor contenido de finos minerales y, en general, un menor tamaño máximo de árido. (Art. 31.1. Anejo 17. EHE-08).

El uso de un aditivo **superplastificante** es requisito fundamental en el HAC, sin ellos será imposible obtener un HAC. En ocasiones, puede ser conveniente el uso de un aditivo **modulador de la viscosidad** (minimiza los defectos de la variación del contenido de humedad, el contenido de finos, haciendo que sea más robusto). Se debe conocer la compatibilidad con el cemento y las adiciones y en el caso de utilizar más de un aditivo, se debe constatar la compatibilidad entre ellos mediante la realización de **ensayos previos**.

Por una parte el HRF tiene los mismos componentes de un HT con la única excepción de las fibras.

Las propiedades de las fibras de acero convencional son:

1.-Geométricas: teniendo en cuenta los parámetros de sección transversal, longitud, diámetro y esbeltez. Las fibras de acero tienen diámetros varían comúnmente entre 0.3 y 1mm y su longitud varía entre 25 y 75mm.

2.-Mecánicas: como propiedades mecánicas cabe destacar la resistencia a tracción, que nunca será inferior a 310MPa.

La ductilidad permite valorar la aptitud de la fibra a la deformación que sufre durante su manipulación o mezclado. Se comprueba mediante el ensayo de doblado de la norma UNE 83.500 89/1.

Los aceros que se usan convencionalmente para el refuerzo de hormigones mediante fibras son aceros al Carbono o inoxidables.

Cabe destacar que estos hormigones tienen mayores contenidos de cemento y de agregado fino como así también tamaños menores de árido grueso.

Las aguas empleadas en la fabricación de HRFA serán las mismas que las utilizadas en los hormigones tradicionales, no pudiéndose emplear el agua de mar.

En el HRFA, la relación entre el tamaño máximo del árido grueso y la longitud de las fibras tiene gran influencia sobre la resistencia a flexotracción y la tenacidad por lo que las fibras deberán envolver al árido para asegurar su eficacia. Los resultados óptimos se consiguen cuando el tamaño máximo del árido es, aproximadamente, igual a la mitad de la longitud de la fibra (J.S.C.E. 1988). Generalmente el tamaño máximo de árido grueso empleado no es superior a 20mm (ACI 544, 3R 1993). En los HRFA el porcentaje de árido fino debe incrementarse respecto del usado en hormigones convencionales incrementando la relación árido fino/árido grueso.

La incorporación de las adiciones en el HRFA provoca una mejora de la impermeabilidad del hormigón y por tanto su durabilidad, aumenta la cohesión del material y en consecuencia la adherencia fibra-matriz, disminuyendo el riesgo de segregación y, en el caso particular de los hormigones proyectados, disminuye el porcentaje de rebote.

1.1.5. Ensayos del hormigón fresco.

Las propiedades de los hormigones autocompactantes en estado fresco suelen medirse por una serie de ensayos que tratan de identificar la autocompactabilidad del hormigón, teniendo en cuenta tanto su capacidad para llenar los espacios del encofrado como para pasar a través de obstáculos sin perder su homogeneidad ni crear obstrucciones.

Estos ensayos se podrían clasificar del siguiente modo:

- Ensayos para la medida de las propiedades plásticas.

Método de ensayo	Característica medida
Caja en "L"	Capacidad para el paso y resistencia a formar obstrucciones
Caja en "U"	
Anillo en "J"	
Ensayo de flujo T ₅₀	Resistencia a la segregación, estabilidad y asentamiento. Resistencia a la migración de aire. Viscosidad
Índice visual de estabilidad IVE	
Extensión de flujo	

Tabla 1.2. Ensayos sobre medida de las propiedades (IECA, 2005).

- Ensayos para situaciones especiales.

Método de ensayo	Característica medida
Ensayo de estabilidad de pantalla	Segregación estática. Resistencia al asentamiento.
Ensayo de Bleeding	Resistencia a la segregación dinámica.
Embudo en "V"	Capacidad de paso. Resistencia a formar bloqueos.
Anillo en "J"	Segregación dinámica. Capacidad de paso.

Tabla 1.3. Ensayos especiales (IECA, 2005).

A) Ensayo de extensión de flujo o del escurrimiento (UNE 83361:2007).

Este ensayo es el más utilizado debido a la sencillez, y a utilizar el mismo cono que se utiliza para el ensayo de asiento en cono de Abrams habitual.

Se utiliza el mismo cono que el utilizado para el asiento en cono de Abrams, utilizando una placa para realizar el ensayo de dimensiones suficientes (mínimo 800 x 800 mm) y 2 mm de espesor, pintando circunferencias de 200 mm y 500 mm de diámetro centradas y marcadas en la superficie. Adicionalmente se necesita un cronómetro con apreciación de segundos y una cinta métrica.

Básicamente el ensayo consiste en rellenar el cono de Abrams de una sola vez centrado en la circunferencia de 200 mm de diámetro, practicando este relleno sin compactar de ninguna forma el hormigón. Se nivela el hormigón en la superficie y antes de que pasen 2 minutos se levanta verticalmente el cono de forma cuidadosa y continua (entre 2 y 3 segundos), dejando que el hormigón se extienda. Hay que determinar el tiempo que tarda el círculo de hormigón en alcanzar el círculo marcado de 500 mm de diámetro, y posteriormente se mide el diámetro del círculo final alcanzado, midiendo en dos diámetros perpendiculares y calculando la media. Con ello se obtienen dos parámetros de este ensayo, el valor T₅₀, es decir el tiempo que se tarda en alcanzar el círculo de 500 mm, y el diámetro final del hormigón extendido, ensayo que debe repetirse si difieren los dos diámetros medidos en más de 5 cm.

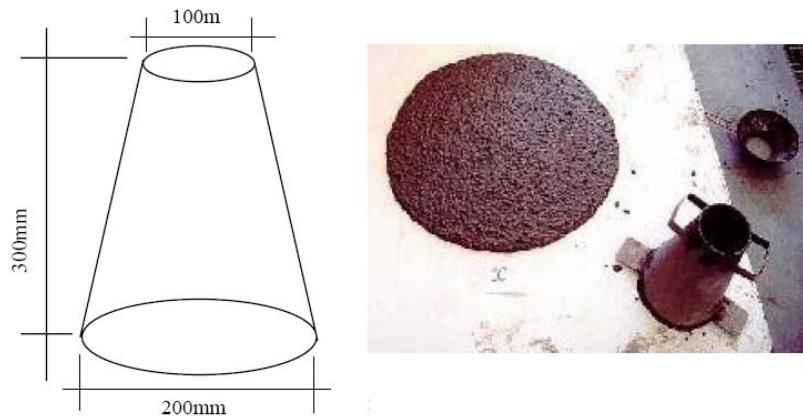


Figura 1.4. Ensayo de extensión de flujo o del escurrimiento (UNE 83361:2007).

B) Determinación del tiempo de flujo. Ensayo del embudo en V (UNE 83364:2007).

Este ensayo se realiza mediante el embudo cuyas dimensiones se reconocen en el dibujo, aunque existen variantes diferentes.

Una vez cerrada la compuerta inferior, se llena de manera continua y sin ningún tipo de compactación, el embudo. Antes de que transcurran 10 segundos se realiza la apertura de la base y se mide el tiempo que tarda el volumen total del hormigón en salir. La toma de tiempos se realiza con un observador y un cronómetro, que observando la parte de arriba del embudo inicia la cuenta en el momento que abre la trampilla, y detiene la cuenta en el momento en que ve la luz en el fondo del cono. Cuando sea necesario, para conocer la pérdida de autocompactabilidad en el tiempo, conviene repetir el ensayo al menos 2 veces, en intervalos de 5 minutos.



Figura 1.5. Determinación tiempo de flujo. Ensayo embudo en V (UNE 83364:2007). Dimensiones (mm)

C) Ensayo de la caja en L (UNE 83363:2007).

Este ensayo se realiza mediante una caja en L, tal y como se describe en la figura 1.6, provista de una serie de 2 ó 3 barras y una trampilla. Hay que realizar unas marcas longitudinales sobre el fondo de la caja a 200 y 400 mm. El ensayo se basa en determinar el tiempo que se tarda en alcanzar estas marcas, así como las alturas h_1 y h_2 . Los tiempos t_{20} y t_{40} reflejan el grado de fluidez de la mezcla, y se recomiendan

valores $t_{20} < 1,5$ segundos y $t_{40} < 2,5$ segundos. El otro parámetro determinado es el cociente h_2/h_1 , y en función de él se definen dos clases de hormigones.

