



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN

PROYECTO FIN DE GRADO

Modalidad: Científico - técnico

Orientación de las fibras en el hormigón. Causas y consecuencias.

Autor: Abel Gallego Sánchez

Directores: Alejandro Sánchez Bolinches

Pedro Serna Ros

Titulación: Grado en Ingeniería de Edificación

Julio de 2012

Agradecimientos

Durante el tiempo en el que he podido acercarme un poco más al mundo del hormigón reforzado con fibras, unas cuantas personas han hecho posible la consecución de este proyecto. Unas, por su aporte académico, otras por su apoyo físico y por último, y no menos importante, otras tantas por su apoyo moral. Pero antes que nadie me gustaría agradecer a Dios las fuerzas que me ha dado, a través de toda esta gente, para continuar adelante, y presentar hoy este proyecto.

En primer lugar me gustaría agradecer a los profesores Alejandro Sánchez y Pedro Serna, por ayudarme en la parte académica del proyecto, por darme ideas, y sobretodo por confiar en mí para llevarlo a cabo. Es un honor haber trabajado con ambos.

En segundo lugar quiero agradecer a Javier Echegaray, que bien podría ser el tercer director de este proyecto, por su apoyo y dedicación durante la consecución del hormigón autocompactable y en general durante el proyecto entero. Gracias por haberme prestado algo de tu tiempo cuando muchas veces no lo tenías. Suerte en el doctorado.

También me gustaría agradecer a toda la gente que durante mi estancia en el laboratorio de *camino*s han colaborado en este proyecto. Unos dando nuevos puntos de vista, otros dando ideas, y otros simplemente arrancándome una sonrisa que muchas veces es lo único que hace falta para seguir adelante. En especial MUCHAS GRACIAS a los técnicos de laboratorio, Paco y Jorge.

Por último, y no menos importante, gracias a mi familia y amigos por estar siempre a mi lado, apoyándome cuando ha hecho falta, y aguantando mi mal humor cuándo las cosas no salían bien. Gracias a ellos porque también siento que son parte de este trabajo. Y gracias a Cristina, porque probablemente sin ti, hoy no estaría redactando estas líneas. Os quiero.

Abel Gallego Sánchez

JULIO DE 2012

**PROYECTO FINAL DE GRADO – ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS EN EL
HORMIGÓN. CAUSAS Y CONSECUENCIAS**

Índice de contenidos

INTRODUCCIÓN	3
1 – Antecedentes	4
2 – Justificación del trabajo	5
3 - Objetivos	6
CAPÍTULO 1 – ESTADO DEL CONOCIMIENTO	7
1 – Hormigón reforzado con fibras	8
1.1 – Definición	8
1.2 – Marco histórico	12
1.3 – Fibras	14
1.3.1 – Tipos (materiales)	14
1.3.2 – Parámetros/variables	17
1.4 – Ensayos	21
1.4.1 – Compresión	21
1.4.2 – Flexo-tracción.	23
1.5 – Normativa – Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE)	26
2 – Distribución y orientación de las fibras	27
2.1 – Concepto	27
2.2 – Posibles causas de la orientación	28
2.2.1 – Flujo	28
2.2.2 – Método de compactación (vibrado)	30
2.2.3 – Efecto pared	30
CAPÍTULO 2 – CAMPAÑA EXPERIMENTAL	32
1 – Introducción/Desarrollo de la idea	33
2 – Características de la probeta	34
2.1 – Condicionantes de partida	34
2.2 – Dimensiones	40
2.3 – Variantes	41
2.3.1 – Compactación	41
2.3.2 – Tamaño máximo de árido	41
2.4 – Planning de subdivisión de probetas para ensayo	42
3 – Creación de la probeta tipo subprobetas.	44
3.1 – Pruebas de dosificación del hormigón.	44
3.1.1 – Primera prueba	44
3.1.2 – Segunda prueba	46
3.1.3 – Tercera prueba	48
3.1.4 – Cuarta prueba	50
3.1.5 – Quinta prueba	53
3.1.6 - Pruebas finales. El problema de los finos. HAC.	53
3.2 – Vertido del hormigón en el molde y confección de la pieza tipo.	57
3.2.1 – Hormigón autocompactable	57
3.2.2 – Hormigón tradicional	57
3.3 – Obtención de las probetas definitivas	59
4 – Ensayos	64
4.1 – Flexotracción.	64

4.2 – Orientación de fibra	67
4.2.1 – Radiografía.	67
4.2.2 – Análisis de imagen.	71
5 – Análisis de los resultados	74
5.1 – Hormigón Tradicional	75
5.2 – Hormigón Autocompactable	79
5.3 – Modelos matemáticos	87
CAPÍTULO 3 – ESTUDIO ECONÓMICO	89
CAPÍTULO 4 – CONCLUSIONES Y FUT. LINEAS DE INVESTIGACIÓN	94
1 – Conclusiones	95
2 – Futuras líneas de investigación	97
BIBLIOGRAFÍA	98
ANEXOS	102
ANEXO I – Anejo 14 EHE	103
ANEXO II – Resultados de ensayos.	128
A II.1 – Flexotracción	129
AII. 2 - Radiografías	157
A II.3 – Compresión	186

INTRODUCCIÓN

1 – ANTECEDENTES

Durante los últimos 20 años, el uso de fibras para el refuerzo del hormigón ha aumentado exponencialmente. Tanto el uso de fibras que otorgan al hormigón mayor respuesta estructural, como el uso de otras tantas fibras que mejoran la respuesta del hormigón frente a retracciones, incendios, impactos...

Muchas empresas de venta de hormigón preparado en su estado fresco, o de piezas de hormigón prefabricado incluyen en sus productos el hormigón reforzado con fibras especialmente de acero, como material novedoso y de cierta utilidad en zonas de mayor conflicto resistente para estructuras de hormigón armado.

Un ejemplo de práctico del hormigón reforzado con fibras, es el edificio “Roca London Gallery”. Este edificio que nació en el año 2011, como mero expositor de los productos de la firma Roca en pleno corazón de la capital inglesa, fue construido mediante hormigón reforzado con fibras de vidrio.

Actualmente, el Hormigón Reforzado con Fibras, (HRF o SFC en sus siglas en inglés) sigue en estudio por una gran cantidad de empresas y laboratorios de investigación en todo el mundo.

Cada vez más este hormigón (HRF) está normalizándose y su utilización empieza a ser habitual en edificios u obras de gran magnitud que exigen un nivel resistente mayor en cualquiera de los ámbitos donde las fibras pueden mejorar la respuesta del hormigón tradicional sin fibras. Es por ello que muchos diseñadores, o arquitectos apuestan en mayor medida por esta nueva generación de hormigones que ofrecen tan amplio abanico de soluciones.

2 – JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Dando parte del estado de hormigones autocompactables con fibras, el resumen sería que ya empiezan a hacerse grandes avances en este campo, consiguiendo hormigones altamente manejables pese a la dura trabajabilidad que aportan las fibras de adición. Aún así, quedan por normalizar estas dosificaciones para poder llegar a una producción masiva de estos hormigones para su utilización en obras.

El principal problema del hormigón con fibras es el desconocimiento de su comportamiento según sus condiciones de amasado, puesta en obra, longitudes de fibras, orientación... que pueden condicionar en mayor o menor medida el acierto o el fracaso en la elección de ese tipo de hormigón.

3 – OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio es profundizar en la orientación de las fibras en el hormigón.

Cambiando las variables, se podrá observar cómo estas afectan a la orientación, y se podrá así intuir las causas de la misma. Se intentará demostrar que es posible condicionar una orientación.

Al mismo tiempo se buscará obtener resultados tanto gráficos como numéricos de las consecuencias, principalmente resistentes, de esta orientación y de esta manera, establecer unas bases donde posteriormente se puedan apoyar otros estudios en la aplicación de hormigones con fibras. Se buscarán defectos, orientaciones no buscadas, zonas de afectación, etc.

Los objetivos establecidos podrían resumirse en:

1. Verificar la orientación de la fibra condicionada por el movimiento del hormigón dentro del molde.
2. Estudiar el grado de afectación de la compactación por vibración.
3. Relacionar la orientación con la resistencia a la fisuración por flexión.
4. Relacionar la orientación con la resistencia también en tras la rotura,
5. Estudiar el efecto pared en hormigones reforzados con fibras.

CAPÍTULO 1

ESTADO DEL CONOCIMIENTO

1 – HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS

1.1 – Definición

La instrucción española de hormigón estructural (figura 1.1), define al hormigón reforzado con fibras como “*aquellos hormigones que incluyen en su composición fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa*”, [1] independientemente del uso y origen de este hormigón. Nos referimos entonces desde hormigones con una finalidad estructural, hasta hormigones con una finalidad estética de acabado.

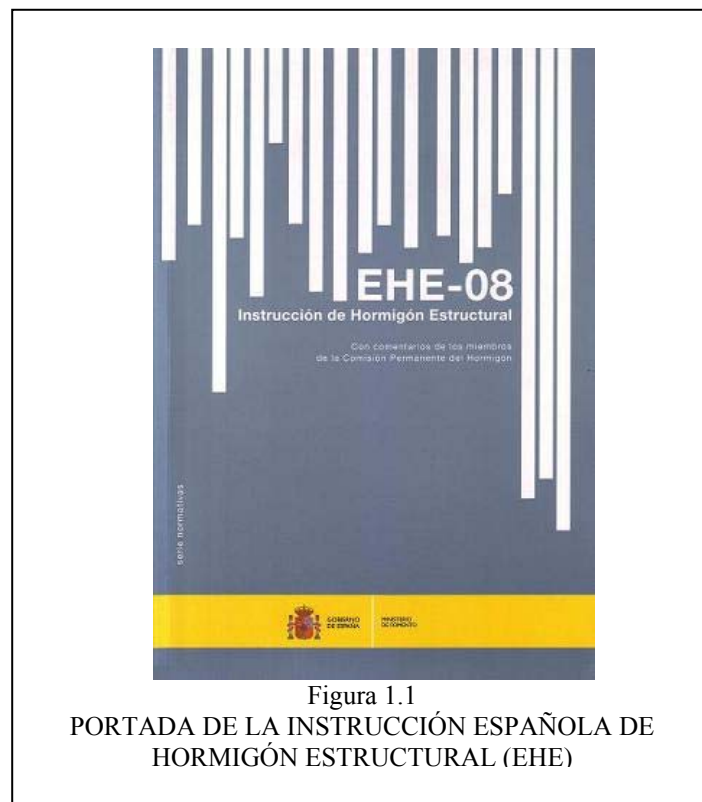


Figura 1.1
PORTADA DE LA INSTRUCCIÓN ESPAÑOLA DE
HORMIGÓN ESTRUCTURAL (EHE)

El hormigón pertenece a la rama de materiales clasificados como pétreos artificiales. Los pétreos artificiales son aquellos que para llegar a la composición final de los mismos, se han tenido que dar unas condiciones de tamaño, mezcla, temperatura, dosificación y acabado que por regla general, no es posible que se den espontáneamente en la naturaleza.

Los componentes tradicionales del hormigón con algunos nuevos componentes que se utilizarán en la campaña experimental pueden observarse en la figura 1.2 y se explican en la tabla 1.3 de la próxima página, indicando los beneficios o desventajas que aportan en la mezcla, tanto en su estado fresco, como ya endurecido.



Figura 1.2

DE IZQUIERDA A DERECHA Y DE ARRIBA ABAJO, UNA FIGURA REPRESENTATIVA DEL CEMENTO, EL AGUA, LAS FIBRAS DE ACERO, EL ÁRIDO FINO, EL ÁRIDO GRUESO, EL ADITIVO Y EL FILLER CALCÁREO.

Tabla 1.3

		Hormigón fresco		Hormigón endurecido	
Material	Cantidad (% del peso total)	Ventajas	Desventajas	Aporta	Provoca patologías de tipo...
Cemento	14	Aporta finura a la mezcla. Evita zonas de aire ocluido	Aporta temperatura y favorece la evaporación de agua.	Unión entre los elementos. Resistencia.	Retracciones por el uso excesivo de cemento.
Agua	8	Favorece la trabajabilidad.	Ayuda a que la mezcla acabe segregando. Con el calor se evapora.	Medio acuoso para que continúe la reacción química.	Baja resistencia. El uso excesivo crea poros en el hormigón que disminuyen la sección resistente.
Fibras	2,5	–	Pueden crear los llamados erizos de fibras, que traban la mezcla y la hacen heterogénea. Crea una mezcla menos fluida y menos trabajable.	Mejor resistencia a flexión, mejor respuesta a la retracción. (ver 1.3)	Favorecen la aparición de zonas con aire ocluido, creando trampas de fibra. Las fibras expuestas a la intemperie se oxidan dibujando manchas rojizas.
Árido fino	45	Da rapidez al hormigón. Mejora la cohesión y hace la mezcla trabajable.	–	Compacidad a la mezcla llenando los huecos entre áridos de mayor calibre.	Baja resistencia. Al ser la arena un elemento pasivo, un uso excesivo de este componente disminuye la unión de la mezcla.
Árido grueso	30	Puede hacer que la mezcla se expanda más al verterla.	Empeora la trabajabilidad. El uso excesivo provoca la segregación en la mezcla	Material resistente a compresión.	Demasiado árido grueso hace que se creen más huecos en el interior, disminuyendo la capacidad resistente.
Aditivo	0,35	Mejora drásticamente la docilidad del hormigón.	Su efecto no es de larga duración. Un uso excesivo provoca demasiada fluidez de la mezcla y la caída de áridos al fondo.	–	–
Filler	3,5	Aporta cohesión a la mezcla. Evita la segregación.	Suele acelerar el fraguado y dar una consistencia seca más rápidamente.	Favorece la compacidad del hormigón.	–

Dado que durante la campaña experimental se prevé la utilización de hormigones autocompactables se hace necesaria la definición de esta sub-tipología de hormigón.

Los hormigones autocompactables son aquellos hormigones cuya viscosidad, fluidez y cohesión son las apropiadas para que la mezcla fluya en el interior de un encofrado, rellenándolo de forma natural, pasando entre barras de armaduras y casi nivelándose correctamente tan solo por la acción de su propio peso.

El hormigón autocompactable tampoco debe llegar a la segregación (división interna entre los áridos, que caen al fondo y la pasta de cemento, que sube a la parte superior, que se produce cuando no existe suficiente cohesión entre los mismos), y tampoco debería ser preciso ningún vibrado u otra forma de compactación externa para la colocación en obra del mismo.

El uso de áridos llamados “finos” o aditivos correctores de la viscosidad junto con aditivos superplastificantes se hacen necesarios para la confección de hormigones autocompactables [4], siendo la proporción o dosis final que se utilice de los mismos, una variable muy delicada y que hoy por hoy, se continúa trabajando tanto para su aplicación en distintos hormigones autocompactables como para aquellos que utilicen fibras de cualquier tipo en su mezcla.

1.2 – Marco histórico

Desde la antigüedad, se han utilizado fibras de todo tipo para reforzar materiales normalmente procedentes de una masa húmeda y que posteriormente fragua para adquirir resistencia.

Nos podríamos referir, por ejemplo, a la adición de paja en la argamasa que los egipcios amasaban para conseguir ladrillos o bloques de adobe (figura 1.5). Estas fibras vegetales daban a la pieza una mayor cohesión, y un mejor comportamiento a impactos y esfuerzos de varias direcciones.

Más recientemente, se ha podido observar un incremento de la producción y/o fabricación de materiales compuestos, mediante la adición de fibras. Ejemplo de ello es el ya desaparecido fibrocemento (figura 1.4), fabricado a partir de una matriz de pasta de cemento y fibras de amianto. Este material tuvo que ser retirado del mercado por ser altamente cancerígeno.



Figura 1.4
PLACA ONDULADA DE FIBROCEMENTO
CON AMIANTO PARA SOLUCIÓN DE
CUBIERTA



Figura 1.5
LADRILLO DE ADOBE
REFORZADO CON PAJA

Para encontrar los primeros hormigones con fibras, nos tenemos que remontar a los primeros años del siglo XX, en los cuales Graham y Griffith (figura 1.6) pudieron experimentar con la adición de fibras de acero al hormigón para aumentar su resistencia y estabilidad.

Durante este siglo XX, ha habido un desarrollo exponencial en cuanto a la multitud de fibras diseñadas especialmente para hormigón. En 1960, el italiano Mandel Romualdi, y más científicos, establecieron las bases teóricas y experimentales para el desarrollo de la fibra de acero como forma de reforzar el hormigón. También en esta década podemos encontrar las primeras apariciones de la fibra de vidrio y la fibra de polipropileno para añadir a la composición del hormigón.



Figura 1.6
ALAN ARNOLD
GRIFFITH. PIONERO EN
EL ESTUDIO DE
FIBRAS DE ACERO
PARA HORMIGÓN.

Y no es hasta la década de 1970, a partir de una comercialización más amplia por Europa, cuando se empieza a utilizar en España el hormigón reforzado con fibras, sobretodo de acero, especialmente para túneles, pavimentación de puentes o piezas prefabricadas.

Actualmente, muchas firmas de cementeras y empresas dedicadas al desarrollo tecnológico del hormigón siguen trabajando en nuevas dosificaciones, tipos de fibra y aditivos que puedan modificar sustancialmente tanto la resistencia de estos hormigones, como su trabajabilidad y durabilidad.

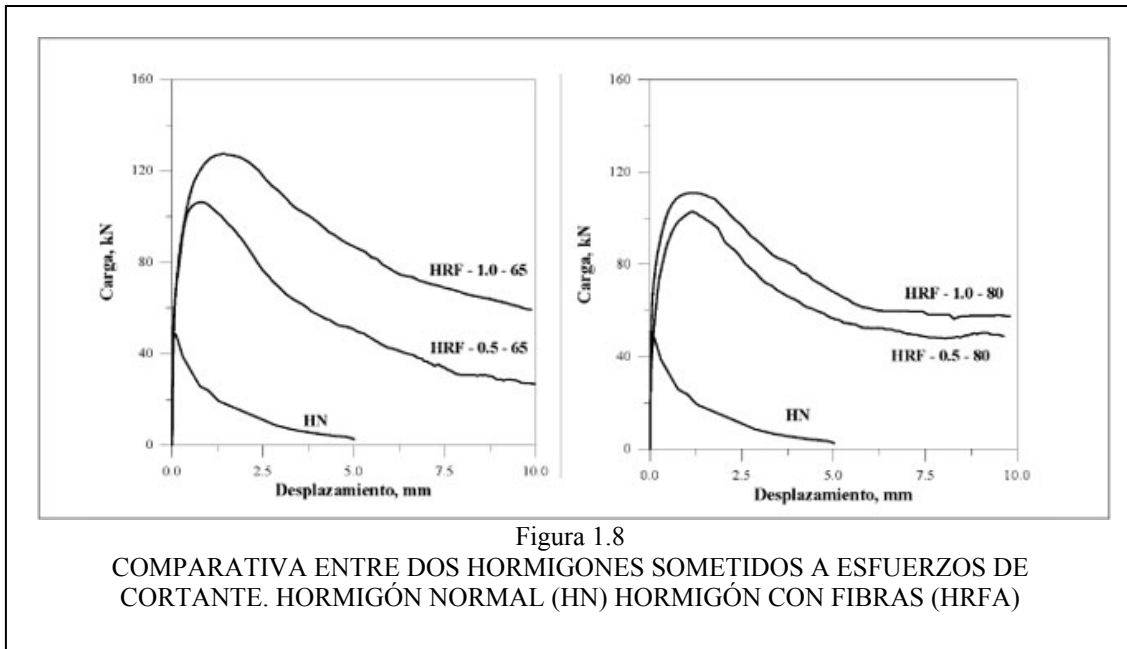
1.3 - Fibras

Como ya se ha introducido anteriormente, existen una gran multitud de tipos de fibras tanto en el mercado, como en laboratorio, en fase de experimentación. A continuación pasaremos a explicar con mayor detalle los tipos de fibras más comunes y los parámetros o variables que pueden modificar en cierta medida el comportamiento final del producto.

1.3.1 – Tipos

- **Acero:** Probablemente el material más usado y más experimentado junto con el polipropileno de fibras para hormigón. El acero en fibras (figura 1.7) otorgará al hormigón un comportamiento menos pétreo, aumentará de manera considerable su resistencia a flexión y al corte, sin perjuicio de su resistencia a compresión [3] como se observa en la figura 1.8 [13].





Además, ha sido demostrado que las fibras en general, mejoran de manera considerable la respuesta del hormigón frente a problemas como la retracción (microfisuración). De la misma manera el hormigón reforzado con fibras de acero ofrece esta cualidad que más se aprecia desde el punto de vista estético (hormigones vistos).

- **Polipropileno:** este material también ha sido usado desde hace ya más de 40 años para el refuerzo del hormigón. En un principio, el refuerzo de fibras de polipropileno (figura 1.9) no hacía más función que la de refuerzo secundario, mientras el hormigón no había endurecido, dándole pues una ligera solidaridad a todo el conjunto de la pieza.

Posteriormente se observaron otros beneficios como el ya comentado el de reducción o control de la microfisuración por retracción. También se observó un aumento de impermeabilidad del hormigón mediante la adición de fibras de polipropileno [7]

Las aplicaciones generales de PPFRC, son principalmente recomendados para la realización de soleras y pavimentos [2]. La tecnología ha conseguido desarrollar polipropileno que evite el paso de gérmenes, para su utilización en edificios médicos [11].



Figura 1.9
FIBRAS DE POLIPROPILENO PARA HORMIGÓN.

- **Vidrio:** estas fibras son usadas para la creación del hormigón conocido como GRC (glass reinforced concrete). Las fibras de vidrio ayudan a constituir un hormigón con una mayor tenacidad y solidez.

Estas fibras suelen presentarse en forma de manta o rollo, tal y como aparecen en la figura 1.10. Esta disposición favorece la elaboración de materiales composite laminados, como es el caso de la combinación de varias capas de esta fibra en forma de manta, unidas bajo una matriz cementante de diferentes resinas, formando así las llamadas placas de fibra de vidrio para distintas aplicaciones como en la figura 1.11.



Figura 1.10



Figura 1.11

FIBRAS DE VIDRIO. APLICACIONES.

En el caso que nos acontece, el hormigón reforzado con fibras de vidrio, o GRC, emplea un tipo específico de fibras de vidrio llamadas AR. Este tipo de vidrio es resistente los compuestos alcalinos que se forman durante el fraguado del hormigón, gracias a su alto contenido en óxido de zirconio. Esta fibra ofrecerá pues las ventajas ya comentadas (mejor módulo de ruptura, cohesión,...) y además mejorará la durabilidad del hormigón.

Las principales aplicaciones del GRC, son las de cerramiento (figura 1.12) [14], y sustitución de los paneles de fibrocemento con fibras de amianto como material de cobertura. Las primeras, utilizan el llamado microhormigón con diferentes disposiciones, usando como armado para la pasta la fibra de vidrio, y así conformar distintos tipos de paneles que se ajusten a la configuración requerida de cualquier fachada.



Figura 1.12
FACHADA DE PANELES DE GRC. STUD FRAME.

1.3.2 – Variables

Dentro de las posibles variables vamos a analizar más concretamente tres de ellas; a saber:

- Longitud

La longitud de la fibra va a venir determinada principalmente por ciertas normativas [1], como ejemplos de reglamentación nacional.

Se siguen ciertas recomendaciones al respecto. La EHE recomienda pues, que la longitud de la fibra sea al menos el doble del tamaño máximo del

árido que se utilice para el hormigón. Esta recomendación va orientada a mejorar la adherencia entre la fibra y la matriz y prevenir el arrancamiento de la fibra. Cabe destacar que el anejo 14 de la EHE, ofrece estas disposiciones orientativas en el caso de un hormigón estructural, indicando que una menor longitud de fibra para el caso de fibras poliméricas, por ejemplo pueden aumentar su resistencia en otros ámbitos como por ejemplo resistencia al fuego (frente al efecto spalling), abrasión o impacto.

En algunos estudios [6] se introduce el concepto de longitud crítica de la fibra y que en líneas generales es la longitud mínima que debe tener una fibra para obtener un refuerzo efectivo a tracción. Este dato se obtendrá con el siguiente algoritmo

$$L_c = (\sigma_f \times d) / T_c$$

Donde

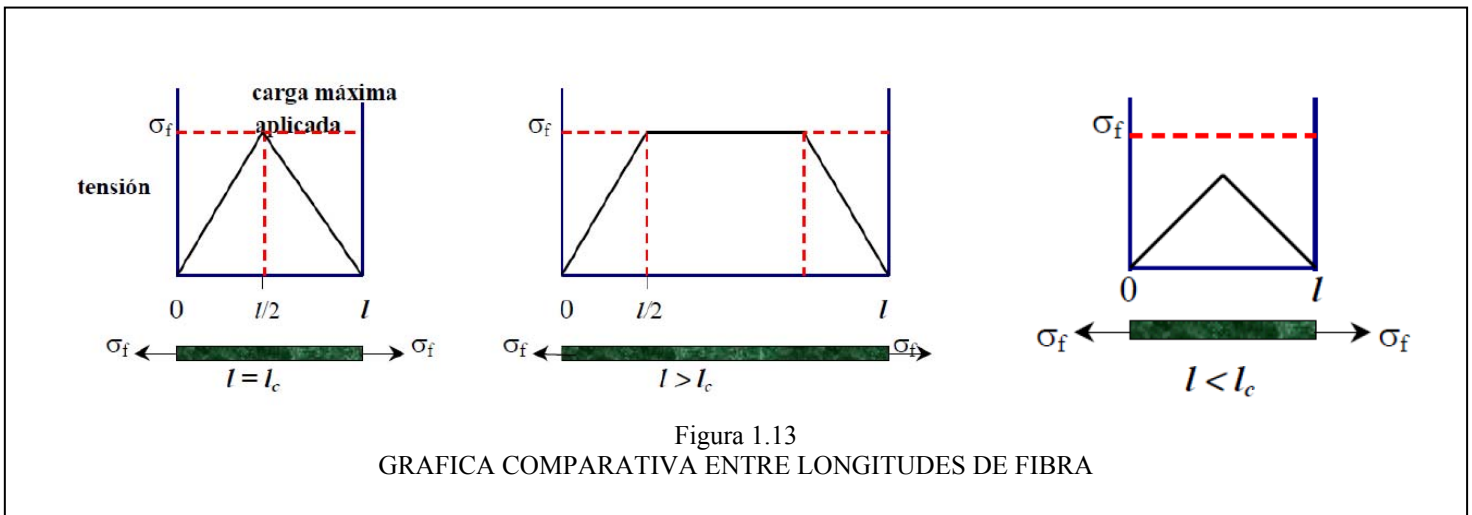
L_c es la longitud crítica de la fibra

σ_f es la resistencia a tracción

d es el diámetro de la fibra

T_c es la resistencia a cizallamiento de la matriz

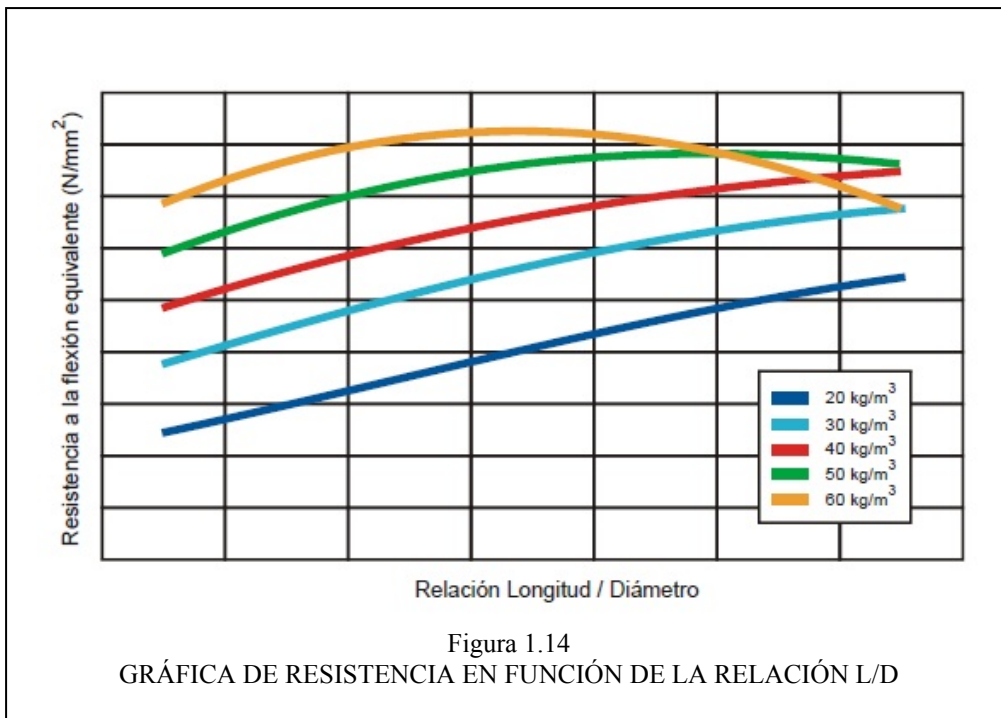
En la figura 1.13 se muestra como responde el hormigón en distintos supuestos de longitud de fibra.



- Grosor

El diámetro de la fibra jugará un papel fundamental en la distribución de las mismas dentro de la masa o matriz. Se considera que a igualdad de longitud de fibra, fibras con un menor diámetro aumentan en número, por cada unidad de masa; es decir, el número de fibras por kilogramo aumenta. Esto hace pues, que el entramado o red de fibras sea más denso y todo el compuesto presente una mejor redistribución de esfuerzos o cargas cuando este entre en servicio.

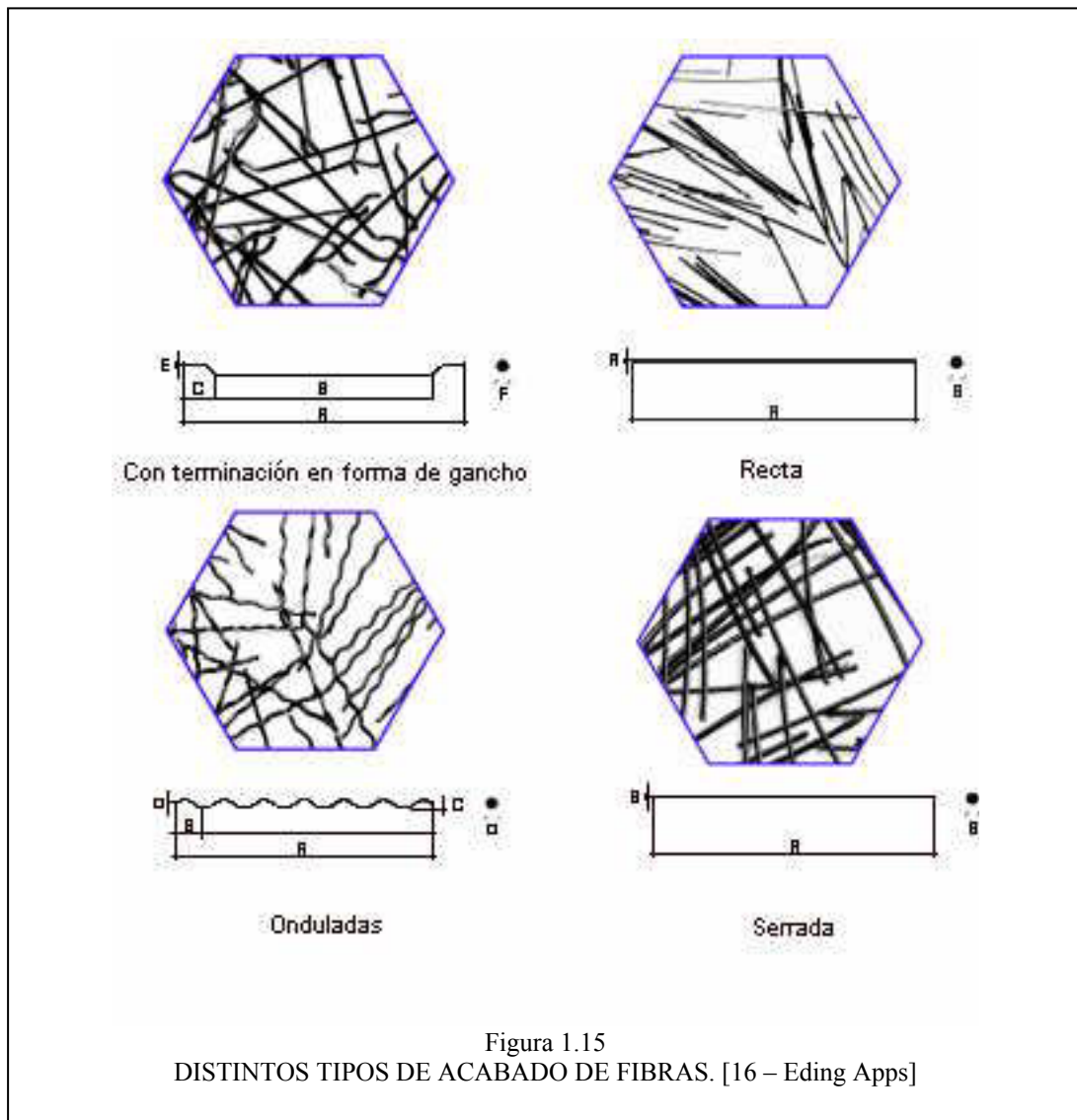
Pero no se debe considerar el grosor de la fibra independientemente del la longitud. Ambos factores van unidos y su relación (L/D) hará variar significativamente la resistencia final del hormigón. En el gráfico siguiente [10] se puede observar la variación de resistencia final de un mismo hormigón con distintas dosificaciones de fibras (Kg/m³) en función de la relación existente entre diámetro y longitud de las fibras.



- Forma:

En el mercado existen numerosos tipos de acabados en las fibras que buscan en cada caso mejorar algún tipo de carencia que presenta la unión de las mismas a la matriz cementante.

Por lo tanto encontramos fibras rectas, corrugadas, trefiladas o con los extremos con alguna forma característica. En la siguiente figura 1.15 se observan distintos modelos comerciales de fibras.



1.4 – Ensayos

De los ensayos que caracterizan el hormigón, a continuación van a desarrollarse dos de ellos, explicando detalladamente cómo se realizan y cómo deben interpretarse los resultados. El primero de ellos es el llamado ensayo a compresión.

1.4.1 – Compresión [20]

El ensayo a compresión va a dar la información en un primer lugar de la fuerza que ha tenido que aplicar la máquina para romper esa probeta. Más tarde puede dividirse esa fuerza entre la superficie de apoyo de la probeta antes mencionada, obteniéndose un valor de presión que generalmente viene dado en Mega Pascales. Si la máquina que realiza el test está informatizada puede darnos también valores tales como el módulo de elasticidad del hormigón o el tiempo de manera precisa que ha tardado el hormigón en llegar a su zona plástica.

Las probetas pueden ser cilíndricas, o prismáticas (normalmente cúbicas). En cualquier caso deben presentar las dos caras que enfrentarán la prensa con una superficie totalmente lisa. Esto evita que se produzcan roturas prematuras y gráficos de tensión-deformación muy irregulares. Si las probetas no cumplen este requisito puede recurrirse al proceso de refrentado (figura 1.16), el cual crea en la probeta una nueva superficie con mortero de azufre, absorbiendo las posibles irregularidades que pudiera presentar tal cara del prisma.



Figura 1.16
TÉCNICO REFRENTANDO PROBETAS

Una vez preparada la prensa (como la de la figura 1.17), se limpiarán tanto las superficies de carga de los dos platos como las caras de la probeta. Primero se debe centrar la probeta sobre el plato inferior después se lleva el plato superior hasta que quede en contacto con ella, haciendo girar a mano la parte móvil acoplada a la rótula, a fin de realizar un contacto uniforme. Los cubos deben ensayarse, preferentemente, sobre las caras laterales que corresponden al molde. Para la compresión transversal de los prismas, los platos deben tener unas dimensiones tales que la ras de contacto sean realmente cuadradas y tengan las mismas dimensiones que la arista nominal del prisma objeto de ensayo.

La carga debe aplicarse de una manera continua y sin saltos, a una velocidad constante tal que el incremento de la carga por segundo produzca un aumento de tensión de $0,5 \pm 0,2 \text{ N/mm}^2$. Se tolera una velocidad carga mayor durante la aplicación de la primera mitad de la carga de rotura. No debe introducirse ninguna corrección a los mandos de la máquina de ensayo, cuando la probeta se deforma rápidamente momentos antes de la rotura. Se continuará el ensayo hasta la rotura, registrando la carga máxima soportada por la probeta.



Figura 1.17
PRENSA PARA ENSAYO A COMPRESIÓN

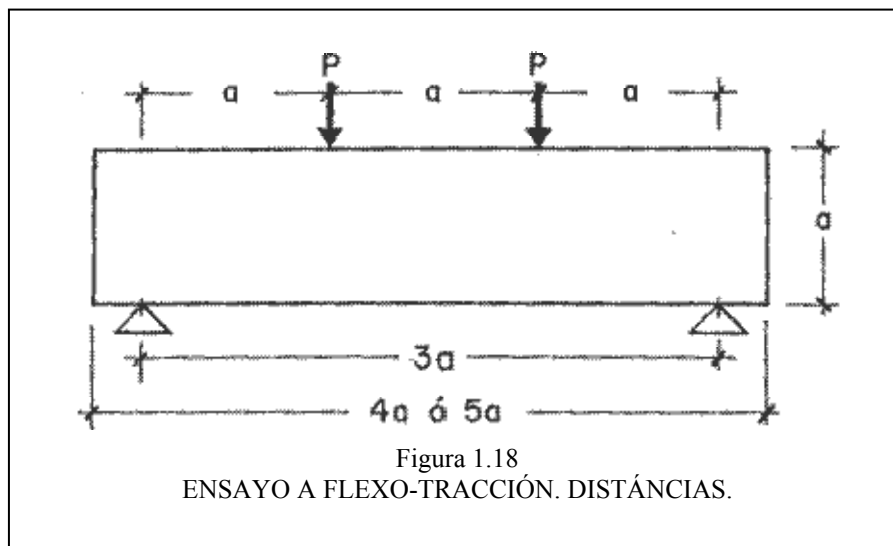
1.4.2 – Flexotracción [21]

Por otro lado, el ensayo a flexo-tracción dará información del hormigón respecto a su comportamiento en sollicitaciones entre apoyos. A priori el hormigón tiene una resistencia de flexión mucho más baja que la de compresión.

El ensayo suele efectuarse sobre probetas prismáticas de sección cuadrada $a \times a$ y una longitud de $4a$ o $5a$, siendo la luz de ensayo igual a $3a$. Las dimensiones normalmente empleadas son:

- para árido de 25mm $10 \times 10 \times 50$ cm
- para árido de 38mm $15 \times 15 \times 75$ cm
- para árido de 50mm $20 \times 20 \times 100$ cm

Las probetas se rompen a flexión mediante la aplicación de dos cargas iguales y simétricas, colocadas a los tercios de la luz (figura 1.18 y 1.19). El mecanismo para la aplicación de la carga se compone de dos rodillos de acero de 20 mm de diámetro, y otros dos para el apoyo de la probeta. Es importante que las probetas se apoyen y reciban la carga sobre las dos caras laterales que estuvieron en contacto con el molde; primero, porque así no es necesario refrentarlas; y segundo, porque se elimina la influencia de la distinta compacidad del hormigón junto al fondo y en la superficie.



La carga se aplica de forma continua sin choques bruscos, y a una velocidad de carga tal que el aumento de la tensión en las fibras inferiores de la probeta, calculada por la fórmula clásica, sea de $0,05 \pm 001$ MPa por segundo.

La resistencia a flexotracción se calcula mediante la fórmula clásica:

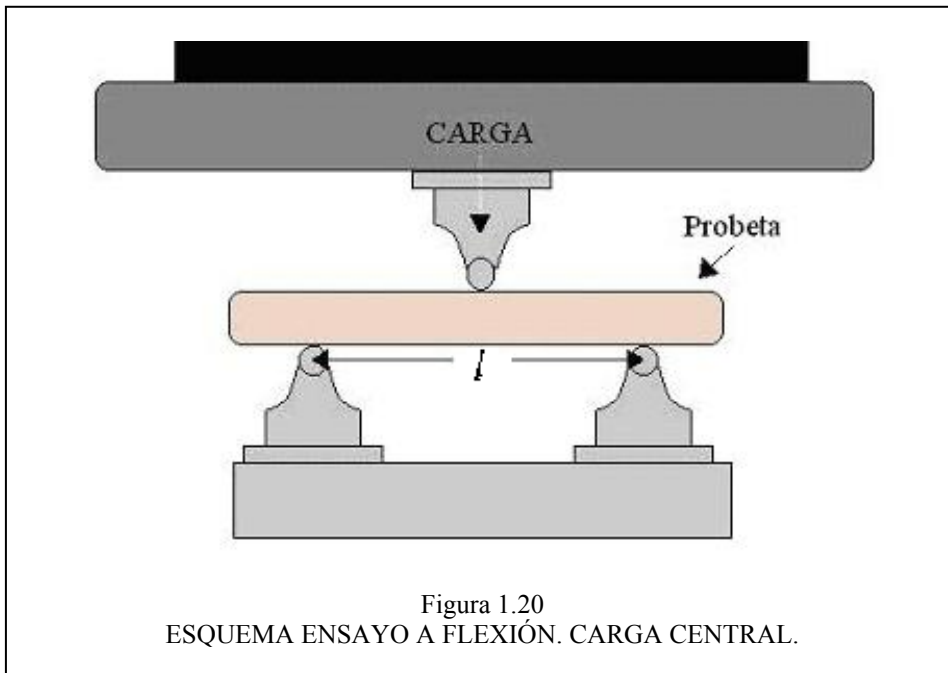
$$f_{ctf} = \frac{M_r}{W} = \frac{6M_r}{a^3} = \frac{3F}{a^2}$$

En donde M_r es el momento de rotura, W el módulo resistente de la sección, y $F=2P$, la carga total aplicada.

Con esta fórmula se admite un diagrama tensión-deformación lineal para el hormigón por lo que el valor obtenido para f_{ctf} es mayor que el de la resistencia a tracción axial, cuya determinación directa es muy problemática. El Eurocódigo 2 admite para la resistencia a tracción axial, en función de la resistencia a flexotracción, el valor $f_{ct} = 0,5f_{ctf}$.



Por otro lado, también se puede ensayar el hormigón mediante el clásico ensayo a tres puntos, mucho más simple que el anterior, pero en el cual se corre el riesgo de una rotura cerca de alguno de los apoyos inferiores, es decir de rotura por cortante. En el caso del hormigón con fibras se puede recurrir fácilmente a este ensayo, dado que algunos test sobre probetas de HRF han expuesto grietas de roturas bastante centradas y verticales, incluso sin entalla.



1.5 - Normativa

La normativa que se recoge a nivel nacional de hormigón con fibras se adjunta en el anexo I del presente documento.

2 – DISTRIBUCIÓN Y ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS.

2.1 – Concepto

La real academia de la lengua española define el verbo orientar como “*Determinar la posición o dirección de algo respecto a un punto cardinal*” [8].

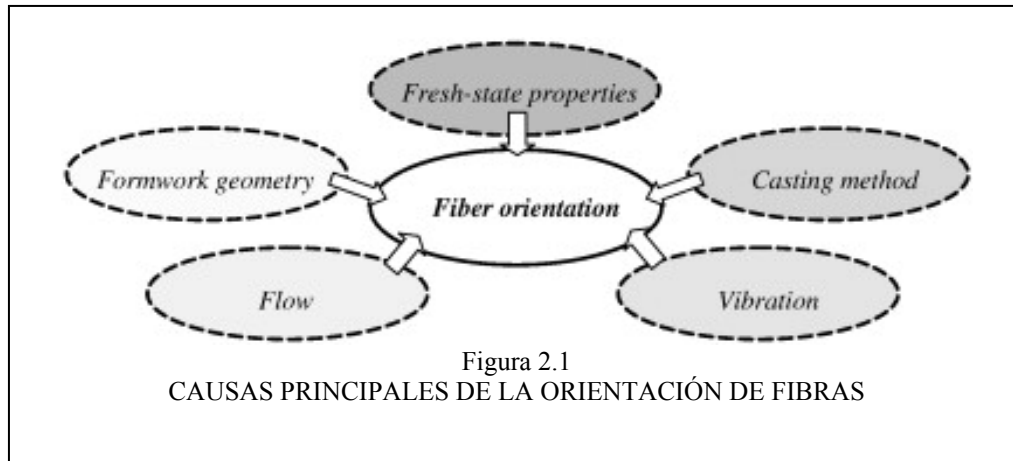
En este caso, la orientación de las fibras se podría definir como la acción o efecto de determinar la posición o dirección de un número significativo de fibras dentro de la matriz cementante en una dirección determinada.

Tal orientación puede ser un fenómeno deseado, en el caso de que la pieza de hormigón trabaje en una sola dirección y de este modo las fibras actúen como un “microarmado” que refuercen de manera considerable la pieza frente al esfuerzo de flexotracción o cortante.

Por el contrario, tal orientación podría considerarse un hecho no deseado cuando la pieza de hormigón trabaje en más de una dirección, en cuyo caso sería más favorable una dispersión generalizada de las fibras, creando una red de acero que haga el conjunto más resistente frente a esfuerzos de tracción o cortante en cualquiera de las direcciones del espacio.

2.2 – Posibles causas de la orientación

Algunos autores [5], han estudiado cuáles son las causas principales de la orientación de las fibras dentro de la matriz de hormigón. Se resume en la figura 2.1, ubicada a continuación.



Determinamos pues, que el flujo, la vibración, la forma de moldeado (vertido), el tipo de hormigón y sus propiedades en estado fresco, y la forma de la pieza, serán las principales variables que provocarán, o no, una orientación generalizada de las fibras de refuerzo.

El objeto de este estudio es analizar la influencia del flujo y la vibración en la orientación de las fibras en el hormigón, y es por ello que se analizan a continuación con más detalle.

2.2.1 - Flujo

Se entiende como flujo el desplazamiento del hormigón como resultado de su consistencia blanda. El flujo suele ser mayor cuanto más fluido es el hormigón. Es por ello que los hormigones autocompatibles o autonivelantes ofrecerán un mayor flujo que hormigones más secos.

La existencia de un flujo durante el vertido hace que las fibras que van mezcladas en la pasta adquieran una significativa orientación en el sentido del flujo. La dirección de vertido, que muchas veces puede coincidir con la dirección del flujo aumentará si cabe en mayor medida en el número final de fibras orientadas en esta dirección.

Estos dos últimos casos podrían verse claramente en el hormigonado de una cubierta o tejado inclinado de hormigón, grafados en la figura 2.2.

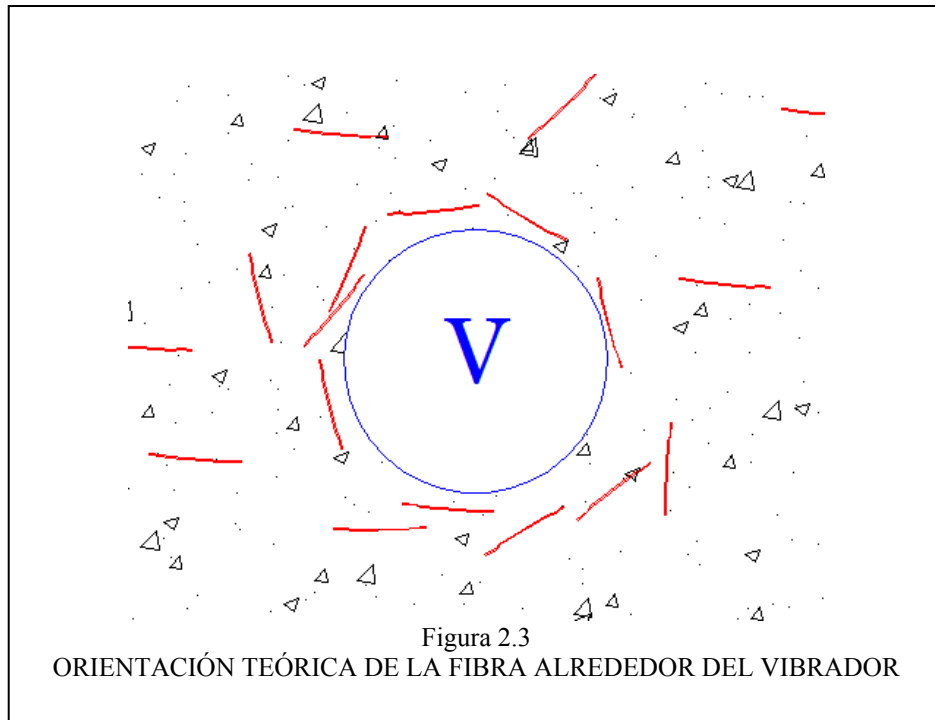


2.2.2 – Método de compactación

La forma en la que se compacta el hormigón fresco también va a condicionar que la fibra se oriente en mayor o menor medida en una dirección previsible.

El efecto de la vibración plana mediante mesa de vibrado hará que las fibras roten en planos paralelos a la mesa o a la regla de vibrado, mientras que la compactación mediante vibrador provocará una segregación parcial de la fibra y una acumulación de la misma alrededor de este, disponiéndose de manera tangencial a la circunferencia perimetral del vibrador (figura 2.3).

Es por ello que se prevé que para hormigones tradicionales el vibrado deberá ser un proceso de sumo cuidado si no se desea debilitar la pieza en ciertas zonas críticas.



2.2.3 – Efecto pared

El efecto pared es el fenómeno que se produce cuando las fibras del hormigón, que están muy próximas a una superficie lisa, ante la imposibilidad y restricción de ciertos movimientos, tienden a orientarse dentro de un plano paralelo a la nombrada superficie. Existen distintos algoritmos de cálculo, dependiendo de la zona o condición de la pared que se esté tratando tal y como apreciamos en la tabla 2.4 [5].

El efecto pared es un fenómeno que combina dos causas de orientación de fibras en el hormigón explicadas en el punto 2.2. Estas causas implicadas en el efecto pared son la forma del molde y el método de vertido.

Table A5.1 Increments of η for any η_0 and common cross-section geometries.

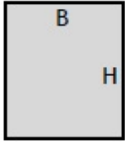
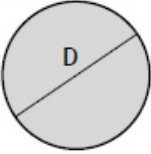
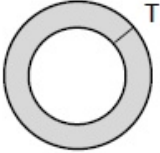
Cross-section		Type of concrete	Increment of η due to wall-effects ($\Delta\eta_w$)
Geometry	Position		
<u>Rectangular</u>  B = Width H = Height L = Fiber length	Vertical	SCC	$\Delta\eta_w = \frac{L}{B} \times (0.677 - 0.730 \times \eta_0)$
		CC	
	Horizontal or Inclined	SCC	$\Delta\eta_w = \frac{L^2}{B \times H} \left[\frac{B+H}{L} (0.465 - 0.730\eta_0) + 0.533\eta_0 - 0.127 \right]$
		CC	
<u>Circular</u>  D = Diameter L = Fiber length	Vertical	SCC	$\Delta\eta_w = \frac{L^* \times (2D - L^*)}{D^2} (0.677 - 0.730\eta_0)$
		CC	
	Horizontal or Inclined	SCC	$\Delta\eta_w = \frac{L^* \times (2D - L^*)}{D^2} (0.465 - 0.730\eta_0)$
		CC	
		$L^* = L + \Delta L$ $\Delta L = D \times \left[1 - \cos \left(a \sin \left(\frac{L}{D} \right) \right) \right]$	
<u>Hollow-circular</u>  T = Thickness L = Fiber length	Vertical	SCC	$\Delta\eta_w = \frac{L}{T} (0.677 - 0.730\eta_0)$
		CC	
	Horizontal or Inclined	SCC	$\Delta\eta_w = \frac{L}{T} (0.465 - 0.730\eta_0)$
		CC	

Tabla 2.4
INCREMENTO DE FIBRAS ORIENTADAS SEGÚN LA FORMA DEL MOLDE, SEGÚN F.LARANJEIRA.

CAPÍTULO 2

CAMPAÑA EXPERIMENTAL

1 - INTRODUCCIÓN – DESARROLLO DE LA IDEA.

Este proyecto va a buscar pruebas notorias de la orientación condicionada principalmente por el método de compactación, método de vertido y características del molde.

La campaña experimental pondrá como objetivo la creación de una pieza de dimensiones adecuadas de hormigón con fibras, para poder analizar mediante distintos métodos cómo se orienta esta fibra en el espacio y cómo condiciona esta orientación a la resistencia.

Para ello se planea crear dos tipos de hormigón, con distinta forma de compactación:

El primero, un hormigón autocompactable, de 25 y 40 MPa. En este tipo de hormigón se podrá observar la orientación de las fibras condicionada por el flujo del hormigón al ser vertido.

El segundo, un hormigón para vibrar, también de 25 y 40 MPa. En este se observará la orientación de la fibra condicionada por el vibrador utilizado. En este caso el vibrador a utilizar será un vibrador de aguja convencional.

Una vez creada esta probeta se realizará un planning de subdivisión de la misma, en varias probetas para el ensayo. Estas probetas darán la información necesaria de la orientación y la resistencia del hormigón, dependiendo de la zona donde se encuentren (en el punto de vertido, a medio camino, o al final del recorrido del hormigón autocompactable). Los ensayos a realizar serán:

- ❖ Orientación: Análisis de figura y radiografía.
- ❖ Resistencia: Ensayo de flexotracción.

Los objetivos son, entre otros secundarios, verificar la orientación de la fibra condicionada por el movimiento del hormigón dentro del molde, estudiar el grado de afectación de la compactación por vibración, relacionar la orientación con la resistencia a la fisuración por flexión y también tras la rotura, y además, estudiar el efecto pared en hormigones reforzados con fibras.

2 – CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA

2.1 – Condicionantes de partida

Volumen: el volumen máximo de hormigón que se puede amasar en laboratorio es de 100 litros. Es por ello que se debe concebir una probeta que no supere los $0,1 \text{ m}^3$. Podemos observar la amasadora en la figura 2.1



Cemento: se elige un cemento portland gris 42.5 de la marca LAFARGE.

Árido fino: la arena a utilizar es una arena caliza de granulometría 0/4, procedente de machaqueo.

Árido grueso: el árido grueso que se utilizará en la confección de la probeta es una combinación de gravilla 4/7 y 7/12 (para hormigones de alta resistencia, 40 MPa) y además 12/20 (para hormigones de baja gama (25 MPa)).

Fibras: se disponen de fibras metálicas zincadas figura 2.2 de dos tipos 65/35 y 70/35.



Figura 2.2
FIBRA DE ACERO CON BAÑO DE ZINC. 70/35

Aditivo: se disponen dos tipos de aditivo, de los cuales, durante las pruebas de dosificación se procederá a la elección de uno de ellos. El primero es el aditivo SIKA VISCOCRETE 5720, y el segundo es el SIKA VISCOCRETE 20HE. A continuación se adjuntan las fichas técnicas de ambos

Hoja de Datos de Productos

Edición 06/10/2008
 Identificación n.º 2.1.11
 Versión n.º 1
 Sika ViscoCrete®-5720



2.1.11

Sika ViscoCrete®-5720

Superplastificante de alto rendimiento para hormigones

Descripción del Producto	Superplastificante para hormigones de altas prestaciones y de tercera generación. Está exento de cloruros.
Usos	<ul style="list-style-type: none"> ■ Se utiliza en la confección de hormigones para obras, en prefabricación, y en centrales de hormigón preparado. ■ Los hormigones tratados con este producto se caracterizan por su bajo contenido de agua, una fluidez elevada, así como una cohesión óptima y una gran facilidad de autocompactación. ■ Hormigones autocompactantes (h.a.c.). ■ Hormigones con una gran reducción de agua. ■ Hormigones de altas prestaciones. <p>La importante reducción de agua unida a su elevada fluidez dan lugar a hormigones de muy altas calidades.</p>
Características/Ventajas	<p>Combina diferentes mecanismos de acción. La adsorción en la superficie de los finos así como su mejor dispersión durante el proceso de hidratación producen los siguientes efectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Pronunciada aptitud de autocompactación. Se utiliza en hormigones autocompactantes. ■ Reducción muy importante de agua de amasado (altas resistencias y gran impermeabilidad). ■ Altas resistencias iniciales. ■ Disminución de la fluencia y retracción. ■ La carbonatación es mucho más lenta. ■ No contiene cloruros ni sustancias que puedan provocar o favorecer la corrosión del acero y por lo tanto puede utilizarse sin restricciones en hormigones armados o pretensados.
Ensayos	
Certificados/Normas	Cumple con las especificaciones de la norma UNE-EN 934-2. Tabla 11.1 y 11.2: retardador / reductor / superplastificante.
Datos del Producto	
Forma	
Apariencia/Color	Líquido marrón amarillento
Presentación	Contenedores de m³. Bajo pedido puede suministrarse a granel.
Almacenamiento	
Condiciones de almacenamiento/Conservación	12 meses, desde su fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados. Al resguardo del hielo, entre +5 °C y +35 °C.
Datos Técnicos	



Tipo	Policarboxilato modificado en base acuosa.
Densidad	Aprox. 1,09 kg/l.
Contenido de sólidos	Aprox. 36%.
Valor del pH	Aprox. 4

Información del Sistema

Detalles de Aplicación

Consumo/Dosificación Entre 0,5 y el 1,5% del peso de conglomerante dependiendo de que se emplee como superplastificante o gran reductor de agua. En caso necesario puede aumentarse dicha dosificación.

Condiciones de Aplicación/Limitaciones

Compatibilidad El Sika ViscoCrete®-5720 se combina con los siguientes productos Sika entre otros:

- SikaPump®
- Sika® Ferrogard®-901
- Sika® Fume S-92-D
- SikaRapid® 1
- Sika® Stabilizer®-229
- Sika® Retarder® 50

Se recomienda hacer ensayos antes de combinar los productos.

Instrucciones de Aplicación

Incorporación al hormigón Se añade en el agua de amasado o en la mezcladora al mismo tiempo que el agua. Para aprovechar de manera óptima la gran capacidad de reducción de agua recomendamos un preamasado cuidadoso durante 60 segundos como mínimo.

Método de aplicación/ Herramientas Se deben seguir las reglas de buena práctica del hormigonado en cuanto a producción y colocación.
El hormigón debe curar adecuadamente

Notas Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

Instrucciones de Seguridad e Higiene Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.

Notas Legales Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil, de acuerdo a las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario de los productos debe realizar las pruebas para comprobar su idoneidad de acuerdo al uso que se le quiere dar. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben de conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos local, copia de las cuales se mandarán a quién las solicite, o también se puede conseguir en la página «www.sika.es».



**OFICINAS CENTRALES
Y FABRICA**

Madrid 28108 - Alcobendas
P. I. Alcobendas
Carretera de Fuencarral, 72
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38

**OFICINAS CENTRALES
Y CENTRO LOGÍSTICO**

Madrid 28108 - Alcobendas
P. I. Alcobendas
C/ Aragoneses, 17
Tels.: 916 57 23 75
Fax: 916 62 19 38



Hoja de Datos de Producto

Edición 28/01/2009
 Identificación n.º 2.1.7
 Versión no. 3
 Sika ViscoCrete®-20 HE



2.1.7

Sika ViscoCrete®-20 HE

Superplastificante de alto rendimiento

Descripción del Producto	El Sika ViscoCrete®-20 HE es un superplastificante de tercera generación para hormigones y morteros.
Usos	<p><i>El Sika ViscoCrete®-20 HE es especialmente adecuado para la confección de hormigones de altas resistencias iniciales, hormigones con gran necesidad de reducción de agua y de excelente fluidez</i></p> <p>El Sika ViscoCrete®-20 HE se utiliza principalmente para las siguientes aplicaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Hormigón prefabricado. ■ Hormigón con altas resistencias iniciales. ■ Hormigón realizado in situ con un rápido desmoldeo o desencofrado. ■ Hormigón autocompactante (H.A.C.).
Características/Ventajas	<p>El Sika ViscoCrete®-20 HE es un poderoso superplastificante que actúa por diferentes mecanismos de actuación.</p> <p>Debido a la absorción superficial y el efecto esteárico, que separan las partículas ligantes se consiguen las siguientes propiedades:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Produce un rápido desarrollo de las resistencias iniciales, resultando muy económico porque reduce el tiempo de encofrado y desmoldeo tanto en prefabricados como en hormigón in situ. ■ Reducción muy importante de agua de amasado dando hormigones de alta densidad, altas resistencias y reducida permeabilidad al agua, etc. ■ Excelente plasticidad, mejorando la fluidez, la colocación y la compactación. ■ Bajo coste de energía en elementos prefabricados curados al vapor. ■ Especialmente indicado para la preparación de hormigón autocompactable. ■ Disminuye la retracción ■ Reduce los tiempos de reparación de carreteras y pistas de rodadura. <p>No contiene cloruros ni sustancias que puedan provocar o favorecer la corrosión del acero y por lo tanto pueden utilizarse sin restricciones en hormigones armados o pretensados.</p>
Ensayos	
Certificados/Normas	Cumple con las especificaciones de la norma UNE-EN-934-2 tablas 3.1 y 3.2, SIA 262 (2003) reductor de agua y superplastificante.
Datos del Producto	
Forma	
Apariencia/Color	Líquido marrón, ligeramente transparente.
Presentación	Contenedores de m³ y bajo pedido puede suministrarse a granel
Almacenamiento	



Condiciones de almacenamiento/Conservación	12 meses desde su fecha de fabricación, en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados entre +5 °C y +35 °C. Proteger de la acción directa de la luz solar y de las heladas.
Datos Técnicos	
Composición química	Policarboxilato modificado en base acuosa
Densidad	1,09 kg/l (+20 °C)
Valor de pH	4,5 +/- 1,0
Residuo seco	40,0 ± 0,1 H.-%
Viscosidad	Ca. 145 mPas at +23 °C
Contenido en Cloruros	Libre de cloruros ≤ 0,1 H.-% (EN 934-2)
Información del Sistema	
Detalles de Aplicación	
Consumo/Dosificación	Dosificación recomendada: Para media trabajabilidad: 0,2-0,8% del peso del cemento Para una alta trabajabilidad, con baja relación agua/cemento y para hormigón autocompactable: 1,0-2,0 % del peso del cemento.
Condiciones de Aplicación/Limitaciones	
Compatibilidad	El Sika ViscoCrete®-20 HE se combina con los diferentes productos de Sika. Importante: Antes de combinar diferentes productos, se recomienda realizar ensayos previos y/o ponerse en contacto con el Departamento Técnico.
Instrucciones de Aplicación	
Incorporación al hormigón	El Sika ViscoCrete®-20 HE se añadirá al agua de amasado o a la mezcla de hormigón. Para aprovechar las ventajas de la alta reducción de agua, se recomienda batir la mezcla durante al menos 60 sg. Para evitar el exceso de agua en el hormigón, la dosis final debe añadirse después de humedecer las 2/3 de la mezcla
Método de aplicación/Herramientas	Se deben seguir las reglas de buena práctica del hormigonado en cuanto a producción y colocación. Se realizarán ensayos previos antes de la fabricación en serie; especialmente cuando haya cambios en materias primas, dosificaciones, etc. El hormigón fresco debe curar adecuadamente.
Limpieza de herramientas	Limpiar todos los útiles y equipos de aplicación con agua inmediatamente después de su uso. Una vez endurecido el material sólo podrá ser eliminado por medios mecánicos.
Notas de aplicación/Limitaciones	Para la realización de hormigones autocompactados con Sika ViscoCrete®-20 HE se deben hacer diseños de hormigón específicos, con las materias primas locales. El Sika ViscoCrete®-20 HE no debe añadirse directamente a la mezcla seca. Demasiada dosificación puede producir exudación o sangrado. Heladas: Si el Sika ViscoCrete®-20 HE se helase, puede utilizarse después de deshacerse lentamente a temperatura ambiente y agitado intensivamente.
Notas	Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

2.2 – Dimensiones

Longitud: en este caso se opta por una longitud mínima de la probeta de 2 – 2,2 metros. Esto es por dos motivos principales:

- ❖ Primero, para hacer que el hormigón autocompactable tenga una longitud suficiente para fluir y de esta manera obtener una orientación significativa de las fibras.
- ❖ Segundo: se obtengan suficientes probetas tras la subdivisión, para establecer un dato estadístico fiable.

Anchura: tras la revisión bibliográfica y el establecimiento del estado del arte (punto 2.2.3 del capítulo 1 del presente trabajo), se observa que el efecto pared puede condicionar demasiado la orientación de la fibra, de modo que no podemos concebir un elemento que disponga una anchura menor de 40 – 50 cm.

Espesor: condicionados por las dimensiones anteriormente expuestas despejamos de la fórmula $0,1 = 2,2 \times 0,4 \times E$; $E = 0,112$. Es decir estableceremos un espesor final de 10 cm, compensando así las posibles pérdidas de volumen durante el amasado y el vertido.

2.3 – Variantes

Se proponen cuatro tipos de hormigón distintos para observar y poder comparar entre ellos si las siguientes variantes afectan en mayor o menor medida a la orientación de las fibras de acero.

2.3.1 – Compactación

Se realizarán dos tipos distintos de hormigón, atendiendo a su forma de compactación.

Uno de ellos será un hormigón autocompactable. Con él se buscará, tal como ya se ha explicado, que el hormigón fluya en una dirección, buscando rellenar el molde. Más tarde se observará si este flujo condiciona la orientación de la fibra.

El segundo hormigón propuesto es un hormigón tradicional, concebido para ser vibrado. En él se estudiará si la vibración mediante vibrador de aguja condiciona una vibración masiva de fibras que condicione notablemente la resistencia final del hormigón, o por el contrario la orientación por esta causa es tan insignificante que no supone una diferencia sustancial en cuanto a resistencia se refiere.

2.3.2 – Tamaño máximo de árido/resistencia

Dentro de cada tipo de hormigón explicado en el punto 2.3.2, buscaremos dos hormigones.

El primero de ellos, de 25MPa, que se elaborará con áridos cuyo TMA es 20.

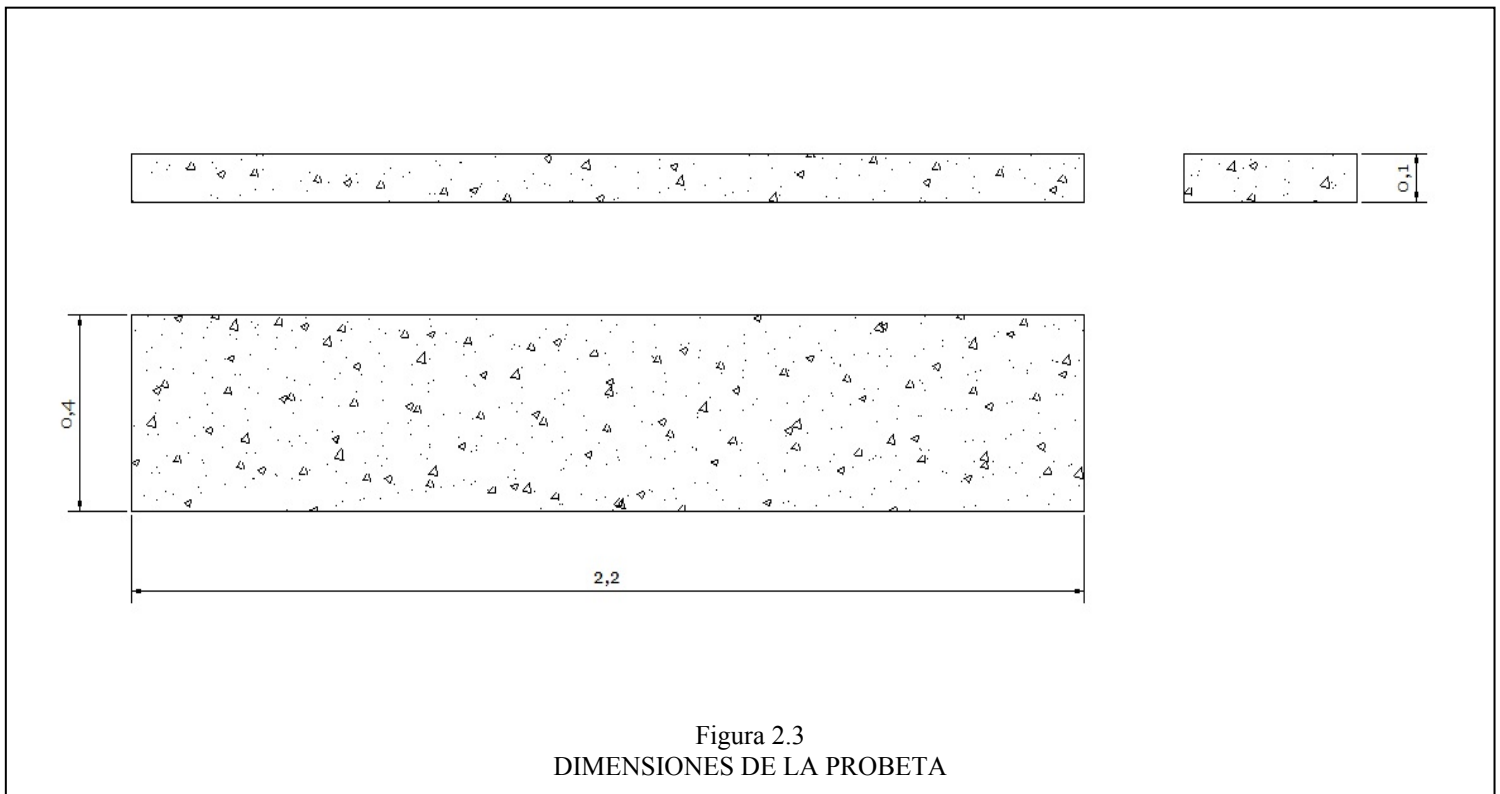
El segundo, de 40MPa, elaborado con áridos cuya granulometría presenta un TMA de 12mm.

2.4 – Planning de subdivisión de la probeta

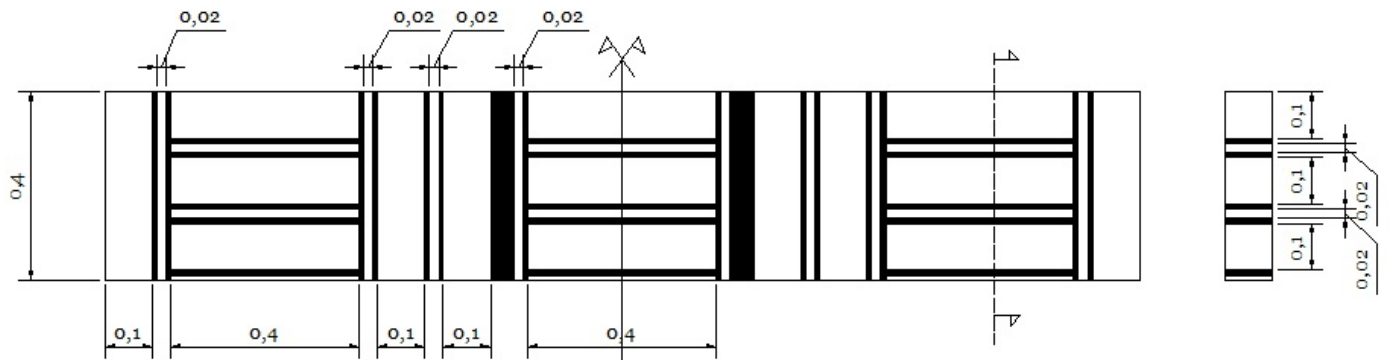
Para conseguir un número considerable de testigos, de la losa que se va a crear, se prevé el siguiente planning, de subdivisión de la losa o probeta madre.

Se debe de tener en cuenta que se extraerán testigos o probetas para pruebas de flexotracción, y para pruebas de análisis de figura y radiografía.

Como ya se ha explicado anteriormente, la probeta tendrá las dimensiones que se detallan en la figura 2.3, todas ellas expresadas en metros.



Una vez creada la probeta se procederá al corte de la misma en distintos tamaños de “sub-probetas” con diferentes orientaciones, tomando de referencia el sentido del hormigonado. La división se llevará a cabo según explica la figura 2.4. Las cotas están en metros.



Subdivisión de la probeta. Cotas.

- Probeta flexión
- Probeta radiografía

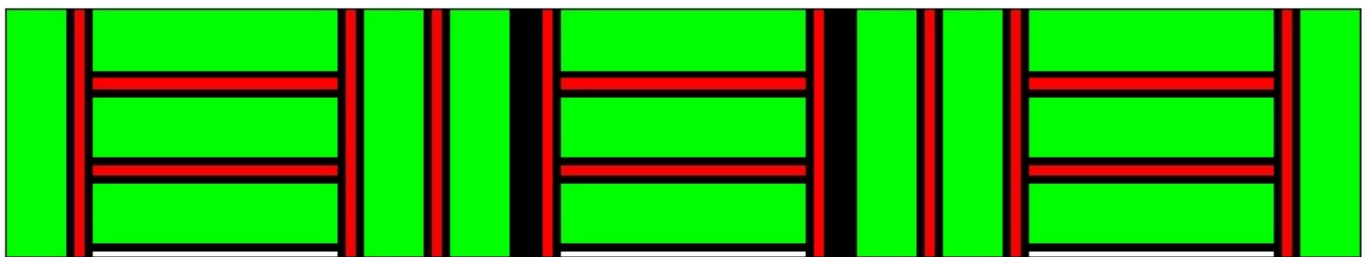


Figura 2.4
DESTINO DE LAS PROBETAS. ENSAYOS.

3 – CREACIÓN DE LA PROBETA TIPO Y SUBPROBETAS.

3.1 – Pruebas de dosificación del hormigón

3.1.1 – Primera prueba

Hormigón autocompactable

Observaciones:

- Durante el amasado se observa que el hormigón no adquiere suficiente plasticidad. La prueba de escurrimiento o esparcimiento es negativa (figura 3.1). Esto puede ser achacado a que existe demasiado árido grueso, o que la pasta de cemento es insuficiente.



- Durante el amasado se observan “bolos de hormigón” dentro de la hormigonera que han formado los erizos de fibras.

- Se disponen pues, cuatro probetas cilíndricas de este hormigón, de las cuales dos de ellas es necesario vibrar por ser insuficientemente fluidas.

- Al desencofrar (Figura 3.2), se observa en las probetas vibradas un hormigón muy seco y falto de pasta en la cara superior de la probeta. El árido se distingue a simple vista.

- En las probetas sin vibrar, se observan zonas en las que el árido ha ocluido aire, o se ha dado una fuga de pasta, haciendo que quede visto el árido de esta zona.



Figura 3.2
PROBETA 4 y 3, DE HAC, SIN VIBRAR

- Los resultados de los ensayos a compresión de las probetas se adjuntan en el anexo II de este documento
 - P1 (HAC – vibrado)
 - P2 (HAC – vibrado)
 - P3 (HAC – sin vibrar)
 - P4 (HAC – sin vibrar)

Hormigón tradicional

Observaciones:

- Durante el amasado se observan datos similares a los expuestos en el autocompactable. En la figura 3.3 se observa el resultado del ensayo del cono de Abrams



Figura 3.3
PRUEBA DEL CONO DE
ABRAMS. 14.5 CM DE ASIENTO.

- Al desencofrar, no se observan irregularidades aparentes.
- Los resultados de los ensayos a compresión de las probetas se adjuntan en el anexo II de este documento
 - P1 HT
 - P2 HT
 - P3 HT
 - P4 HT

3.1.2 – Segunda prueba

Hormigón autocompactable

Observaciones

- Se ha utilizado un cemento del tipo CEM I 52,5 resistente a los sulfatos de la marca LAFARGE. Este cemento puede que haga más dócil la masa de hormigón por ser un cemento más fino.
- Se utiliza una mayor cantidad de aditivo durante el amasado, por observar que la docilidad no es la deseada (figura 3.4).



Figura 3.4
PRUEBA DE ESCURRIMIENTO

- Al desencofrar, el 50 por ciento de las probetas presentan oclusiones de aire en el interior, provocadas probablemente por la poca fluidez del hormigón de las últimas probetas hormigonadas (figura 3.5). El estado de las probetas cúbicas sigue el mismo patrón de las cilíndricas.



Figura 3.5

PROBETA 5 DE HT Y PROBETAS CÚBICAS DE HAC (10 – 13)

- Los resultados de los ensayos a compresión de las probetas se adjuntan en el anexo II de este documento
- P5 HAC Buen estado –
- P6 HAC “ “ -
- P7 HAC “ “ -
- P8 HAC Deficiente -
- P9 HAC “ -
- P10 – 13 HAC – Cúbica/regular-bueno –
- P14 – 17 HAC – Cúbica muy deficiente -

Hormigón tradicional

Observaciones

- Se vuelven a formar bolas en el amasado, alrededor de las palas de mezclado.
- Tras añadir el doble de dosis de aditivo, al observar lo anterior, la bola continúa y se ha de parar el amasado para deshacerla.
- La gran dosis de aditivo hace que la pasta refluya por las juntas de la hormigonera.
- Aún así, los áridos forman bolas y en general la docilidad del hormigón no es la deseada.
- El cono de Abrams da un asiento de 10cm (figura 3.6).



Figura 3.6
PRUEBA DEL CONO DE ABRAMS.
10.5 CM DE ASIENTO

- Al desencofrar, se observan pequeños erizos en la cara lateral de la probeta, que han ocluido aire haciendo una trampa para los áridos. El estado de las probetas en general, es similar al autocompactable.
- Los resultados de los ensayos a compresión de las probetas se adjuntan en el anexo II de este documento
- P5 HT erizos de fibra –
- P6 HT Id. 5 en menor grado –
- P7 HT – Buen estado
- P8 HT – Buen estado –
- P9 HT – Buen estado
- P10 HT – 13 HT – Cúbica regular bueno –
- P14 HT – 17 HT – Cúbica muy deficiente -

3.1.3 – Tercera prueba

Dado que las pruebas anteriores han sido negativas (especialmente para el hormigón autocompactable), en esta tercera prueba, se ha procedido a elaborar un hormigón autocompactable sin fibras cuya prueba de escurrimiento sea positiva, para a partir de ahí, contemplar la posibilidad de añadir fibras.

El tamaño de árido máximo será esta vez de 12 mm. La resistencia de estas probetas debería ser de 40 MPa.

Se hará una amasada de 50 litros de hormigón autocompactable y se rellenarán 5 moldes cilíndricos y dos moldes cúbicos de 4 probetas cada uno.

La dosificación utilizada ha sido la siguiente:

- Es preciso añadir durante el amasado más aditivo, pues a simple vista la consistencia del hormigón es poco fluida.
- El hormigón, a punto de segregar a los 8 minutos, se sigue amasando.
- Esto se hace para ver si el efecto del aditivo disminuye algo.
- La prueba de escurrimiento es satisfactoria (figura 3.6)



- Al desencofrar se observan unas probetas en buen estado (figura 3.7) .



- Estas últimas probetas se rompen a 7 días, con la única razón de agilizar esta fase de la experiencia. - Los resultados de los ensayos a compresión de las probetas se adjuntan en el anexo II de este documento

- P1 HAC SF
- P2 HAC SF
- P3 HAC SF
- P4 HAC SF
- P4 HAC SF
- M1 P1 (CÚBICA) HAC SF
- M1 P2 (CÚBICA) HAC SF
- M1 P3 (CÚBICA) HAC SF
- M1 P4 (CÚBICA) HAC SF
- M2 P1 (CÚBICA) HAC SF
- M2 P2 (CÚBICA) HAC SF
- M2 P4 (CÚBICA) HAC SF
- M2 P4 (CÚBICA) HAC SF

3.1.4 – Cuarta prueba

En esta cuarta prueba se programan dos amasadas. En la primera se buscará encontrar ese equilibrio con el aditivo que falló en la prueba anterior. En la segunda, si la primera amasada es satisfactoria, se procederá a utilizar esta dosificación añadiendo fibras.

El tamaño de árido máximo será también de 12 mm. La resistencia de estas probetas debería ser de 40 MPa.

Primera amasada – HAC sin fibras

La dosificación utilizada ha sido la siguiente:

Observaciones:

- Se observan pequeñas pelotas de árido durante el amasado, previamente a la adición de aditivo. Posteriormente se deshacen.
- La prueba de escurrimiento (figura 3.8) es buena tanto a 8 minutos como a 15. Aunque el diámetro en la prueba es menor que la prueba número 3, presenta un mejor aspecto y no segrega en absoluto.



Figura 3.8

PRUEBA DE ESCURRIMIENTO A 8 Y 15 MINUTOS. 60 Y 43 CM RESPECTIVAMENTE

Segunda amasada – HAC con fibras

Se utiliza la misma dosificación que en la primera amasada, rectificando un poco el aditivo plastificante.

Observaciones:

- Al igual que en la primera amasada, se obtiene un hormigón fresco de buen aspecto, que no parece segregar.
- Tras una primera prueba de escurrimiento, se añaden las fibras a la masa y se realiza una segunda prueba de escurrimiento, a los 14 minutos (figura 3.9).



Figura 3.9

PRUEBA DE ESCURRIMIENTO REALIZADA A 14 MINUTOS TRAS AÑADIR LAS FIBRAS. MEDIA DE 56.4 CM.

- Al desencofrar, tanto la amasada con fibras como la amasada sin fibras presentan un buen aspecto en las probetas.

- Los resultados de los ensayos a compresión de las probetas se adjuntan en el anexo II de este documento

SIN FIBRAS

- P6 HAC SF
- P7 HAC SF
- P8 HAC SF
- P9 HAC SF
- P10 HAC SF
- P11 – 14 HAC SF (CÚBICAS)
- P15 – 18 HAC SF (CUBICAS)

CON FIBRAS

- P15 (18) HAC
- P16 (19) HAC
- P17 (20) HAC
- P18 (21) HAC
- P19 (22) HAC
- P20 – 23 (23 – 26) HAC
- P24 – 27 (27 – 30) HAC

3.1.5 – Quinta prueba

Esta última prueba intentará rectificar los malos resultados del hormigón autocompactable de la primera y segunda prueba, cuya f_{ck} de cálculo era de 25 MPa.

3.1.6 – Pruebas finales. El problema de los finos para el hormigón autocompactable.

Pese a llegar a conseguir un hormigón de excelente aspecto y un escurrimiento decente, que podría funcionar muy bien durante la experiencia y que el autor de este proyecto consideraría correcto, la realidad es que el hormigón presenta un problema relativamente grave y que podría impedir que el experimento se realizara con éxito.

Este problema es que el hormigón conseguido, adquiere rápidamente una consistencia seca, rompiendo casi totalmente con el efecto del aditivo superplastificante. Esto puede suponer que durante el traslado del hormigón al lugar donde se ha preparado la experiencia podría perder esa fluidez y el hormigón no corriera y se desplazara lo suficiente por el molde y crear así la pieza deseada.

Tras considerar varias causas de este déficit del hormigón, se plantea la posibilidad de que los finos, es decir, el filler calcáreo contribuyera a una redistribución más homogénea de áridos y a que la mezcla adquiriera una consistencia no esperada tras ciertos minutos en los que el aditivo empieza a decaer ligeramente.

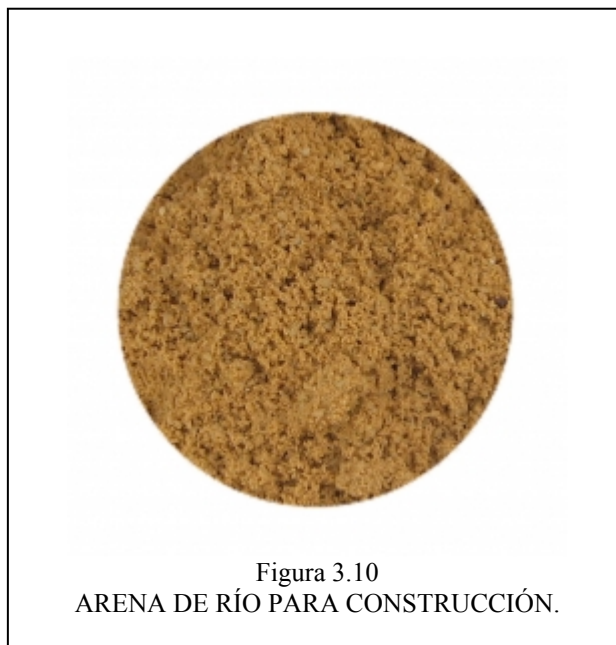
Aunque se ha realizado alguna prueba a pequeña escala con una dosificación sin filler añadido, el problema persiste. Se obtiene como conclusión que el filler que aporta la arena que se ha estado utilizando es demasiado alto.