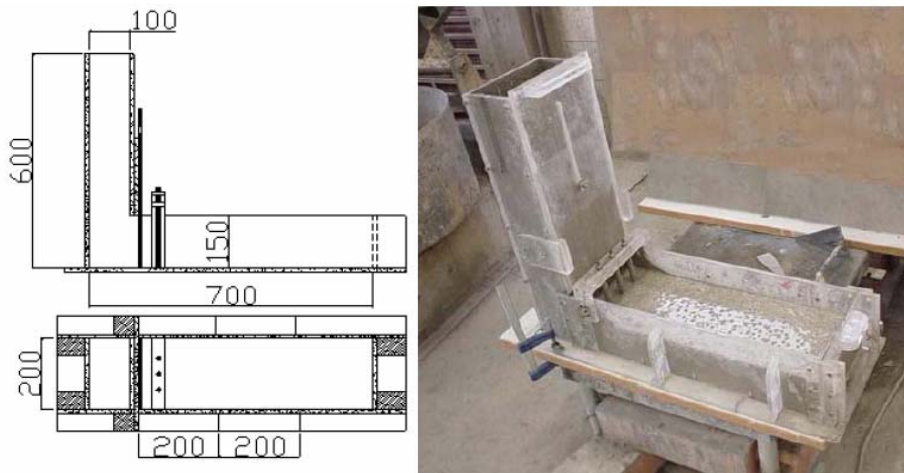


Figura 1.6. Ensayo de la caja en L (UNE 83363:2007). Dimensiones de la caja L (en mm).

D) Ensayo del anillo japonés (UNE 83362:2007).

Para este ensayo se utiliza un anillo de 30 cm de diámetro y 12 cm de altura, el cual tiene unas barras perimetrales, tal y como puede verse en la figura 1.7.

Sobre la misma placa utilizada para el ensayo de extensión de flujo, en la que se ha marcado, adicionalmente, una circunferencia de 300 mm de diámetro concéntrica con las indicadas en el ensayo de extensión de flujo, se coloca el cono utilizado para el asiento en cono de Abrams en el centro del anillo, en posición normal o invertida, y se rellena por simple caída. Una vez relleno se levanta y se deja salir el hormigón.

El objeto del ensayo es obtener el diámetro final de extensión, atravesando la muestra de hormigón las barras, expresado como media de dos lecturas perpendiculares. Esta medida no debe ser inferior en más de 50 mm al valor obtenido en el ensayo de extensión de flujo realizado en condiciones normales, para demostrar la capacidad para pasar entre las armaduras sin que se produzca el bloqueo. Hay que medir también las alturas del hormigón en los extremos interiores y exteriores del anillo, tal y como se indica en la figura 1.8, en dos puntos pertenecientes, cada uno de ellos, a uno de los diámetros que se miden para obtener el diámetro final de extensión. El promedio de ambas determinaciones establece el valor de h_1 y h_2 . Se obtiene un índice del ensayo en anillo igual a $(h_1 - h_2)$. Se considera que la capacidad de paso del hormigón es aceptable si $(h_1 - h_2)$ está entre 10 mm y 15 mm, pobre si es mayor que 15 mm y buena para valores inferiores a 10 mm.



Figura 1.7. Ensayo del anillo japonés (UNE 83362:2007).

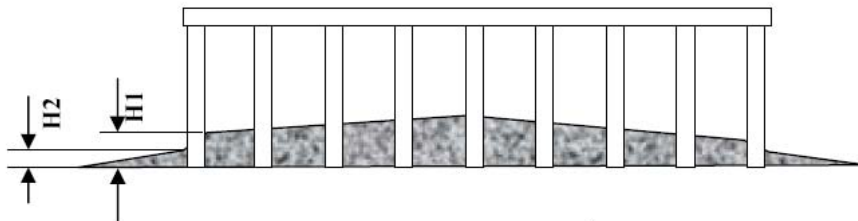


Figura 1.8. Definición de H1 y H2 en el anillo japonés.

E) Ensayo de la caja en "U" (RILEM Technical Committee 174 – SCC).

Al igual que la Caja en "L", la Caja en "U" evalúa la habilidad de paso entre las barras de acero, la capacidad de llenado y la resistencia a la segregación pero con un mayor nivel de exigencia en cuanto a la fluidez. El aparato está compuesto de dos compartimentos verticales separados por una sección armada y una compuerta. Las dimensiones de la caja U se muestran en la *figura 1.9*.

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

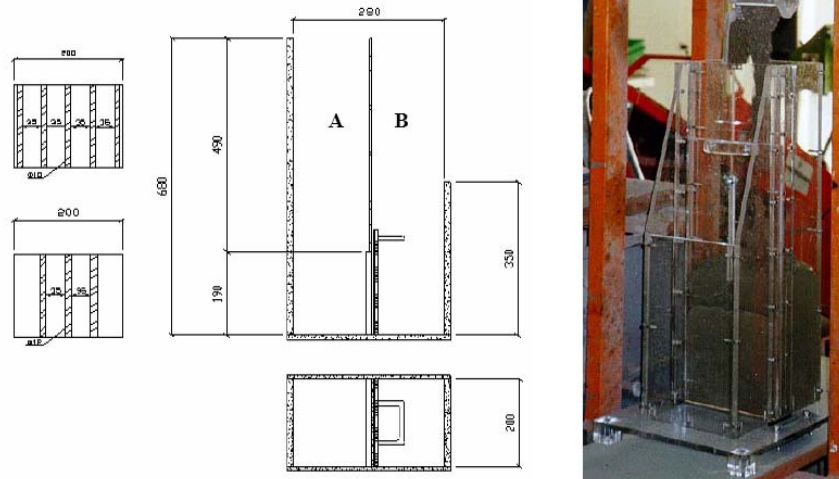


Figura 1.9. Ensayo de la caja en “U” (RILEM Technical Committee 174 – SCC).

1.1.6. Tipificación de los hormigones.

1.1.6.1. HAC

Para que un hormigón sea considerado como autocompactante debe cumplir simultáneamente las condiciones indicadas en la *Tabla 1.4*.

La tipificación según el **Anejo 17 de la EHE-08** de los hormigones autocompactantes es: **T-R/AC/TM/A**, alternativamente: **T-R/(AC-E+AC-V+AC-RB)/TM/A**. Esta última nomenclatura indica sólo la exigencia de cumplir los requisitos mínimos para ser autocompactante, siendo:

T= tipo de hormigón (HM, HA, HP)

R= resistencia en MPa

TM= Tamaño máximo de árido

AC= Clase de autocompactabilidad que puede incluir consideraciones relativas a las distintas propiedades.

A= Ambiente

Así, sería posible un hormigón:

HA-30/AC-E2-V2/20/IIIa

No todas las combinaciones E, V y RB son viables realmente.

El HAC se caracteriza a partir del comportamiento en los ensayos de escurrimiento (observar una distribución uniforme del árido grueso y ningún tipo de segregación o exudación en el perímetro obtenido en el ensayo de escurrimiento) y embudo en V.

<i>Ensayo</i>	<i>Parámetro medido</i>	<i>Rango admisible</i>
<i>Escurecimiento</i>	<i>T50</i>	$T50 \leq 8\text{seg}$
	<i>df</i>	$550\text{mm} \leq df \leq 850\text{mm}$
<i>Embudo en V</i>	<i>TV</i>	$4\text{seg} \leq TV \leq 20\text{seg}$
<i>Caja en L</i>	<i>CbL</i>	$0,75 \leq CbL \leq 1,00$
<i>Escurecimiento con anillo J</i>	<i>dJf</i>	$\geq df - 50\text{mm}$

Tabla 1.4. Límites de autocompactabilidad. Anejo de la EHE.

De acuerdo con los resultados de escurecimiento los hormigones se clasifican en las siguientes categorías:

Clase	Criterio, según UNE 83.361
AC-E1	$550\text{mm} \leq df \leq 650\text{mm}$
AC-E2	$650\text{mm} \leq df \leq 750\text{mm}$
AC-E3	$750\text{mm} \leq df \leq 850\text{mm}$

Tabla 1.5. Clases de viscosidad. Anejo EHE.

- Se considera la clase AC-E1 como la más adecuada para la mayor parte de los elementos estructurales que se construyen habitualmente.

Se considera la clase AC-E3 en los siguientes casos:

- Estructuras muy fuertemente armadas.
- Estructuras en las que el llenado de los encofrados es muy difícil.
- Elementos estructurales horizontales en los que es muy importante la autonivelación.

Elementos estructurales muy altos, de gran esbeltez y muy fuertemente armados.

De acuerdo con el ensayo del embudo en V, los hormigones se clasifican de la siguiente forma:

Clase	<i>Escurecimiento, UNE 83.361</i>	<i>Criterio alternativo: Embudo en V, UNE 83.364</i>
AC-V1	$2,5\text{seg} < T50 \leq 8\text{seg}$	$10\text{seg} \leq Tv \leq 20\text{seg}$
AC-V2	$2\text{seg} < T50 \leq 8\text{seg}$	$6\text{seg} \leq Tv \leq 10\text{seg}$
AC-V3	$T50 \leq 2\text{seg}$	$4\text{seg} \leq Tv \leq 6\text{seg}$

Tabla 1.6. Clases de viscosidad. Anejo EHE.

De acuerdo con la resistencia al bloqueo, los hormigones se clasifican en:

Clase	Exigencia	Anillo J, UNE 83.362	De caja en L, UNE 83.363
AC-RB1	Si $TM > 20\text{mm}$ ó $80 \leq \text{espesor(huecos)} \leq 100\text{mm}$	$dJf \geq df - 50\text{mm}$, con anillo de 12 barras	$\geq 0,80$, con 2 barras
AC-RB2	Si $TM < 20\text{mm}$ ó $60 \leq \text{espesor(huecos)} \leq 80\text{mm}$	$dJf \geq df - 50\text{mm}$, con anillo de 20 barras	$\geq 0,80$, con 3 barras

Tabla 1.7. Clases de resistencia al bloqueo. (Anejo 17 EHE-08, 2008).