Se planean entonces unas pruebas finales para el hormigón autocompactable, en las que se pueda paliar el defecto de esta dosificación. Las medidas correctivas que se baraja tomar son las siguientes:

1 - Utilizar el aditivo 20 HE, en lugar de 5720. Este aditivo a priori es más potente y puede aumentar la fluidez con menor cantidad de aditivo.

2 - Cambiar el tipo de arena utilizada. En este caso se utilizará una arena de río con acabado redondo (figura 3.10). Este árido redondo hará que el

hormigón fluya más y más velozmente que la arena machacada con forma irregular. Por otro lado, la arena procedente de río es una arena lavada, y por lo tanto se supone una cantidad de finos (filler) menor dentro de la mezcla.



3 - Cambiar la relación grava/arena. A una relación grava/arena mayor, el ensayo “slump flow” o prueba de escurrimiento debe dar un diámetro mayor. El problema es que si esta relación es excesiva puede llegar a segregar la mezcla irreversiblemente.

Se procede pues a realizar unas pruebas finales que acabarán por ofrecer el hormigón autocompactable definitivo. Los resultados de las pruebas pueden observarse en la siguiente tabla 3.105

PLANNING ROTURA DE PROBETAS									
CÓDIGO Y FECHA	TIPO	NOVEDAD DE LA PRUEBA	TMA (MM)	EDAD DE ROTURA	SLUMP FLOW	R (CÁLCULO)	R (TEST)	PRUEBA	
P57 (4-6)	HAC	Proporción grava/arena = 0.75	12	7 días	56	40	43,04	1	
P61 (4-6)	HAC	Proporción grava/arena = 0.85	12	7 días	53	40	30,86	2	
P62 (4-6)	HAC	Proporción grava/arena = 0.85	12	7 días	53	40	35,24	2	
P65 (4-6)	HAC	Proporción grava/arena = 0.95	12	7 días	53	40	24,02	3	
P69 (7-6)	HAC	Se cambia a arena de río, manteniendo la proporción grava/arena en 0.75. Se añade filler 7kg/m3 y aditivo 20HE...	12	7 días	66	40	26,34	4	
P70 (7-6)	HAC	Idem P69	12	7 días	66	40	23,57	4	
P73 (7-6)	HAC	Idem P69 y P70. Se añade más filler (15Kg/m3) y aditivo 20 HE	12	7 días	65	40	20,2	5	
P74 (7-6)	HAC	Idem P73	12	7 días	65	40	18,87	5	
Se reservan algunas probetas para ensayo a 28 días. Tras los resultados desfavorables a compresión, se decide recalcular la proporción agua/cemento y realizar una última prueba caracterizando el hormigón									
P77 (12-6)	HAC	Se añade filler (60 kg m3) y una gran cantidad de aditivo que oscila entre el 1,5 y el 1,7 %	12	7 días	72	40	25,00	6	
P78 (12-6)	HAC	Idem P77	12	7 días	72	40	26,00	6	

Cabe decir, que al final de las pruebas se consigue un hormigón de excelente trabajabilidad ($d_1=70$ y $d_2=76$ en pruebas de escurrimiento) sin que llegue a segregarse. Este hormigón es utilizado para hacer lo que a partir de ahora se llamará “segunda pieza o prueba de hormigón autocompactable”. Esta segunda prueba no se analiza en este documento por exigencias de calendario pero se incluye en las futuras líneas de investigación de una manera más detallada.

Y, dados los últimos resultados obtenidos, aquí se realiza un cambio en los parámetros del proyecto. La resistencia del hormigón no es un factor determinante para el proyecto, sin embargo, si lo es que sea muy trabajable; es por ello que la prueba número 6 de la anterior tabla es la dosificación final que se utilizará para el hormigón autocompactable, configurando su f_{ck} como 30 Megapascuales, que se supone superará perfectamente a 28 días. Más tarde en los ensayos a flexión, sí se comparará la resistencia entre los distintos puntos de la probeta madre de 2.2×0.4 , analizándose según su orientación obtenida en las radiografías y cortes. No habrá hormigón de 25 Mpa en ninguno de los hormigones, por problemas de calendario. Por lo tanto los hormigones a analizar son:

- 1 – Hormigón Autocompactable HA 30, vertido lateralmente en el molde. Árido máximo 12mm
- 2 – Hormigón tradicional HA 40, vertido lateralmente y posterior vibrado mediante aguja. Árido máximo 12mm

3.2 – Vertido del hormigón en el molde y confección de la pieza tipo

Se han seguido dos métodos distintos de vertido, dependiendo del tipo de hormigón. Procedemos pues a explicar los distintos tipos de vertido y conformación de probetas, separando por un lado el hormigón autocompactable, y por otro, el de hormigón tradicional.

3.2.1 – Hormigón autocompactable

Mediante una estructura metálica se crea una canaleta inclinada, con ángulo fijo de 45°. El hormigón se vierte en el molde mediante esta canaleta, conformando así la losa explicada en el punto 2.4.

Esta canaleta inclinada dará la velocidad y la dirección deseada para que el hormigón fluya y a posteriori analizar mediante los cortes y ensayos ya explicados la orientación de la fibra.

Se realizan dos pruebas. Ambas dosificaciones extraídas de las pruebas finales detalladas en el punto 3.1.6. -

Prueba número 1 – Dosificación prueba 5 (3.1.6). Hormigón a límite de la segregación. Puesta en obra sin problemas.

Prueba número 2 - Dosificación prueba 6 (3.1.6). Hormigón sin segregación. Puesta en obra sin problemas.

3.2.2 - Hormigón tradicional

Mediante una estructura metálica similar a la anterior, se vierte el hormigón. La diferencia principal es que este hormigón será vibrado mediante vibrador de aguja. De esta manera se observará si este tipo de compactación afecta en mayor o menor medida a una posible orientación por la dirección del vertido. Además se estudiarán loss casos

La estructura utilizada es, como se ha dicho, similar a la del autocompactable, con una inclinación de 45°. En la siguiente foto se puede apreciar esta estructura, en la que el canal es media tubería de PVC de 180mm, reforzada con una pieza de madera por la parte inferior para evitar que fleche. En la siguiente figura 3.11 se pueden apreciar los detalles de esta estructura.

Se realiza una sola pieza.



Figura 3.11
ESTRUCTURA DE VERTIDO PARA EL HORMIGÓN TRADICIONAL.

Una vez vertido y fraguado se establece una nueva distribución de probetas, adaptándose a un problema no esperado. Este problema es que para poder mover la losa de hormigón se tuvieron que disponer dos armaduras en forma de gancho mientras que el hormigón estaba fresco dejando así una zona de losa no ensayable.

Por otro lado, y para hacer piezas más manejables, se decide dividir la losa en tres partes, intentando hacer coincidir los cortes con una zona cercana a los ganchos anteriormente explicados.

3.3 – Obtención de las probetas definitivas

Partiendo de la pieza inicial, esta se corta en piezas más pequeñas mediante sierra radial (figura 3.12), intentando hacer coincidir los cortes por cortes ya previstos en el planning de subdivisión de la probeta. Esta acción se lleva a cabo para hacer más manejable la pieza y poder llevarla a una sierra de mesa donde se continúa con el proceso de corte. Una vez cortada la losa en tres partes se lleva a una sierra de corte al agua con disco para piedra. En esta sierra (figura 3.12), se procede al corte definitivo de las probetas, tanto las destinadas a radiografía como las destinadas al ensayo de flexotracción.



Figura 3.12

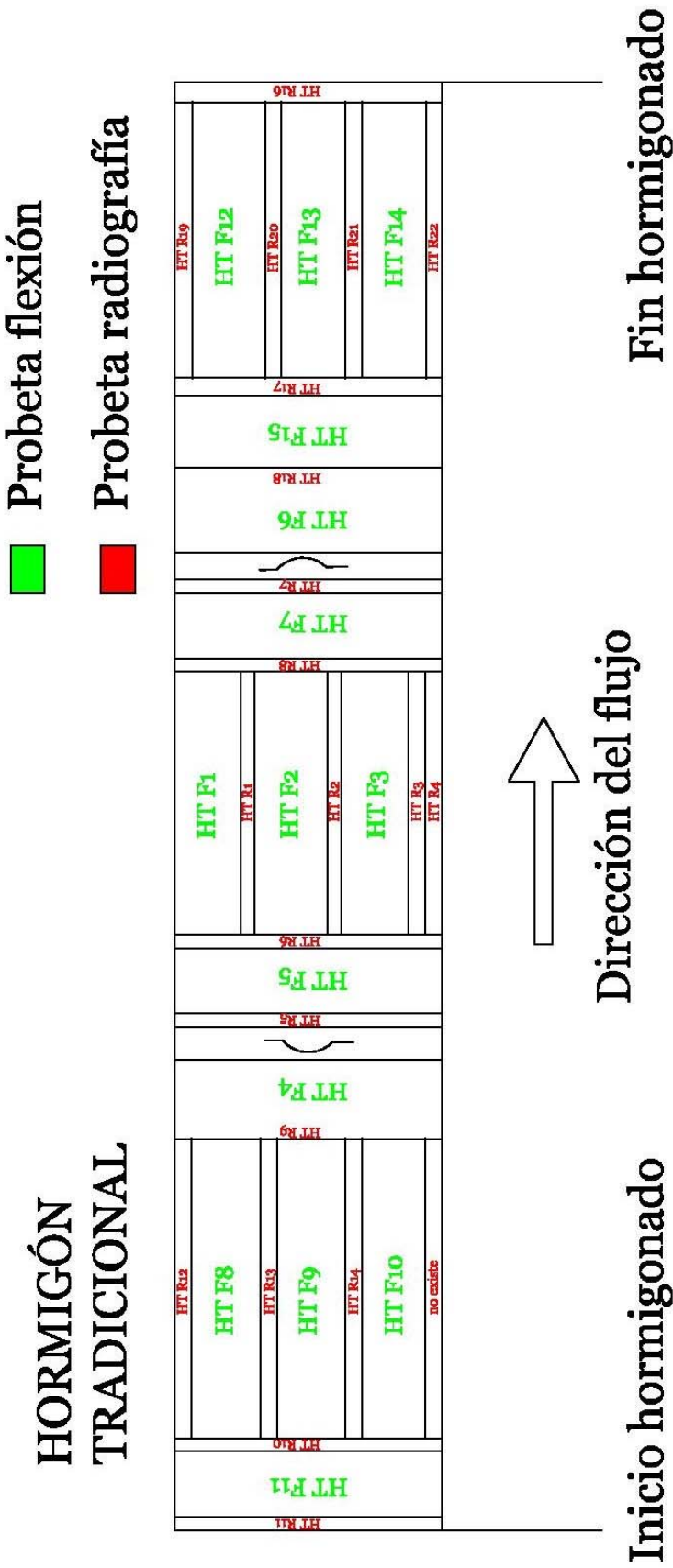
ARRIBA, OPERARIO RETIRANDO LOS GANCHOS DE LA LOSA YA PARTIDA EN TRES.

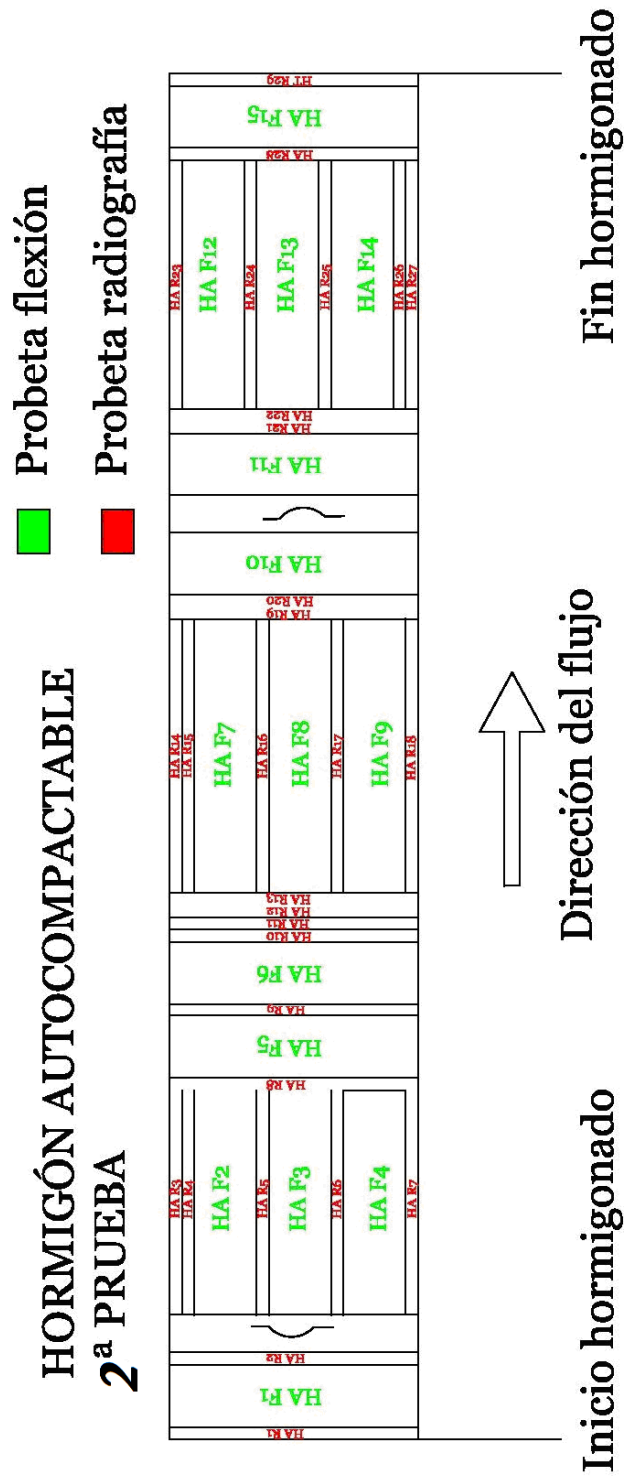
ABAJO, DIVIDIENDO LA LOSA EN LAS PROBETAS PARA ANÁLISIS Y ENSAYO EN LA CORTADORA DE HORMIGÓN.

Las probetas para flexotracción tendrán una longitud de 40 cm, y nunca menor a 35 cm y una sección de 10 x 10 cm.

Las probetas para radiografía tendrán una longitud similar a las anteriores, una altura igual a la losa, es decir, 10 cm y un espesor entre 1.5 y 2 cm.

En las siguientes páginas se ofrecen unos gráficos donde quedan registrada la ubicación de cada probeta, la orientación de su corte (paralela o perpendicular al flujo) y la dirección del flujo (es decir, cuales están más cercanas al vertido y cuales no).





4 – ENSAYOS

4.1 – Flexotracción

Para el ensayo de flexotracción se utiliza una prensa configurada para aplicar una carga puntual en el centro de las probetas de dimensiones expuestas en el apartado 3.3 del capítulo 2, que apoyarán inferiormente en dos puntos (figura 4.1). Es el llamado ensayo de flexión a tres puntos.



Figura 4.1
ARRIBA, PRENSA IBERTEST 100 PARA ENSAYOS DE FLEXOTRACCIÓN. ABAJO, VISTA DE PROBETA LISTA PARA ENSAYO.

La configuración utilizada es la siguiente:

- Distancia entre apoyos igual a 300 mm
- Carga central (a 150mm de cada apoyo)
- Velocidad de carga de 0.05 MPa/seg.

Tal como se prevé, las grietas de rotura tienen tendencia vertical y son centradas, lo que hace que los ensayos sean válidos. En la figura 4.2 podemos observar las grietas de las probetas tras realizar el ensayo. En ellas también se pueden observar las fibras que han sido sometidas a tracción, en la parte inferior de la probeta y que han colaborado en aumentar la cifra de resistencia a tracción del hormigón.



Figura 4.2
ARRIBA, PROBETA TRAS EL ENSAYO DE FLEXOTRACCIÓN. ABAJO DETALLE DE
LA GRIETA Y FIBRAS INFERIORES.

Por otro lado, se decide estudiar también la post-fisuración de estas probetas; es decir, cómo se comporta la probeta una vez rota. En un caso de hormigón sin fibras, la postfisuración es totalmente frágil, la resistencia de la probeta desciende bruscamente. La teoría y algunos estudios nos dicen que el comportamiento del hormigón con fibras es más dúctil y existe una resistencia remanente tras la rotura del mismo.

Para comprobar mejor esto, se planifican algunos ensayos condicionando la velocidad de movimiento de la prensa, y no la velocidad de carga, como anteriormente se había predispuesto. Se predispone pues una velocidad de carrera de 2,77mm/min.

4.2 – Orientación de la fibra

4.2.1 – Radiografía

Para el análisis de las probetas preparadas para radiografía y análisis de figura según el apartado 3.3 del segundo capítulo (figura 4.3), se preparan primero, las pruebas radiográficas en el búnker de radiografía de la universidad politécnica.



El procedimiento de estos ensayos es el siguiente:

1 – Se fijan las películas radiográficas a la probeta a ensayar mediante cinta adhesiva. La placa de radiografía debe quedar plana, sin abombamientos, pues esto provocaría una figura distorsionada de la real. En este caso se ha utilizado una placa tipo D7 Pb.

Para poder, posteriormente, identificar las radiografías, se crea un código con letras y números de plomo que se adhieren a la probeta de hormigón, también mediante cinta adhesiva (figura 4.4).



Figura 4.4
PLACA RADIOGRÁFICA FIJADA A PROBETA DE 10X40X2.5.

2 – Se coloca la probeta dentro del búnker donde mediante una máquina de rayos X, se procederá a su irradiación. Dado que el ángulo de irradiación lo permite, en cada sesión se irradian tres probetas seguidas, como muestra la siguiente figura. Se debe comprobar que la distancia es la correcta, mediante un regle de 70 cm de longitud(figura 4.5).



Figura 4.5
PROBETAS FRENTE AL TUBO DE RAYOS X.
COMPROBANDO DISTANCIA DE 70 CM.

3 – Una vez colocadas las probetas, se cierra el búnker y se irradian con los siguientes parámetros:

Diferencia de potencial: 80 KV

Intensidad: 3.5 mA

Tiempo de exposición: 45 segundos

4 – Se llevan las placas radiográficas a un cuarto oscuro de revelado, donde se preparan tres recipientes (figura 4.6). Líquido revelador, agua corriente y líquido fijador.



Figura 4.6
DE IZQ A DCHA. REVELADOR, AGUA, Y FIJADOR.

5 – Se procede pues al revelado, siguiendo estrictamente los tiempos que marca el fabricante de cada uno de los productos. Una vez acabada la sesión de fijado, la placa se sumerge en un tanque de agua que esté continuamente renovándose durante 20 minutos (figura 4.7).

Durante este tiempo, ya puede encenderse la luz del cuarto oscuro, y se puede comprobar sacando la placa unos segundos que el procedimiento ha sido satisfactorio.



Figura 4.7
PLACA RADIOGRÁFICA BAJO CHORRO DE AGUA
CORRIENTE.

6 – Por último, se cuelgan las placas (figura 4.8) para que sequen correctamente durante, aproximadamente, 45 minutos. Después las placas están listas para su análisis.



Figura 4.8
SECADO DE LAS PLACAS

4.2.2 – Análisis de imagen

Tras la obtención de las imágenes de radiografía, se procede a un análisis numérico de las mismas, que irá encaminado a la orientación de las fibras de cada probeta. Para ello, se dispone de cada radiografía por separado y se toman fotografías de las mismas.

Para analizar la orientación de las fibras de cada probeta tipo “R”, se va a proceder a la aplicación a nuestro caso del resultado de un problema de la teoría de probabilidades conocido bajo el nombre de “La aguja de Büffon”. En la variante clásica de este problema [16] se determina la probabilidad de que una aguja de longitud r , proyectada al azar sobre un plano subdividido en las bandas paralelas de ancho d , intersekte a alguna de las líneas de división entre las bandas. Se considera solo el caso de la “aguja corta”: $r < d$. A diferencia con esta variante clásica, en nuestro caso deberíamos de considerar que:

- En lugar de un sistema de bandas en el plano, el espacio es 3-dimensional, dividido con unos planos paralelos y separados con distancia D entre ellos.
- La aguja es “larga”, o sea, su longitud es $r > D$.
- Nos interesa la probabilidad de que la aguja quepa enteramente entre dos planos vecinos, o sea, no intersekte ningún plano que representa la pared de una placa de muestra.

Para encontrar la solución en nuestro caso, hemos usado los resultados de análisis de aguja corta en el espacio n -dimensional [17] para $n = 3$, y de aguja larga en el plano [18]. El resultado obtenido es:

$$e = \frac{D}{2r}$$

Dónde:

- ❖ e , es la probabilidad de que la fibra no corte a la pared de la placa
- ❖ D , es el espesor de la placa de muestra
- ❖ r es la longitud de la fibra

Por otro lado, se calcula el número teórico de fibras que debería contener la muestra, con la fórmula:

$$n_m = \frac{D_{fh} \times V_p}{m_f}$$

Dónde

- ❖ n_m , es el número teórico de fibras que debería contener la muestra
- ❖ D_{fh} , es la densidad de fibras medida en Kg/m³
- ❖ V_p , es el volumen analizado, de la placa de muestra, en m³.
- ❖ m_f , es la masa en Kg de una sola fibra.

Posteriormente se obtiene, utilizando la probabilidad “e”, el número teórico de fibras que se orientarían por puro azar, en la dirección de la placa. La fórmula de cálculo sería el siguiente producto:

$$n_e = n_m \times e$$

Siendo n_e , el número de fibras teórico que deberían aparecer como fibras enteras en la radiografía, tan solo por orientación aleatoria.

Finalmente obtenemos el factor de orientación final por motivos ajenos al azar, discriminando el número de fibras orientadas aleatoriamente según cálculo (n_e), y dividiendo por este mismo número de referencia.

$$W = \frac{n_c - n_e}{n_e}$$

De este modo, obtenemos el factor de orientación “W”, que nos dará el grado de orientación según su signo (negativo de orientación perpendicular al plano de la radiografía, positivo de orientación paralela y cero, orientación al azar), y según su valor numérico siendo mayor la orientación cuanto mayor sea su valor absoluto.

5 – ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A continuación se analizarán los resultados de los ensayos explicados en el punto 4. Para conocer mejor la situación de cada probeta, se pueden consultar los gráficos del apartado 3.3.

Es posible que algunos ensayos no se tomen en cuenta en el análisis, por ser muy similares a otras probetas cercanas, o por no ser a priori demasiado relevantes. Sin embargo se encuentran disponibles la totalidad de estos en el anexo 2 de este proyecto, para su consulta.

En los siguientes apartados se analizan los resultados de radiografía y análisis de figura conjuntamente con los de resistencia, para obtener conclusiones más acertadas, analizando por separado distintos hormigones y distintas zonas de la losa.

5.1 - Hormigón tradicional

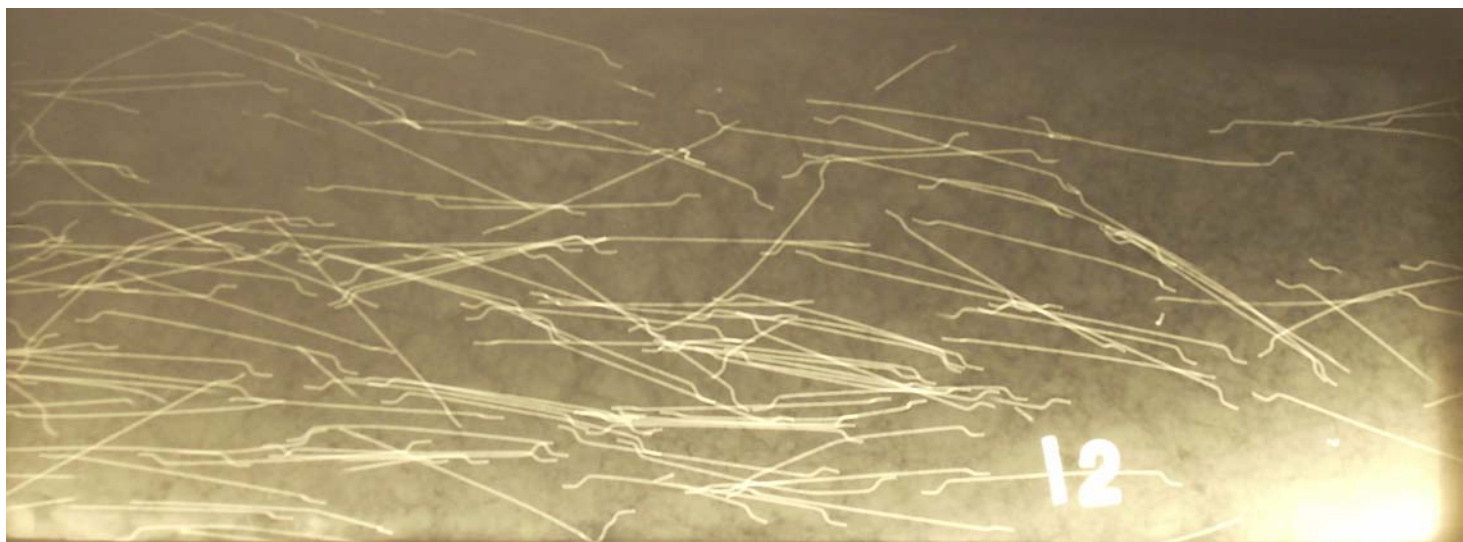
En general el hormigón tradicional no ha presentado, en las pruebas radiográficas, orientación específica de gran relevancia gracias a haber sido vertido desde uno de los lados de la probeta, es decir, no podemos afirmar que el flujo le haya influido notablemente.

Esto se debe principalmente a que el hormigón ha sido vibrado. Esta característica hace que las fibras se reorienten tal y como se ha explicado en el apartado 2.2.2, del estado del arte. En la siguiente radiografía podemos observar dos cosas: la primera, que no existe una orientación clara de fibras, tal y como se comentaba anteriormente, y dos, como en una de las zonas radiografiadas observamos un “remolino de fibras”, causado por la introducción del vibrador.



En este hormigón podemos observar de manera muy notable el llamado efecto pared. Gracias a la radiografía de una probeta situada cerca del molde, (HA R12) vemos claramente una orientación de las fibras siguiendo la dirección de corte que es, al mismo tiempo, la dirección del molde.

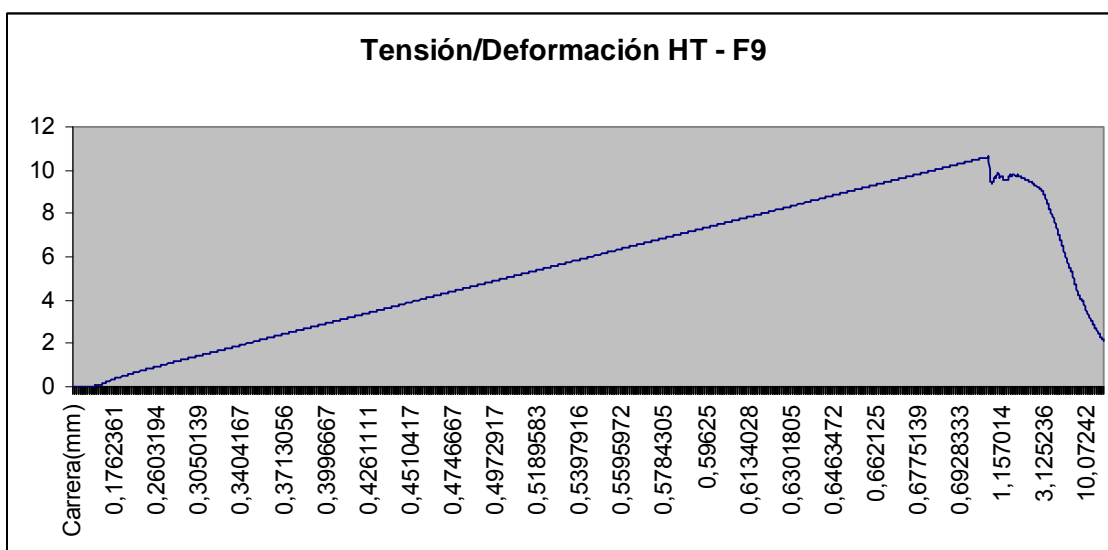
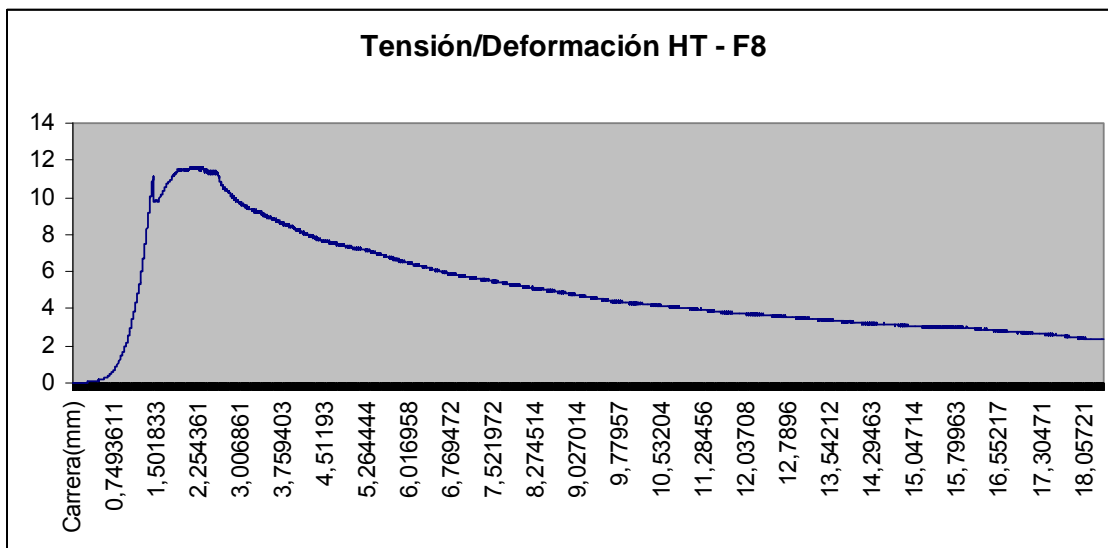
Si además nos fijamos, podemos intuir cuál ha sido la dirección de hormigonado, al ver cómo las fibras siguen una tendencia de caída hasta el fondo. Esta probeta tiene coeficiente de fibra orientada en la dirección del hormigonado (W) de 1.67.



En cuanto a los ensayos de resistencia, no hemos podido obtener diferencias notables entre probetas cortadas en la dirección de hormigonado y probetas cortadas perpendicularmente. En la siguiente tabla se pueden observar los resultados de resistencia a tracción (fct) en MPa. Los coloreados en azul, rotos mediante condición de velocidad de carrera (mm/min) y los coloreados en naranja, rotos mediante el ensayo tradicional de flexión simple (0.05 Mpa/seg).

CÓDIGO	TIPO	DIA AMASADO	DIA ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (CÁLCULO)	CARGA (KN)	RESISTENCIA A TRACCIÓN
HT F13	HT	29-5	25-6	40,0	8,4	5,9
HT F15	HT	29-5	25-6	40,0	9,2	6,5
HT F2	HT	29-5	25-6	40,0	11,1	6,9
HT F7	HT	29-5	25-6	40,0	7,9	5,6
HT F5	HT	29-5	25-6	40,0	10,2	6,3
HT F4	HT	29-5	25-6	40,0	9,5	5,9
HT F9	HT	29-5	25-6	40,0	10,6	7,5
HT F11	HT	29-5	25-6	40,0	9,6	6,7
HT F14	HT	29-5	26-6	40,0	10,2	8,1
HT F12	HT	29-5	26-6	40,0	9,3	6,5
HT F6	HT	29-5	26-6	40,0	6,8	5,5
HT F3	HT	29-5	26-6	40,0	9,0	5,6
HT F1	HT	29-5	26-6	40,0	10,6	5,9
HT F8	HT	29-5	26-6	40,0	11,7	7,3
HT F10	HT	29-5	26-6	40,0	8,93	6,28

Podemos observar sin embargo dos picos de resistencia. HT F8 y HT F9. Cortados en la dirección del flujo son las únicas probetas que por encontrarse en la zona de inicio de hormigonado pudieran tener más orientadas las fibras. Observamos ahora sus diagramas de tensión deformación. Estos diagramas de aquí en adelante, representan la carga en KN (eje vertical) sobre la carrera en mm (eje horizontal).



En la probeta número 8, que se rompió mediante carga por carrera, se observa cómo tras su rotura en el punto 1.5mm (aprox) existe una recuperación posterior gracias a la resistencia ofrecida por la fibra de acero. La post-fisuración parece recuperar la resistencia e incluso alcanzar valores más altos que los de rotura. Lo mismo se puede observar en la rotura de la probeta 9, aunque por el tipo de ensayo, solo podemos obtener resultados fiables de resistencia final.

En la siguiente figura podemos observar una radiografía de una probeta cortada perpendicularmente al flujo, cercana a estas dos probetas que estamos analizando.

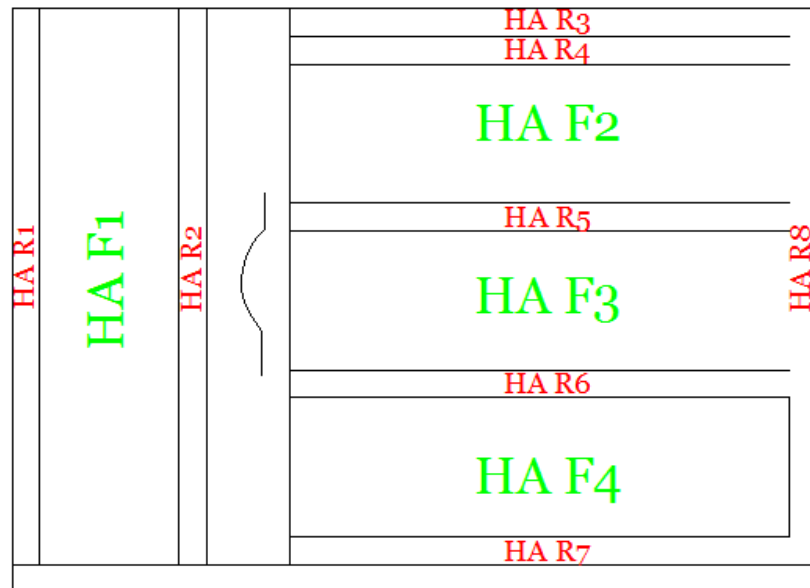


Como se puede apreciar pese a haber estado vibrado el hormigón, en la zona de vertido si se distingue, incluso a simple vista, una orientación de la fibra, en este caso, perpendicular al plano que observamos, es decir, en la dirección del flujo teórico del hormigón. Basta con decir que no existen apenas fibras enteras visibles en la fotografía lo que ya es un indicador de orientación preferente de forma perpendicular al corte. Su grado de orientación respecto el corte de la probeta, según la fórmula del punto 4.2.2 de la campaña experimental, es de $W = -0.82$, dándonos a entender que la preferencia de orientación es perpendicular al plano, y además con un valor próximo a 1.

5.2 – Hormigón Autocompactable

Zona de inicio de hormigonado.

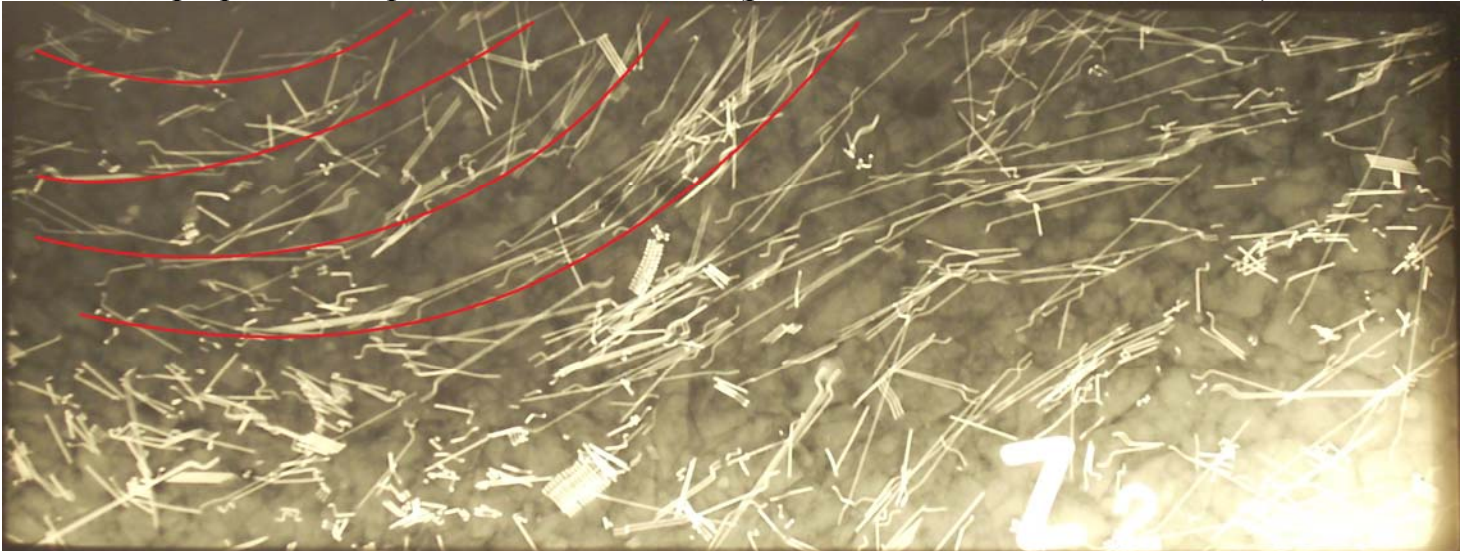
En el espacio que a continuación analizamos observamos varios fenómenos que no se dan en otras zonas, y que atribuimos directamente a encontrarse en la zona más cercana de hormigonado. Las probetas implicadas en esta zona son las siguientes:



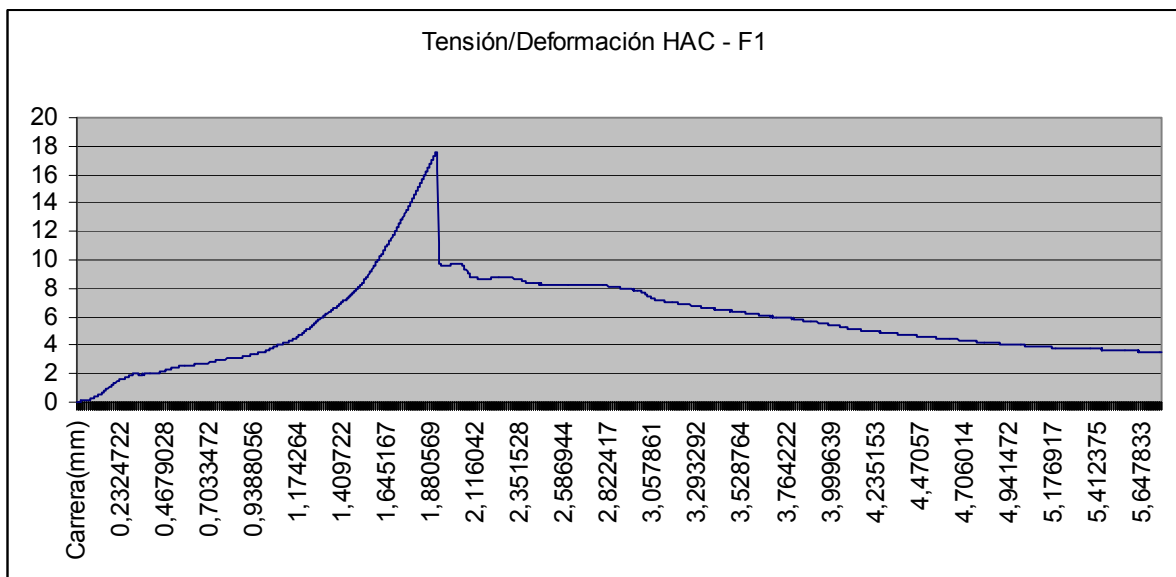
Lo primero que observamos en la probeta más próxima al hormigonado (HA R1) es el llamado efecto pared. Al encontrarse la probeta pegada al molde que hacía de tope longitudinal, las fibras de esta probeta, tienden a orientarse paralelas a este plano. $W = 1.64$.



Siguiendo con el análisis de figura, podemos observar en la radiografía realizada sobre la probeta HA R2, como el flujo central de hormigón en sentido longitudinal ha dibujado con las fibras una serie de círculos concéntricos en la zona central de la probeta. En esta zona existen pequeñas turbulencias que hacen que la orientación no sea significativa en ninguno de los sentidos. Esta probeta (HA R2) tiene un grado de orientación en la dirección de $W = -0,21$. Esto revela una orientación de tendencia perpendicular pero bastante aleatoria (próxima a 0, como resultado de W)

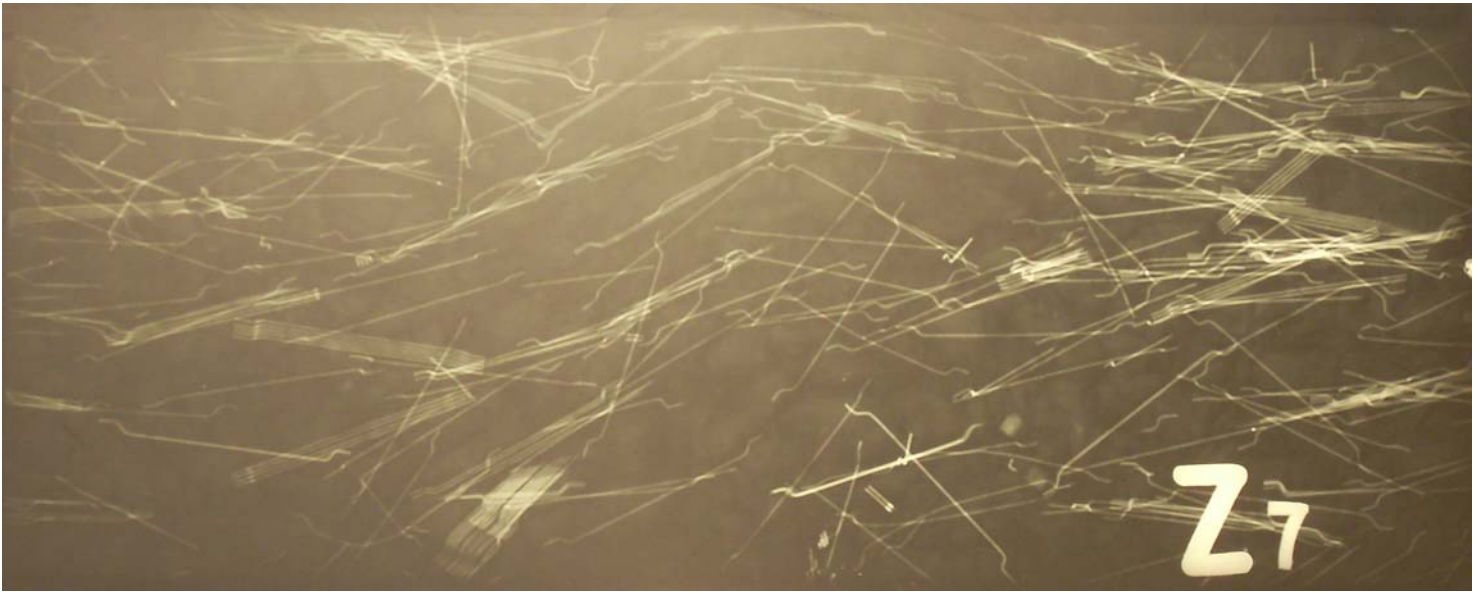


Aún así, la tendencia de la orientación de las fibras hace que HA F1 disponga de pocas fibras trabajando en la dirección de los esfuerzos, cuando esta se sometió al ensayo de flexión simple. En esta probeta se puede observar una de las roturas más frágiles de este experimento. Unos instantes más tarde de la rotura, las pocas fibras orientadas, consiguen aguantar la rotura y hacerla algo más dúctil.