Los hormigones se clasifican en función del índice de estabilidad visual IEV según las indicaciones de la *Tabla 1.8*.

IEV	
≤ 0	No hay segregación ni lechada bordeando el hormigón en el resultado final del ensayo de extensión de flujo
0,5	No hay mortero desprendido de la pasta, pero hay algo de segregación o burbujas de aire en la superficie
1	No hay segregación en la masa de hormigón, pero hay pequeño asentamiento o burbujas de aire
1,5	Empieza a aparecer una pequeña banda de mortero alrededor de la masa de hormigón
2	Dicha banda de mortero puede llegar a estar en el orden de 10 mm
3	Indica evidencia de segregación. La banda de mortero alrededor de la masa total puede superar los 10 mm

Tabla 1.8. Clasificación según el IEV. (Anejo 17 EHE-08, 2008).

1.1.6.2. HRF

El **Anejo 14 de la EHE-08** tipifica los hormigones de acuerdo con el siguiente formato:

T-R / f- R1-R3 / C / TM-TF / A

donde:

T: indicativo que será HMF en el caso de hormigón en masa, HAF en el caso de hormigón armado y HPF en el caso del hormigón pretensado.

R: resistencia característica a compresión especificada, en N/mm^2 .

f: Indicativo del tipo de fibras que será A en el caso de fibras de acero, P en el caso de fibras poliméricas y V en el caso de fibra de vidrio.

R1, R3: resistencia característica residual a flexotracción especificada $f_{R,1,k}$ y $f_{R,3,k}$, en N/mm^2 .

C: letra inicial del tipo de consistencia.

TM: tamaño máximo del árido, en mm.

TF: longitud máxima de la fibra, en mm.

A: designación del ambiente.

En cuanto a las resistencias residuales a flexotracción características especificadas, se recomienda utilizar la siguiente serie siempre que supere el valor mínimo exigido en 30.5:

1,0 - 1,5 - 2,0 - 2,5 - 3,0 - 3,5 - 4,0 - 4,5 - 5,0- ...

En la cual las cifras indican las resistencias residuales a flexotracción características especificadas del hormigón a 28 días, expresadas en N/mm².

Cuando las fibras no tengan función estructural los indicativos R1 y R3 deberán sustituirse por: "CR" en el caso de las fibras para control de retracción, "RF" en el caso de fibras para mejorar la resistencia al fuego y "O" en otros casos. En el caso de hormigones designados por dosificación se recomienda el siguiente formato:

T – D – G/f/C/TM/A

donde:

G: es el contenido de fibra, en kg/m³ de hormigón, prescrito por el peticionario. En este caso deberá garantizarse que el tipo, dimensiones y características de las fibras coincidan con los indicados en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

1.1.6.3. HAC con fibras.

La EHE-98 indica cómo tipificar un hormigón y la nueva EHE-08, en sus Anejos 14 y 17, indica cómo tipificar un HRF y un HAC, respectivamente. Pero en ningún caso se dice cómo se tipificaría un hormigón autocompactante al que se le añadieran fibras. Por ello, a continuación, se propone una tipificación para el caso particular de un hormigón autocompactante con fibras:

T-R / f- R1-R3 / AC / TM-TF / A

donde:

T: indicativo que será HMF en el caso de hormigón en masa, HAF en el caso de hormigón armado y HPF en el caso del hormigón pretensado.

R: resistencia característica a compresión especificada, en N/mm².

f: Indicativo del tipo de fibras que será A en el caso de fibras de acero, P en el caso de fibras poliméricas y V en el caso de fibra de vidrio.

R1, R3: resistencia característica residual a flexotracción especificada fR,1,k y fR,3,k, en N/mm².

AC: consistencia autocompactante.

TM: tamaño máximo del árido, en mm.

TF: longitud máxima de la fibra, en mm.

A: designación del ambiente.

Así, por ejemplo, podría darse un hormigón autocompactante con fibras con la siguiente tipificación:

HAF-30 / A- 2-2 / AC / 20-50 /IIIa

1.1.7. Cálculo. Propiedades del hormigón endurecido.

El comportamiento en términos de resistencias, durabilidad y demás prestaciones en estado endurecido del HAC puede considerarse similares a las de un HC de igual relación A/C y los mismos materiales.

El comportamiento del HAC a edad temprana, podría presentar algunas variaciones en propiedades como la retracción y/o alteraciones en el tiempo de fraguado y un retraso en la ganancia de resistencia inicial (compresión y tracción), por, en general, dosis mayores de finos y aditivos.

En aplicaciones donde el módulo de elasticidad, la retracción por secado o la influencia puedan ser factores críticos y el contenido en pasta o árido grueso varíe de forma sustancial sobre el normalmente utilizado, estas propiedades deben ser analizadas mediante ensayos especificados o la consulta de textos especializados.

En general, las diferencias con el HC son suficientemente pequeñas y permiten utilizar para el HAC la formulación incluida en el Articulado de la EHE (mismas longitudes de anclaje de las armaduras activas y pasivas, iguales criterios para especificar la resistencia mínima del hormigón y el mismo tratamiento de las juntas de construcción).

En cuanto al HRF, la adición de fibras de acero influye sobre las propiedades mecánicas de morteros y hormigones, en todos los modos de agotamiento (ACI Comité 544, 1988 a), resultando especialmente afectadas las resistencias a cortante, a tracción, a flexotracción, al impacto y a la fatiga; la tenacidad; el modo de rotura, y el control de la fisuración de la matriz (Traina, 1991). Así pues resulta obvia la necesidad de analizar cómo afecta la inclusión de fibras de acero al comportamiento mecánico del material compuesto bajo la acción de diferentes estados tensionales (Chern, 1992).

1.1.7.1. Módulo de deformación longitudinal del hormigón.

Debido a que los HAC contienen un mayor volumen de pasta que el hormigón de compactación convencional, y teniendo en cuenta que el módulo de elasticidad de la pasta es menor que el de los áridos, se podría prever un módulo de deformación ligeramente menor (entre un 7% y un 15%) para el caso del HAC (Anejo 17. EHE-08).

A falta de datos experimentales, puede calcularse el módulo de deformación del HAC utilizando la formulación del articulado de la Instrucción EHE para el hormigón de compactación convencional. Cuando se requiera un conocimiento detallado del valor del módulo de deformación longitudinal, se pueden hacer determinaciones experimentales de dicho valor, al igual que se hace cuando se utiliza hormigón de compactación convencional (Anejo 17. EHE-08, 2008).

En cuanto al HRF la EHE-08 no aporta ninguna recomendación.

1.1.7.2. Retracción del hormigón.

En general, para el HAC es de aplicación la formulación del Artículo 39.7 de la EHE. No obstante, debido a su composición, puede presentarse una mayor retracción, que debe considerarse como se indica a continuación.

Debido a que el HAC tiene una mayor cantidad de finos en su composición y una alta resistencia frente a la segregación, el material prácticamente no exuda agua durante la puesta en obra. Si bien teóricamente este aspecto resulta positivo, en la práctica el efecto puede resultar inverso, ya que muchas veces es el agua de exudación la que compensa el agua que se evapora en estado fresco y, consecuentemente, evita la fisuración por retracción plástica.

De esta manera, debido a las bajas relaciones agua/ligante que en general se consideran, cobra especial importancia el curado del HAC, especialmente en estructuras con altas relaciones superficie/volumen.

En el HAC, más fácilmente que en el hormigón tradicional (HT), puede darse una combinación de factores que podrían conducir a una significativa retracción endógena; un contenido de cemento superior y el uso de un cemento más fino (conducentes a un mayor calor de hidratación), la mayor cantidad de material fino en general y las bajas relaciones agua/finos.

La utilización de cenizas volantes y/o filler calizo puede contribuir a la reducción de la retracción endógena.

Si la retracción endógena del material es un parámetro significativo para la función de la estructura, deberá ser evaluada para la mezcla en cuestión durante un periodo de tiempo no menor a 3 meses a través de ensayos de laboratorio sobre probetas selladas inmediatamente después del desmolde.

De manera equivalente a lo que sucede con el HT, un alto contenido de cemento conducirá a un mayor calor de hidratación, una consecuente dilatación y una posterior retracción térmica, lo cual en elementos de mediana o gran masa podría resultar crítico de cara a la fisuración. Se deben emplear las mismas precauciones que para el HT.

Si la retracción por secado del material es un parámetro significativo para la función de la estructura, deberá ser evaluada para la mezcla en cuestión durante un periodo de tiempo no menor a 6 meses a través de ensayos de laboratorio sobre probetas expuestas a una atmósfera controlada (Anejo 17. EHE-08, 2008).

En cuanto al HRFA, se ha demostrado que las deformaciones debidas a la retracción del HT son del mismo orden de magnitud que las del HRFA. Sin embargo, cabe mencionar, que si se impide la deformación manteniendo las dimensiones de la pieza constantes (retracción restringida) se logra que las tensiones de tracción aumenten más lentamente en el caso de los HRFA. Mediante esta reducción del

aumento de las tensiones de tracción se consigue que disminuya el riesgo de fisuración produciéndose un menor número de fisuras en el caso de que fisurase el HRFA. Partiendo de lo anterior, se puede aumentar de modo significativo la distancia entre juntas de contracción (ACI Committee 544, 1988).

Según Laurence (Laurence et al, 2000), las fibras tienen poca o ninguna influencia en los valores de retracción no restringida. El empleo de macrofibras conformadas de acero en morteros de reparación, pueden ayudar a controlar significativamente la fisuración inducida por la retracción en el largo plazo (las fisuras aparecen más tarde, tienen una media de abertura y espaciamiento menor y forman una red más discontinua). La durabilidad de capas delgadas de espesor puede por lo tanto ser mejorada con el empleo de dichas fibras.

1.1.7.3. Fluencia del hormigón.

En general, para el HAC puede utilizarse la formulación incluida en el Artículo 39.8 de la EHE-08. El comportamiento en fluencia del HAC puede considerarse equivalente al de un HT de igual relación A/C. Aunque para el mismo nivel resistente podrían producirse deformaciones ligeramente mayores si el secado al aire es permitido, esta diferencia puede desaparecer a causa del mayor refinamiento de la estructura de poros del HAC.

En aplicaciones donde la fluencia pueda ser un factor crítico, esta propiedad deberá ser tenida en cuenta durante el proceso de dosificación y verificada mediante ensayos específicos en laboratorio sobre probetas expuestas a una atmósfera controlada (Anejo 17. EHE-08, 2008).

Las deformaciones debidas a la fluencia en un HRFA son del orden de magnitud de las del hormigón convencional.

En el empleo de fibras sintéticas para uso estructural, el fabricante deberá aportar el coeficiente de fluencia del hormigón, mediante contrastación experimental de los resultados (Anejo 14. EHE-08).

1.1.7.4. Resistencias mecánicas.

En el HAC el valor de la resistencia a compresión es una referencia imprescindible.

La evolución de la resistencia a compresión con el tiempo puede considerarse equivalente a la de un HT. Sin embargo, se deberá tener en cuenta, en algunos casos, la posibilidad de un retraso en la ganancia de resistencia inicial debido a las dosis mayores de aditivos utilizados.

Para la resistencia a tracción pueden hacerse las mismas consideraciones que para la resistencia a compresión. Por lo tanto, pueden aplicarse las relaciones entre

ambas resistencias propuestas por el Artículo 39.1 de la EHE-08 para la resistencia a tracción y a flexotracción. (Anejo 17. EHE-08).

Según Fernández Gómez (Fernández Gómez, 2008), se puede indicar lo siguiente:

- Con los mismos materiales, y dosificando para una misma relación A/C un hormigón convencional y un hormigón autocompactante, las propiedades mecánicas que se obtienen son semejantes en ambos casos, e incluso ligeramente mejores en el hormigón autocompactante.
- La predicción de propiedades mecánicas de la Instrucción EHE es bastante precisa, y representa ambos tipos de hormigones por igual. En la resistencia a flexotracción el valor obtenido experimentalmente es inferior al que se deduciría de la aplicación de la Instrucción EHE.
- El valor de la retracción es similar en ambos hormigones, aunque ligeramente inferior en el autocompactante. La Instrucción EHE infravalora ligeramente la retracción.
- Los valores de las deformaciones en vigas construidas con los dos tipos de hormigón presentan una evolución en el tiempo semejante, pareciendo tener mayores deformaciones por fluencia el hormigón convencional.

Los resultados muestran que al igual que HT, el volumen de pasta tiene un ligero efecto sobre la resistencia a compresión en los HAC. Por otra parte, la relación A/C influye fuertemente en la resistencia a compresión. El módulo de elasticidad, como en HT, disminuye conforme aumenta el contenido de pasta y disminuye con el aumento de la relación A/C. La comparación de los resultados obtenidos para HAC y HT difiriendo sólo en la cantidad de superplastificante, indica que el modo de colocación no influye de forma importante en los valores de resistencia a compresión y módulos de elasticidad (Pineaud et al., 2005).

Klug y Holschemacher, tras llevar a cabo diversos ensayos en hormigón autocompactante (HAC) y hormigón tradicional (HT) llegaron a las siguientes conclusiones:

- La resistencia de un hormigón autocompactante (HAC) y de un hormigón tradicional (HT) son similares si se comparan bajo las mismas condiciones, el HAC muestra resistencias más altas con la misma relación agua/cemento. Aunque esta relación, todavía no está del todo clara.
- El desarrollo de la resistencia del hormigón en el tiempo es similar. Las desviaciones se deben al tipo de filler empleado.
- La dependencia de la geometría de la probeta en la resistencia a compresión sólo es apreciable comparada con la relación bien conocida del HT. Sin embargo, este hecho es objeto de revisión.
- La resistencia a la tracción por compresión diametral (splitting) en HAC alcanza valores un 40% más grandes que para el HT.
- El módulo de elasticidad del HAC es ligeramente más bajo, pero dentro de la mitad superior de los límites estandarizados.

- Las deformaciones por retracción del HAC son un 50% más altas, especialmente en los hormigones de más de 28 días.
- El comportamiento frente a la adherencia, es algo mejor en el HAC, pero esta idea es polémica.

De esto se puede concluir que no hacen falta reglas de diseño extra para HAC, sin embargo, se deben de tener en consideración las restricciones que se pueden añadir a los estándares. (Klug et al., 2003).

Domone (Domone, 2007) en su trabajo presenta resultados de ensayos, analizados y comparados sobre propiedades mecánicas de resistencia (compresión y tracción), procesos de fractura, módulo elástico, adherencia de acero y propiedades estructurales. Las conclusiones más importantes a las que se llegaron fueron:

- Los resultados de resistencia a compresión mostraron:
 - la diferencia de resistencias entre árido grueso triturado y rodado fue más pequeña para HAC que para HT;
 - la relación entre resistencias en probeta cilíndrica y probeta cúbica varía sobre 0.8 en resistencias de 30 MPa a 1 en resistencias de 90 MPa; las resistencias más bajas son mayores que los valores utilizados para HT;
 - los finos limosos, adición utilizada habitualmente en HAC, contribuye significativamente a la resistencia en edades mayores o iguales a 28 días.
- La relación entre resistencias a tracción y a compresión para HAC es similar a la del HT, donde la gran mayoría de resultados de rotura por splitting en probetas cilíndricas para ambos tipos de hormigón fallaron en la mitad superior del rango sugerido por el Eurocódigo 2 (EC2).
- El módulo elástico del HAC puede ser un 40% más bajo que el HT, para bajas resistencias a compresión, pero la diferencia se reduce hasta llegar a un 5% para altas resistencias (90-100 MPa).
- Hay resultados conflictivos en cuanto a la rigidez y la ductilidad del HAC. Los ensayos de mecánica de fractura en hormigón, muestran que el HAC podría tener una rigidez similar o menor que el HT, pero los ensayos de comportamiento estructural en elementos de hormigón armado indican mayor ductilidad, particularmente en columnas. Sin embargo, sólo se han llevado a cabo un limitado número de ensayos en esta área.
- La adherencia del acero de armar y de pretensar en HAC, es similar al HT.
- La variación de las propiedades in situ en elementos estructurales de HAC es similar a HT, pero en HAC el diseño de mezclas es el factor más importante para una buena ejecución, mientras que en HT la ejecución es más crítica.
- El comportamiento de los elementos de HAC armados y pretensados es el esperado de acuerdo con sus propiedades, por ejemplo, capacidades de carga similar dan flechas ligeramente mayores que el equivalente en HT.

Por tanto, los ensayos llevados a cabo nos muestran que se pueden emplear las mismas reglas de diseño que para HT. (Domone, 2007).

La segregación de HT es principalmente el resultado de una insuficiente vibración que puede ser causada por varias razones. El uso de HAC es especialmente

ventajoso cuando la forma del encofrado o la distribución espacial del armado dificultan la apropiada compactación del HT. Considerando la microestructura, HAC experimenta una menor disminución en la densidad de la pasta en estado endurecido a lo largo de la interfaz de transición, que la experimentada por el HT. (G. Heirman y L. Vandewalle, 2003).

Proske y Graubner, estudiaron la influencia de los áridos gruesos en las propiedades del HAC. La forma y el tamaño de los áridos podrían ser caracterizados como parámetros, medidos con métodos foto-ópticos. Se encontró una correlación entre la esfericidad de la sombra proyectada y la densidad de compactación de las partículas. El enfoque analítico tuvo en cuenta el tamaño de las partículas. Los ensayos de optimización mostraron que el requerimiento de pasta y de volumen de mortero depende principalmente del grado de compactación de los áridos. Por razones económicas se debería lograr una alta compactación de los áridos. Aunque el comportamiento frente al bloqueo tendría que ser considerado. Para satisfacer los diferentes requisitos se dio una propuesta sobre la separación de las barras en el ensayo del anillo japonés. Las propiedades resistentes del estado endurecido, así como, el comportamiento deformacional estaban influidos significativamente por los áridos, aunque generalmente hay un impacto indirecto en el mortero y el contenido de pasta. Utilizando los análisis foto-ópticos de partículas para la determinación de la densidad de compactación, existe la necesidad de diferenciar entre los distintos grados de rugosidad de las superficies. Especialmente se necesita seguir investigando en la resolución óptima de los resultados.