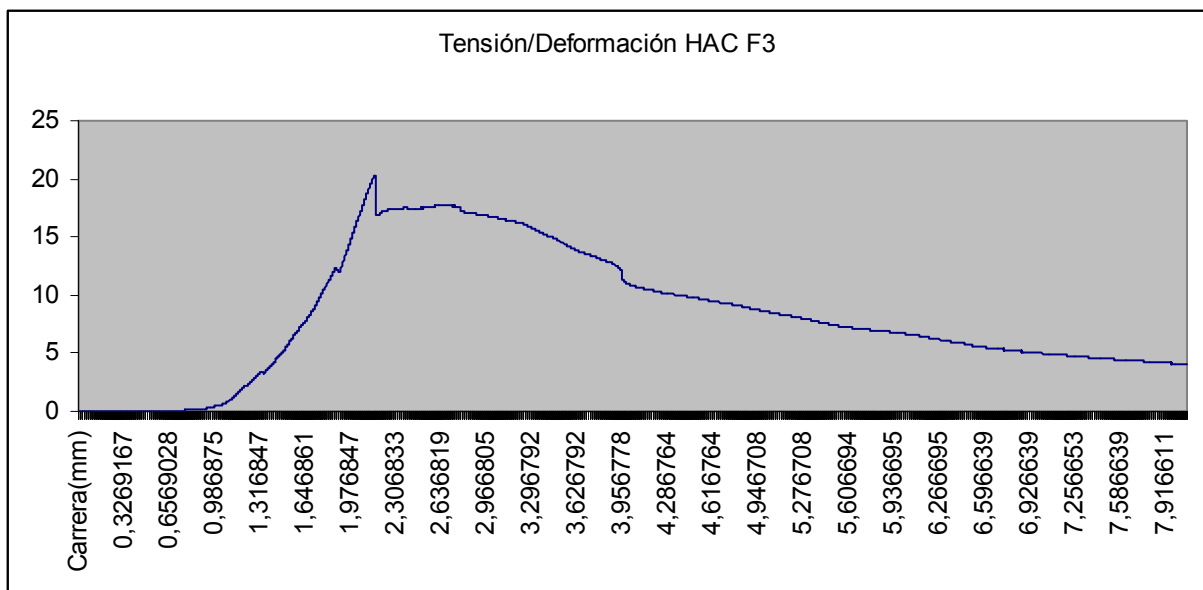


Más adelante, en las probetas R3-R7, podemos observar perfectamente como las fibras comienzan a orientarse en el sentido del flujo. Igualmente, observamos un aumento de resistencia final de las probetas F2-F4 y un mejor comportamiento post-fisuración.

Observamos primeramente la radiografía de R7, con factor de orientación en la dirección del corte de $W = 1,67$.

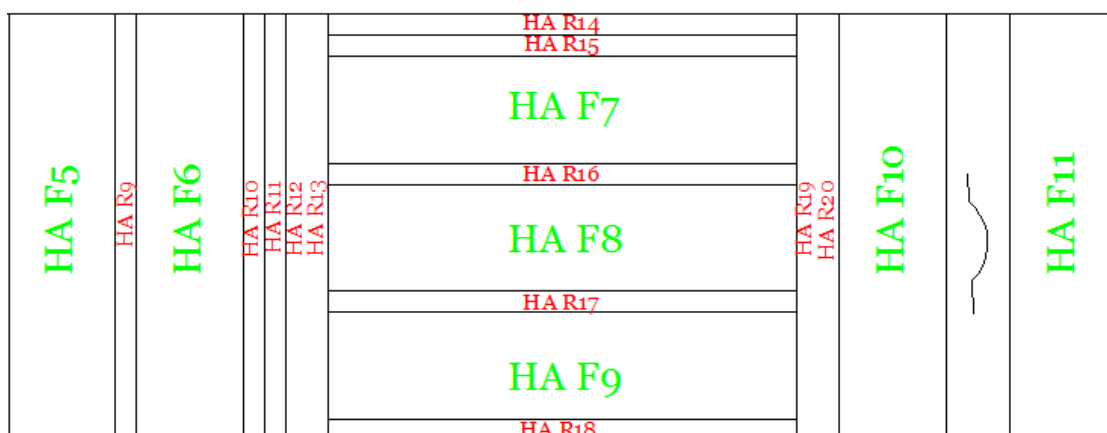


Y este mejor comportamiento post-fisuración se refleja en la gráfica tensión/deformación mediante una menor caída de tensión por rotura frágil y una recuperación de la misma.



Zona intermedia de la probeta

Las probetas de la zona intermedia son las siguientes:



Lo destacable de esta zona es la alta orientación de las fibras en el sentido del flujo. Es por ello que las probetas R14 – R18 presentan un alto grado de orientación en el sentido del corte, aumentado de manera notable en probetas afectadas por el efecto pared.

HAC R15	83	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	1,74
HAC R16	51	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	0,68
HAC R17	56	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	0,85
HAC R18	89	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	1,94



Y, de R9 a R13, R19 y R20, presentan un bajo porcentaje de orientación en el sentido del corte.

	n_c	Sup	D	V_p	D_{fh}	mf	r	e	n_m	n_e	W
HAC R9	9	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,70
HAC R10	10	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,67
HAC R11	7	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,77
HAC R12	8	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,74
HAC R13	27	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,11
HAC R19	11	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,64
HAC R20	8	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,74

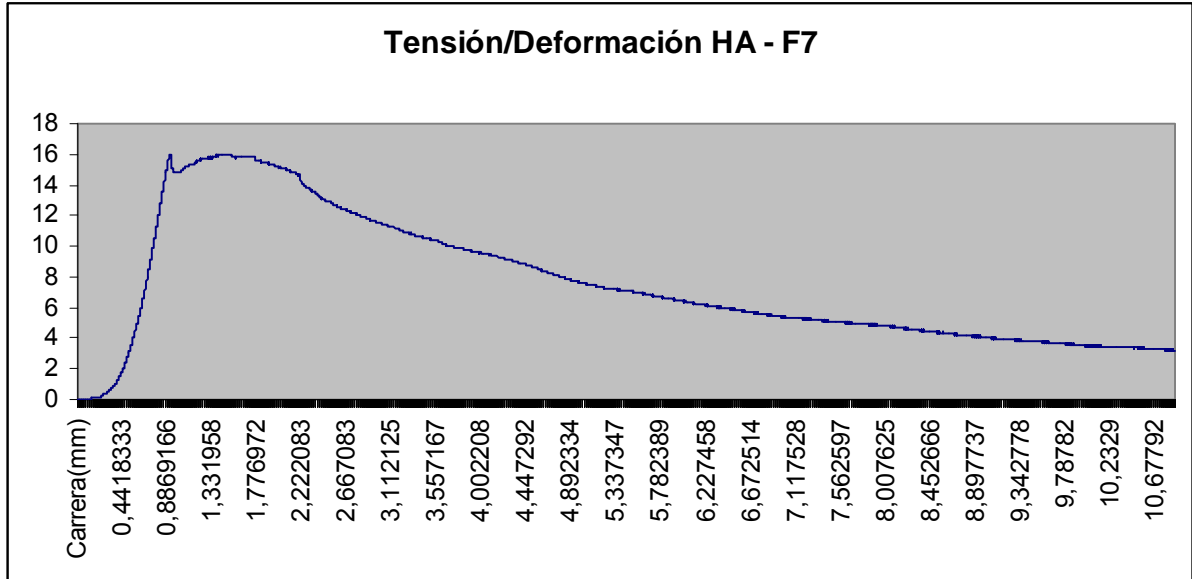


En cuanto a la resistencia, se hace interesante comparar las resistencias finales entre las probetas cortadas en la dirección del flujo y aquellas con el corte perpendicular a dicha dirección.

CÓDIGO	TIPO	DAM	DROT	FCK (CÁLCULO)	KN (TEST)	FCT
HA F7	HAC	11-6	26-6	30,0	16,0	7,2
HA F8	HAC	11-6	25-6	30,0	13,7	6,1
HA F9	HAC	11-6	26-6	30,0	19,7	8,9

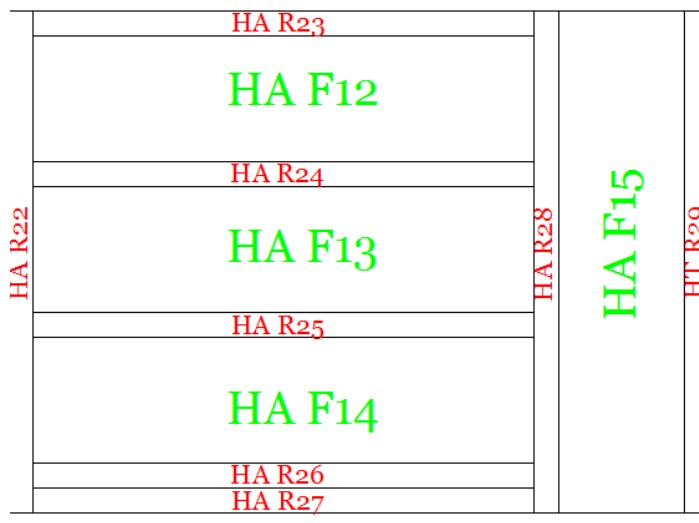
CÓDIGO	TIPO	DAM	DROT	FCK (CÁLCULO)	KN (TEST)	FCT
HA F5	HAC	11-6	25-6	30,0	15,8	7,1
HA F6	HAC	11-6	25-6	30,0	13,6	6,1
HA F10	HAC	11-6	25-6	30,0	13,8	6,2
HA F11	HAC	11-6	25-6	30,0	15,5	7,0

En la siguiente gráfica podemos observar el diagrama de tensión/deformación de la probeta HA F7, que fue sometida al ensayo condicionado por velocidad de carrera. De este modo observamos su comportamiento post-fisuración, en el que incluso llega a ofrecer tanta resistencia como en el momento de la rotura.



Zona de final de hormigonado.

En este caso, las probetas implicadas en esta zona y que se analizan a continuación, se observan en la figura siguiente.



En estas probetas observamos una caída de la fibra progresiva hacia el fondo del molde, y una menor densidad de fibra por m³. Esto provoca un descenso del porcentaje de orientación (W) de la fibra, unida a otros factores como, por ejemplo, las turbulencias causadas por el fin de hormigonado.

	n_c	Sup	D	V_p	D_{fh}	mf	r	e	n_m	n_e	W
HAC R23	16	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,47
HAC R24	6	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,80
HAC R25	32	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	0,06
HAC R26	2	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,93

	n_c	Sup	D	V_p	D_{fh}	mf	r	e	n_m	n_e	W
HAC R21	9	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,70
HAC R22	9	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,70
HAC R28	16	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,47
HAC R29	8	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,74

En la siguiente figura radiográfica se puede observar esa caída de fibra al fondo y la baja densidad de la misma. La probeta en cuestión es la HAC 28.



Por otro lado, los bajos resultados de resistencia final en MegaPascales, también son un claro indicador de que la fibra no solo mejora la resistencia post-fisuración, sino que también ayuda a que la resistencia pico de fractura de la pieza sea aún mayor.

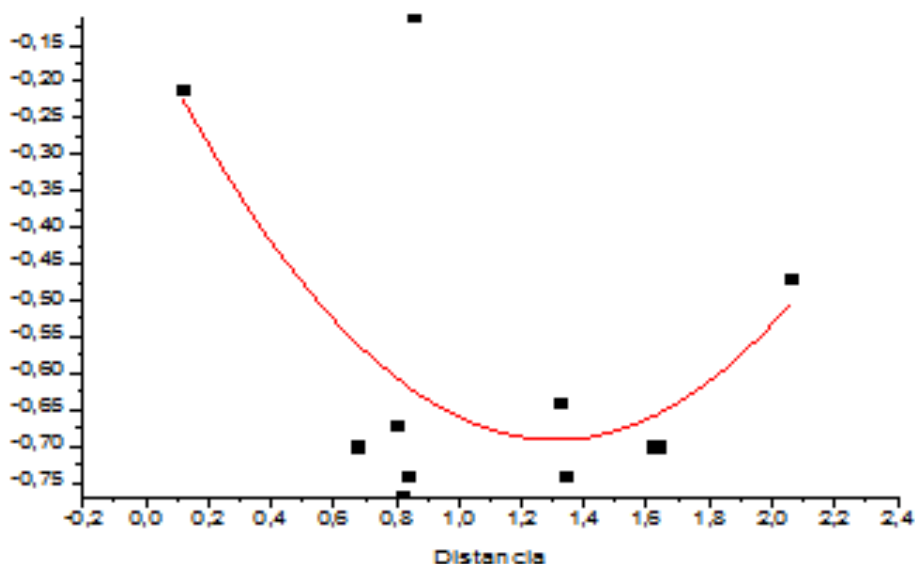
CÓDIGO	TIPO	DAM	DROT	FCK (CÁLCULO)	KN (TEST)	FCT
HA F12	HAC	11-6	25-6	30,0	15,1	6,8
HA F13	HAC	11-6	25-6	30,0	11,8	5,3
HA F14	HAC	11-6	25-6	30,0	13,7	6,2
HA F15	HAC	11-6	25-6	30,0	10,3	4,6

5.3 – Modelos Matemáticos

Analizando los resultados de los ensayos, podemos intuir las siguientes fórmulas mediante regresión polinomial.

1 - Factor de orientación (W), en función de la distancia del inicio del hormigonado. Para ello se han utilizado las probetas del hormigón autocompactable, aquellas cortadas de manera transversal al flujo del hormigón.

Esto nos dará valores más altos (próximos a cero) cuando la orientación sea más aleatoria y valores más bajos (menores a cero) cuando la orientación sea más bien perpendicular al plano de la radiografía, y por lo tanto, paralelo a la dirección del flujo. La gráfica obtenida es la siguiente:

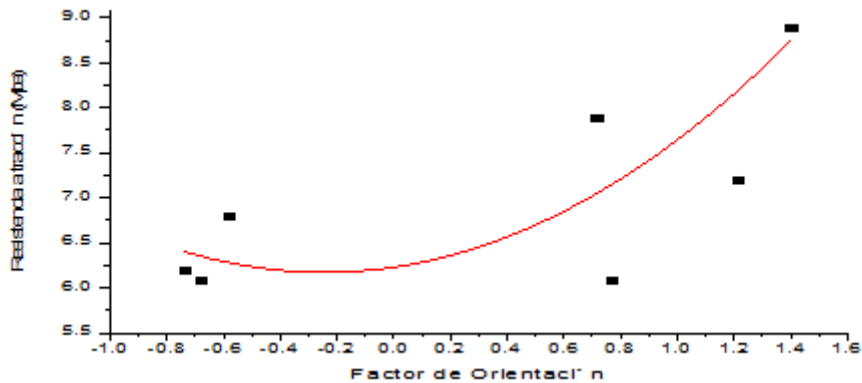


Obteniendo una ecuación de segundo grado donde:

$W = 0.297 d^2 - 0.768 d - 0.1873$; siendo W el factor de orientación y d la distancia de las probetas al inicio del hormigonado.

Podemos observar como cuando d, se acerca a la longitud final de la pieza, el factor de orientación vuelve a tender a cero, es decir, a la orientación aleatoria.

2 – Resistencia a flexión en función del factor de orientación. Para ello se utilizan probetas tipo F donde existan probetas tipo R próximas a las mismas, y se pueda hacer una media de su factor W.



En la gráfica puede observarse una tendencia exponencial de aumento de resistencia cuando el factor de orientación es más alto.

Pese a la apariencia en la gráfica, esta es una función de proporcionalidad inversa tipo $y=a/x$, suponiendo que la resistencia seguirá cayendo, y además exponencialmente, conforme el factor de orientación (W) empiece a alejarse de cero. El límite de este descenso, es la resistencia teórica de la probeta sin fibras

CAPÍTULO 3

ESTUDIO ECONÓMICO

1 – PRESUPUESTO ECONÓMICO

El siguiente estudio económico se ha centrado en evaluar, no de manera exhaustiva pero si con cierto rigor, cuál sería el valor económico del presente proyecto de investigación en el caso de que una empresa, ya sea de carácter público o privado, la solicitara.

En ella se tienen en cuenta precios básicos extrapolados de distintos documentos y distintas fuentes que se encuentran disponibles en la red de Internet. Otros tantos han sido obtenidos gracias a bases de datos tales como la del Instituto Valenciano de la Edificación [19].

Para el cálculo de Gastos Generales y Beneficio Industrial se han tomado valores medios de mercado, mientras que para el cálculo de impuestos se ha tomado el 8% que se impone para educación.

El programa informático utilizado para su elaboración es el programa de presupuestos “PRESTO”. En las siguientes páginas se adjuntan los informes del presupuesto del proyecto.

CAPÍTULO 3 – ESTUDIO ECONÓMICO

PRESUPUESTO, DESCOMPUESTOS, MEDICIONES Y GRÁFICOS

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 01 Investigación				
SUBCAPÍTULO E01 Estado del arte				
E02	ud Búsqueda de información Búsqueda de información para la redacción del estado del arte y la programación de la campaña experimental. Incluido desgaste de maquinaria.			
	Descomposición			
P01	h Investigador cualificado	36,000	7,50	270,00
P02	h Computadores con acceso a internet	30,000	0,05	1,50
		1,00	271,50	271,50
TOTAL SUBCAPÍTULO E01 Estado del arte.....				271,50
SUBCAPÍTULO E03 Campaña experimental				
E04	ud Probeta de control Creación de probeta cilíndrica de 30 X 15 o cúbica de 15 X 15 cm de hormigón con cemento CEM I 42,5 con fibras de acero			
	Descomposición			
PBAC.1ba	t CEM I 42.5 R granel	0,003	85,07	0,26
PBAA.1a	m3 Agua	0,002	1,11	0,00
PBAI.4a	kg Plastificante hormigón	0,046	1,38	0,06
PBRA.4a	t Arena 0/3 trit s/lavar 10km	0,010	6,14	0,06
PBRG.1ab	t Grava caliza 3/8 s/lvd 10 km	0,004	4,49	0,02
PBRG.1da	t Grava caliza 6/12 lvd	0,004	4,25	0,02
PBRG.1eb	t Grava caliza 10/20 lvd 10 km	0,006	5,82	0,03
PBRW.2b	t Filler aportación	0,002	70,77	0,14
P05	h Técnico de laboratorio	0,300	7,50	2,25
P08	kg Fibra de acero	3,000	1,50	4,50
		60,00	7,34	440,40
E05	ud Ensayo a Compresión Ensayo a compresión de probeta cilíndrica o cúbica en máquina de ensayo de alta presión hidráulica realizada por técnico de laboratorio especializado			
	Descomposición			
P06	h Máquina de ensayo a compresión	0,083	0,90	0,07
P07	h Técnico de laboratorio	0,083	7,50	0,62
		60,00	0,69	41,40
E06	m2 Losa hormigón HAC C/F Losa de Hormigón con fibras de acero en masa de 10 cm de espesor elaborada con CEM I 42,5 , incluso división de la misma para ensayos e incluso encofrado y desencofrado y limpieza			
	Descomposición			
PBAC.1ba	t CEM I 42.5 R granel	0,034	85,07	2,89
PBAA.1a	m3 Agua	0,020	1,11	0,02
PBAI.4a	kg Plastificante hormigón	0,520	1,38	0,72
PBRA.4a	t Arena 0/3 trit s/lavar 10km	0,114	6,14	0,70
PBRG.1ab	t Grava caliza 3/8 s/lvd 10 km	0,045	4,49	0,20
PBRG.1da	t Grava caliza 6/12 lvd	0,045	4,25	0,19
PBRG.1eb	t Grava caliza 10/20 lvd 10 km	0,068	5,82	0,40
PBRW.2b	t Filler aportación	0,018	70,77	1,27
P05	h Técnico de laboratorio	3,500	7,50	26,25
P08	kg Fibra de acero	6,810	1,50	10,22
P09	h AYTE técnico de laboratorio	1,700	6,00	10,20
P10	h Puente grúa	0,050	15,00	0,75
P14	h Sierra radial para piedra	1,700	0,50	0,85
	Medición del presupuesto	UDS	LONGITUD	ANCHURA
			ALTURA	PARCIALES
	LOSA HT 40	2,20	0,40	
	LOSA HAC 40	2,20	0,40	
	LOSA HAC 40 (2)	2,20	0,40	
		2,64	54,66	144,30

CAPÍTULO 3 – ESTUDIO ECONÓMICO

PRESUPUESTO, DESCOMPUESTOS, MEDICIONES Y GRÁFICOS

CÓDIGO	RESUMEN	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
E07	ud Radiografía			
	Radiografía en probeta de hormigón para el análisis de distribución de fibras metálicas.			
	Descomposición			
P11	u Placa rayos X	1,000	0,80	0,80
P12	h Máquina rayos X	0,200	23,80	4,76
P13	h Técnico especialista	0,500	21,25	10,63
		58,00	16,19	939,02
E08	ud Ensayo a flexotracción			
	Ensayo de probeta prismática (10X10X40) a flexotracción mediante biapoyo y doble carga puntual. Includa limpieza y deshecho de residuos.			
	Descomposición			
P15	h Prensa hidráulica	0,250	0,90	0,23
P16	h Técnico de laboratorio	0,250	7,50	1,88
		29,00	2,11	61,19
	TOTAL SUBCAPÍTULO E03 Campaña experimental.....			1.626,31
	SUBCAPÍTULO E09 Redacción e impresión de documentos			
E10	Maquetación digital de proyecto			
	Redacción y maquetación del proyecto en soporte digital. Includa preparación para futura impresión.			
	Descomposición			
P17	h Maquetador	5,000	7,50	37,50
P02	h Computadores con acceso a internet	5,000	0,05	0,25
		1,00	37,75	37,75
E11	Materialización de proyecto			
	Descomposición			
P18	ud Impresión a todo color	85,000	0,42	35,70
P19	ud Encuadernación de proyecto	1,000	2,50	2,50
P20	ud Grabación de proyecto en CD	1,000	0,50	0,50
		1,00	38,70	38,70
	TOTAL SUBCAPÍTULO E09 Redacción e impresión de			76,45
	TOTAL CAPÍTULO 01 Investigación.....			1.974,26
	TOTAL.....			1.974,26

CAPÍTULO 3 – ESTUDIO ECONÓMICO

RESUMEN DE PRESUPUESTO

CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
01	Investigación.....	1.974,26	100,00
	TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL	1.974,26	
	10,00% Gastos generales.....	197,43	
	6,00% Beneficio industrial.....	118,46	
	SUMA DE G.G. y B.I.	315,89	
	8,00% I.V.A.....	183,21	
	TOTAL PRESUPUESTO CONTRATA	2.473,36	
	TOTAL PRESUPUESTO GENERAL	2.473,36	

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de DOS MIL CUATROCIENTOS SETENTA Y TRES EUROS con TREINTA Y SEIS CÉNTIMOS

, a 15 de mayo de 2012.

El promotor

La dirección facultativa

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

1 – CONCLUSIONES

Según los objetivos dispuestos en el apartado 1 del capítulo segundo de este documento, y los resultados obtenidos durante toda la experiencia, podemos llegar a las siguientes conclusiones.

Primera: Que el efecto pared condiciona en gran medida la orientación de la fibra en el plano de la pared o molde. Esta orientación sin embargo no puede predecirse en cuanto al ángulo que forman las distintas fibras dentro del plano paralelo a la pared.

Segunda: Se ha confirmado la condición que ejerce el vibrador en cuanto a la rotación y orientación de las fibras cercanas a la vibración y compactación, creando remolinos alrededor del mismo.

Además puede provocar la segregación de las fibras y una ausencia de árido (sobretudo grueso) en la zona vibrada. Por ello se debe tomar estas zonas de vibrado con especial precaución.

Tercera: Se descubre la tendencia que tiene la fibra a formar círculos concéntricos en planos perpendiculares a la dirección del hormigonado, sobretudo en la zona más cercana al inicio del mismo, cuando este se produce mediante vertido lateral y posterior flujo y auto-compactación.

Cuarta: Que la dirección de vertido y el flujo de hormigones autocompactables al ser vertidos, sí condicionan la orientación de la fibra que va mezclada en su matriz, y que además la orientación de esta fibra va a ser paralela a la dirección del flujo.

Quinta: Queda también demostrada la relación directa entre orientación de fibras y resistencia a flexotracción. Por un lado, si la orientación de la fibra es paralela a la longitud principal del elemento resistente, la resistencia de rotura aumenta.

Por otro lado, también aumenta la resistencia post-fisuración, gracias a la resistencia ofrecida por las fibras biempotradas en la matriz cementante y que trabajan a tracción en la parte inferior de la viga o probeta.

Sexta: Que la combinación de efecto pared y flujo son dos causas altamente significativas en la orientación de las fibras y pueden configurar zonas de orientación cercanas al 80 por cien.

Séptima: Que las zonas de vertido del hormigón configuran ordenación y orientación de fibras aleatorias, dadas las turbulencias que se forman, al igual que en zonas donde el hormigón es obligado a frenar su expansión.

2 – FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Para hormigones tradicionales, quedaría por estudiar alguna forma más de compactación, dentro de las variedades de vibrado que pueden disponerse. Una línea de interés sería el vibrado mediante regla vibradora.

La regla vibradora es un accesorio que sirve para compactar y a la vez enrasar el hormigón en su cara superior. Atendiendo los estudios de este documento, sería interesante el análisis del grado de influencia de la regla vibradora en las fibras de acero de la zona superior de la pieza confeccionada, y cuánto afecta esto a la resistencia final.

Por otro lado, para hormigones autocompactables, una vez determinados los grados de orientación y consecuencias, quedaría aplicar estos estudios a piezas de aplicación en la construcción, para poder establecer y mejorar los métodos de vertido para hormigones autocompactables.

Además puede estudiarse la orientación como recurso de creación de losas de hormigón unidireccionales bajo armado cuyas fibras orientadas sean las responsables de absorber parte de los esfuerzos de la misma.

Por último, y una vez estudiada la capacidad resistente de hormigones reforzados con fibras de acero, tras la fisuración de la pieza, podría estudiarse su aplicación en construcciones donde el riesgo de colapso de estructura sea alto, y sea necesario también un alto tiempo de evacuación.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 **Instrucción de Hormigón Estructural (EHE)** – *Ministerio de Fomento (Gobierno de España)* – 18 de Julio de 2008
- 2 *M. Barreda, C. Iaiani y J.D. Sota.* – **Hormigón reforzado con fibras de polipropileno: Tramo experimental de un pavimento de hormigón.** - Jornadas SAM 2000 - IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga - Agosto de 2000
- 3 *Bravo, J.Patricio* – **Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibras.** – Universidad de Chile – Diciembre de 2003
- 4 *Bravo Sobrino, Marina* – **Caracterización y utilización del hormigón autocompactable.** – Tesina de Master de la Universidad Politécnica de Cataluña – 2004
- 5 *Laranjeira, Filipe* – **Design oriented constitutive model for steel fiber reinforced concrete.** – Tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Cataluña – Marzo de 2010
- 6 *Mármol Salazar, Patricia Cristina* - **Hormigones con fibras de acero. Características mecánicas.** – Tesis de Máster de la Universidad Politécnica de Madrid – 2010
- 7 *Pujadas, Pablo.* - **Durabilidad del hormigón con fibras de polipropileno.** – Tesina de Máster de la Universidad Politécnica de Cataluña. – Septiembre de 2008
- 8 *Real Academia Española de la Lengua (RAE)* – **Diccionario de la lengua española** – Espasa-Calpe S.A. – 2001
- 9 Página web de la empresa de construcción británica *Maccaferri*
<http://www.maccaferri.co.uk/PAGES00560.html> (29/04/2012)
- 10 Folleto digital de la empresa de sistemas y productos químicos para la construcción *COPSA* <http://www.copsa.com/folletos/Fibras.pdf>
(01/05/2012)

- 11 Video comercial explicativo de la firma de hormigones CEMEX, sobre fibras de polipropileno <http://www.youtube.com/watch?v=E63Xlh6ODw> (07/05/12)
- 12 Blog digital personal de Pablo Nieto Cabezas <http://pablonietocabezas.wordpress.com/2011/03/25/ehe-comentarios/> 29/04/2012
- 13 Biblioteca científica Scielo http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071850732009000100004&script=sci_arttext&tlng=en 06/05/2012
- 14 Página web de la empresa de soluciones constructivas *PREINCO* www.preinco.com 08/05/2012
- 15 Página web de la empresa de soluciones constructivas EDING APS <http://www.edingaps.com/productos/fibras-de-acero>
- 16 *William Feller. Introducción a la teoría de probabilidades y sus aplicaciones.* Limusa, Mexico, 1978. Vol. 2.
- 17 *Darío Maravall Casesnoves. El problema de la aguja de Buffon en el espacio de N dimensiones.* Gaceta matemática: revista publicada por el Instituto "Jorge Juan" de Matemáticas y la Real Sociedad Matemática Española, ISSN 0016-3805, N°. 3-4, 1959 , págs. 74-75.
- 18 *Wikipedia. Buffon's needle.* http://en.wikipedia.org/wiki/Buffon%27s_needle
- 19 *Instituto Valenciano de la Edificación - Base de Datos de Construcción Comunitat Valenciana 2012 con Pliego de Condiciones Técnicas en la Edificación – IVE 2012*
- 20 *AENOR – UNE-EN 12390. Ensayos de hormigón endurecido. Determinación de la resistencia a compresión.* – Septiembre de 2009

21 AENOR – UNE-EN 12390. Ensayos de hormigón endurecido. Parte 5: Resistencia a flexión de probetas. – Septiembre de 2009

ANEXOS

ANEXO 1
ANEJO 14. INSTRUCCIÓN ESPAÑOLA DE HORMIGÓN
ESTRUCTURAL.



ANEJO 14

Recomendaciones para la utilización de hormigón con fibras

1 Alcance

Las prescripciones y requisitos incluidos en el articulado de esta Instrucción se refieren a hormigones que no incorporan fibras en su masa. Por ello, se precisa establecer unas recomendaciones específicas y complementarias cuando, para mejorar algunas prestaciones ya sea en estado fresco, en primeras edades o en estado endurecido, se empleen fibras en el hormigón, las cuales pueden modificar algunas de sus propiedades. Quedan expresamente fuera de los objetivos de este Anejo:

- Los hormigones con polímeros (impregnados con polímeros, de polímeros o modificados con polímeros).
- Los hormigones fabricados con fibras distintas a las que constan en este Anejo. como aceptables para su uso en hormigones.
- Los hormigones en los que la distribución y / o orientación de las fibras es forzada intencionadamente.
- Los hormigones con dosificación en fibras superior al 1,5% en volumen

A los efectos de este Anejo, los hormigones reforzados con fibras (HRF), se definen como aquellos hormigones que incluyen en su composición fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa. El planteamiento es general para todo tipo de fibras, si bien hay que tener presente que la base fundamental del conocimiento de que se dispone es para fibras de acero, lo que se refleja, en cierta medida en el mismo.

La aplicación de estos hormigones puede ser con finalidad estructural o no estructural. El empleo de fibras en el hormigón tiene finalidad estructural cuando se utiliza su contribución en los cálculos relativos a alguno de los estados límite últimos o de servicio y su empleo puede implicar la sustitución parcial o total de armadura en algunas aplicaciones. Se considerará que las fibras no tienen función estructural, cuando se incluyan fibras en el hormigón con otros objetivos como la mejora de la resistencia al fuego o el control de la fisuración.

La adición de fibras es admisible en hormigones en masa, armados o pretensados, y se puede hacer con cualquiera de los diversos sistemas, sancionados por la práctica, de incorporación de las fibras al hormigón y, en el caso de que así no se hiciera, debe explicitarse el sistema utilizado.

En el Anejo se presenta una relación de referencias normativas nacionales e internacionales relacionadas con el tema de este Anejo y que pueden servir de apoyo o referencia.

En cada plano de la estructura deberá figurar un cuadro de tipificación de los hormigones incluyendo las condiciones adicionales para los hormigones con fibras que se señalan en el apartado 39.2. de la Instrucción.

La tipificación propuesta en este anejo refleja las especificaciones básicas que se exigen cuando las fibras tienen finalidad estructural. Además de las propiedades que quedan implícitas en la tipificación del hormigón según 39.2 de este anejo, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares deberá incluir aquellas características adicionales exigidas al hormigón con fibras, así como los métodos de ensayo para su verificación y los



valores que deban alcanzar dichas características. En todo caso deberá indicarse una propuesta de dosificación con los siguientes datos:

- Dosificación de fibras en kg/m^3
- Tipo, dimensiones (longitud, diámetro efectivo, esbeltez), forma y resistencia a tracción de la fibra (en N/mm^2), en el caso de fibras con finalidad estructural.

Sin embargo la efectividad de las distintas fibras disponibles en el mercado puede ser muy variable, y las condiciones de disponibilidad del producto o las condiciones de la obra pueden recomendar una modificación de alguna de las características especificadas en el pliego ya sea de tipo, de dimensiones y, por ende, de la dosificación necesaria de fibras para obtener las mismas propiedades. Por ello, cuando la designación del hormigón sea por propiedades, la dosificación indicada en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares debe entenderse como orientativa. Antes del inicio del hormigonado el suministrador propondrá una dosificación de obra, y realizará los ensayos previos de acuerdo con el Anejo 22 de este anejo. A la vista de los resultados la Dirección facultativa obra aceptará la dosificación propuesta o exigirá nuevas propuestas.

2 Complementos al texto de esta Instrucción

Seguidamente se indican, por referencia a los Títulos, Capítulos, Artículos y Apartados de esta Instrucción las recomendaciones para el empleo de hormigón con fibras.

TÍTULO 1.º BASES DE PROYECTO

CAPÍTULO III. Acciones

Artículo 10º Valores característicos de las acciones

10.2. Valores característicos de las acciones permanentes

La densidad y las dosificaciones usuales de las fibras no llevan a modificar los valores del peso específico característico del hormigón con fibras respecto al hormigón sin ellas.

CAPÍTULO IV. Materiales y geometría

Artículo 15º Materiales

15.3. Coeficientes parciales de seguridad de los materiales

Para los Estados Límite Últimos y para los Estados Límite de Servicio se opta por mantener los mismos coeficientes parciales de seguridad dados en el articulado (Tabla 15.3), ya que se entiende que la incorporación de fibras en condiciones usuales no modifica las incertidumbres que conducen a la estimación de dichos valores.



TÍTULO 2.º ANÁLISIS ESTRUCTURAL CAPÍTULO

V. Análisis estructural

La incorporación de fibras modifica el comportamiento no lineal del hormigón estructural, especialmente en tracción, impidiendo la abertura y propagación de fisuras. Por ello, la aplicación del análisis no lineal puede ser especialmente recomendable en los casos en que las fibras constituyan una parte importante del refuerzo del hormigón.

Así mismo, dada la ductilidad que introduce la presencia de fibras, se consideran válidos los principios para la aplicación del método de análisis lineal con redistribución limitada y de los métodos de cálculo plástico, cuando se comprueben los requisitos para la aplicación los mismos especificados en el Artículo 19º.

Los momentos plásticos o últimos se obtendrán de acuerdo con el apartado 39.5 y, para placas macizas, se considerará que las líneas de rotura tienen suficiente capacidad de rotación si la profundidad de la fibra neutra en ELU de flexión simple es menor que 0,3 d. Las evaluaciones estructurales a estos efectos deben hacerse por medio de ensayos que representen las condiciones reales.

El empleo de fibras estructurales puede aumentar la anchura de las bielas de compresión, lo cual puede ser tenido en cuenta en los modelos de bielas y tirantes. Por consiguiente, la combinación de armadura convencional y fibras puede suponer una alternativa para reducir la cuantía de armadura convencional en regiones D donde se presente una alta densidad de armadura que dificulte el correcto hormigonado del elemento.

TÍTULO 3.º PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS MATERIALES CAPÍTULO VI

MATERIALES

Fibras. Definiciones

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 como 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.

La 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. Por otro lado, de acuerdo con su naturaleza las fibras se clasifican en:

- Fibras de acero
- Fibras poliméricas
- Otras fibras inorgánicas

La efectividad de las fibras puede valorarse por medio de la energía de rotura,



expresada en Julios (J), que se evaluará para hormigón moldeado mediante la norma UNE 83510. Alternativamente, al objeto de reducir la dispersión y los tiempos de ensayo, la el Autor del proyecto o, en su caso, Dirección Facultativa valorarán, bajo su responsabilidad, el empleo de otros procedimientos, como el ensayo Barcelona de doble punzonamiento, realizado sobre probeta cilíndrica de 15x15 cm.

Fibras de acero

Estas fibras deberán ser conformes con UNE 83500-1 y, según el proceso de fabricación se clasifican en: trefiladas (Tipo 1), cortadas en láminas (Tipo II), extraídas por rascado en caliente (virutas de acero) (Tipo III) u otras (por ejemplo, fibras de acero fundidas) (Tipo IV). La forma de la fibra tiene una incidencia importante en las características adherentes de la fibra con el hormigón y puede ser muy variada: rectas, onduladas, corrugadas, conformadas en extremos de distintas formas, etc.

La longitud de la fibra (l_f) se recomienda sea, como mínimo, 2 veces el tamaño del árido mayor. Es usual el empleo de longitudes de 2,5 a 3 veces el tamaño máximo de árido. Además, el diámetro de la tubería de bombeo exige que la longitud de la fibra sea inferior a $2/3$ del diámetro del tubo. Sin embargo, la longitud de la fibra debe ser suficiente para dar una adherencia necesaria a la matriz y evitar arrancamientos con demasiada facilidad.

A igualdad de longitud, fibras de pequeño diámetro aumentan el número de ellas por unidad de peso y hacen más denso el entramado ó red de fibras. El espaciamiento entre fibras se reduce cuando la fibra es más fina, siendo más eficiente y permitiendo una mejor *redistribución* de la carga ó de los esfuerzos.

Fibras poliméricas

Las fibras plásticas están formadas por un material polimérico (polipropileno, polietileno de alta densidad, aramida, alcohol de polivinilo, acrílico, nylon, poliéster) extrusionado y posteriormente cortado. Estas pueden ser adicionadas homogéneamente al hormigón, mortero o pasta. Se rigen por la norma UNE 83500-2 y, según el proceso de fabricación se clasifican en: monofilamentos extruidos (Tipo 1), láminas fibriladas (Tipo II).

Sus dimensiones pueden ser variables al igual que su diámetro y su formato:

Micro-fibras: $< 0,30$ mm diámetro

Macro-fibras: $\geq 0,30$ mm diámetro

Las macro-fibras pueden colaborar estructuralmente, siendo su longitud variable (desde 20 mm a 60 mm), que debe guardar relación con el tamaño máximo del árido (relación de longitud 3:1 fibra: TM).

Las micro-fibras se emplean para reducir la fisuración por retracción plástica del hormigón, especialmente en pavimentos y soleras, pero no pueden asumir ninguna función estructural. También se utilizan para mejorar el comportamiento frente al fuego, siendo conveniente en este caso que el número de fibras por kg sea muy elevado.

Además de por sus características físico-químicas, las micro-fibras se caracterizan por su frecuencia de fibra, que indica el número de fibras presentes en 1 kg, y que depende de la longitud de fibra y muy especialmente de su diámetro.



Otras fibras Inorgánicas

De este tipo de fibras, las que se incluyen en este Anejo son las fibras de vidrio, que en la actualidad tienen aplicación usual en el campo del hormigón. No se incorporan otras fibras que, aún existiendo, son usadas para otras aplicaciones fuera del campo del hormigón.

Fibras de vidrio

Este tipo de fibras podrán emplearse siempre que se garantice un comportamiento adecuado durante la vida útil del elemento estructural, en relación con los problemas potenciales de deterioro de este tipo de fibras como consecuencia de la alcalinidad del medio.

Dado que los HRF pueden experimentar importantes reducciones de resistencia y tenacidad debido a la exposición al medio ambiente, se deberán tomar las medidas adecuadas tanto sobre la fibra como sobre la matriz cementícea para su protección. En este sentido, las fibras pueden presentarse con una capa protectora superficial de un material epoxídico que reduce la afinidad de las mismas con el hidróxido de calcio, proceso responsable de la fragilización del compuesto.

Artículo 31º Hormigones

31.1 Composición

Cuando las fibras utilizadas sean metálicas, el ión cloruro total aportado por los componentes no excederá del 0,4% del peso del cemento.

31.2 Condiciones de calidad

Cuando se utilice fibras se incluirá entre las condiciones o características de calidad exigidas al hormigón en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares la longitud máxima de las fibras.

Cuando las fibras tengan función estructural se incluirá asimismo los valores de resistencia característica residual a tracción por flexión $f_{R,1,k}$ y $f_{R3,k}$ de acuerdo con lo especificado en el Artículo 39.

Cuando se utilice fibras con otras funciones se especificará los métodos para verificar la adecuación de las fibras a tal fin.

31.3 Características mecánicas

La resistencia del hormigón a flexotracción, a los efectos de esta Instrucción, 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 150 mm y largo igual a 600 mm, de 28 días de edad, fabricadas, conservadas y ensayadas de acuerdo con UNE- EN 14651.

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 $f_{R,1,d}$



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.

Para elementos estructurales que trabajen como placa, pueden utilizarse otros tipos de ensayos alternativos, siempre y cuando vengan contrastados por una campaña experimental concluyente. Cuando la desviación entre los resultados de una misma unidad de producto sobrepase ciertos límites debe realizarse una verificación del proceso seguido a fin de conceder representatividad a los mismos.

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 por el valor medio de las tres), tomadas de la misma amasada, no podrá exceder el 35%.

Los criterios planteados en la Instrucción 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, ya que se puede considerar que la adición de las fibras no varía de forma significativa el comportamiento del hormigón en compresión.

Del ensayo propuesto en UNE-EN 14651 se obtiene el diagrama carga-abertura de fisura del hormigón (figura A.14.1). A partir de los valores de carga correspondiente al límite de proporcionalidad (F_L) y a las aberturas de fisura 0,5 mm y 2,5 mm (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: $f_{R,1}$ y $f_{R,3}$.

El cálculo de los valores de resistencia a flexotracción y de resistencia residual a flexotracción según la citada norma UNE-EN 14651 se realiza asumiendo una distribución elástico lineal de tensiones en la sección de rotura.

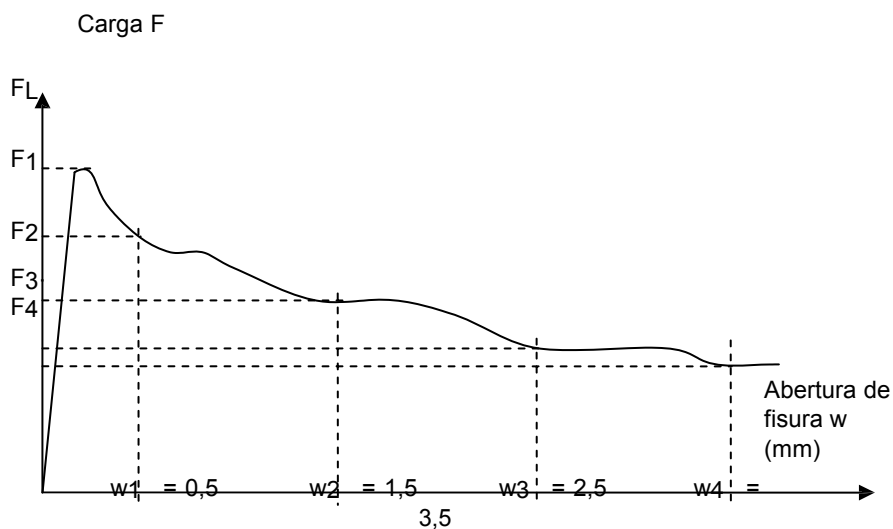


Figura A.14.1. Diagrama tipo carga apertura de fisuras

A partir de estos valores se determinará el diagrama de cálculo a tracción según lo indicado en el Artículo 39. También, se podrán incorporar otros diagramas que definan dichas ecuaciones constitutivas de forma directa siempre y cuando los resultados vengan avalados por campañas concluyentes de tipo experimental y bibliografía especializada.

31.4 Valor mínimo de la resistencia

Para que las fibras puedan ser consideradas con función estructural la resistencia



característica residual a tracción por flexión $f_{R,1,k}$ no será inferior al 40 % del límite de proporcionalidad y $f_{R,3,k}$ no será inferior al 20 % del límite de proporcionalidad (véase 39.1).

31.5. Docilidad del hormigón

El empleo de fibras en hormigón puede provocar una pérdida de docilidad, cuya magnitud será función del tipo y longitud de la fibra empleada así como de la cuantía de fibras dispuesta. Este factor debe considerarse especialmente al solicitar la consistencia del hormigón en el caso de adición de fibras en obra.

En el caso de hormigones con fibras, se recomienda que la consistencia del hormigón no sea inferior a 9 cm de asiento en el cono de Abrams (si bien depende del tipo de aplicación y sistema de puesta en obra). En este caso, el ensayo del cono de Abrams es poco adecuado y se recomienda ensayar la consistencia de acuerdo con los ensayos propuestos en UNE EN 12350-3 o UNE 83503.

TÍTULO 4.º DURABILIDAD CAPÍTULO VII

DURABILIDAD

Artículo 37º Durabilidad del hormigón y de las armaduras

37.2.4 Recubrimientos

El empleo de hormigón reforzado con fibras con función estructural hace innecesaria la utilización de la malla de reparto, que exige la Instrucción, a situar en medio de los recubrimientos superiores a 50 mm.

37.2.8 Empleo de hormigón reforzado con fibras (este apartado no se corresponde con ninguno del articulado)

De forma general, se podrá emplear hormigón reforzado con fibras 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.

37.3.7 Resistencia del hormigón frente a la erosión

En general, el empleo de fibras de acero mejora la resistencia a la erosión.



TÍTULO 5.º CÁLCULO

CAPÍTULO VIII DATOS DE LOS MATERIALES PARA EL PROYECTO Artículo 39º

Características del hormigón

39.2. Tipificación de los hormigones

Los hormigones se tipificarán de acuerdo con el siguiente formato (lo que deberá reflejarse en los planos de proyecto y en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto):

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

donde:

<i>T</i>	Indicativo que será HMF en el caso de hormigón en masa, HAF en el caso de hormigón armado y HPF en el caso de hormigón pretensado
<i>R</i>	Resistencia característica a compresión especificada, en N/mm ²
<i>f</i>	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
<i>R1, R3</i>	Resistencia característica residual a flexotracción especificada $f_{R,1,k}$ y $f_{R,3,k}$, en N/mm ²
<i>C</i>	Letra inicial del tipo de consistencia, tal y como se define en 31.5
<i>TM</i>	Tamaño máximo del árido en milímetros, definido en 28.2
<i>TF</i>	Longitud máxima de la fibra, en mm
<i>A</i>	Designación del ambiente, de acuerdo con 8.2.1

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:

$$1,0 - 1,5 - 2,0 - 2,5 - 3,0 - 3,5 - 4,0 - 4,5 - 5,0 - \dots$$

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

Cuando las fibras no tengan función estructural los Indicativos R1 y R3 deberán sustituirse por: "CR" en el caso 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. El resto de los parámetros tiene el significado que se indica en el Articulado. 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



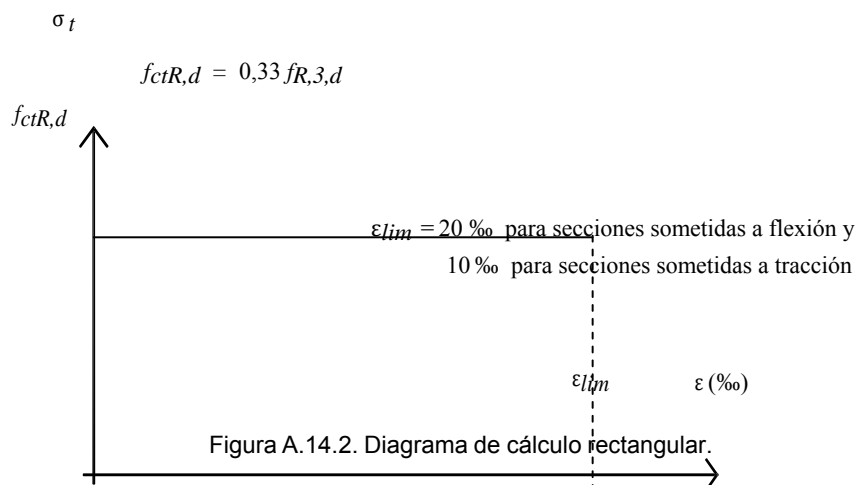
39.4 Resistencia de cálculo del hormigón

Se considerará como resistencias residuales a flexotracción de cálculo del hormigón $f_{R,1,d}$ y $f_{R,3,d}$ el valor de la resistencia característica de proyecto $f_{R,1,k}$ y $f_{R,3,k}$ correspondiente, dividido por un coeficiente parcial de seguridad γ_C , que adopta los valores indicados en el Artículo 15°. Es posible trabajar con resistencias residuales a tracción, siempre que se demuestre la validez experimental del planteamiento, pudiéndose buscar las correlaciones con los resultados en flexión.

39.5. Diagrama tensión - deformación en tracción de cálculo del hormigón con fibras

Para el cálculo de secciones sometidas a sollicitaciones normales, en los Estados límite Últimos se adoptará uno de los diagramas siguientes:

- Diagrama rectangular: De forma general se aplicará el diagrama de la figura A.14.2.a caracterizado por la resistencia residual a tracción de cálculo $f_{ctR,d}$



- Diagrama multilíneal: Para aplicaciones que exigen un cálculo ajustado, se propone el diagrama tensión (σ)- deformación (ϵ) de la figura A.14.3, definido por una resistencia a tracción de cálculo f_{ctd} y de las resistencias residuales a tracción de cálculo: $f_{ctR1,d}$, $f_{ctR3,d}$, asociadas a sendas deformaciones ϵ_1 y ϵ_2 en el régimen de post-pico, donde:

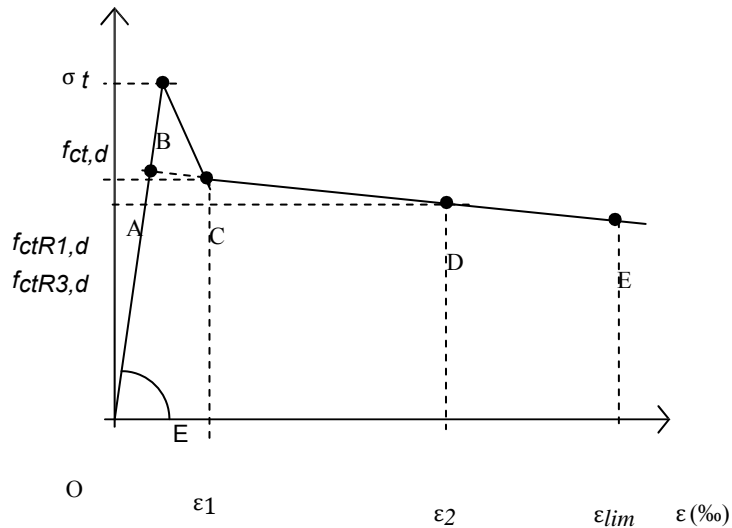


Figura A.14.3. Diagrama de cálculo multilinear.

donde:

f_L Carga correspondiente al límite de proporcionalidad

$$f_{ct,d} = 0,6 f_{ct,fl,d}$$

$$f_{ctR1,d} = 0,45 f_{R,1,d}$$

$$f_{ctR3,d} = k_1 (0,5 f_{R,3,d} - 0,2 f_{R,1,d})$$

$k_1 = 1$ para secciones sometidas a flexión y $0,7$ para secciones sometidas a tracción

$$\varepsilon_1 = 0,1 + 1000 \cdot f_{ct,d} / E_c,0$$

$$\varepsilon_2 = 2,5 / l_{cs}$$

$\varepsilon_{lim} = 20 \text{ ‰}$ para secciones sometidas a flexión y 10 ‰ para secciones sometidas a tracción

l_{cs} Longitud crítica (en metros) del elemento calculado que puede determinarse por la expresión

$$l_{cs} = \min (s_m, h - x)$$

siendo: x = profundidad del eje neutro

$h - x$ = distancia del eje neutro al extremo más traccionado

s_m = distancia media entre fisuras. Salvo que se disponga de datos justificados

se podrá utilizar para s_m los valores de la tabla A.14.1



Tabla A.14.1. Valores de referencia para s_m	
Elementos sin armadura tradicional, o poco armados y hormigón de fibras con comportamiento a flexión con ablandamiento ($f_{R,1} < f_L$ y/o $f_{R,2} < f_L$)	H (canto de la pieza)
Hormigón de fibras armado, con $f_{R,3,d} < 2 \text{ kN/mm}^2$	s_m calculado de acuerdo con 49.2.4
Elementos con hormigón de fibras con comportamiento a flexión con endurecimiento ($f_{R,1} > f_L$ y/o $f_{R,2} > f_L$)	Se determinará de forma experimental según lo indicado en 31.3
Otros casos	Se consultará la bibliografía especializada

Nota: De forma simplificada, se considerarán elementos poco armados aquellos cuya cuantía geométrica de armadura tradicional a tracción sea inferior al uno por mil

El efecto del pico A-B-C puede ser importante cuando se aplique un análisis no lineal, especialmente para pequeñas deformaciones. En otros casos, para el cálculo en rotura puede utilizarse el diagrama bilineal simplificado, formado por las rectas correspondientes al tramo elástico O-A y la prolongación de la recta C-E hasta el punto A, e incluso considerando un comportamiento rígido con $E = \infty$.

Se aceptarán otros diagramas de cálculo siempre que los resultados con ellos obtenidos concuerden de manera satisfactoria con los correspondientes a los del diagrama rectangular indicado en la figura A.14.2, o queden del lado de la seguridad.

39.8. Fluencia del hormigón

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.

39.9. Coeficiente de Poisson

Las fibras individualmente, o como grupo, deberán tener un coeficiente de Poisson similar al del hormigón si se quiere tener en cuenta el efecto red a nivel estructural.

CAPÍTULO X CÁLCULOS RELATIVOS A LOS ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS Artículo 42.º Estado

Límite de Agotamiento frente a sollicitaciones normales

42.1.2 Hipótesis básicas

El cálculo de la capacidad resistente última de las secciones en las que las fibras desempeñen función estructural se efectuará considerando como diagrama de cálculo del



hormigón a tracción alguno de los que se definen en 39.5.

42.1.3 Dominios de deformación

Se consideran los mismos que para una estructura con hormigón convencional

42.2.2 Efecto de confinamiento del hormigón

Las fibras con función estructural proporcionan al hormigón un efecto confinamiento similar al de las armaduras transversales. Para cuantificar el efecto del confinamiento producido por las fibras debe consultarse la bibliografía especializada.

42.3.2. Flexión simple o compuesta

En aquellos casos en que se utilice fibras con función estructural, solas o en combinación con armadura tradicional, se deberá cumplir la siguiente limitación:

$$A_p f_{pd} \frac{d_p}{d_s} + A_s f_{yd} + \frac{z_f}{z} A_{ct} f_{ctR,d} \geq \frac{W_I}{z} f_{ctm} + \frac{P}{z} \left(\frac{W_I}{A} + e \right)$$

donde:

$z_f A_{ct} f_{ctR,d}$	Contribución de las fibras
z_f	Brazo mecánico de la tracción del hormigón
A_{ct}	Área traccionada de hormigón
$f_{ctR,d}$	Resistencia residual a tracción de cálculo en el diagrama rectangular

En el caso de secciones rectangulares con o sin armadura pasiva puede emplearse la siguiente relación simplificada, en la que no se precisa determinar el área traccionada de hormigón.

$$A_s f_{yd} + 0,4 A_c f_{ctR,d} \geq 0,04 A_c f_{cd}$$

Esta limitación se justifica como garantía para evitar la rotura frágil del hormigón. La acción de las armaduras tradicionales y de las fibras es complementaria en este aspecto, y por tanto la limitación constituye una exigencia de contenido mínimo en fibras para elementos sin armaduras tradicionales, y la posibilidad de reducir, e incluso eliminar, la exigencia de armaduras tradicionales mínimas en elementos con contenido suficiente de fibras estructurales. Esta limitación no rige para losas apoyadas en el terreno.

42.3.4 Tracción simple o compuesta

En el caso de secciones de hormigón sometidas a tracción simple o compuesta, provistas de dos armaduras principales y fibras, deberá cumplirse la siguiente limitación:

$$A_p f_{pd} + A_s f_{yd} + A_c f_{ctR,d} \geq 0,20 A_c f_{cd}$$



42.3.5 Cuantías geométricas mínimas

Los valores de la tabla 42.3.5 relativos a las cuantías geométricas mínimas que, en cualquier caso, deben disponerse en los diferentes tipos de elementos estructurales, en función del acero utilizado, se podrán reducir, en el caso de hormigones con fibras, en una cuantía mecánica equivalente:

$$\frac{A_c f_{ctR}}{d}$$

donde: A_c y f_{ctR} , d tienen el significado dado anteriormente

Artículo 44.º Estado Límite de Agotamiento frente a cortante

44.1. Consideraciones generales

La contribución de las fibras se deberá tener en cuenta en la capacidad resistente de los tirantes.

44.2.3.2.3. Piezas de hormigón reforzado con fibras sin y con armadura de cortante (este apartado no se corresponde con ninguno del articulado)

Cuando existan barras longitudinales dobladas que sean tenidas en cuenta en el cálculo como armadura de cortante, al menos un tercio de la resistencia a cortante deberá ser provista por la contribución de las fibras de acero o en su caso por la contribución conjunta de las fibras de acero y estribos verticales. En todo caso, la cuantía mínima de la armadura a cortante está establecida y se dispondrá tal como lo marca el punto 44.2.3.4.1 de la presente Instrucción.

El esfuerzo cortante de agotamiento por tracción en el alma vale:

$$V_{u2} = V_{cu} + V_{su} + V_{fu}$$

donde:

V_{cu} Contribución del hormigón a la resistencia a esfuerzo cortante dado en el punto 44.2.3.1

V_{su} Contribución de la armadura transversal de alma a la resistencia a esfuerzo cortante. Ídem 44.2.3.2.2.

V_{fu} Contribución de las fibras de acero a la resistencia a esfuerzo cortante.

$$V_{fu} = 0,7 \xi \tau_{fd} b_0 d$$

donde:

$$\xi = 1 + \frac{200}{d} \quad \text{con } d \text{ en (mm) y } \xi \leq 2 \text{ (Ídem 44.2.3.2.1)}$$

τ_{fd} Valor de cálculo del incremento de la resistencia a cortante debido a las

$$\sqrt{\quad}$$



fibras, tomando el valor:

$$\tau_{fd} = 0,5 f_{ctR,d} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

En el caso de secciones en T, se podría tener en cuenta la contribución de las alas a través de un coeficiente k_f multiplicador en la expresión de V_{fu} . Este coeficiente puede obtenerse mediante la siguiente expresión:

$$k_f = 1 + n \cdot \frac{[b]}{[b_0]} \cdot \frac{[h_f]}{[d]} \quad \text{con } k_f \leq 1,5$$

donde:

h_f Altura de las alas en mm b_f
 Ancho de las alas en mm b_0 ———
 Ancho del alma en mm
 $n = \frac{b_f - b_w}{h_f} \leq 3$ y $n \leq \frac{3 \cdot b_w}{h_f}$

44.2.3.4.1 Armaduras transversales

La cuantía mínima de refuerzo a cortante, ya sea en forma de Hormigón Reforzado por Fibras de acero y/o estribos verticales se verifica siempre que se cumpla la relación:

$$V_u + V_{fu} \geq \frac{f_{ct,m}}{7,5} b_0 d$$

44.2.3.4.2 Armaduras longitudinales

En el caso de estructuras de hormigón reforzado con fibras con función estructural, en lugar de V_{su} deberá considerarse ($V_{su} + V_{fu}$) en las expresiones del articulado.

44.2.3.5 Rasante entre alas y alma de una viga

Experimentalmente se ha comprobado que las fibras con función estructural pueden contribuir de forma significativa a resistir el esfuerzo rasante ala-alma. Para considerar esta contribución deberá basarse en campañas experimentales concluyentes o en publicaciones científicas avaladas.

Artículo 46º Estado Límite de Agotamiento frente a punzonamiento

46.6 Losas de hormigón reforzado con fibras (este apartado no se corresponde con ninguno del articulado)

Las fibras pueden mejorar la resistencia a punzonamiento. Una primera aproximación es considerar su contribución a partir de una tensión resistente en la superficie crítica equivalente a:



$$\tau_{fd} = 0,5 f_{ctR,d} \quad (\text{N/mm}^2)$$

no obstante este valor puede ser significativamente mayor, debiéndose demostrar experimentalmente si se quiere utilizar.

Artículo 47.º Estado Límite de Agotamiento por esfuerzo rasante en juntas entre hormigones

47.3 Disposiciones relativas a las armaduras

Sólo se considerará que las fibras contribuyen a la resistencia al deslizamiento cuando se trate de juntas encastilladas transversalmente donde las dimensiones de las llaves sean comparables a la de la propia fibra.

TÍTULO 7.º EJECUCIÓN CAPÍTULO XIII

EJECUCIÓN

Artículo 69º Procesos de elaboración, armado y montaje de armaduras

69.5.1. Anclaje de las armaduras pasivas

69.5.1.1. Generalidades

Las fibras mejoran las características de anclaje, en el caso de empleo conjunto con armaduras pasivas y activas, lo cual puede ser utilizado en los cálculos de este artículo siempre que vengan avalados por ensayos experimentales que así lo justifiquen.

Artículo 71º Elaboración y puesta en obra del hormigón

71.3 Fabricación del hormigón

71.3.2. Dosificación de materiales componentes

71.3.2.4. Agua

El aumento de la consistencia debido al uso de las fibras debe ser compensado siempre con la adición de aditivos reductores de agua, sin modificar la dosificación prevista de agua.

71.3.2.7. Fibras (este apartado no se corresponde con ninguno del articulado)

La efectividad de los distintos tipos de fibras puede variar mucho, por ello se recomienda designar el hormigón por propiedades, y definir el tipo y dosificación de fibras en los ensayos previos. Si bien no se especifica un contenido mínimo en fibras, cuando se utilice fibras de acero con función estructural no es recomendable utilizar dosificaciones inferiores a 20 kg/m^3 de hormigón.



La selección del tipo y dosificación de las fibras dependerá de su efectividad y de su influencia en la consistencia del hormigón. La longitud máxima cumplirá las condiciones estipuladas en este Anejo. El aumento de la esbeltez de las fibras y el empleo de altas dosificaciones conlleva un aumento de su eficiencia mecánica, pero puede provocar un descenso de la consistencia y un mayor riesgo de formación de bolas de fibras que se segregan del hormigón (erizos).

El límite superior del contenido en fibras se fija en el 1,5% en volumen del hormigón. El empleo de dosificaciones muy elevadas exige modificar sensiblemente la estructura granular del hormigón. Para estos casos se recomienda la consulta de bibliografía especializada.

Se tendrá en cuenta lo previsto en el Capítulo de materiales de este Anejo. La dosificación de las fibras se realizará en peso.

Cuando se utilicen, las fibras se dosificarán en peso, empleando básculas y escalas distintas de las utilizadas para los áridos. En el caso de empleo de dosificadores automáticos, los mismos deberán estar tarados con la frecuencia de determine el fabricante. La tolerancia en peso de fibras será del ± 3 por 100.

71.2.4 Equipos de amasado

La comprobación de la homogeneidad de la mezcla producida por una amasadora fija o móvil, deberá incluir la verificación de que la diferencia máxima tolerada entre los resultados de contenido en fibras obtenido según norma UNE 83512-1 1 o 83512-2 de dos muestras tomadas de la descarga del hormigón (1/4 y 3/4 de la descarga) sea inferior al 10%.

71.3.3. Amasado del hormigón

El amasado es una fase crítica de los hormigones con fibras por el riesgo de enredo de las fibras formando erizos. Este riesgo se reduce con una buena dosificación con suficiente contenido de árido fino, pero aumenta con un transporte excesivamente largo y especialmente cuando el contenido en fibras es elevado y éstas son muy esbeltas. El orden de llenado también puede ser decisivo. Como norma general las fibras se incorporarán junto con los áridos, preferentemente, el árido grueso al inicio del amasado, desaconsejándose como primer componente de la mezcla.

En el caso de fibras de acero, cuando se prevea un transporte largo puede plantearse la adición de las fibras en obra. Para ello se debe prever un hormigón suficientemente fluido para facilitar el camino de las fibras hasta el fondo de la cuba, y disponer de un sistema de dosificación en obra que garantice la precisión indicada en

71.2.3. El vertido de las fibras se debe realizar lentamente (entre 20 y 60 kg por minuto) con la cuba girando a su máxima velocidad hasta garantizar la distribución homogénea de las fibras en la masa del hormigón.

71.3.4 Designación y características

El hormigón fabricado en central podrá designarse por propiedades o por dosificación. En ambos casos, para el hormigón de fibras, deberá especificarse, como mínimo:

- Material que constituye las fibras, y su longitud máxima
- En caso de fibras con función estructural, las resistencias residuales a tracción por



flexión $f_{R,1,k}$ y $f_{R,3,k}$ características especificadas, en N/mm^2

- En caso de fibras sin función estructural, las funciones de las fibras o las características de éstas que garantizan su efectividad para ese fin.

71.4.2 Suministro del hormigón

En la hoja de suministro deberán figurar los siguientes datos:

- Especificación del hormigón: Designación de acuerdo con el apartado 39.2.
- Material, tipo, dimensiones (longitud, características de la sección y diámetro equivalente, esbeltez), características de las formas (conformadas en extremos, onduladas, etc.) de las fibras.
- Contenido de fibras en kilos por metro cúbico (kg/m^3) de hormigón, con una tolerancia de $\pm 3\%$.

La relación de las características de las fibras podrá ser sustituida por una referencia a la designación comercial completa de las mismas, y soportada por una ficha técnica previamente aceptada por la Dirección Facultativa y disponible en el libro de obra.

71.5 Puesta en obra del hormigón

71.5.1 Vertido y colocación del hormigón

El vertido y colocación debe realizarse de modo que no precise transporte adicional del hormigón en obra. Debe evitarse interrupciones del hormigonado ya que éstas podrían ocasionar discontinuidades en la distribución de las fibras.

Cuando la colocación en obra se realiza mediante tolva, el diámetro de la boca de descarga debe ser superior a 30 cm para facilitar el vertido.

71.5.2 Compactación del hormigón

Debido a que el uso de fibras reduce la docilidad del hormigón, se necesitará una mayor energía de compactación. Sin embargo la respuesta a la vibración del hormigón de fibras es mejor que la de un hormigón tradicional por lo que para un mismo asiento en el cono de Abrams se requiere menor tiempo de vibrado.

La compactación origina una orientación preferencial de las fibras. En general éstas tienden a colocarse paralelas a la superficie encofrada, especialmente si se aplica vibradores de superficie. Este efecto es sólo local pero puede ser importante en elementos de poco espesor.

El uso de vibradores internos puede generar zonas con exceso de pasta y pocas fibras en la zona donde se ha dispuesto el vibrador, así como cierta orientación en el sentido tangencial al diámetro externo del vibrador



TÍTULO 8.º CONTROL

CAPÍTULO XVI CONTROL DE LA CONFORMIDAD DE LOS PRODUCTOS

Artículo 85º Criterios específicos para la comprobación de la conformidad de los materiales componentes del hormigón

85.6 Otros componentes del hormigón (este apartado no se corresponde con ninguno del articulado)

85.6.1 Especificaciones (este apartado no se corresponde con ninguno del articulado)

Son las de los Artículos 29 y 30º más las que pueda contener el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

85.6.2 Ensayos. (este apartado no se corresponde con ninguno del articulado)

- Antes de comenzar la obra se comprobará el efecto de las fibras mediante los ensayos previos del hormigón citados en el Artículo 86º. Como consecuencia de lo anterior, se seleccionarán las marcas, tipos y dosificación de fibras admisibles en la obra. La continuidad de la composición y de las características será garantizada por el fabricante correspondiente.
- Durante la ejecución de la obra se vigilará que las fibras utilizadas sean precisamente los aceptados según el párrafo anterior.
- El director de obra, cuando lo considere necesario en la ejecución de la obra, podrá requerir la comprobación de las condiciones exigidas a las fibras.

85.6.3 Criterios de aceptación o rechazo

El incumplimiento de alguna de las especificaciones será condición suficiente para calificar las fibras como no aptas para los hormigones.

Cualquier posible modificación de la marca, el tipo o la dosificación de las fibras que se vaya a utilizar, respecto a lo aceptado en los ensayos previos al comienzo de la obra, implicará su no utilización, hasta que tras la realización con dichas modificaciones de los ensayos previstos en 81.4.2 la dirección facultativa autorice su aceptación y empleo en la obra.

Artículo 86º Control del hormigón

El control de la calidad del hormigón de fibras incluirá, además del control especificado en el articulado, el del tipo y contenido de fibras, y en caso de fibras con función estructural, el de su resistencia residual según el método que establezca el Pliego.

86.1 Criterios generales para el control de la conformidad de un hormigón

Cuando las fibras tengan función estructural los ensayos incluirán, además de los



especificados en el articulado, el ensayo de tres probetas por cada amasada utilizada para control de acuerdo con UNE-EN 14651 para determinar los valores de la resistencia residual a flexotracción $f_{R,1,m}$ y $f_{R,3,m}$ a los 28 días de edad. En cada amasada se determinará también el contenido en fibras según UNE 83512-1 o UNE 83512-2.

Cuando de acuerdo con lo especificado en 30.3, se seleccionen otros tipos de ensayos alternativos para el control de la resistencia residual a flexotracción del hormigón, estos deberán venir contrastados por una campaña experimental concluyente. La Dirección Facultativa fijará previamente los valores de referencia a obtener durante los ensayos y los criterios de aceptación y rechazo.

De acuerdo con lo indicado en la parte de materiales de este Anejo, la Dirección Facultativa podrá valorar, bajo su responsabilidad, el empleo de otros procedimientos que faciliten el control, como puede ser el caso del ensayo Barcelona de doble punzonamiento, realizado sobre probeta cilíndrica de 15x15 cm

86.3 Realización de los ensayos

En caso de hormigones de fibras de consistencia inferior a 9 cm de asiento en el cono de Abrams se recomienda utilizar como método de control de la consistencia otros métodos como el Consistómetro Vb de acuerdo con EN 12350-3 o el cono invertido de acuerdo con UNE 83503.

86.3.2 Ensayos de resistencia del hormigón

Antes del comienzo del hormigonado es necesaria la realización de ensayos previos o ensayos característicos, los cuales se describen en los Artículos 86° y 87° respectivamente.

Cuando exista experiencia, bien documentada, y suficiente tanto en materiales, incluido el tipo y marca comercial de las fibras previstas, como en dosificación y medios (por ejemplo las centrales de hormigón preparado), podrán realizarse únicamente los ensayos de control.

86.5.5 Control de la resistencia del hormigón al 100 por 100

Los criterios de definición de lotes coincidirán con lo especificado en el articulado.

El control de la resistencia residual a flexotracción según UNE-EN 14651 se realizará sobre 2 amasadas por lote. De estas amasadas se hará el control del contenido en fibras según UNE 83512-1 o UNE 83512-2.

Cuando el resultado del control de contenido en fibras en una amasada del lote fuera inferior en un 10 % al valor estipulado, se ampliará el control de resistencia residual a flexotracción a todas las amasadas sobre las que se tome muestras para determinar la resistencia a compresión.

El análisis de resultados y los estimadores a emplear para obtener los valores característicos correspondientes a partir de los resultados de los ensayos serán los mismos que los expuestos en el articulado para la resistencia a compresión.

86.5.6 Control indirecto de la resistencia del hormigón



No se permite la aplicación de este tipo de control para los hormigones de fibras con función estructural.

86.7 Decisiones derivadas del control

Cuando en un lote de obra sometida a control de resistencia, sea $f_{R,j,est} \geq f_{R,j,k}$ tal lote se aceptará.

Si resultase $f_{R,j,est} < f_{R,j,k}$, a falta de una explícita previsión del caso en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de la obra y sin perjuicio de las sanciones contractuales previstas (ver 4.4), se procederá como sigue:

- Si $f_{R,j,est} \geq 0,9 f_{R,j,k}$, el lote se aceptará.
- Si $f_{R,j,est} < 0,9 f_{R,j,k}$, se procederá a realizar, por decisión de la Dirección Facultativa o a petición de cualquiera de las partes, los estudios o ensayos complementarios pertinentes.

Si se detectará alguna variación en el aspecto, dimensiones o forma de las fibras se deberá volver a realizar los ensayos previos.

86.8. Ensayos de información complementaria del hormigón

La extracción de testigos, realizada de conformidad con lo indicado en el Artículo 101º, conduce a probetas cilíndricas sobre las que no puede aplicarse los ensayos de referencia para la determinación de las características mecánicas a flexotracción del hormigón de fibras. Dado que esta verificación no podrá realizarse, puede ser sustituidos por otros ensayos que permitan estimar la tenacidad del hormigón como, por ejemplo, el ensayo Barcelona de doble punzonamiento.

CAPÍTULO XVII CONTROL DE LA EJECUCIÓN

Artículo 92º Criterios generales para el control de la ejecución

En la tabla 92.5 se incluirán las siguientes unidades de inspección, específicas de los hormigones de fibras:

- Tipos de fibras empleados tras el control de contenido en fibras
- Condiciones de almacenamiento de las fibras
- Método de añadir las fibras a la mezcla

Los tamaños máximos de estas unidades de inspección anteriores se establecerán en el correspondiente proyecto, en función de las características de la obra.

A 22. Ensayos previos y característicos del hormigón



A22.1 Ensayos previos

En el caso de hormigones con fibras los ensayos previos toman especial importancia para la definición de las fibras a emplear y de su dosificación.

Cuando las fibras tengan función estructural los ensayos previos incluirán la fabricación de al menos cuatro series de probetas procedentes de amasadas distintas, de seis probetas cada una para ensayo a los 28 días de edad, por cada dosificación que se desee establecer, y se operará de acuerdo con UNE-EN 14651 para determinar los valores medios de la resistencia residual a flexotracción:

$$f_{R,1,m}$$

$$y$$

$$f_{R,3,m}$$

Para definir los valores de resistencia a obtener en los ensayos previos, cuando no se conozca el valor del coeficiente de variación de este ensayo, a título meramente informativo, puede suponerse que:

$$f_{R,j,k} = 0,7 \cdot f_{R,j,m}$$

A22.2 Ensayos característicos de resistencia

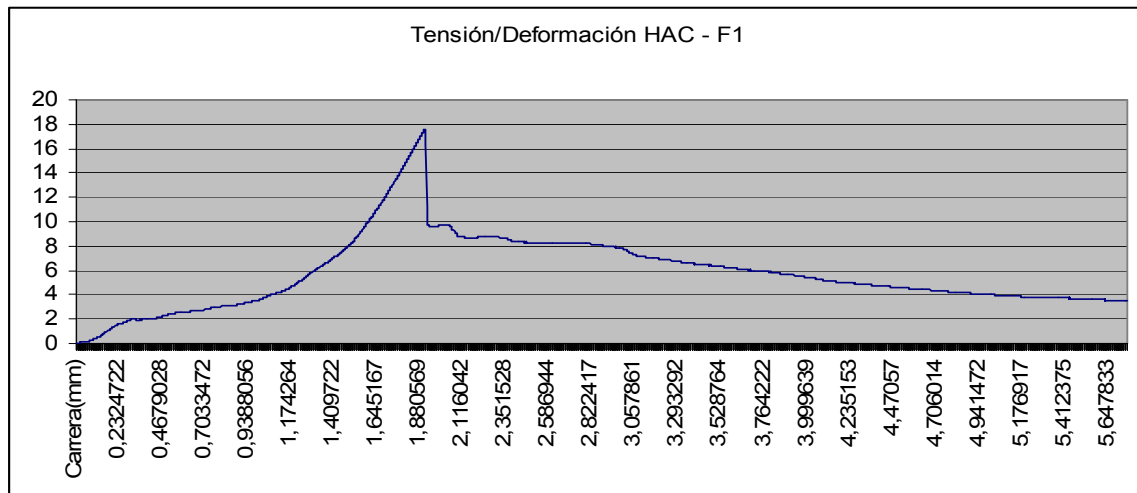
Cuando las fibras tengan función estructural los ensayos incluirán, además de los especificados en el articulado, el ensayo de tres probetas por amasada de acuerdo con UNE-EN 14651 para determinar los valores de la resistencia residual a flexotracción $f_{R,1,m}$

y $f_{R,3,m}$ a los 28 días de edad. En cada amasada de este tipo se determinará también el contenido en fibras según UNE 83512-1 ó UNE 83512-2

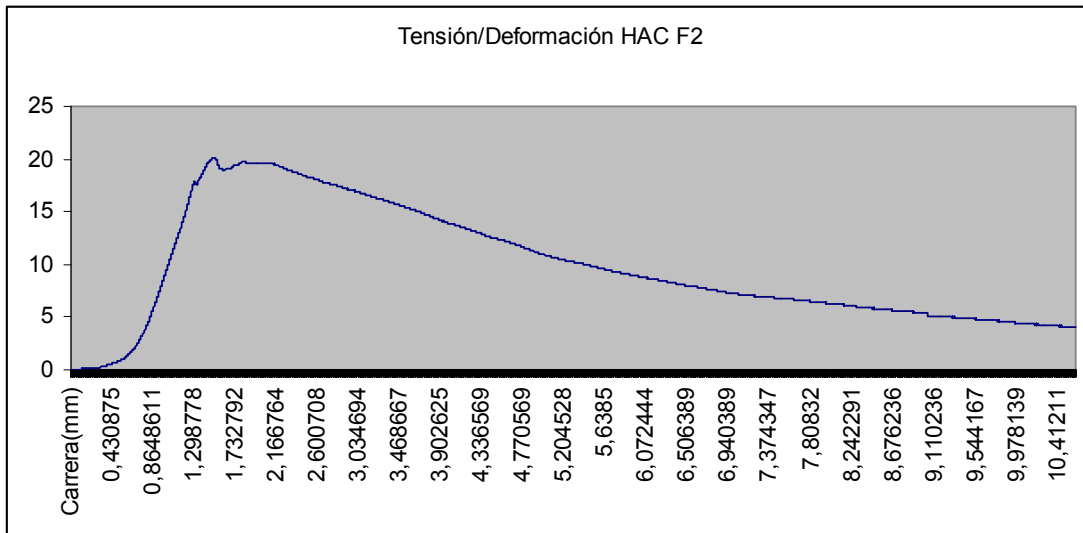
El análisis de resultados y los estimadores a emplear para obtener los valores característicos correspondientes a partir de los resultados de los ensayos serán los mismos expuestos en el articulado para la resistencia a compresión.