Para estructuras de hormigón armado se debe de cuantificar el grado de bloqueo en el diseño de las mezclas. Respecto a la robustez y el riesgo de sedimentación, se deberá investigar más acerca de la influencia del árido, especialmente su dimensión, densidad y forma. (Proske y Graubner).

Daboud et al. (Daboud, 2003), estudiaron el anclaje y el comportamiento frente a la fisuración del HAC, tras dicho estudio llegaron a las siguientes conclusiones:

- El HAC parece ser más sensible a la rugosidad de la barra. Pero este resultado necesita un estudio más avanzado para mostrar una posible relación entre adherencia y HAC, y barras lisas y diseño de mezcla.
- En términos de ancho de fisura y separación entre fisuras no se observaron diferencias significativas entre HAC y HT.

En resumen, *Fernández Gómez et al.*, aseguran que, con los mismos materiales, y dosificando para una misma relación A/C un hormigón tradicional (HT) y un hormigón autocompactante (HAC), las propiedades mecánicas que se obtienen son semejantes en ambos casos, e incluso ligeramente mejores en el HAC. Pero por otra parte, *Domone y Klug*, añaden que, el módulo elástico del HAC es ligeramente más bajo, pero dentro de la mitad superior de los límites estandarizados. En cambio, algunos autores añaden que no hay diferencias entre estos hormigones. *Pineaud et al.* argumentan que, habiendo comparado HAC y HT difiriendo sólo en la cantidad de superplastificante, se puede asegurar que el modo de colocación no influye de forma

importante en los valores de resistencia a compresión y módulos de elasticidad. Además, *Klug et al.* añaden que la resistencia de un HAC y de un HT son similares si se comparan bajo las mismas condiciones.

Por otra parte, la resistencia del HRF se refiere a la resistencia de la unidad de producto o amasada y se obtiene a partir de los resultados de ensayo de rotura a flexotracción, en número igual o superior a tres, realizados sobre probetas prismáticas de ancho igual a 150 mm, altura igual a 150mm y largo igual a 600mm, de 28 días de edad, fabricadas, conservadas y ensayadas de acuerdo con UNE-EN 14651 (EHE-08, 2008).

Cuando el elemento a diseñar tenga un canto inferior a 12,5 cm, o cuando el hormigón presente endurecimiento a flexión, con resistencia residual a flexotracción $f_{R,1d}$ superior la resistencia a tracción $f_{ct,d}$, se recomienda que las dimensiones de la probeta, y el método de preparación se adapten para simular el comportamiento real de la estructura, y el ensayo se realice en probetas no entalladas.

Al efecto de asegurar la homogeneidad de una misma unidad de producto, el recorrido relativo de un grupo de tres probetas (diferencia entre el mayor resultado y el menor, dividida pro el valor medio de las tres), tomadas de la misma amasada, no podrá exceder el 35%.

Los criterios planteados en la EHE-08 para obtener el valor de la resistencia a tracción f_{ct} , a partir de los resultados del ensayo de tracción indirecta son válidos siempre que se refieran al límite de proporcionalidad.

En sollicitaciones de compresión, el diagrama tensión-deformación del hormigón con fibras no se modifica respecto al del articulado de la EHE-08, ya que se puede considerar que la adición de las fibras no varía de forma significativa el comportamiento del hormigón en compresión. El Comité 544 de la ACI (1988), asegura también que la adición de fibras de acero en el hormigón suele producir incrementos o descensos poco significativos de la resistencia a compresión del material.

Del ensayo propuesto en UNE-EN 14651 se obtiene el diagrama carga-abertura de fisura del hormigón (*figura 1.10*). A partir de los valores de carga correspondiente al límite de proporcionalidad (F_L) y a las aberturas de fisura 0,5mm y 2,5mm (F_1 y F_3 respectivamente), se obtiene el valor de resistencia a flexotracción ($f_{ct,fl}$) y los valores de resistencia residual a flexotracción correspondientes: f_{R1} y f_{R3} (Anejo 14. EHE-08).

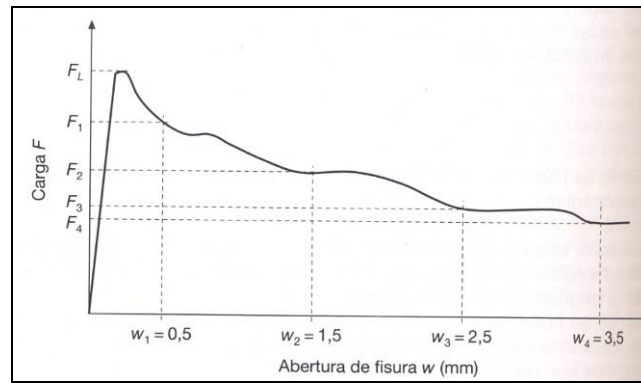


Figura 1.10. Abertura de fisura frente carga. Figura A14.1. EHE-08

Aplicando el esfuerzo de compresión en dirección paralela a la de hormigonado la resistencia es mayor que aplicando el esfuerzo a la dirección ortogonal (Bonzel, 1986).

En el hormigón sin fibras hay una primera fase prácticamente elástica, seguida de una microfisuración de la matriz que conduce rápidamente a la rotura frágil del material. Con fibras, según el tipo y volumen de éstas, el comportamiento puede ser muy distinto (Absi, 1994):

1.-Fase casi lineal: Esta fase es previa a la microfisuración de la matriz, y resulta muy similar a la del hormigón sin fibras.

2.-Fase curva ascendente: Se trata de la fase en la cual el hormigón se fisura y las fibras comienzan a traccionarse.

3.-Rama descendente: en la que el esfuerzo es soportado por las fibras que cosen las fisuras.

Los mayores efectos de las fibras sobre el hormigón en los referente a la resistencia a compresión son un incremento significativo de la deformación correspondiente a la máxima tensión de compresión aplicada (ACI Comité 544, 1988 a) y una pendiente bastante menor de la rama descendente (Kosaka, 1985). Ello confiere al material compuesto mayor tenacidad, creciente con el volumen de fibras empleado (Craig, 1984) (Otter, 1986).

La tenacidad del HRFA convencional disminuye (Kosaka, 1985) cuando:

- Se aplica la carga en dirección ortogonal a la de vertido del hormigón.
- Se aumenta la esbeltez de las probetas, tal como se muestra la *figura 1.11*.
- Se reduce la esbeltez de las fibras y, así, su resistencia al arrancamiento ó pull-out.
- Disminuye la resistencia de las fibras, especialmente cuando estas presentan una esbeltez elevada

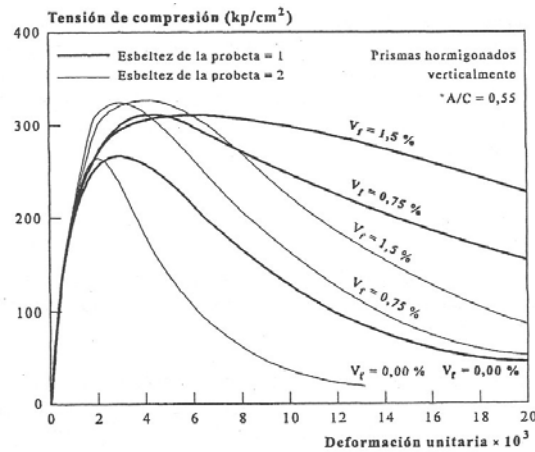


Figura 1.11. Tenacidad creciente con el volumen de fibras.

En cuanto a la resistencia a tracción decir que, la adición de fibras de acero convencional modifican, en tracción directa, el diagrama tensión-deformación del HRFA, provocando una caída brusca de la carga al fisurarse el mismo, pero por otro lado la rama descendente presenta una pendiente mucho menor donde la resistencia residual es aportada por las fibras ancladas a los laterales de las fisuras.

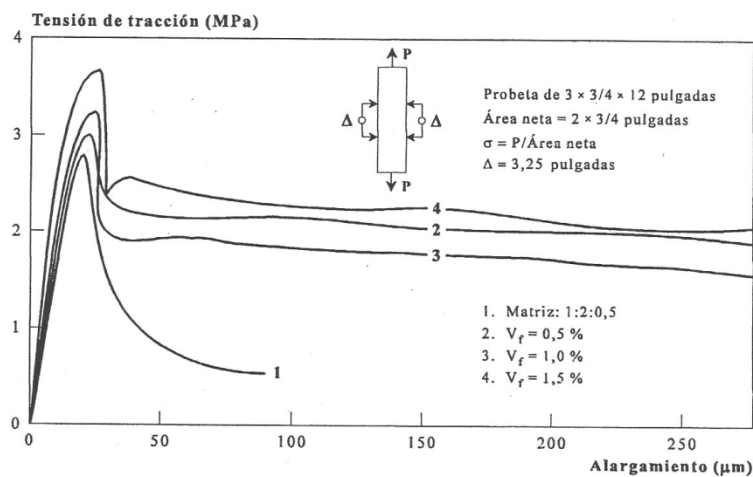


Figura 1.12. Tensión vs. Alargamiento.