ANEXO 2
RESULTADOS DE ENSAYOS

1 – Flexotracción

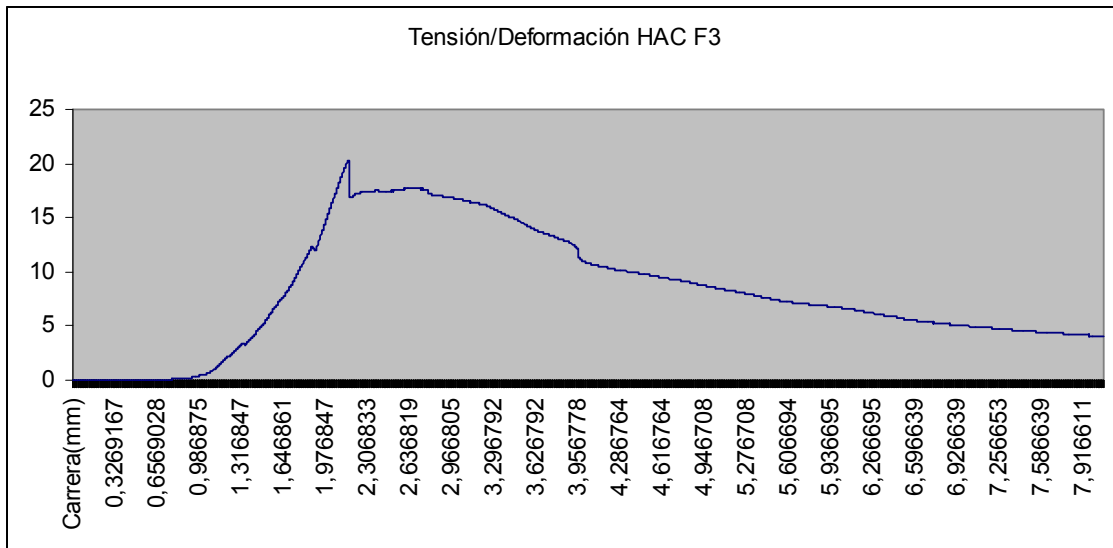


Temperatura	22	
Fecha de ensayo	26/06/2012	
Referencia	HACF1cargalenta	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Carrera	
Velocidad	2,77	mm/min
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	5,75	mm
Resistencia máxima	7,9045	MPa
Fuerza máxima	17,5656	kN
Edad	14 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	10000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Lado	100	mm
Sección	Cuadrada	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm

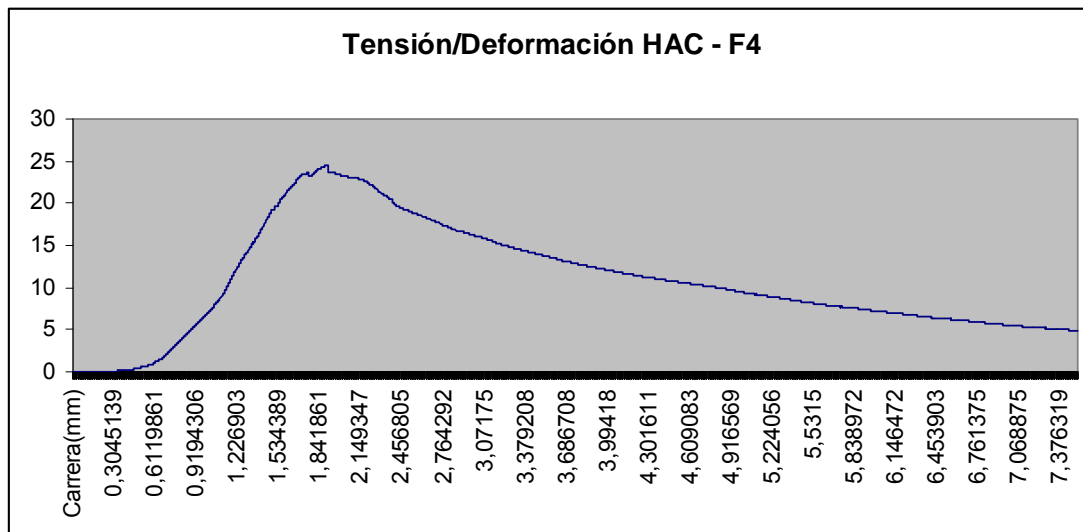


Temperatura	22	
Fecha de ensayo	26/06/2012	
Referencia	HACF2cargalenta	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Carrera	
Velocidad	2,77	mm/min
Célula	100 kN	
Índice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	10,61	mm
Resistencia máxima	9,0686	MPa
Fuerza máxima	20,1525	kN
Edad	14 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	10000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	352	mm
Lado	100	mm
Sección	Cuadrada	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm

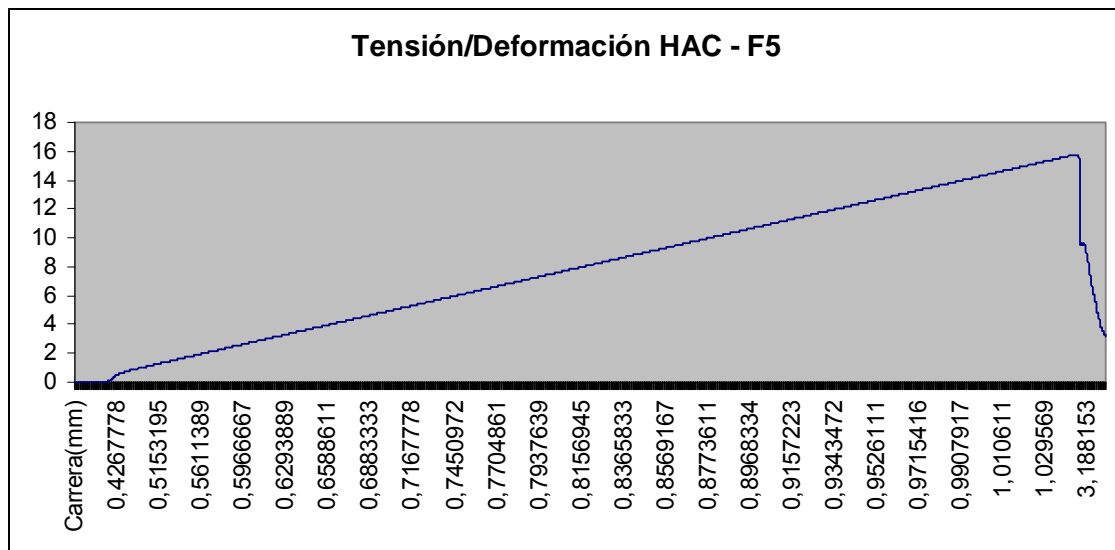
ANEXOS



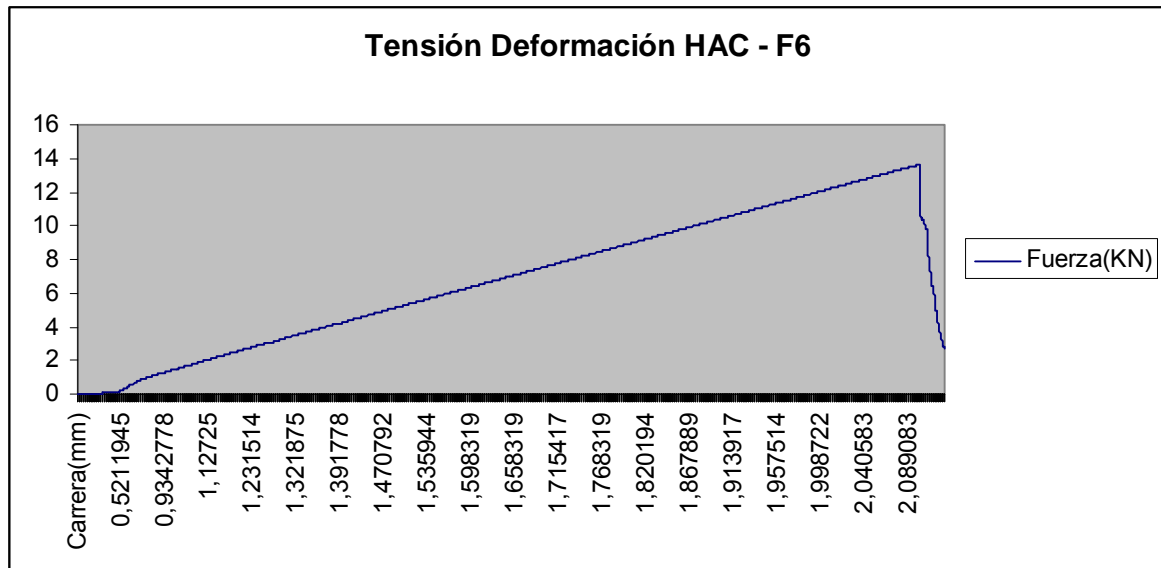
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	26/06/2012	
Referencia	HACF3cargalenta	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Carrera	
Velocidad	2,773	mm/min
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	8,07	mm
Resistencia máxima	9,1093	MPa
Fuerza máxima	20,2428	kN
Edad	28 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	10000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	352	mm
Lado	100	mm
Sección	Cuadrada	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



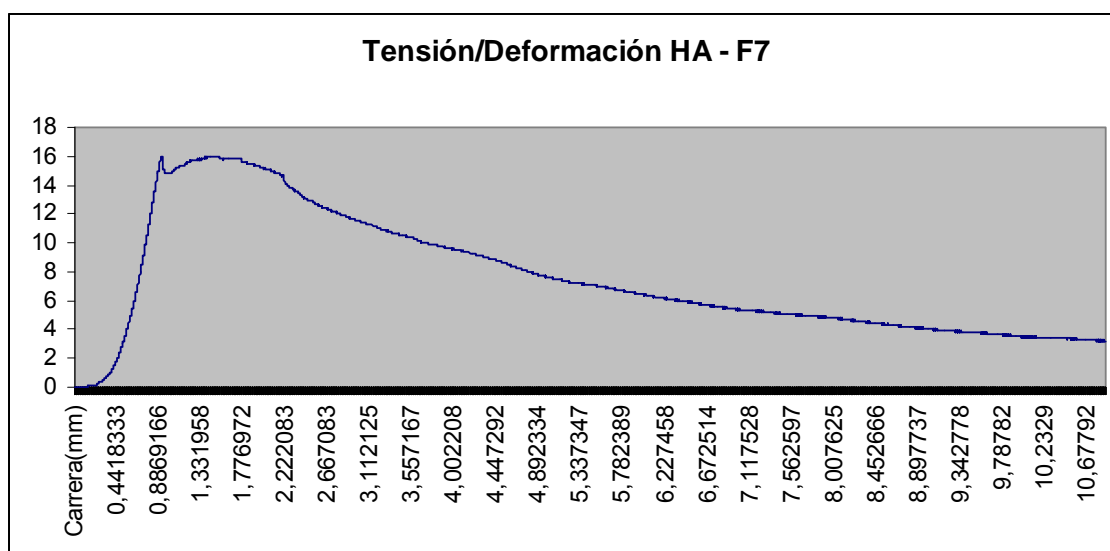
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	26/06/2012	
Referencia	HACF4cargalenta	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Carrera	
Velocidad	2,77	mm/min
Célula	100 kN	
Índice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	7,51	mm
Resistencia máxima	11,045	MPa
Fuerza máxima	24,5445	kN
Edad	14 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	10000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	352	mm
Lado	100	mm
Sección	Cuadrada	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



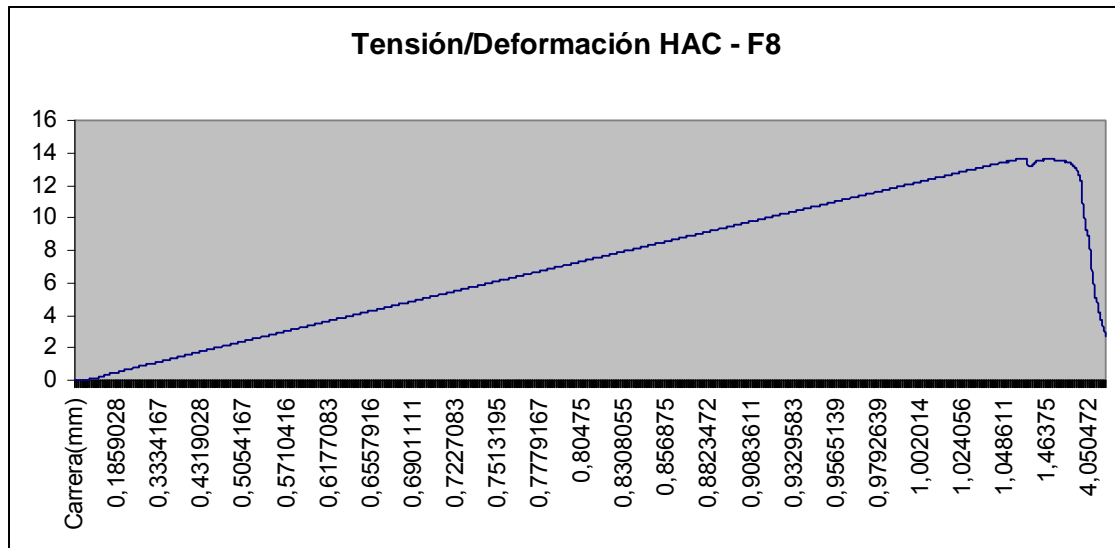
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	25/06/2012	
Referencia	HACF5	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Fuerza	
Velocidad	0,15	kN/s
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	10,81	mm
Resistencia máxima	7,1003	MPa
Fuerza máxima	15,7785	kN
Edad	14 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	10000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Lado	100	mm
Sección	Cuadrada	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



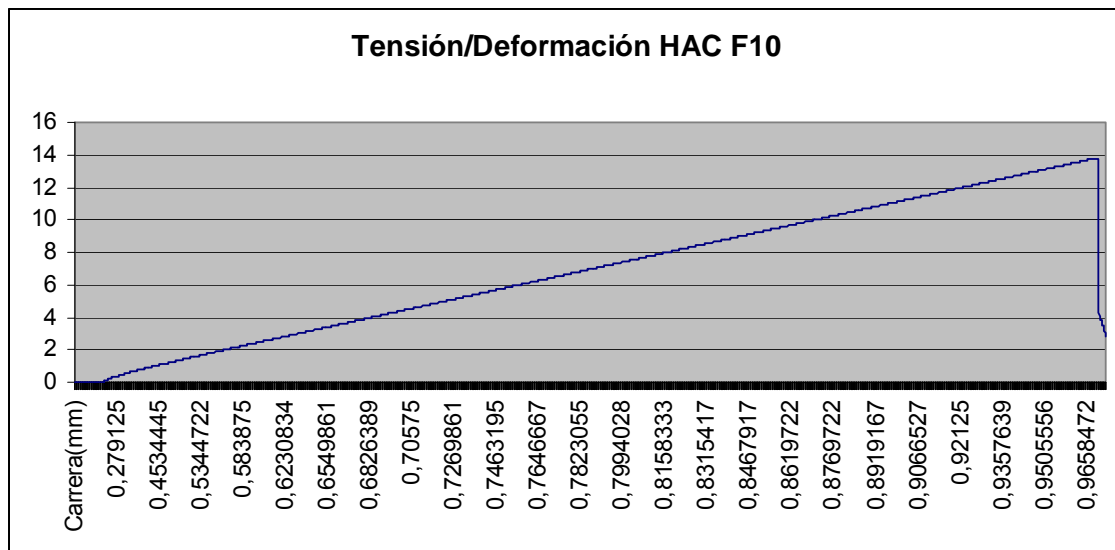
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	25/06/2012	
Referencia	HACF6	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Fuerza	
Velocidad	0,15	kN/s
Célula	100 kN	
Índice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	9,3	mm
Resistencia máxima	6,1211	MPa
Fuerza máxima	13,6025	kN
Edad	14 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	10000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Lado	100	mm
Sección	Cuadrada	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



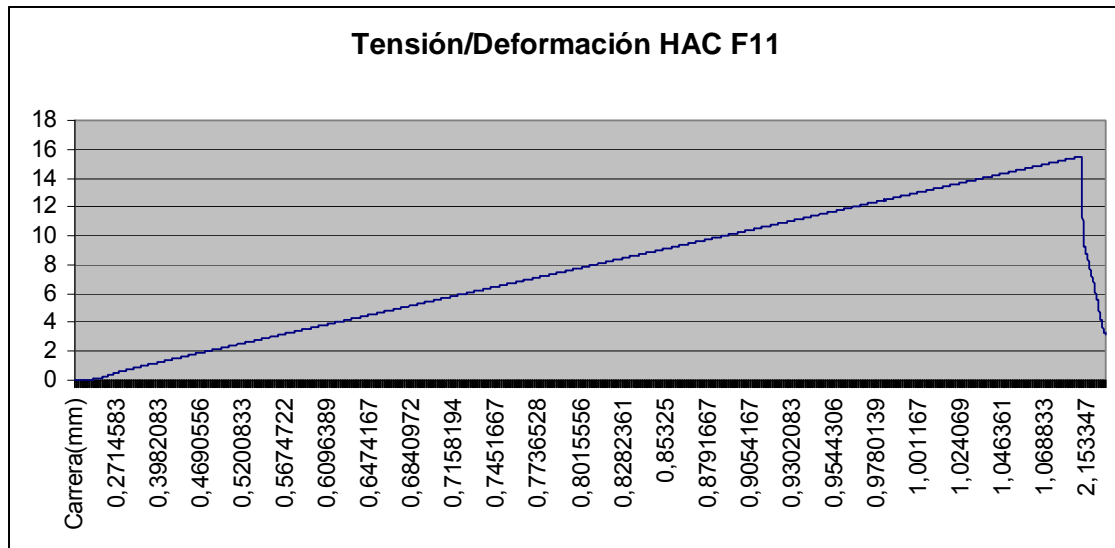
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	26/06/2012	
Referencia	HACF7cargalenta	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Carrera	
Velocidad	2,77	mm/min
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	10,87	mm
Resistencia máxima	7,2126	MPa
Fuerza máxima	16,028	kN
Edad	14 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	10000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Lado	100	mm
Sección	Cuadrada	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



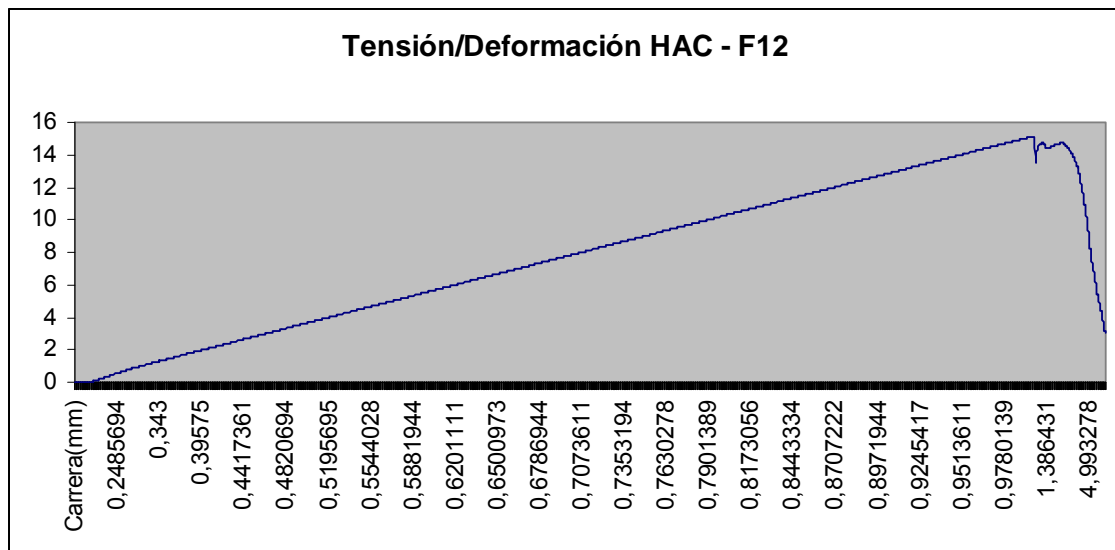
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	25/06/2012	
Referencia	HACF8	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Fuerza	
Velocidad	0,15	kN/s
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	9,86	mm
Resistencia máxima	6,1427	MPa
Fuerza máxima	13,6504	kN
Edad	14 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	10000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Lado	100	mm
Sección	Cuadrada	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



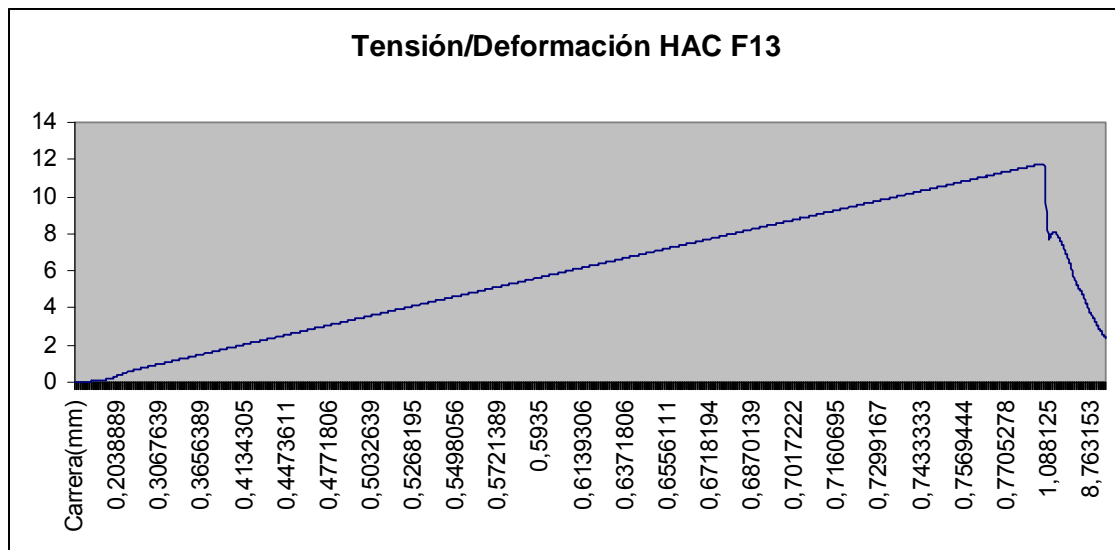
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	25/06/2012	
Referencia	HACF10	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Fuerza	
Velocidad	0,15	kN/s
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	3,27	mm
Resistencia máxima	6,2079	MPa
Fuerza máxima	13,7953	kN
Edad	14 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	10000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Lado	100	mm
Sección	Cuadrada	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



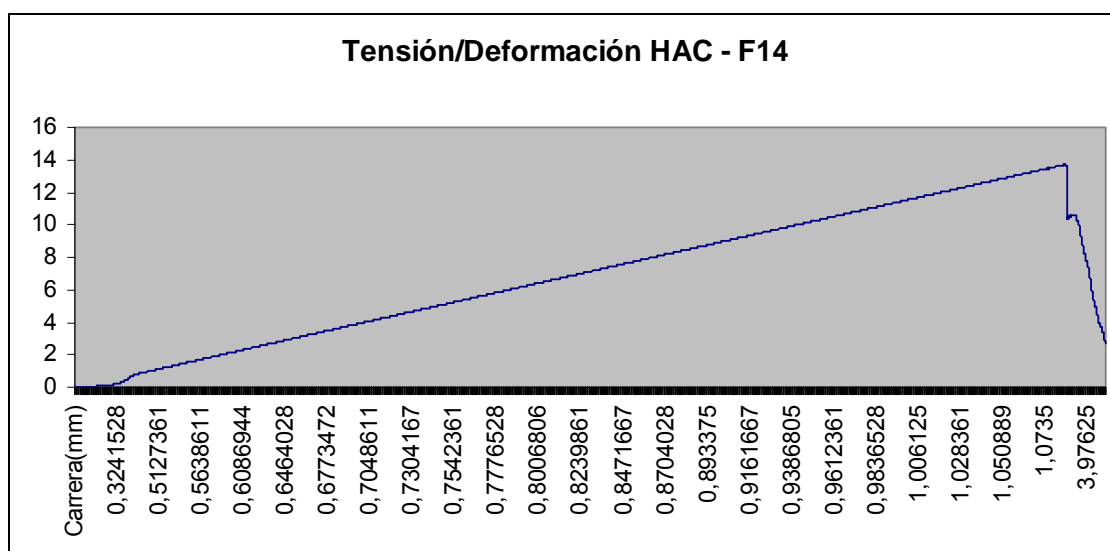
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	25/06/2012	
Referencia	HACF11	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Fuerza	
Velocidad	0,15	kN/s
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	9,34	mm
Resistencia máxima	6,9764	MPa
Fuerza máxima	15,5032	kN
Edad	14 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	10000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Lado	100	mm
Sección	Cuadrada	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



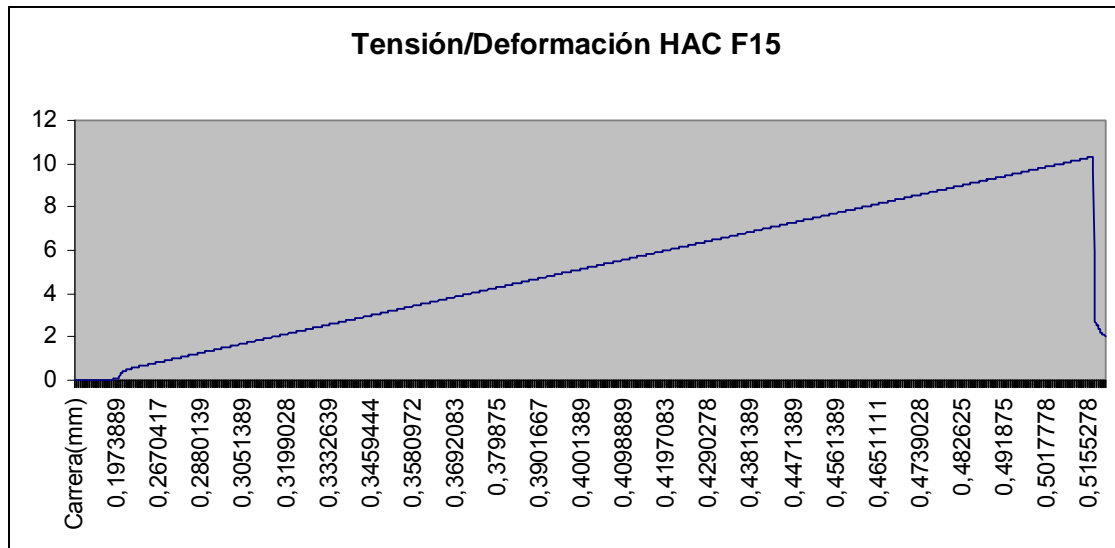
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	25/06/2012	
Referencia	HAF12	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Fuerza	
Velocidad	0,15	kN/s
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	12	mm
Resistencia máxima	6,8026	MPa
Fuerza máxima	15,1169	kN
Edad	28 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	10000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Lado	100	mm
Sección	Cuadrada	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



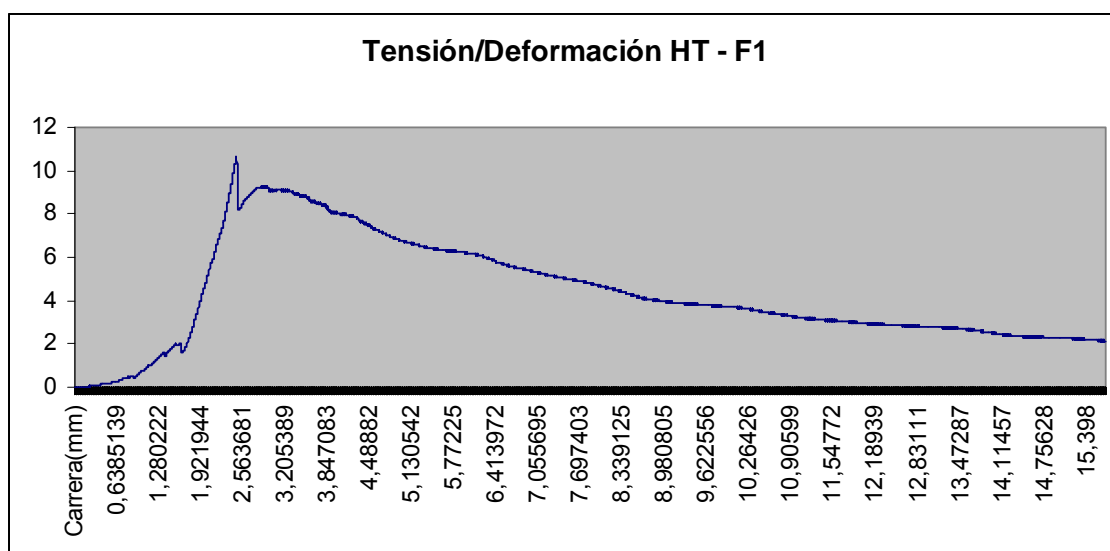
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	25/06/2012	
Referencia	HACF13	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Fuerza	
Velocidad	0,15	kN/s
Célula	100	kN
Índice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	13,01	mm
Resistencia máxima	5,2949	MPa
Fuerza máxima	11,7665	kN
Edad	14 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	10000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Lado	100	mm
Sección	Cuadrada	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



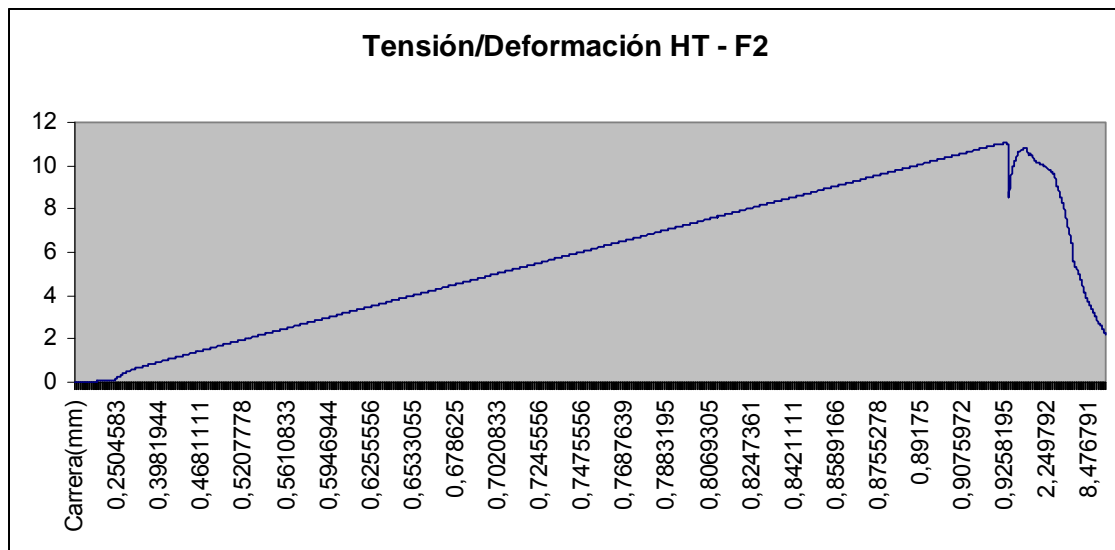
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	25/06/2012	
Referencia	HACF14	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Fuerza	
Velocidad	0,15	kN/s
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	9,98	mm
Resistencia máxima	6,1653	MPa
Fuerza máxima	13,7007	kN
Edad	28 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	10000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Lado	100	mm
Sección	Cuadrada	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



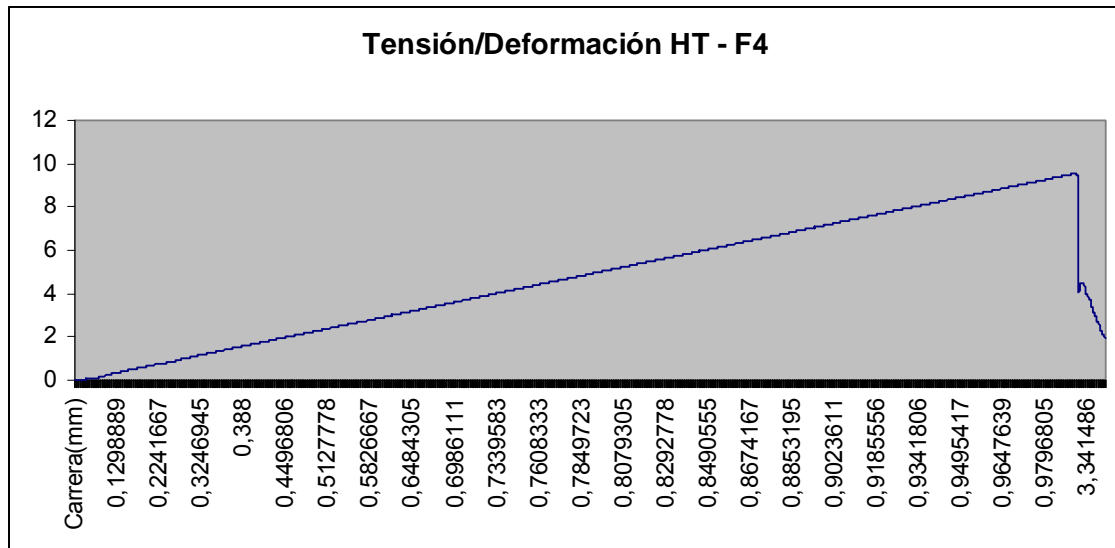
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	25/06/2012	
Referencia	HACF15	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Fuerza	
Velocidad	0,15	kN/s
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	2,85	mm
Resistencia máxima	4,6346	MPa
Fuerza máxima	10,2991	kN
Edad	14 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	10000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Lado	100	mm
Sección	Cuadrada	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



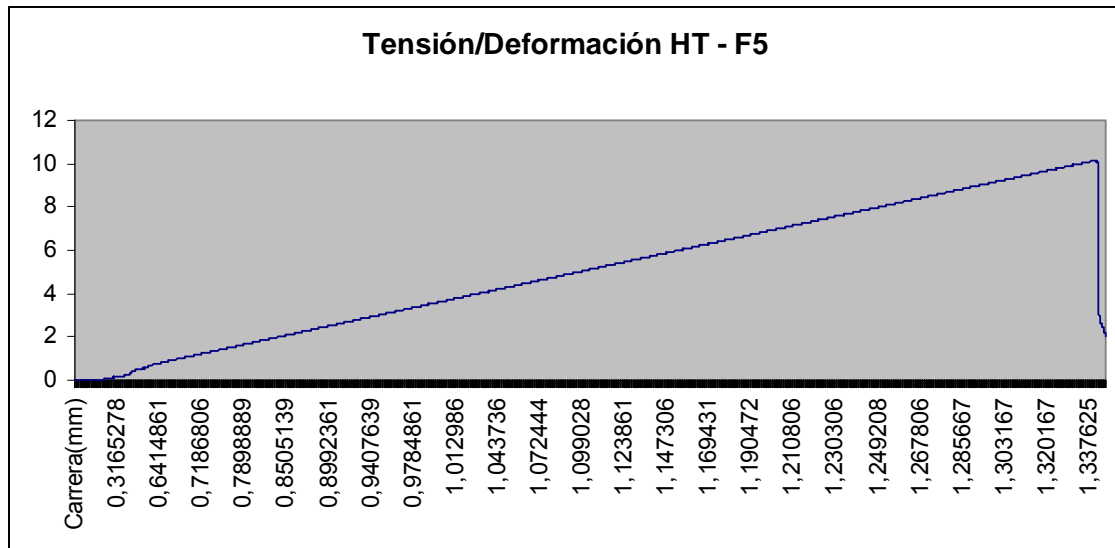
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	25/06/2012	
Referencia	HAF12	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Fuerza	
Velocidad	0,15	kN/s
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	12	mm
Resistencia máxima	6,8026	MPa
Fuerza máxima	15,1169	kN
Edad	28 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	10000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Lado	100	mm
Sección	Cuadrada	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



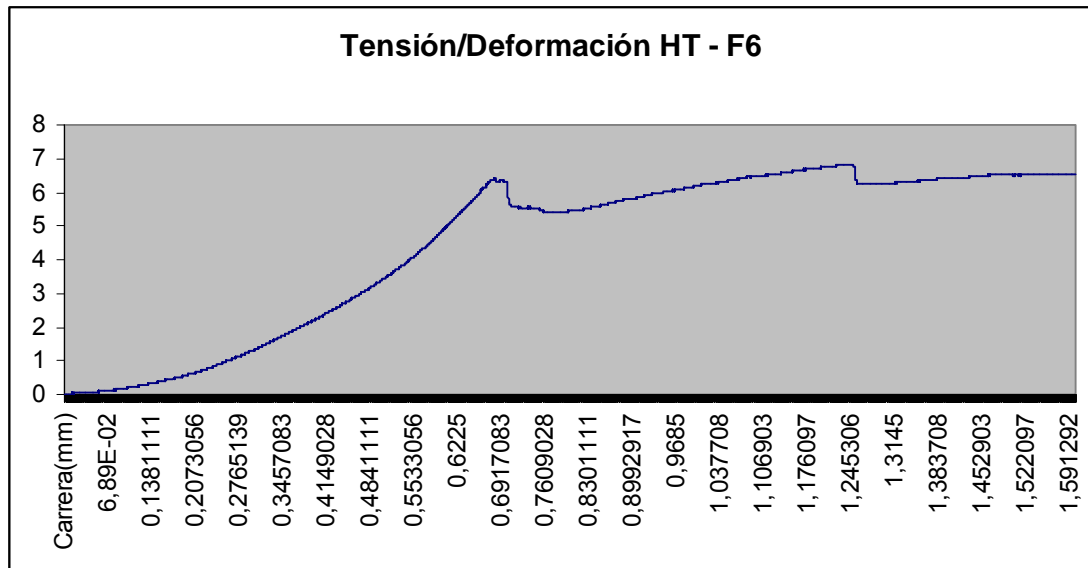
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	25/06/2012	
Referencia	HTF2	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Fuerza	
Velocidad	0,15	kN/s
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	12,93	mm
Resistencia máxima	6,9018	MPa
Fuerza máxima	11,0812	kN
Edad	28 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	8500	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Ancho	100	mm
Espesor	85	mm
Sección	Rectangular	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



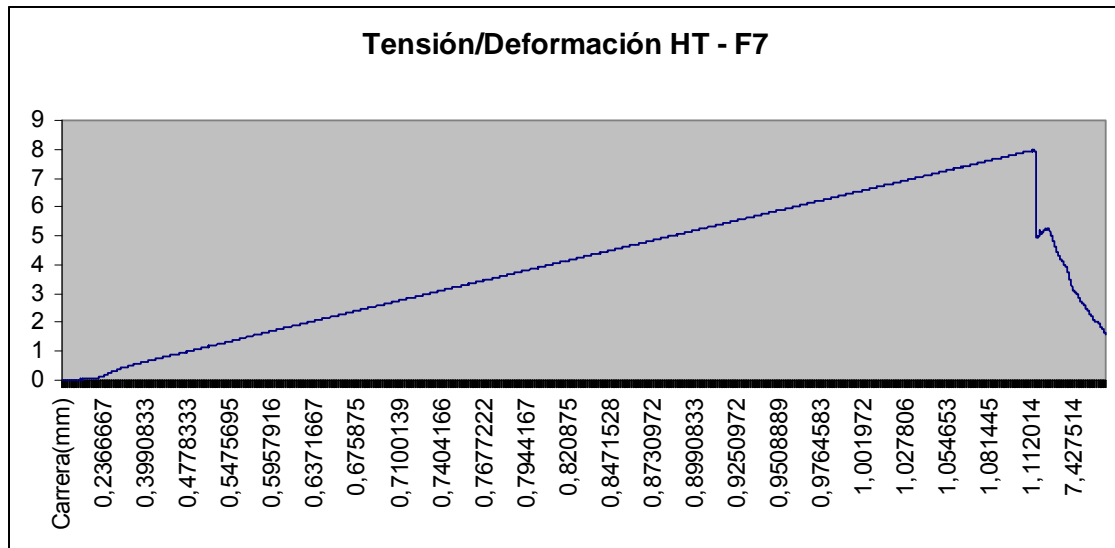
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	25/06/2012	
Referencia	HTF4	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Fuerza	
Velocidad	0,0803	kN/s
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	8,85	mm
Resistencia máxima	5,9429	MPa
Fuerza máxima	9,5417	kN
Edad	28 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	8500	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Ancho	100	mm
Espesor	85	mm
Sección	Rectangular	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



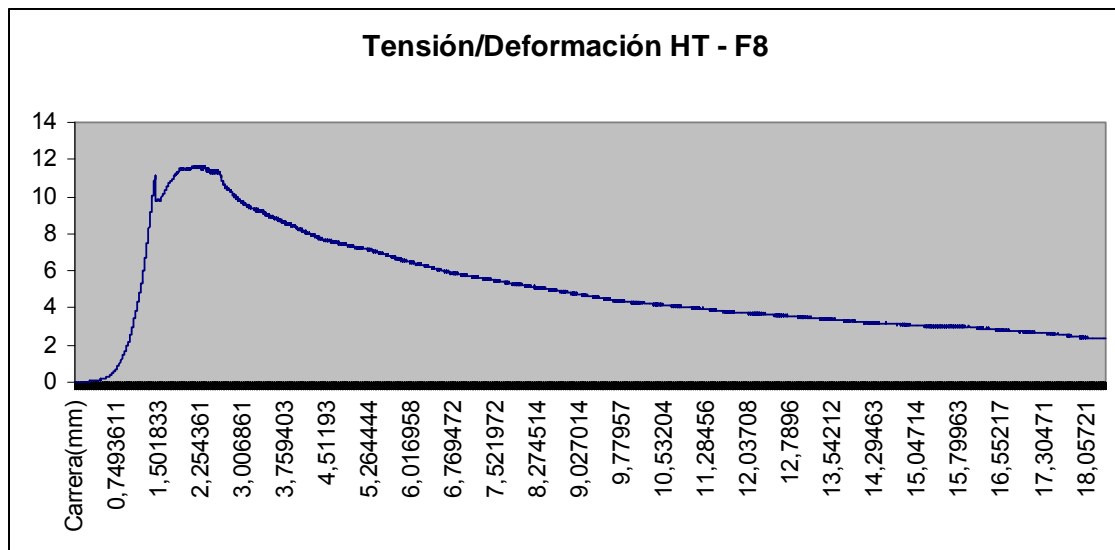
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	25/06/2012	
Referencia	HTF5	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Fuerza	
Velocidad	0,0803	kN/s
Célula	100 kN	
Índice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	4,02	mm
Resistencia máxima	6,3265	MPa
Fuerza máxima	10,1575	kN
Edad	28 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	8500	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Ancho	100	mm
Espesor	85	mm
Sección	Rectangular	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



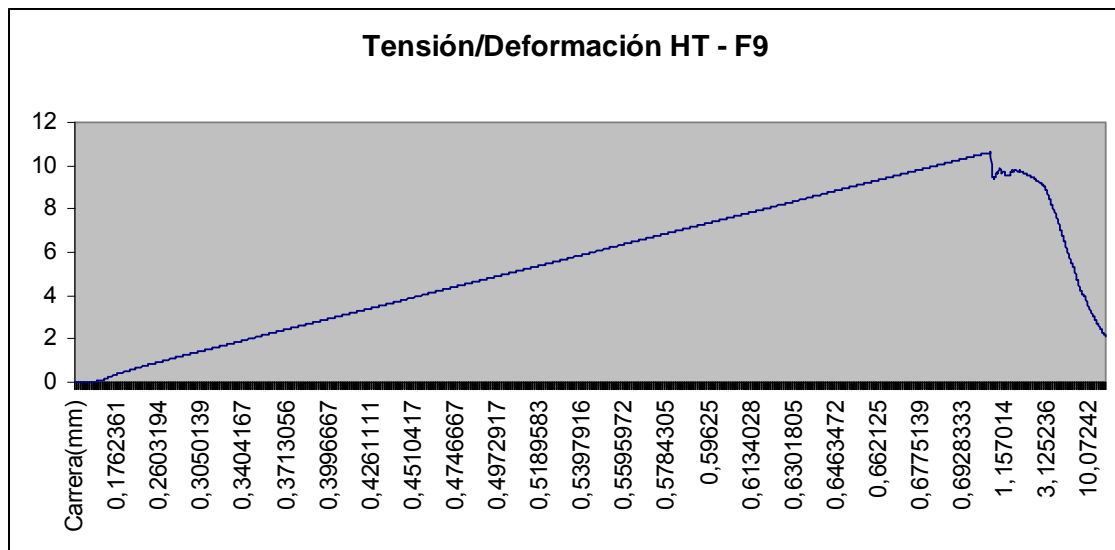
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	26/06/2012	
Referencia	HTF6cargalenta	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Carrera	
Velocidad	0,15	mm/min
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	2,59	mm
Resistencia máxima	5,4583	MPa
Fuerza máxima	6,8229	kN
Edad	28 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	7500	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Ancho	100	mm
Espesor	75	mm
Sección	Rectangular	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



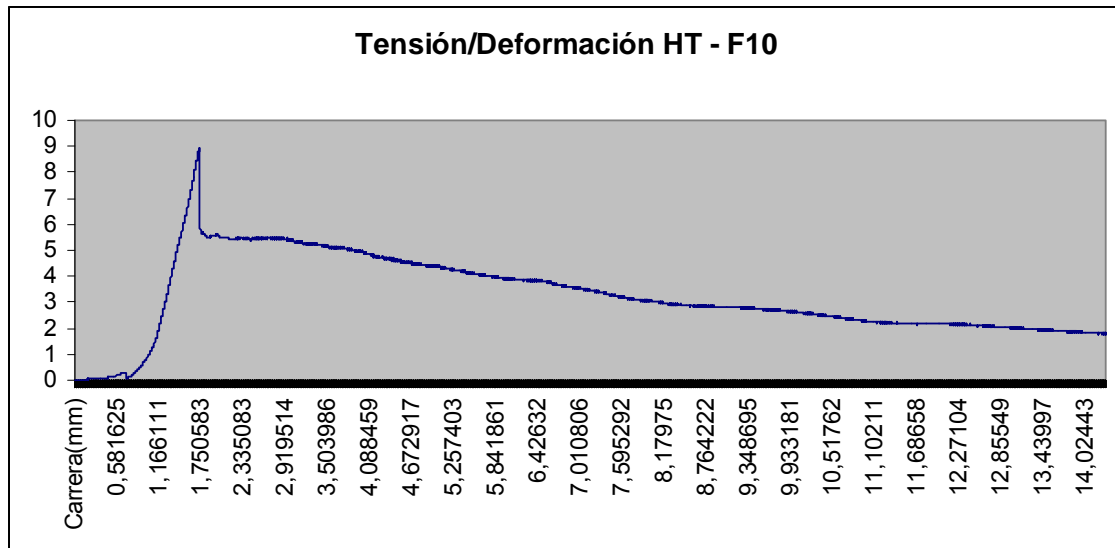
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	25/06/2012	
Referencia	HTF7	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Fuerza	
Velocidad	0,0711	kN/s
Célula	100 kN	
Índice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	15,63	mm
Resistencia máxima	5,6019	MPa
Fuerza máxima	7,9672	kN
Edad	28 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	8000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Ancho	100	mm
Espesor	80	mm
Sección	Rectangular	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



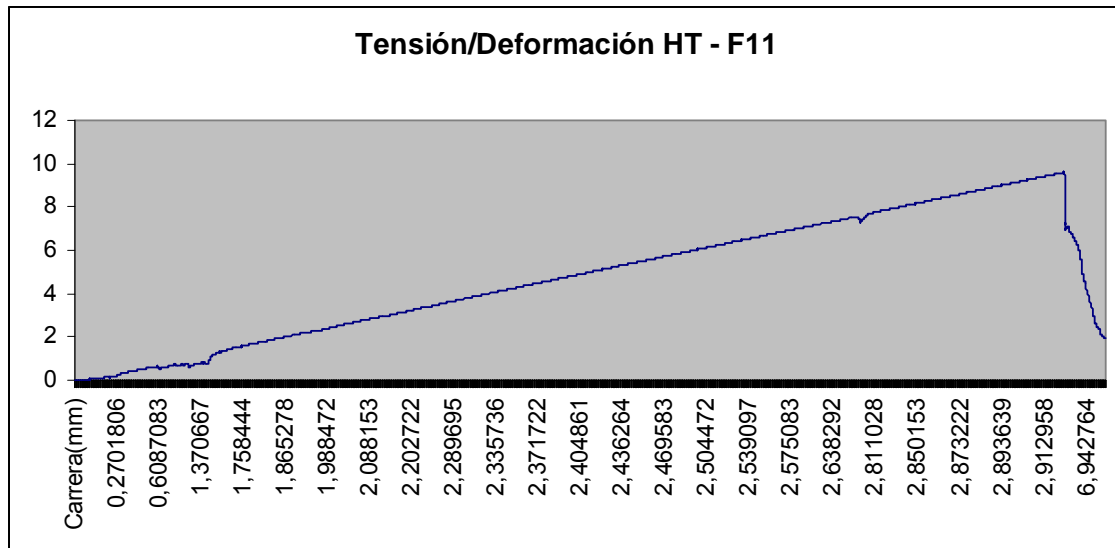
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	26/06/2012	
Referencia	HTF8cargalenta	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Carrera	
Velocidad	2,77	mm/min
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	18,4	mm
Resistencia máxima	7,2585	MPa
Fuerza máxima	11,6539	kN
Edad	28 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	8500	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Ancho	100	mm
Espesor	85	mm
Sección	Rectangular	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



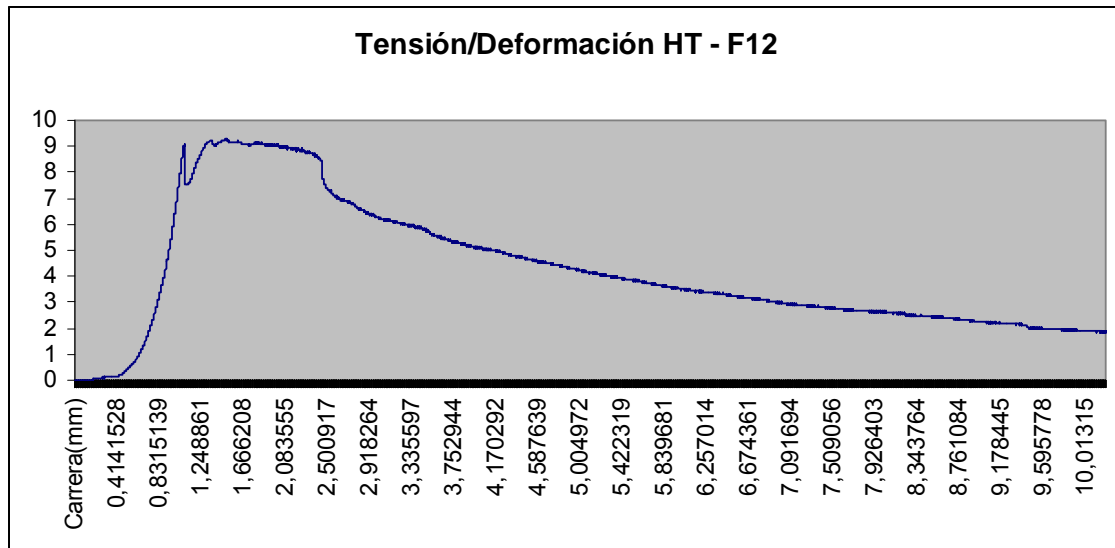
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	25/06/2012	
Referencia	HTF9	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Fuerza	
Velocidad	0,15	kN/s
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	14,33	mm
Resistencia máxima	7,4579	MPa
Fuerza máxima	10,6068	kN
Edad	28 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	8000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Ancho	100	mm
Espesor	80	mm
Sección	Rectangular	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



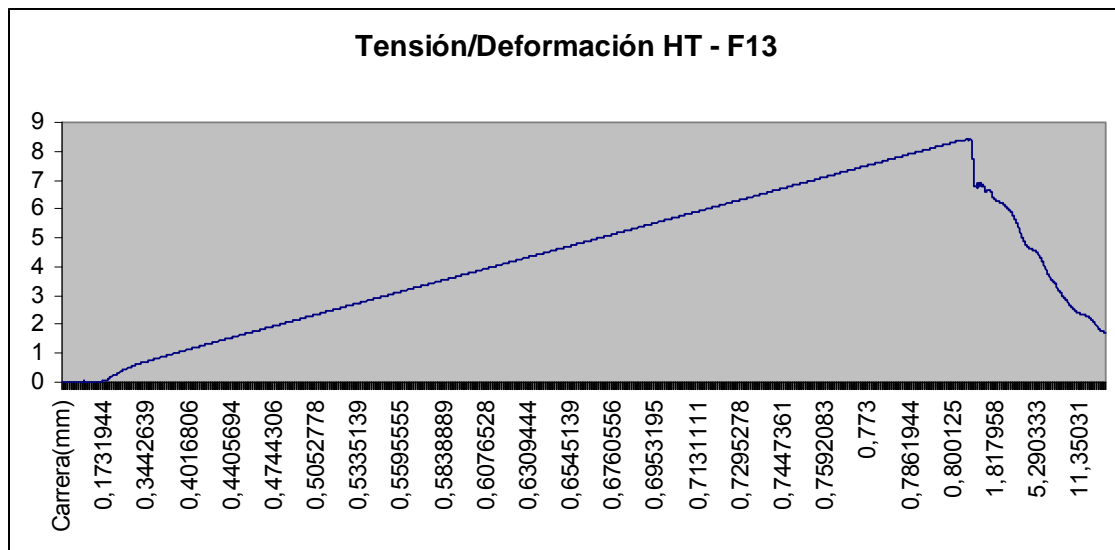
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	26/06/2012	
Referencia	HTF10cargalenta	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Carrera	
Velocidad	0,15	mm/min
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	14,3	mm
Resistencia máxima	6,2803	MPa
Fuerza máxima	8,932	kN
Edad	28 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	8000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Ancho	100	mm
Espesor	80	mm
Sección	Rectangular	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



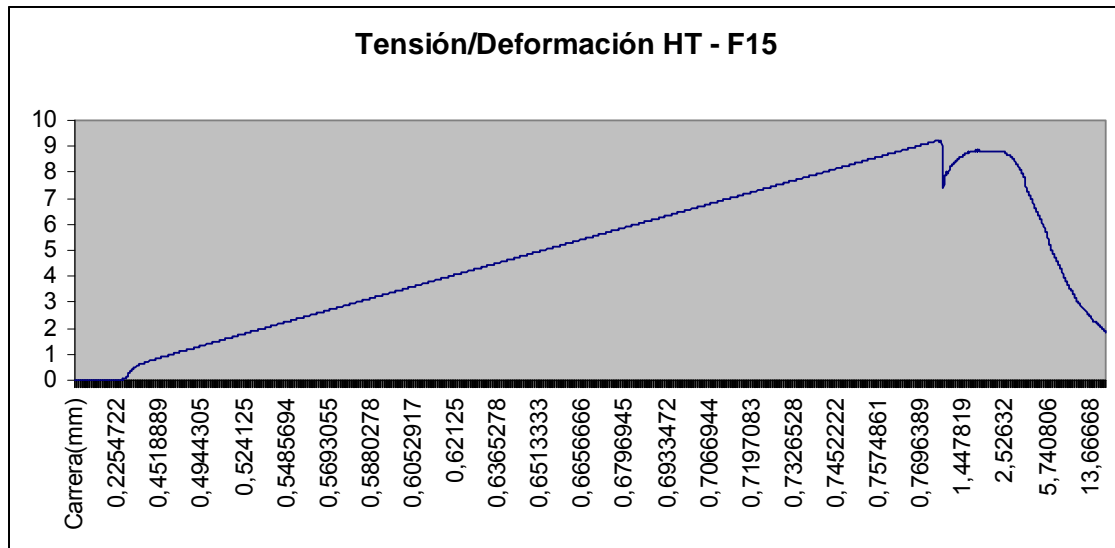
Temperatura	22	
Fecha de ensayo	25/06/2012	
Referencia	HTF11	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Fuerza	
Velocidad	0,15	kN/s
Célula	100 kN	
Índice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	14,02	mm
Resistencia máxima	6,7451	MPa
Fuerza máxima	9,593	kN
Edad	28 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	8000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Ancho	100	mm
Espesor	80	mm
Sección	Rectangular	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



Temperatura	22	
Fecha de ensayo	26/06/2012	
Referencia	HTF12cargalenta	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Carrera	
Velocidad	2,77	mm/min
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	10,21	mm
Resistencia máxima	6,5247	MPa
Fuerza máxima	9,2796	kN
Edad	28 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	8000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Ancho	100	mm
Espesor	80	mm
Sección	Rectangular	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



Temperatura	22	
Fecha de ensayo	25/06/2012	
Referencia	HTF13	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Fuerza	
Velocidad	0,15	kN/s
Célula	100 kN	
Indice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	15,88	mm
Resistencia máxima	5,9231	MPa
Fuerza máxima	8,4239	kN
Edad	28 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	8000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Ancho	100	mm
Espesor	80	mm
Sección	Rectangular	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm



Temperatura	22	
Fecha de ensayo	25/06/2012	
Referencia	HTF15	
Modo de ensayo	Flexión	
Modo de control	Fuerza	
Velocidad	0,15	kN/s
Célula	100	kN
Índice tenacidad (Flexión)	0	
Pendiente (Cálculo de regresión)	0	
Desplazamiento (Cálculo de regresión)	0	
Cfe. correlación (Cálculo de regresión)	0	
Coef. determinación (Cálculo de regresión)	0	
Tenacidad (Flexión)	0	kNmm
Carga primera fisura (Flexión)	0	kN
Flecha primera fisura (Flexión)	0	mm
Vel. Aumento flecha (Flexión)	1 / 2000.0	
Norma (Flexión)	UNE 83-510	
Deformación máxima Lon.	0	mm
Carrera máxima	17,35	mm
Resistencia máxima	6,4941	MPa
Fuerza máxima	9,2361	kN
Edad	28 días	
Resit. del proyecto	100	MPa
Área	8000	mm ²
Distancia entre apoyos de carga	0	mm
Distancia entre apoyos (inf.)	300	mm
Longitud	400	mm
Ancho	100	mm
Espesor	80	mm
Sección	Rectangular	
Material	Hormigón fibra	
Muestra	1	
Procedencia	TFG 32	
Long. base deformación (Le) Lon.	0	mm
Long. base carrera	135	mm

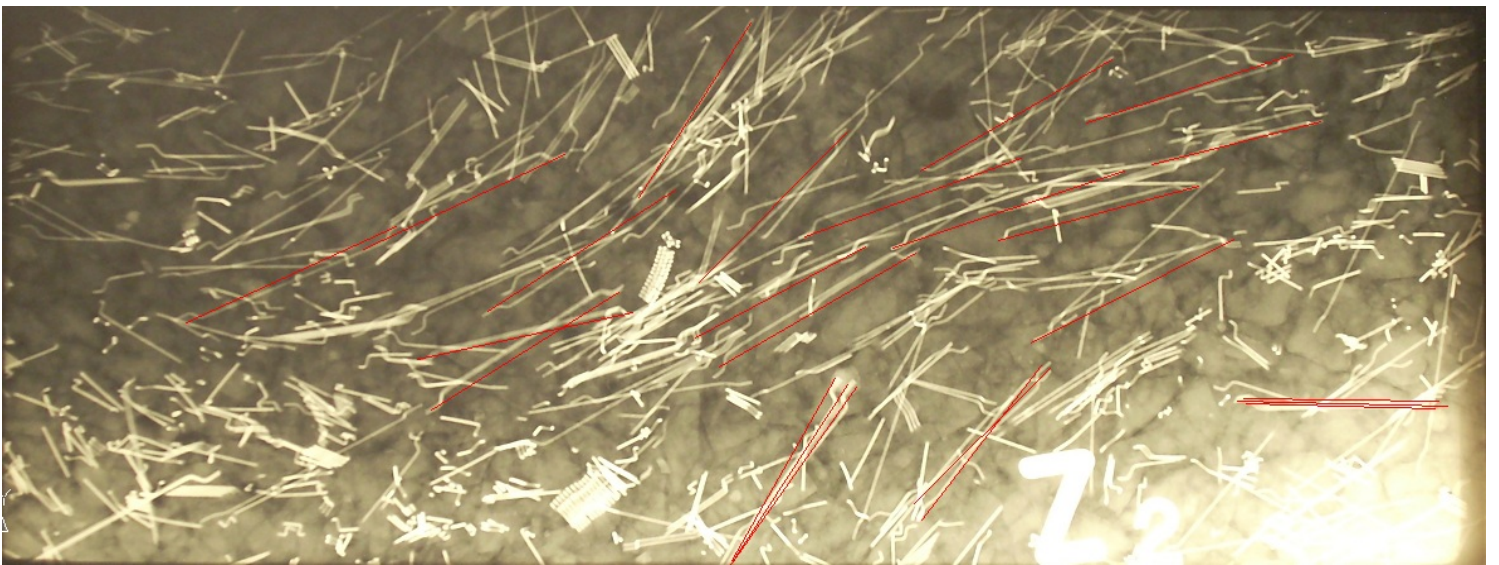
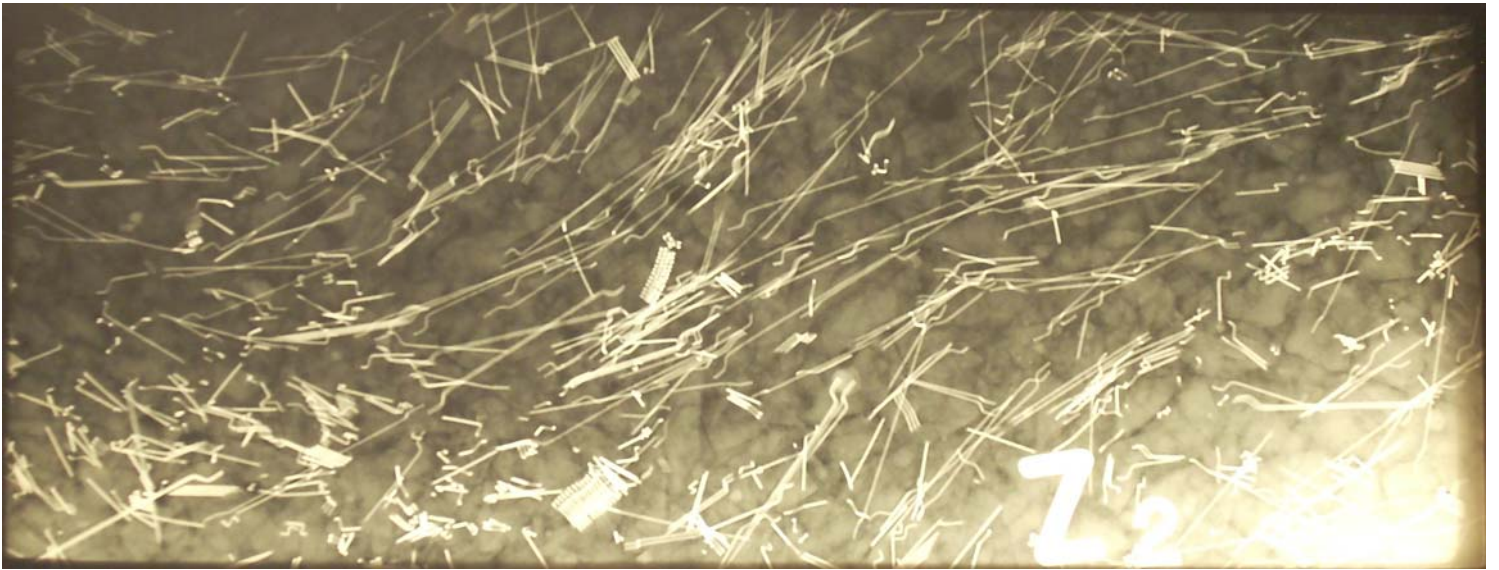
PLANNING ROTURA DE PROBETAS						
CÓDIGO	TIPO	DIA DE AMASADO	DIA DE ROTURA	RESISTENCIA A COMPRESION	CARGA (kN)	RESISTENCIA A TRACCIÓN
HA F15	HAC	11-6	25-6	30,0	10,3	4,6
HA F13	HAC	11-6	25-6	30,0	11,8	5,3
HA F11	HAC	11-6	25-6	30,0	15,5	7,0
HA F10	HAC	11-6	25-6	30,0	13,8	6,2
HA F8	HAC	11-6	25-6	30,0	13,7	6,1
HA F6	HAC	11-6	25-6	30,0	13,6	6,1
HA F5	HAC	11-6	25-6	30,0	15,8	7,1
HA F3	HAC	11-6	26-6	30,0	20,2	9,1
HA F1	HAC	11-6	26-6	30,0	17,6	7,9
HT F13	HT	29-5	25-6	40,0	8,4	5,9
HT F15	HT	29-5	25-6	40,0	9,2	6,5
HT F2	HT	29-5	25-6	40,0	11,1	6,9
HT F7	HT	29-5	25-6	40,0	7,9	5,6
HT F5	HT	29-5	25-6	40,0	10,2	6,3
HT F4	HT	29-5	25-6	40,0	9,5	5,9
HT F9	HT	29-5	25-6	40,0	10,6	7,5
HT F11	HT	29-5	25-6	40,0	9,6	6,7
HA F12	HAC	11-6	25-6	30,0	15,1	6,8
HA F14	HAC	11-6	25-6	30,0	13,7	6,2
HA F7	HAC	11-6	26-6	30,0	16,0	7,2
HA F9	HAC	11-6	26-6	30,0	19,7	8,9
HA F2	HAC	11-6	26-6	30,0	20,2	9,1
HA F4	HAC	11-6	26-6	30,0	24,5	11,1
HT F14	HT	29-5	26-6	40,0	10,2	8,1
HT F12	HT	29-5	26-6	40,0	9,3	6,5
HT F6	HT	29-5	26-6	40,0	6,8	5,5
HT F3	HT	29-5	26-6	40,0	9,0	5,6
HT F1	HT	29-5	26-6	40,0	10,6	5,9
HT F8	HT	29-5	26-6	40,0	11,7	7,3
HT F10	HT	29-5	26-6	40,0	8,93	6,28

2 – Radiografías

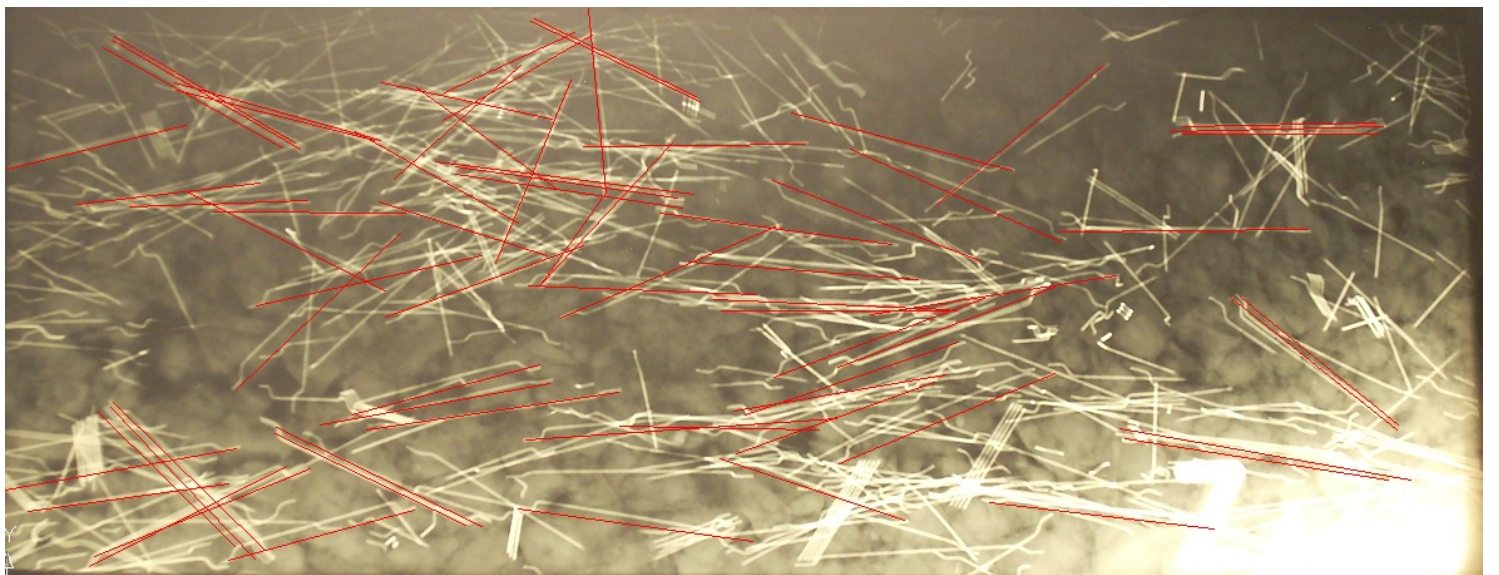
HAC R1



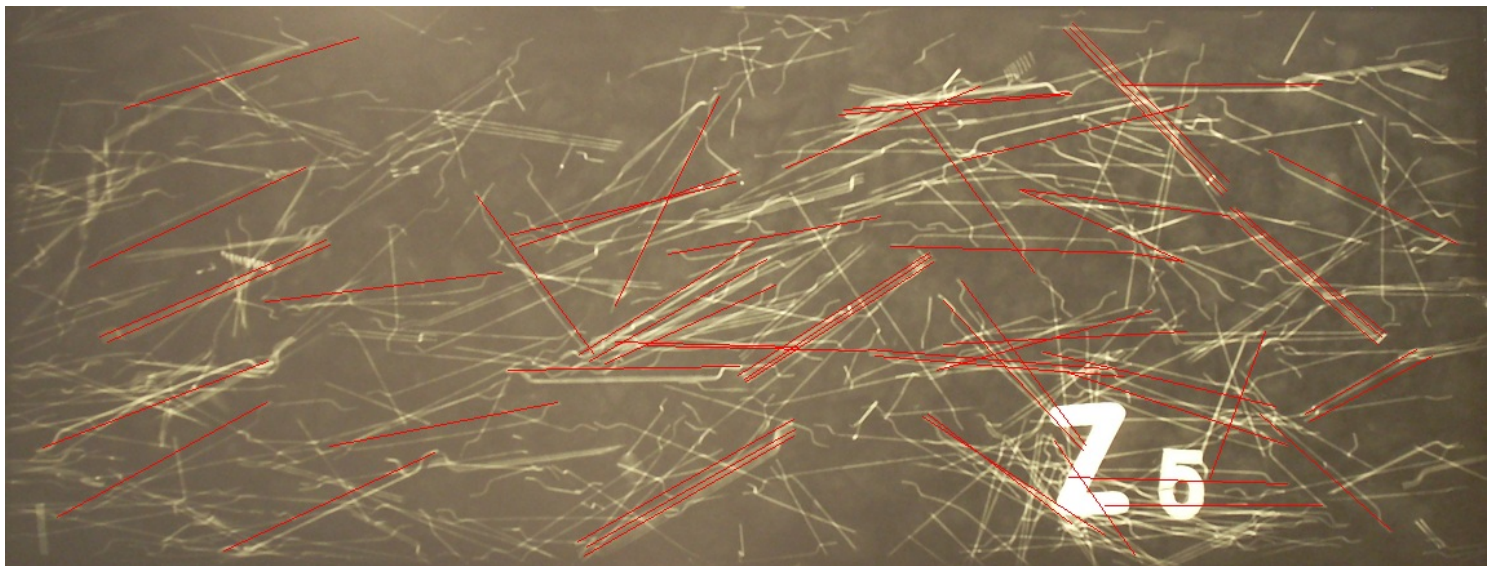
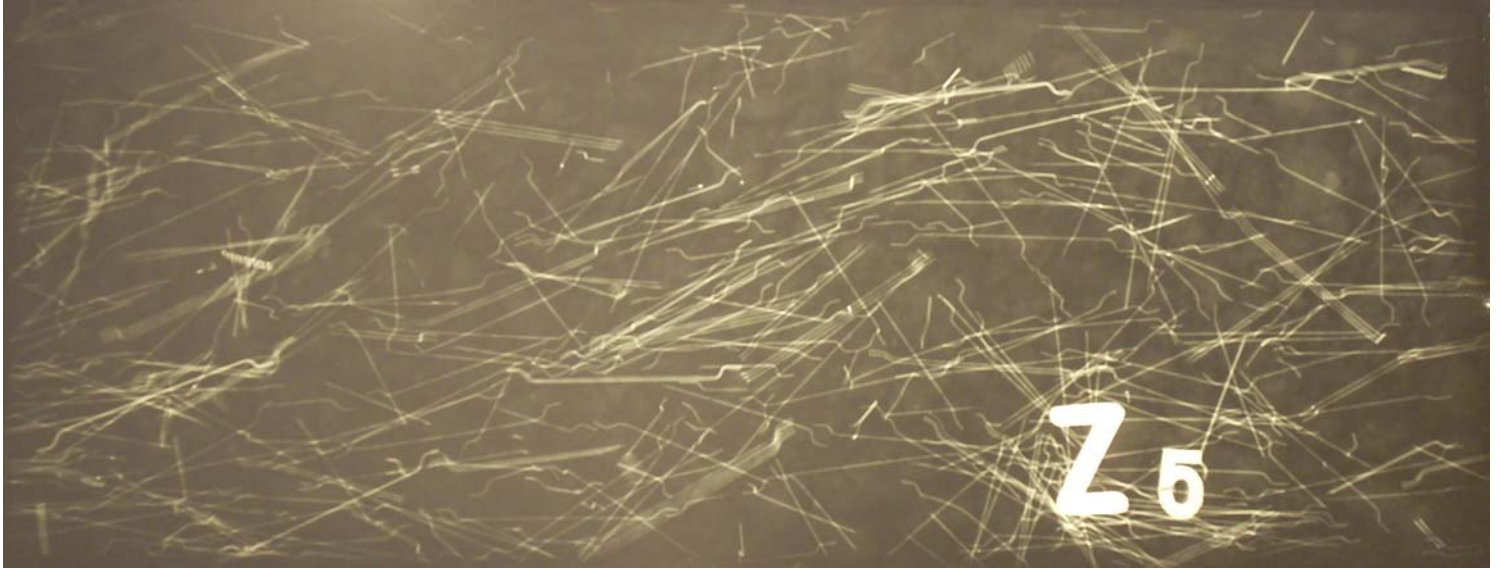
HACR2



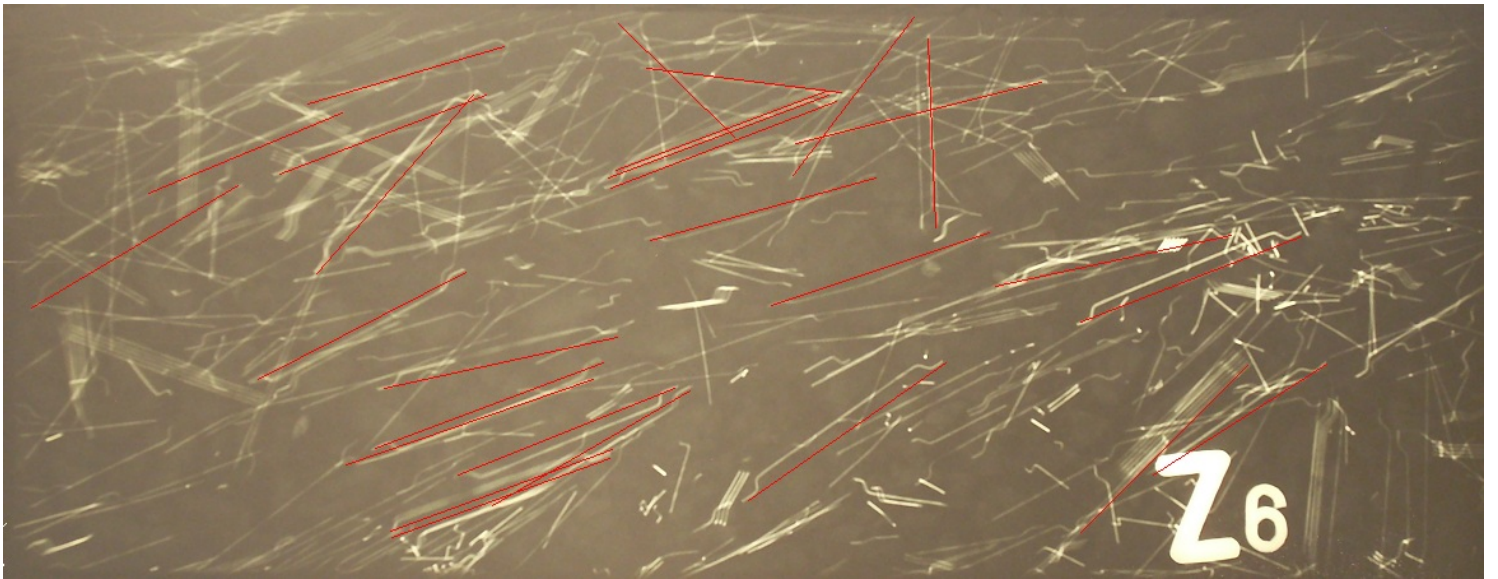
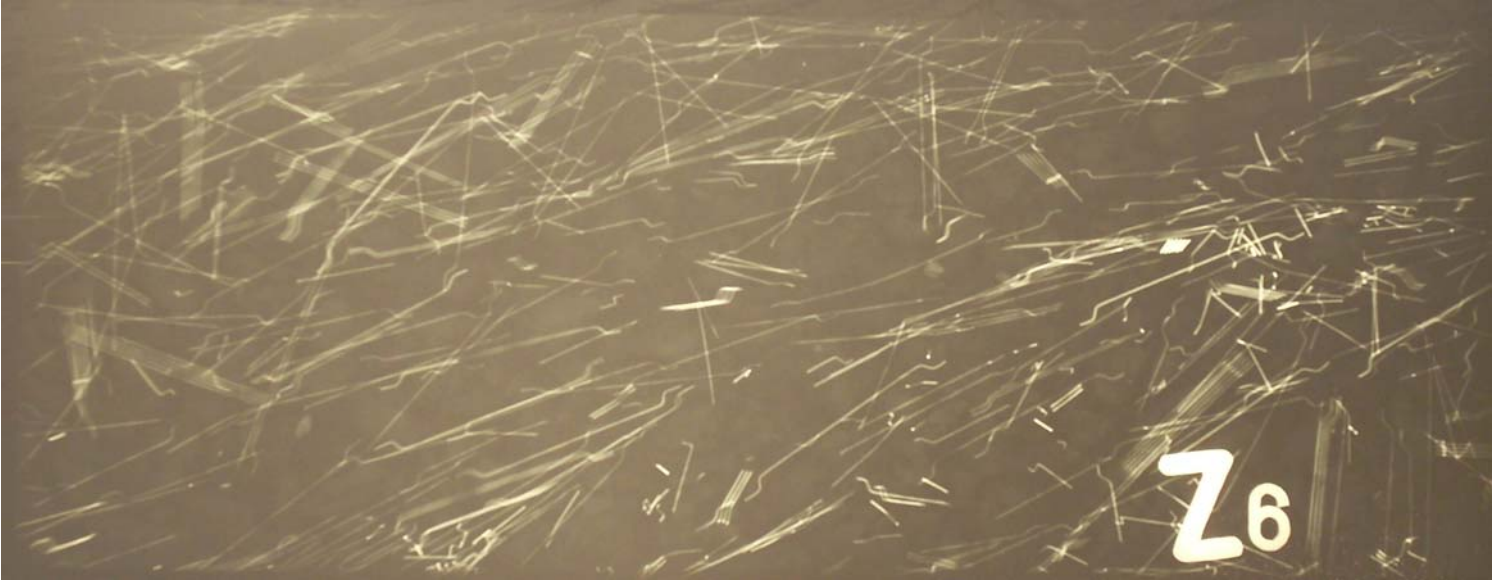
HACR3



HACR5



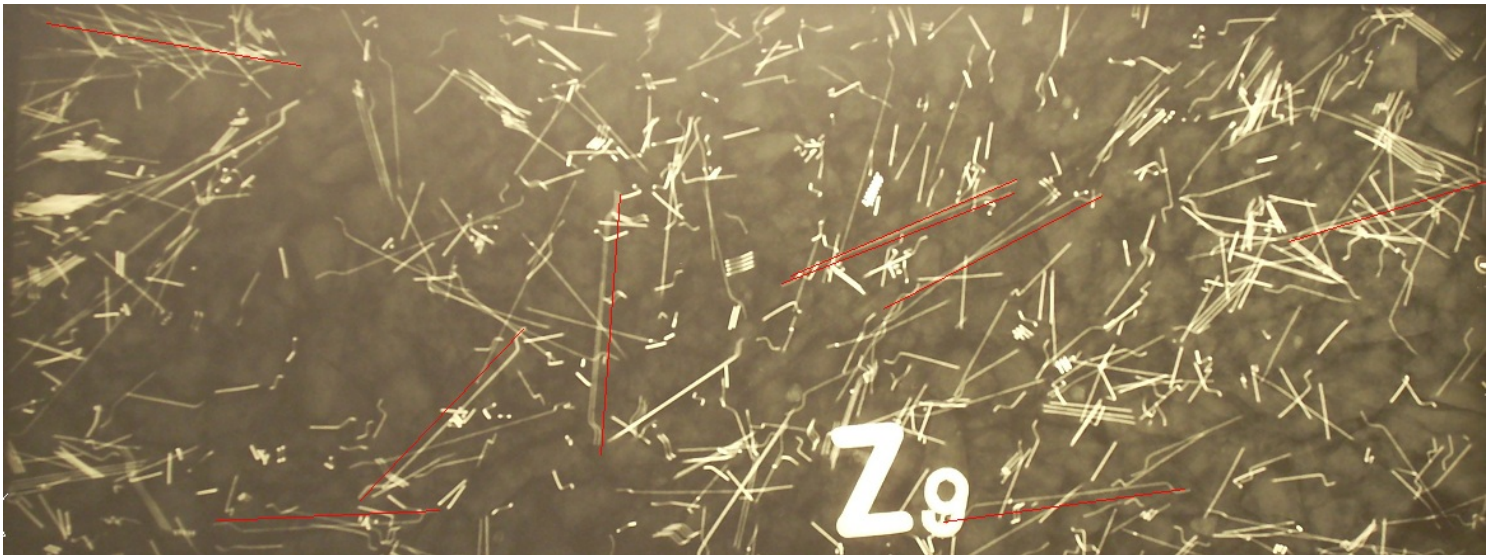
HACR6



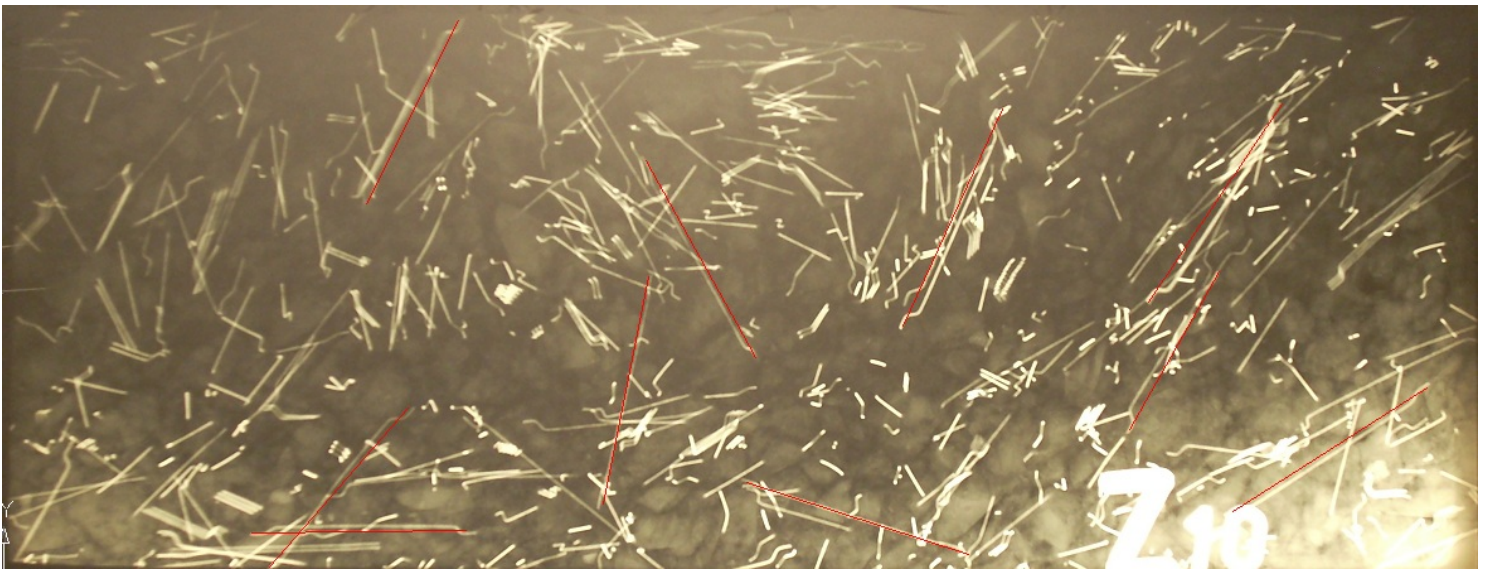
HACR7



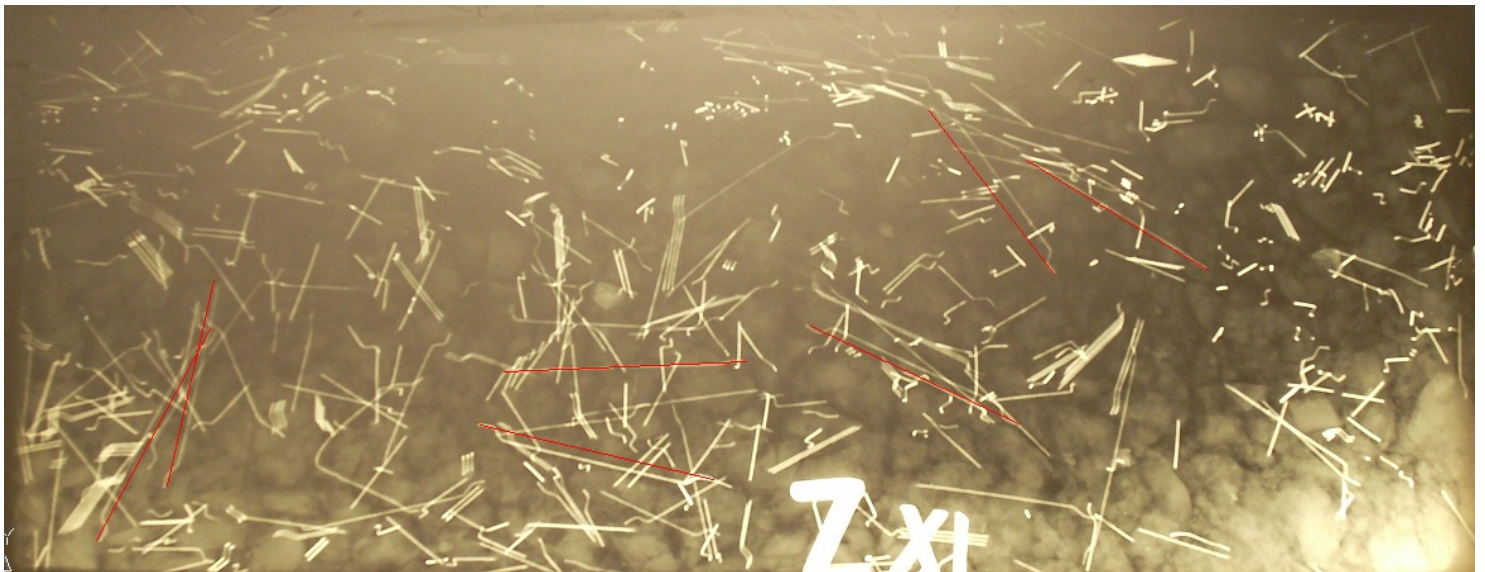
HACR9



HACR10



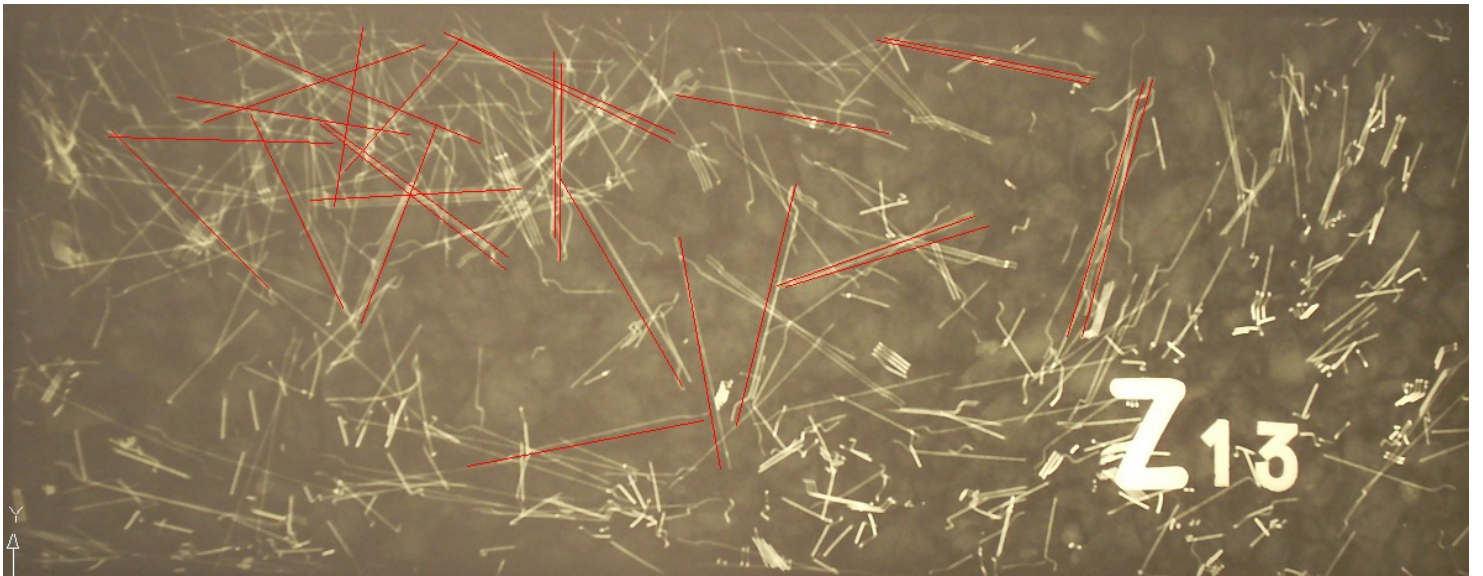
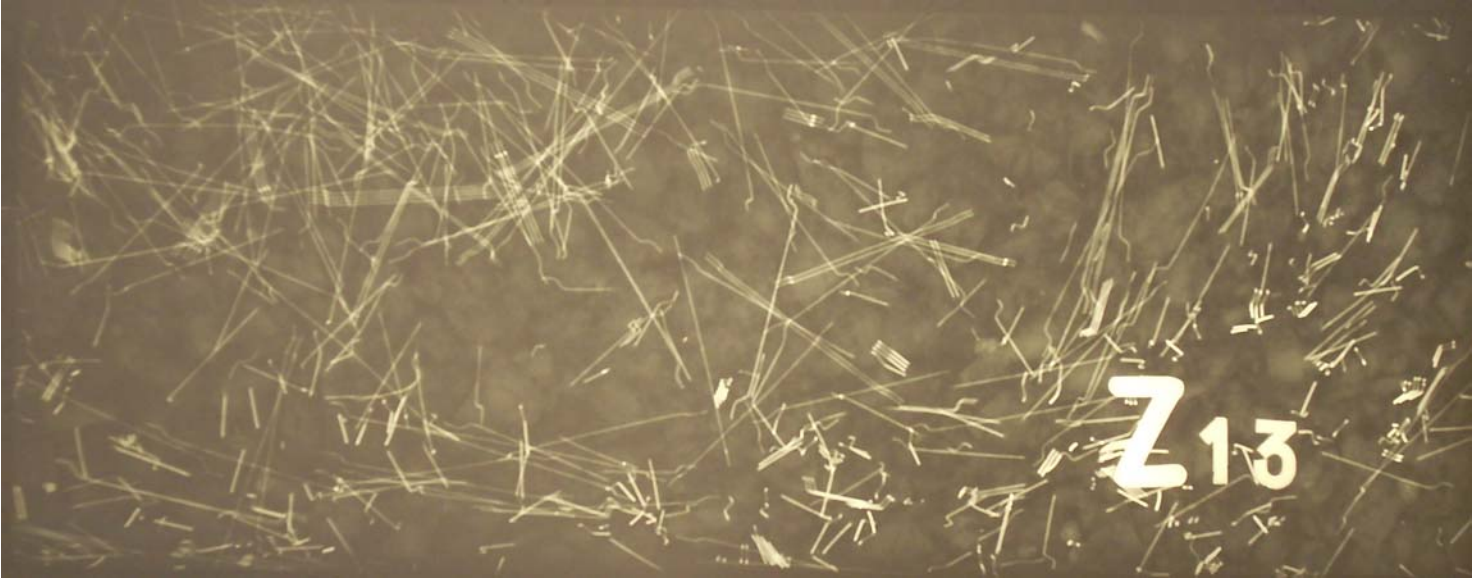
HACR11