1.1.7.5. Estado Límite de Agotamiento frente a Cortante.

Debido al menor contenido de árido grueso, y en general de menor tamaño máximo, los HAC presentan una superficie de fisura más “lisa” que la de los HT de la misma resistencia. Esto reduce ligeramente la componente resistente de trabazón. En cualquier caso el cálculo puede realizarse con la formulación del articulado para HT.

Es interesante observar que todas las precauciones planteadas sobre estos temas están basadas sobre la hipótesis de que el HAC tiene una dosificación eminentemente diferente a la del HC. Estas dosificaciones pueden ser muy similares en el caso de los HAC de menores exigencias de autocompactabilidad por lo que las diferencias de comportamiento esperables para éstos también serán mucho menores.

Sólo en aquellos hormigones con alto contenido en finos y pocos gruesos podrán presentar un comportamiento algo diferente al del HC.

Debashis et al, tras los estudios realizados llegaron a las siguientes conclusiones (Debashis, 2005):

- El HAC alcanzó una resistencia última a cortante más alta que el HT para resistencias a compresión comparables. Esto se atribuye al hecho de que el HAC tiene una mejor microestructura que el HT.
- Las vigas de HAC y HT muestran un comportamiento frágil. Esto debe ser tenido en cuenta en los diseños.
- El porcentaje de aumento en la resistencia última a cortante de las vigas de HAC con edad superiores es mayor que en vigas de HT. Esto se debe al hecho de que el HAC gana más resistencia a compresión después de los 28 días que el HT.

Hegger et al. (Hegger, 2005) tras el análisis de sus ensayos concluyeron que:

- Para vigas sin armado transversal, la capacidad a cortante de las vigas de HAC y HT no difiere. Los esfuerzos de cortante podrían ser transferidos a través de las fisuras bajo pequeños niveles de carga.
- Para vigas de HAC fabricadas con una cuantía de armado baja o media, el comportamiento a cortante es similar al del HT.
- La capacidad portante a cortante de las vigas de HAC con alta cuantía de armado es ligeramente inferior que la correspondiente a vigas de HT con la misma cuantía de armado.

Burgueño et al., hicieron ensayos en probetas Z para estudiar el comportamiento frente a cortante. Las probetas pueden verse en la *Figura 1.13*.

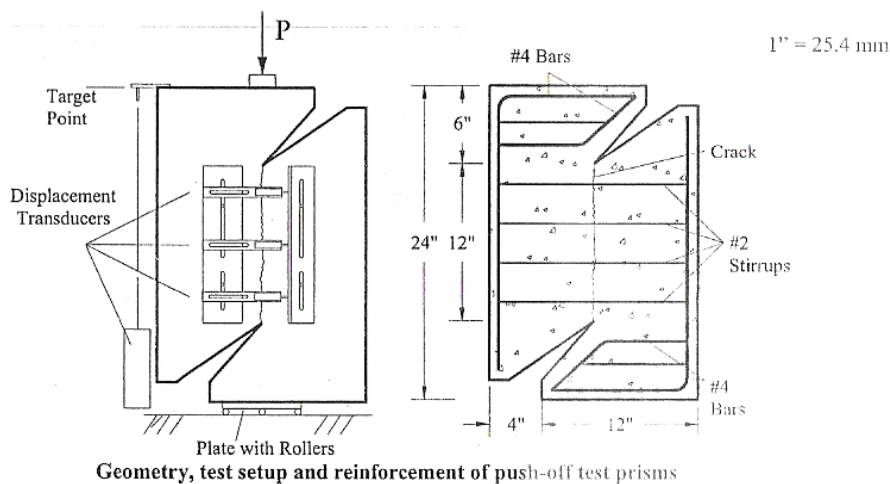


Figura 1.13. Geometría de las probetas armadas empleadas en los ensayos.

Los resultados con las probetas de HAC muestran una clara diferencia en la fricción por cortante. Los diseños con altos contenidos en pasta tienen una menor fricción por cortante comparándolo con mezclas con altos contenidos en árido grueso. Comparativamente, el hormigón tradicional tiene la mayor capacidad de resistir

cortante por fricción. Por otra parte, la respuesta frente a cortante de las vigas, puede cambiar dependiendo de las proporciones en la mezcla de HAC. La viga con alto contenido en árido grueso (SCC3) tuvo mayores rigideces por cortante.

Finalmente, decir que la diferencia entre las mezclas puede afectar al comportamiento en estado endurecido, por ejemplo, engranamiento de áridos y respuesta frente a cortante de elementos estructurales, aunque los resultados todavía necesitan ser más analizados. (Burgueño, 2005).

Tras el ensayo de vigas y el análisis de resultados Choulli et al. (Choulli, 2005), llegaron a las conclusiones:

- El cortante último del HT en las vigas ensayadas superó en un 12% al valor obtenido en las vigas de HAC para la misma resistencia a compresión del hormigón y a igualdad del resto de parámetros.
- Los mecanismos de resistencia a cortante para vigas con HAC han quedado prácticamente inalterados por el tipo de hormigón.
- Las vigas con HAC han mostrado casi la misma rigidez que el HT en la rama lineal. En cambio, en la rama post-fisurada, el HAC tiene menor rigidez que el HT.
- Las vigas de HAC mostraron ductilidades más altas que las vigas de HT.
- El uso de hormigón autocompactante no cambia el patrón de fisuras, pero reduce la carga de fisuración y el ancho de fisuras en comparación con el HT.
- El pretensado alto proporciona más resistencia a cortante y da lugar a la formación de más fisuras, pero reduce ligeramente la ductilidad.
- La contribución de la armadura longitudinal del alma en el cortante último no es significativa para este tipo de elemento, en cambio este refuerzo proporciona mejor control de fisuras.
- Las predicciones de la Instrucción EHE, el Eurocódigo EC2, el código ACI y el método elaborado por Cladera y Marí han sido claramente conservadoras en la estimación de la resistencia última a cortante de las vigas.
- El más conservador dentro de los métodos usados para la estimación del cortante último fue la instrucción EHE para las vigas con menor nivel de pretensado y el Eurocódigo 2 para vigas con el mayor nivel del pretensado. La fórmula ACI ofrece para las 12 vigas, la mejor correlación.
- Los ensayos han mostrado que la EHE y el Eurocódigo 2 subestiman la contribución de las fuerzas del pretensado en la resistencia a cortante. El programa Response 2000 proporciona los valores con menor dispersión. (Youssef Choulli, Antonio R. Marí y Antoni Cladera, 2005).

Por otra parte, se pueden deducir que en las mismas condiciones de armado (armado pasivo, pretensado o pretensado sin tesar) las vigas con HAC alcanzaron cargas últimas análogas a las de HT, no existiendo diferencia en cuanto a resistencia a cortante. Existe diferencia de comportamiento en el modo de rotura entre HT y HAC al aparecer una fisura horizontal que no existe en el caso de HT. Esta fisura puede explicarse por una menor adherencia del hormigón con la barra corrugada y por una menor resistencia frente a tensiones tangenciales y, por tanto, frente al rasante. El cortante último en las vigas pretensadas es la suma de tres mecanismos: el cortante

del mecanismo de celosía, más el resistido por efecto arco y el compensado por el pretensado. Otra forma de entender el doble mecanismo de celosía-arco es considerar la inclinación de las bielas tras la plastificación de la armadura de cortante. Estos mecanismos se han presentado en todos los casos. (C. J. De la Cruz, J. Turmo, R. Gettu, B. Barragán y G. Ramos, 2008).

Como se ha podido observar, existen distintos puntos de vista acerca del **comportamiento frente al esfuerzo cortante en HAC**. *Debashis et al.*, aseguran que el HAC alcanza una resistencia última a cortante más alta que el HT para resistencias a compresión comparables, y esto lo atribuye al hecho de que el HAC tiene una mejor microestructura que el HT. También, añaden que, el porcentaje de aumento en la resistencia última a cortante de las vigas de HAC con edades superiores es mayor que en vigas de HT y dicen que esto se debe al hecho de que el HAC gana más resistencia a compresión después de los 28 días que el HT. Por el contrario, algunos aseguran que el HAC tiene un peor comportamiento. *Hegger et al.*, concluyen que la capacidad portante a cortante de las vigas de HAC con alta cuantía de armado es ligeramente inferior que la correspondiente a vigas de HT con la misma cuantía de armado. Según *Burgueño et al.*, el HT tiene la mayor capacidad de resistir cortante por fricción. Según *Choulli et al.*, se ha detectado una reducción de la capacidad resistente a cortante de las vigas de HAC. Aún así, son muchos más los que aseguran que no hay diferencias en el comportamiento. Según, *Schiessl et al.*, en términos de abertura de fisura y separación entre fisuras no se observaron diferencias significativas entre HAC y HT. *Debashis et al.*, dicen que tanto las vigas de HAC, como las de HT, muestran un comportamiento frágil. *Hegger et al.*, asegura que, para vigas de HAC fabricadas con una cuantía de armado baja o media, el comportamiento a cortante es similar al del HT. Y, la conclusión de *De la Cruz et al.*, es que para las mismas condiciones de armado, las vigas de HAC alcanzaron cargas últimas análogas a las de HT, no existiendo diferencia en cuanto a resistencia a cortante. Finalmente, *Burgueño y Choulli*, coinciden en que, la diferencia entre las mezclas puede afectar al comportamiento en estado endurecido, por ejemplo, engranamiento de áridos y respuesta frente a cortante de elementos estructurales, por tanto, concluyen en que conviene estudiar el efecto que las diferentes dosificaciones del HAC puede tener en la resistencia última a cortante.

En cuanto al HRF, el modelo de cortante es similar entre vigas con armadura transversal y vigas reforzadas con fibras (Serna, 1984). Cabe resaltar que las fibras aumentan el efecto pasador, denominado como “dowel action”, de la armadura longitudinal y la resistencia a tracción generada a través de las fisuras oblicuas. El aumento de dicha resistencia a tracción y del efecto pasador provoca un incremento de la resistencia a cortante. Dicho incremento de la resistencia a corte depende de muchos factores. Entre ellos se puede citar:

- 1.- La cuantía de armadura de tracción: Al aumentar dicha cuantía aumenta también la resistencia a cortante a primera fisura oblicua y la resistencia última a cortante.

2.- La relación a/d , es decir el cociente entre la distancia a desde el punto de aplicación de la carga hasta el eje de apoyo y d que es el canto útil de la pieza de hormigón que se esté tratando. Cuanto mayor es la relación anterior, menor será la resistencia a cortante y por otro lado mayor será el incremento en resistencia a cortante aportado por las fibras.

3.- La resistencia a tracción indirecta, que se obtiene del conocido ensayo brasileño. El aumento de la resistencia a tracción indirecta supone un aumento en la resistencia a esfuerzo cortante.

4.- El canto útil d de las vigas. Cuanto mayor es el canto útil de una sección menor será la resistencia a cortante de la misma.

Por otro lado, tras la realización de ensayos experimentales, se ha concluido que la resistencia a corte en piezas lineales, tales como vigas, aumenta si:

- 1.-Aumenta el contenido de fibras que se añaden como refuerzo.
- 2.-Aumenta la esbeltez de las fibras que se adicionan.
- 3.-Se aumenta la resistencia a compresión de la matriz.
- 4.-Se utilizan fibras con adherencia mejorada.

La incorporación de fibras de acero convencional al hormigón supone un incremento de deformabilidad del material compuesto tanto en el momento de iniciarse la fisuración como en el agotamiento. Dicho incremento de deformabilidad aumenta con la resistencia de la matriz, y con el contenido en fibras de la misma pero sobre todo con su esbeltez. Así, la adición de fibras dota al compuesto de cierta tenacidad a cortante del orden de 5 a 11 veces superior a la del hormigón sin fibras.

En hormigones de alta resistencia, el aumento de dicha deformabilidad es más reducido.

Mediante el uso combinado de fibras de acero convencional y de armaduras transversal para el refuerzo a cortante como estribos se consiguen notables incrementos de la ductilidad.

A continuación se realizará un estudio comparativo entre los diferentes autores estudiados haciendo énfasis en como la adición de fibras mejora la ductilidad ó la fisuración. También se recogerá aquellos autores que en su formulación han introducido parámetros que luego servirán de base para otros estudios como la relación a/d (luz de cortante/ canto útil), la introducción del factor fibra (F), como la adición de las fibras afecta a la resistencia a cortante y otros aspectos de importancia.

El factor fibra, F , fue introducido por primera vez por Narayanan y Kareem en 1984 mediante la siguiente formulación:

$$F = \left(\frac{L}{D} \right) * V_f * D_f$$

Donde:

- L es la longitud de la fibra.
- D es el diámetro de la fibra.
- L/D es la esbeltez de la fibra.
- Vf es el volumen de fibras.
- Df es el factor de unión de las fibras que puede variar desde 0,5 a 1 dependiendo de la geometría de la fibra y de la matriz de hormigón.

Consultando la bibliografía sobre propuestas de criterio de cálculo a cortante de vigas con HRF se diferencian dos tendencias claras. La primera tendencia es aquella que relaciona directamente la adición de las fibras con la resistencia a cortante de la viga. No se recoge en la formulación las características de las fibras y la resistencia a cortante se obtendrá a partir de ensayos experimentales. En este primer grupo se encuentran los autores: Serna, Swamy & Bahia, Imam & Vanderwalle; Casanova, Rossi & Schaller; Lim y Oh; Gustafsson & Noghabai; Khuntia, Stojadinovic & Goel; Rilem TC; Minelli; CNR-DT; Parra-Montesinos y Anejo de fibras de la futura EHE.

El segundo grupo de autores es aquel que incluye en su formulación las características de las fibras tales como su longitud, su volumen ó el diámetro de las mismas. Tales características vienen recogidas en un factor denominado factor fibra (F). Los autores que pertenecen a este segundo grupo son: (Mansur, 1991); (Narayanan, 1987); (Darwish, 1987); (Ashour, 1991); (Wafa, 1997); (Swamy, 1982-85-93) y (Chiam, 1993).

AUTORES:	ESTUDIO DE LA DUCTILIDAD:	ESTUDIO DE LA FISURACIÓN:	RELACIÓN σ_d (luz de cortante/canto d_{eff})	FACTOR FIBRA (F)	RESISTENCIA A CORTANTE	A DESTACAR
Serna	Eliminación de las armaduras transversales gracias a la ductilidad de las fibras.	La presencia de fibras reduce la fisuración.			Adición de fibras aumenta la resistencia a cortante.	La combinación de las fibras va separada de la del hormigón.
Swamy & Bahia		Las fibras mejoran el control de la fisuración y disminuyen el efecto pasador.			Adición de fibras aumenta la resistencia a cortante.	Adición de fibras reduce las deformaciones.
Sharma	Adición de fibras mejora la ductilidad.	Las fibras reducen la propagación de las fisuras y consiguen una fisuración más uniforme.	Incorpora la relación σ_d . Expresión (2.20) demasiado conservadora para σ_d reducidos.		Adición de fibras aumenta la resistencia a cortante.	Introducción de la relación σ_d en la formulación de la resistencia a cortante. Formulación recoge las características de las fibras.
Mansur et. Al		Fisuración relacionada con la relación σ_d . Las fibras mejoran el control de la fisuración.	Al reducir la relación σ_d aumenta la fisuración diagonal y la resistencia última a cortante.		Adición de fibras aumenta la resistencia a cortante.	Importancia del factor fibra. Formulación incorpora el efecto arco y el efecto pasador.
Maryamian & Danvish	Adición de fibras mejora la ductilidad.	Patrón de fisuración de vigas con fibras es similar al de las vigas con estibos.	Al reducir la relación σ_d aumenta la resistencia última a cortante.	Factor fibra interviene en el volumen, espesor y condición de anclaje de las fibras.	Resistencia a corte aumenta al aumentar el factor fibra y la t_{ck} .	Estudio de hormigón de alta resistencia (más de 41MPa) con fibras.
Ashour, Hasanain & Wala	Ductilidad aumenta al aumentar la relación σ_d .	La presencia de fibras reduce la fisuración.	Diferente formulación según la relación σ_d .	Incorpora el factor fibra en su formulación.	Adición de fibras aumenta la resistencia a cortante.	Formulación similar a la de Mansur. Es adecuada para vigas ligeras pero no para vigas de gran canto.
Swamy, Jones & Chiam	Aumento de la ductilidad con las fibras.	La presencia de fibras reduce la fisuración.			Adición de fibras aumenta la resistencia a cortante.	Incorporación por primera vez del efecto tamaño.
Inman & Vandervalle	Incorporación de fibras provoca un paso de rotura frágil a rotura dúctil.		Al reducir la relación σ_d aumenta la resistencia última a cortante.	Factor fibra viene incluido dentro del factor de adición de fibras.	Adición de fibras aumenta la resistencia a cortante.	Incorporación del efecto escala.
Casanova, Rossi & Schatler	Adición de fibras mejora la ductilidad de manera significativa solo con ciertos reducidos.	Comportamiento de las vigas a cortante está relacionado con el comportamiento de post-fisuración a tracción.			Adición de fibras aumenta la resistencia a cortante.	Incorpora el efecto pasador y el efecto de engarriamiento de áridos.
Lim & Oh		La presencia de fibras reduce la fisuración.			Adición de fibras aumenta la resistencia a cortante.	Incorpora el efecto tamaño. Formulación similar a la de Inman.
Gustafsson & Moghababi	Adición de fibras mejora la ductilidad.	La presencia de fibras reduce la fisuración.			Adición de fibras aumenta la resistencia a cortante.	Formulación similar a la de Mansur, Swamy y Serna.
Khuntia, Stojadinovic & Gvoel	Incorporación de fibras provoca un paso de rotura frágil a rotura dúctil.	La presencia de fibras reduce la fisuración.			Adición de fibras aumenta la resistencia a cortante.	La combinación de las fibras va separada de la del hormigón.
Rilem TC 168-TDF	Adición de fibras mejora la ductilidad.	La presencia de fibras reduce la fisuración.			Uso de fibras como armado mínimo a corte.	Incorpora la combinación de las fibras junto a la del hormigón.
Mineilli	Adición de fibras mejora la ductilidad.	Comportamiento de las vigas a cortante está relacionado con el comportamiento de post-fisuración a tracción.			Adición de fibras aumenta la resistencia a cortante.	Incorpora la combinación de las fibras junto a la del hormigón.
CRU-DI	Adición de fibras mejora la ductilidad.	Comportamiento de las vigas a cortante está relacionado con el comportamiento de post-fisuración a tracción.			Uso de fibras como armado mínimo a corte.	Incorpora la combinación de las fibras junto a la del hormigón. Misma formulación que Mineilli.
Para Monteminos	Incorporación de fibras provoca un paso de rotura frágil a rotura dúctil.	La presencia de fibras reduce la fisuración.			Adición de fibras aumenta la resistencia a cortante.	Identidad de las fibras como armado mínimo a corte.
Futuro Anjeo fibras EHF	Adición de fibras mejora la ductilidad.	La presencia de fibras reduce la fisuración.			Adición de fibras como armado mínimo a corte.	La combinación de las fibras va separada de la del hormigón. Misma formulación que el Rilem.

Tabla 1.9. Comparativo de los autores analizados en relación al HRF.

En el Capítulo 2 se desarrollan con más detalle los criterios de cálculo de los elementos fabricados con estos materiales.

1.1.7.6. Durabilidad.

Según la EHE-08, como consecuencia de la ausencia de vibración y al uso habitual de adiciones y fillers en el HAC, se suele obtener una interfase pasta-árido más densa que en los HT. Como consecuencia de ello, junto con la mayor compacidad general de la estructura granular, suele obtenerse una reducción en la velocidad de ingreso en la mayoría de los agentes agresivos.

La ausencia de vibración redundará, a su vez, en una capa exterior del hormigón de recubrimiento de superior densidad y, por tanto, menos permeable.

No obstante, en cualquier caso deberán respetarse los requisitos de máxima relación A/C y mínimo contenido de cemento exigidos en el punto 37.3.2. de la Instrucción EHE-08 en función de la clase de exposición.

El comportamiento del HAC frente a ciclos de congelamiento y deshielo puede considerarse equivalente al del HT, debiendo considerarse las mismas precauciones y especificaciones incluidas en el punto 37.3.2. de la Instrucción EHE-08 para dicho HT.

Debido a la microestructura más densa del HAC, el riesgo de desconchamiento explosivo podría resultar mayor para este material. Sin embargo, para HAC en los que la adición de humo de sílice no sea significativa, el planteamiento de la resistencia al fuego puede ser el mismo que el incluido en el Anejo 7 de la EHE-08 para el HT de igual clase resistente, o para los hormigones de alta resistencia cuando dicha adición sea relevante. (Anejo 17.EHE-08, 2008).

Por otra parte, el empleo del HRF con función estructural hace innecesaria la utilización de la malla de reparto, que exige la Instrucción (EHE-08), a situar en medio de los recubrimientos superiores a 50mm.

De forma general, se podrá emplear HRF en todas las clases de exposición. En las clases generales de exposición IIIb, IIIc y IV y en la clase específica F, deberá justificarse el uso mediante pruebas experimentales en el caso del empleo de fibras de acero al carbono. Una alternativa viable es el empleo de aceros inoxidables, galvanizados o resistentes a la corrosión.

En caso de clases específicas de exposición por ataques químicos al hormigón - Qa, Qb y Qc - , las fibras de acero y sintéticas podrán emplearse previo estudio justificativo de la no reactividad de los agentes químicos con dichos materiales distintos del hormigón.

En general, el empleo de fibras de acero mejora la resistencia del hormigón frente a la erosión. (Anejo 14. EHE-08, 2008).

1.1.8. Ventajas del HAC y HRF respecto del HC.

Las principales ventajas del HAC frente al HC son las siguientes:

- Gran facilidad de colocación lo que permite que el hormigón alcance lugares de difícil acceso y rellene completamente secciones con elevada densidad de armaduras.
- Es adecuado para la colocación mediante bombeo.
- Elimina los medios de compactación y, por tanto, el elevado nivel de ruido que genera la vibración mejorando así las condiciones de Seguridad y Salud en la obra, que también mejoran al eliminarse la compactación mediante la ejecución de la actividad necesaria para efectuar la vibración interna del hormigón, actividad poco ergonómica.
- Mejora las condiciones medioambientales en el entorno de la obra.
- Ahorra el coste de los equipos de compactación, así como el de mantenimiento, conservación y lista de repuestos.
- Ahorra el consumo de energía, generalmente eléctrica, consumida por los equipos de compactación.
- Mejora la calidad de acabado de las superficies vistas, aumentando su uniformidad.
- Acorta los plazos de ejecución.
- Aumenta la productividad.
- Aumenta las puestas de encofrado.
- Reduce el coste global de la obra.

Las ventajas más destacadas de la adición de fibras de acero a un hormigón son:

- Aumento de las resistencias a la tracción, a la flexión y al cortante.
- Alta resistencia al agrietamiento y al impacto.
- Gran capacidad para soportar cargas.
- Mayor resistencia a la abrasión.
- Asegura un refuerzo homogéneo y tridimensional más eficaz.
- Mayor estanqueidad y resistencia a la congelación.
- Mayor capacidad de adherencia.
- Mejora el comportamiento y estabilidad de las juntas.
- Permite reducir el número de juntas de retracción.
- Ahorro de tiempo y dinero en su colocación en comparación a la malla de acero.
- Sustitución del mallazo, eliminando los riesgos de una mala colocación.
- Incrementa la ductilidad y tenacidad del hormigón, produciendo un aumento de la capacidad importante.
- Logra alta resiliencia (capacidad de absorción de energía en el impacto) y resistencia al impacto para solicitaciones dinámicas.
- No requiere de bomba, dado que se puede realizar el hormigonado directamente desde el camión.
- De fácil integración al hormigón, tanto en planta como a pie de obra.
- Si fuese necesario, bombeable incluso con altas dosificaciones. No requiere de tratamientos especiales.
- Las fibras producen además ahorros de tiempo y dinero.
- Ahorro en: costos directos ya que el costo de la fibra equivale a un 50% del costo directo de la malla (contando mano de obra), en el hormigón utilizado ya que las fibras permiten aplicar el espesor requerido en toda la superficie, independiente de las irregularidades del sustrato y el debido a la disminución del rebote provocado por la malla de refuerzo.
- Es compatible con todo tipo de cemento y mezclas de hormigón.

- Se aplican las técnicas tradicionales de extendido y acabado.
- Es compatible con todos los compuestos de curado, súper plastificantes, reductores de agua medios o altos, endurecedores y selladores.
- Reducción notable de las fisuras.
- El refuerzo homogéneo con fibras permite resistir esfuerzos de flexotracción en cualquier punto de la capa de hormigón.
- Son más vulnerables a la corrosión que el hormigón armado convencional, aunque su comportamiento es muy bueno si no hay fisuración. Cuando el ambiente es agresivo el hormigón tiende a fisurarse por lo que es imprescindible el uso de acero inoxidable.

1.1.9. Aplicaciones.

Hace no muchos años, comenzó a hablarse en España de un nuevo sistema de fabricación de hormigón. Se hablaba entonces del SCC “self compacting concrete” como un sistema futurista para la fabricación y colocación del hormigón. Hoy en día, pocos años después, hemos aprendido a llamarle HAC “hormigón auto-compactable”, asumiendo como nuestra su definición y aportando una amplia experiencia que se ha adquirido en un breve plazo.

Si bien, en el mundo del hormigón preparado, tanto para edificación como para obra civil, el empleo de este tipo de hormigones ha sido puntual o anecdótico (el uso del HAC in situ es del orden de un 0.5% respecto del total de hormigón utilizado en construcciones in situ), en el mundo del hormigón prefabricado su éxito es una realidad (constituyendo más del 50% del uso de hormigón para prefabricados).

Las razones parecen evidentes. El tratamiento industrializado que tiene el hormigón en una planta de prefabricado, permite controlar en mucho mayor grado los sensibles parámetros de diseño del HAC, al tiempo que la enumeración de las ventajas en su utilización crece. Se puede hablar por tanto de su empleo como situación habitual, suponiendo que en breve su aplicación será masiva.

Por tanto, ya son muchas las empresas de prefabricados que utilizan el HAC para la ejecución de la práctica totalidad de sus productos.

Por otra parte, los HRFA presentan muchas aplicaciones ingenieriles que se han ido consolidando con el paso de los años. Se usan para:

- Soleras comerciales e industriales, sobre terreno.
- Pavimentos continuos sin juntas.
- Elementos prefabricados.
- Hormigón proyectado (shotcrete). Su uso es de rápida aplicación, asegurando un refuerzo inmediato a la roca excavada por lo que se usa comúnmente para revestimientos de túneles y estabilidad de taludes.
- Cimentación de maquinas.
- Pistas de despegue y aterrizaje en aeropuertos.
- Pavimentos industriales.

- Elementos prefabricados.
- Túneles evitando así la colocación de la malla electro soldada.
- Estructuras hidráulicas.
- Obras lineales.
- Estructuras sometidas a acciones dinámicas.