HACR12



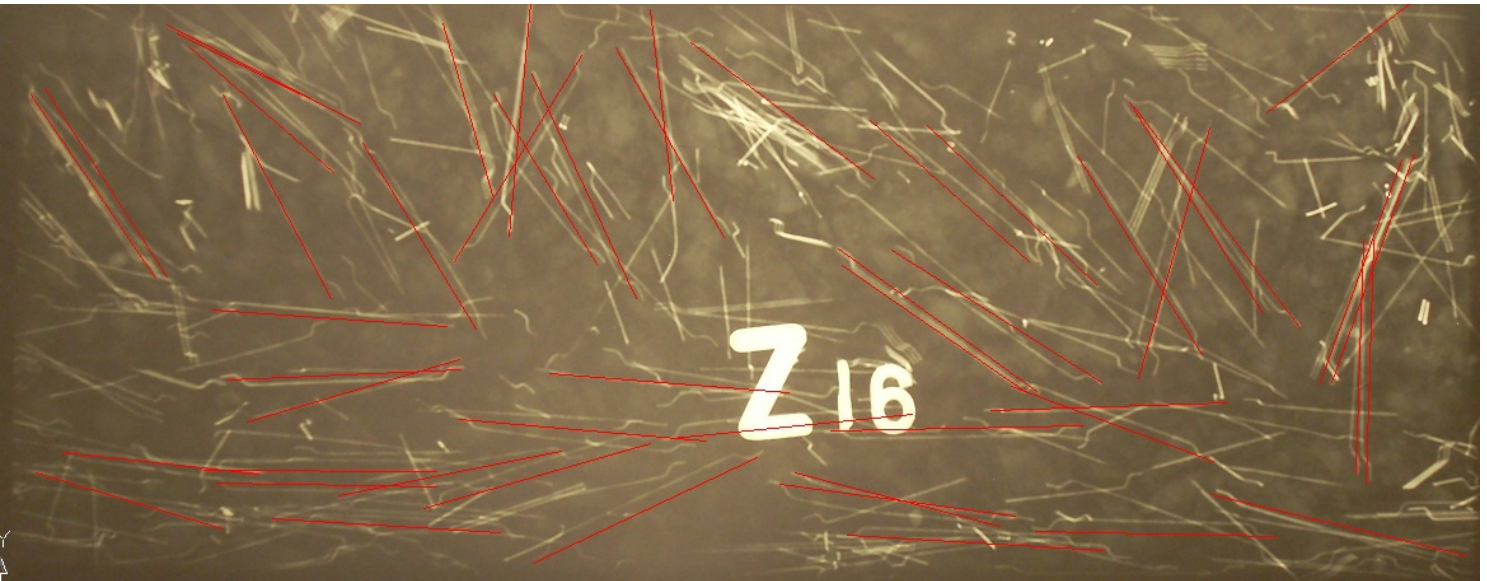
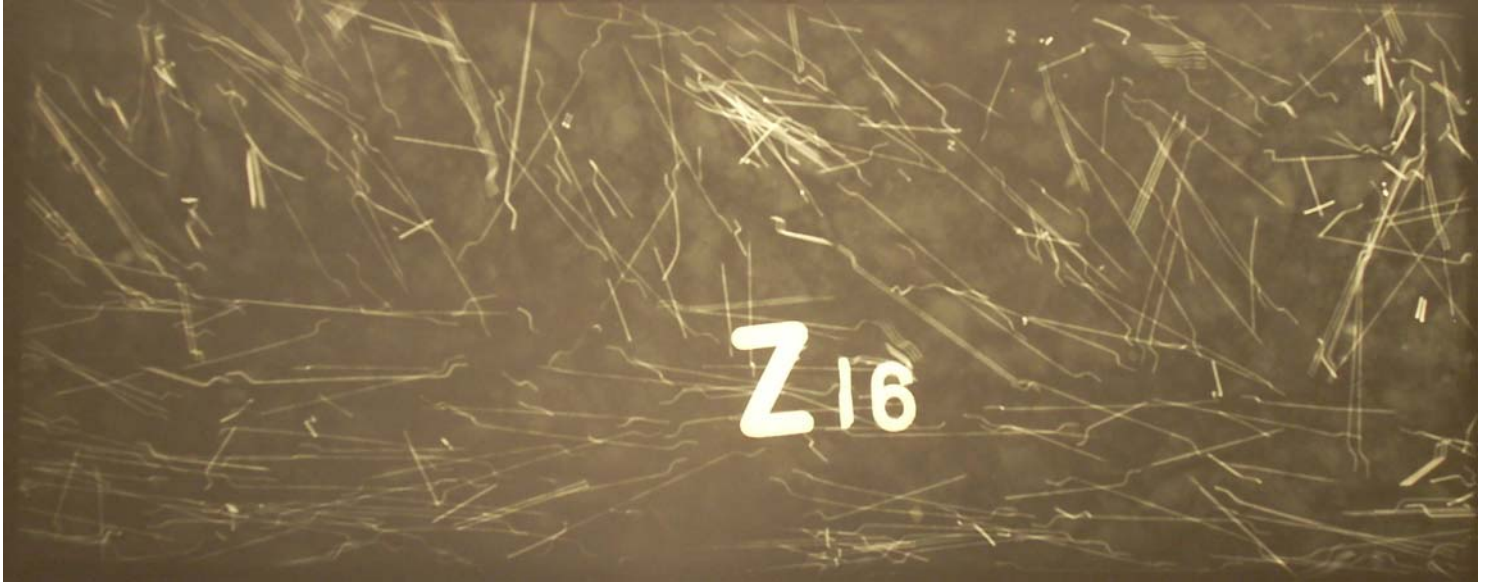
HACR13



HACR15



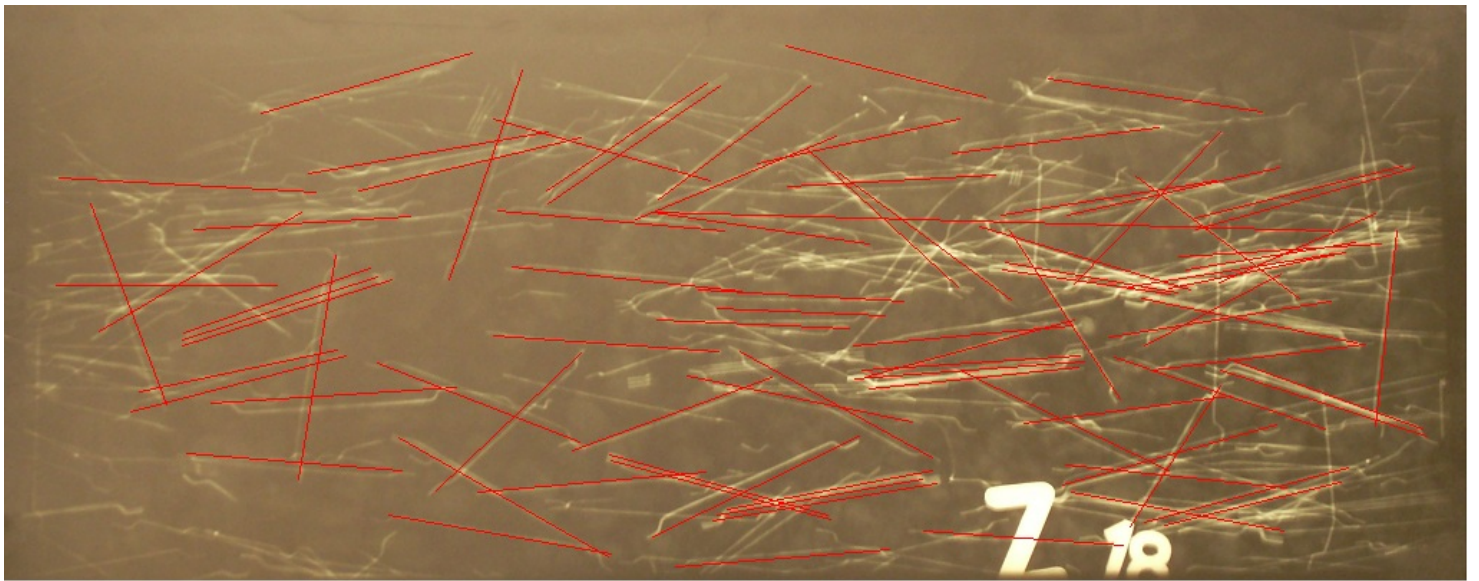
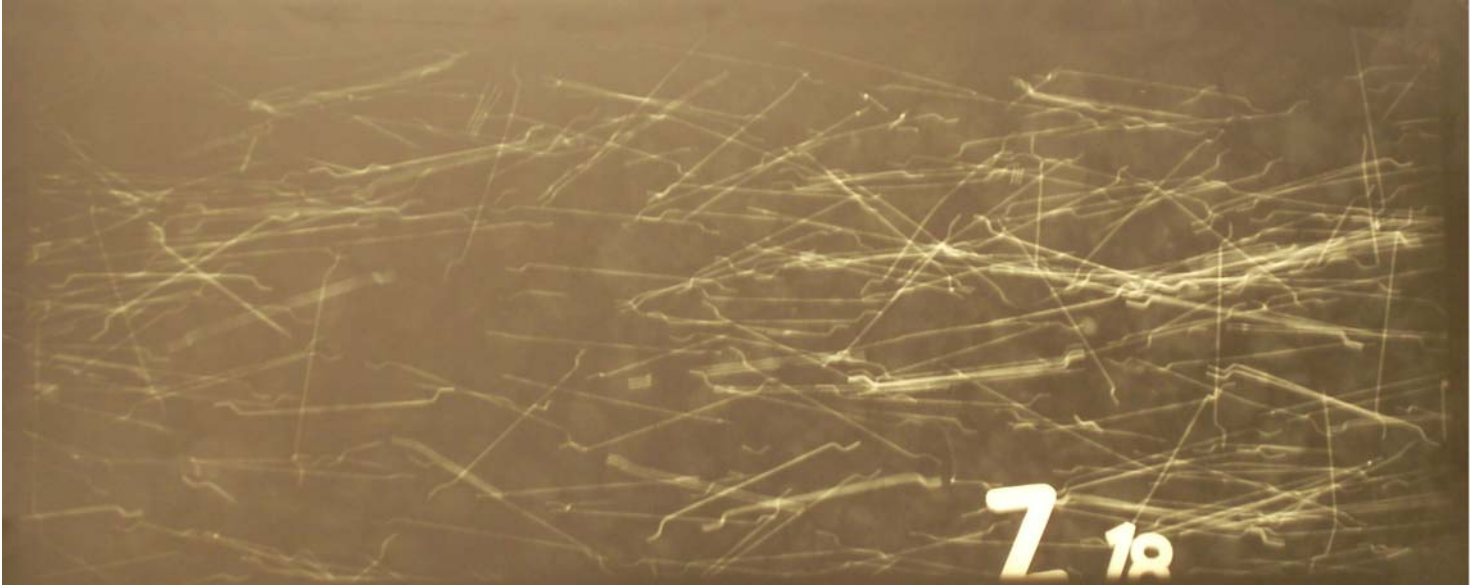
HACR16



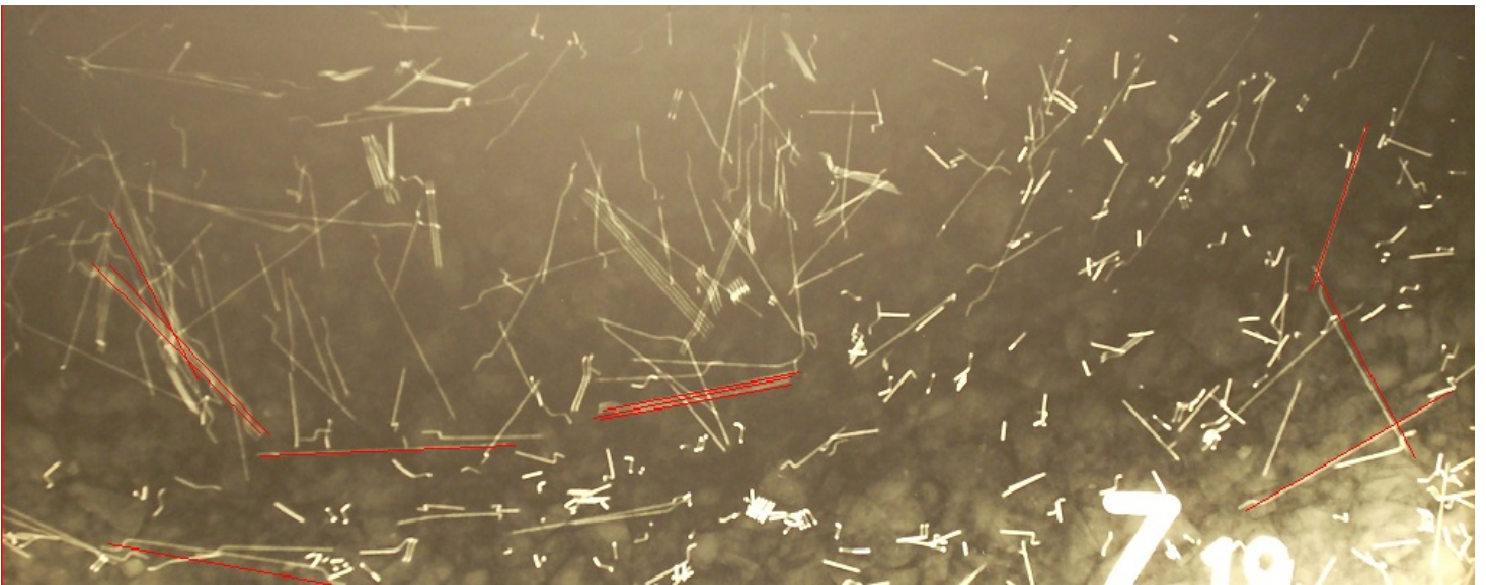
HACR17



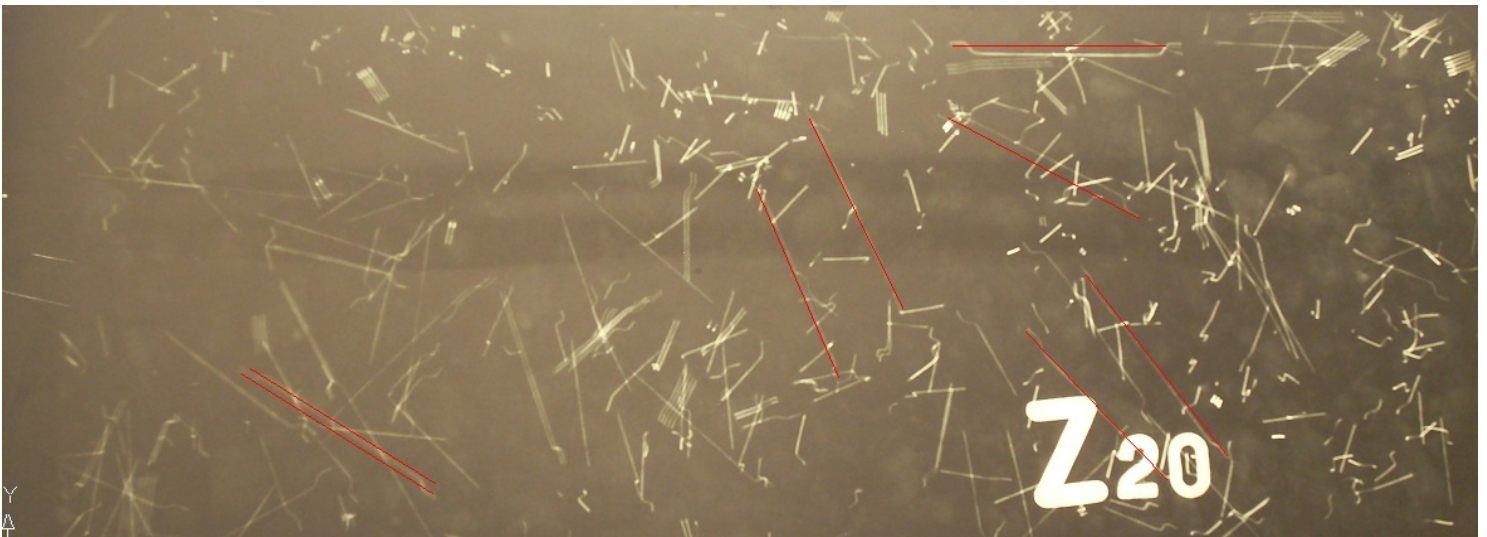
HACR18



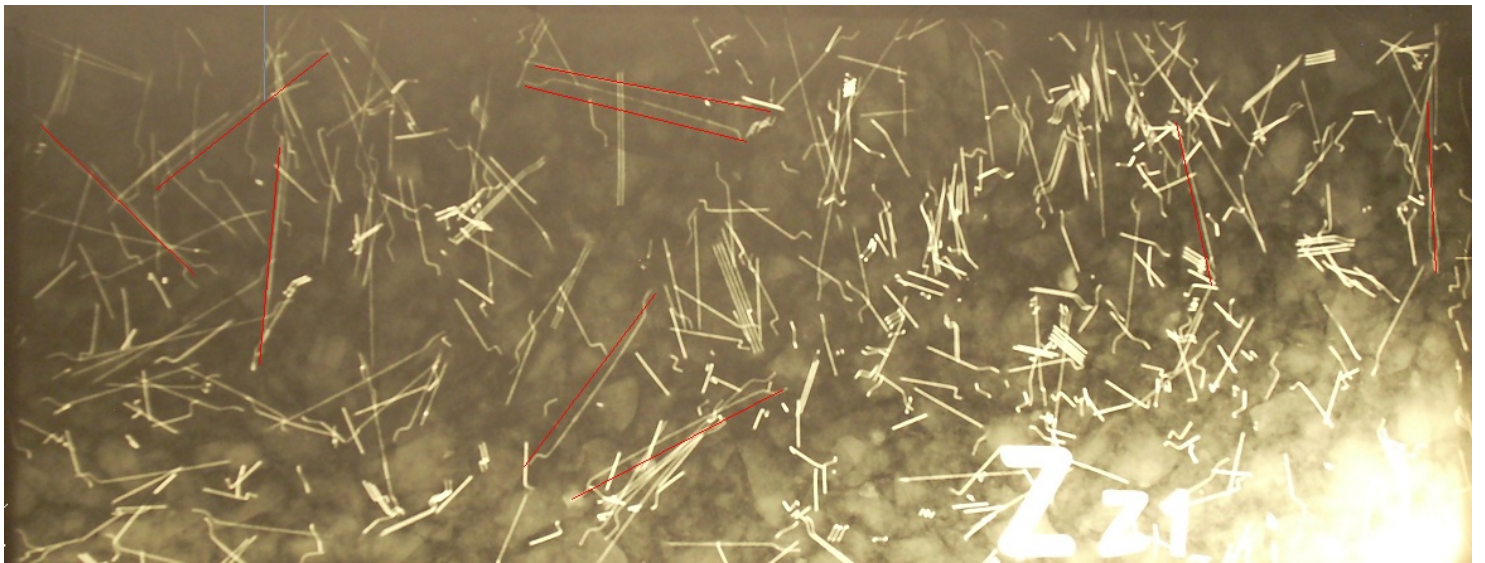
HACR19



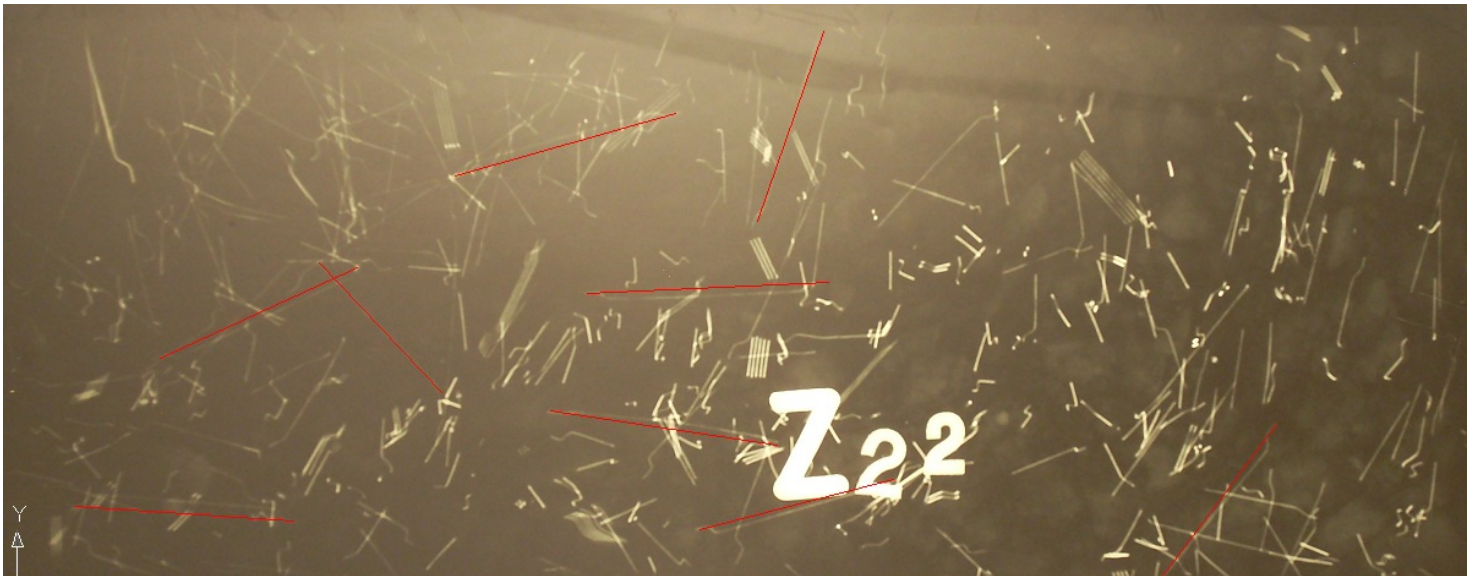
HACR20



HACR21



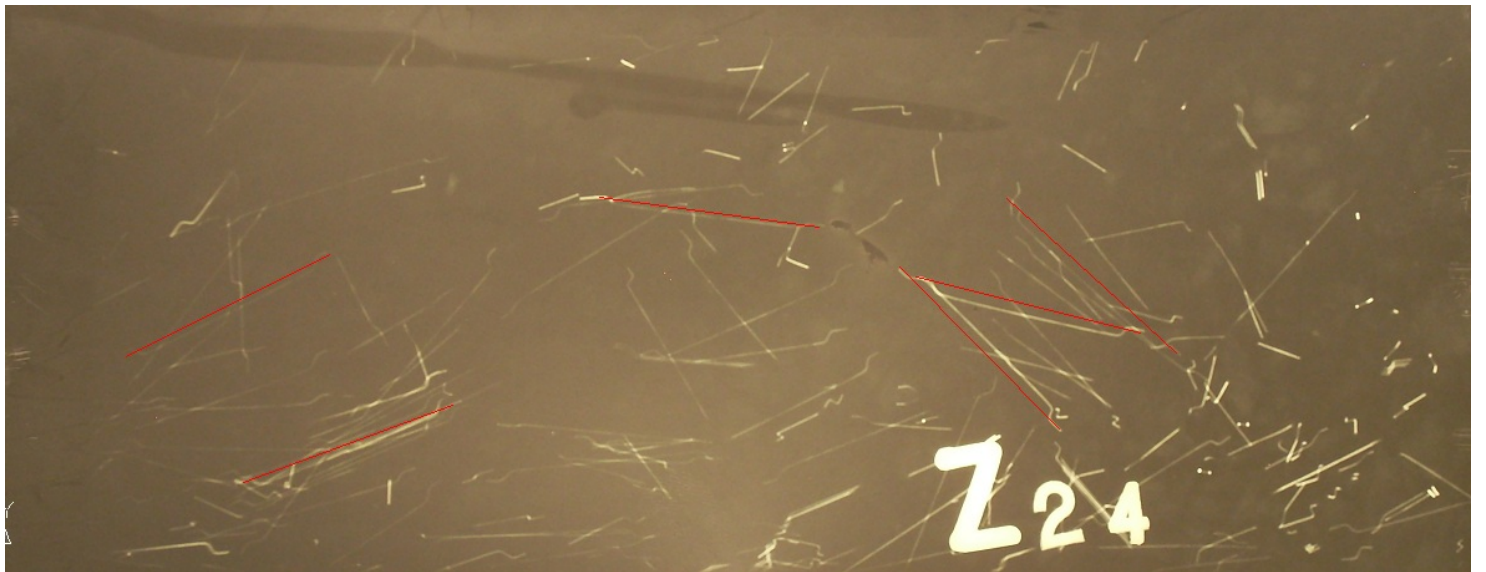
HACR22



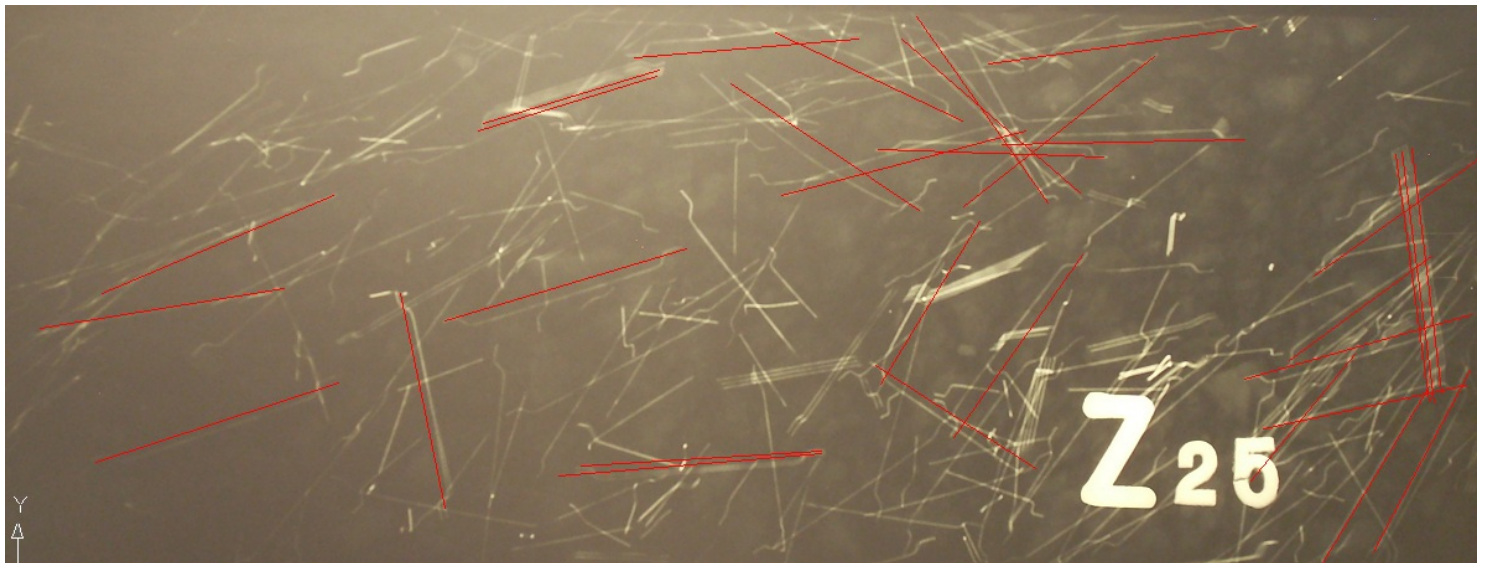
HACR23



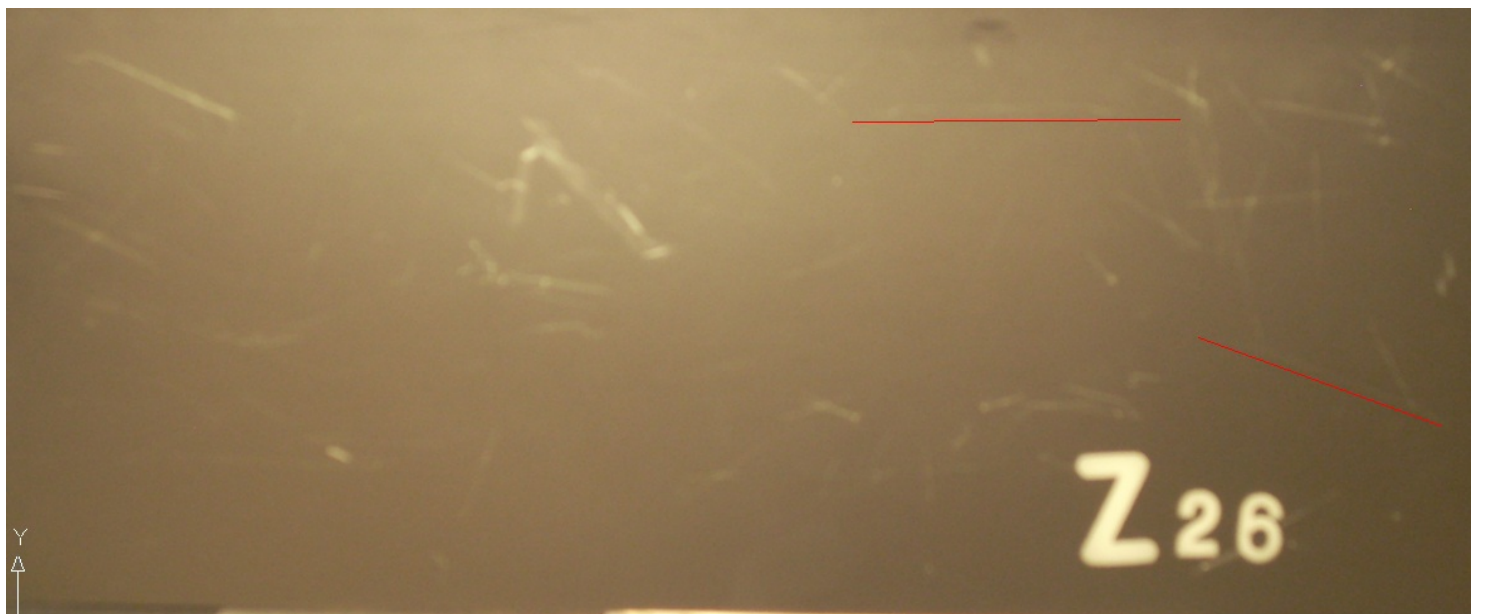
HACR24



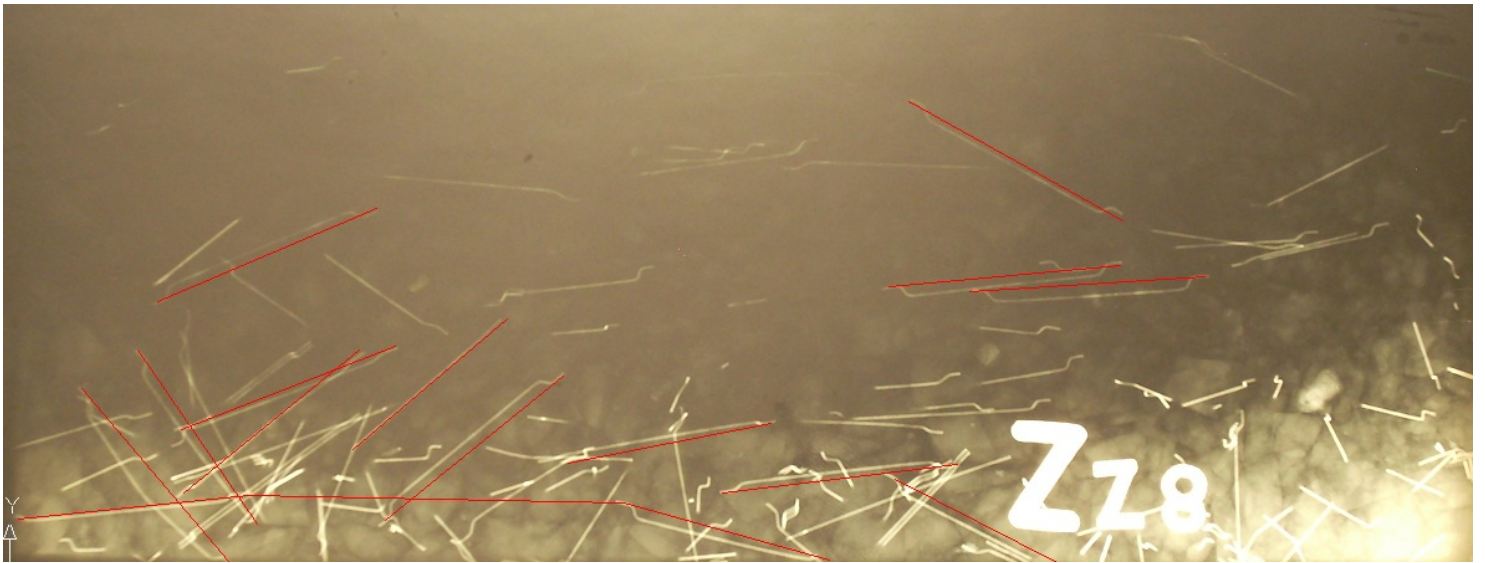
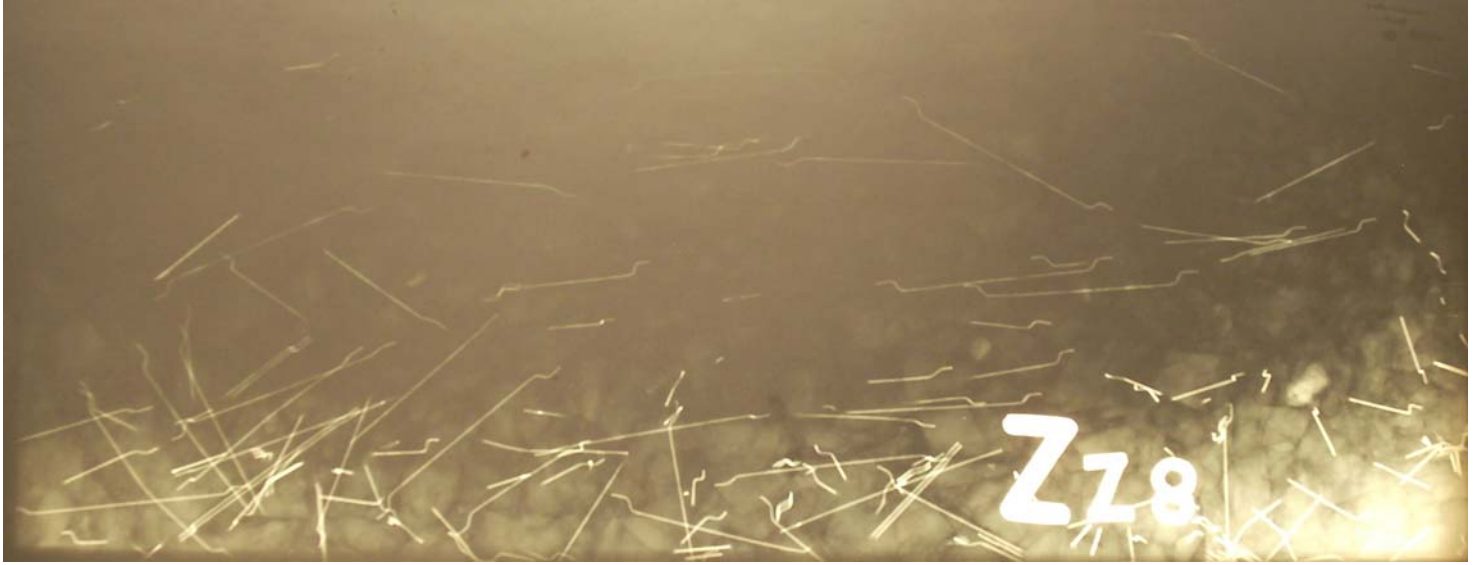
HACR25



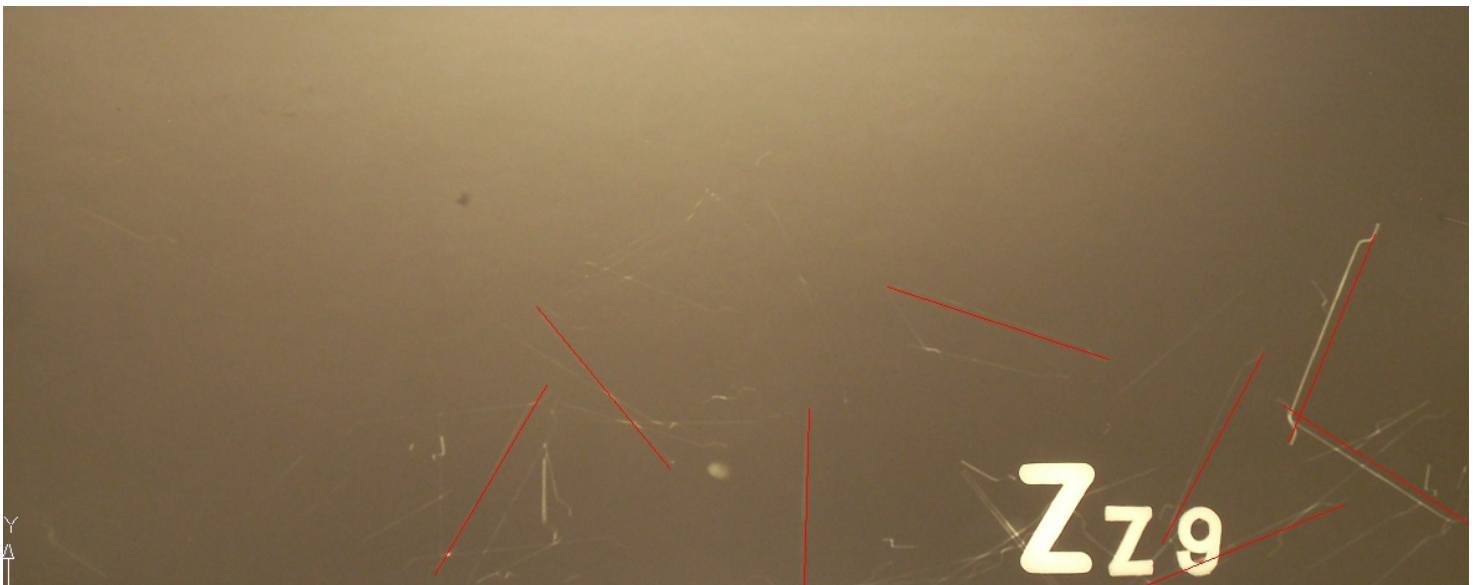
HACR26



HACR28



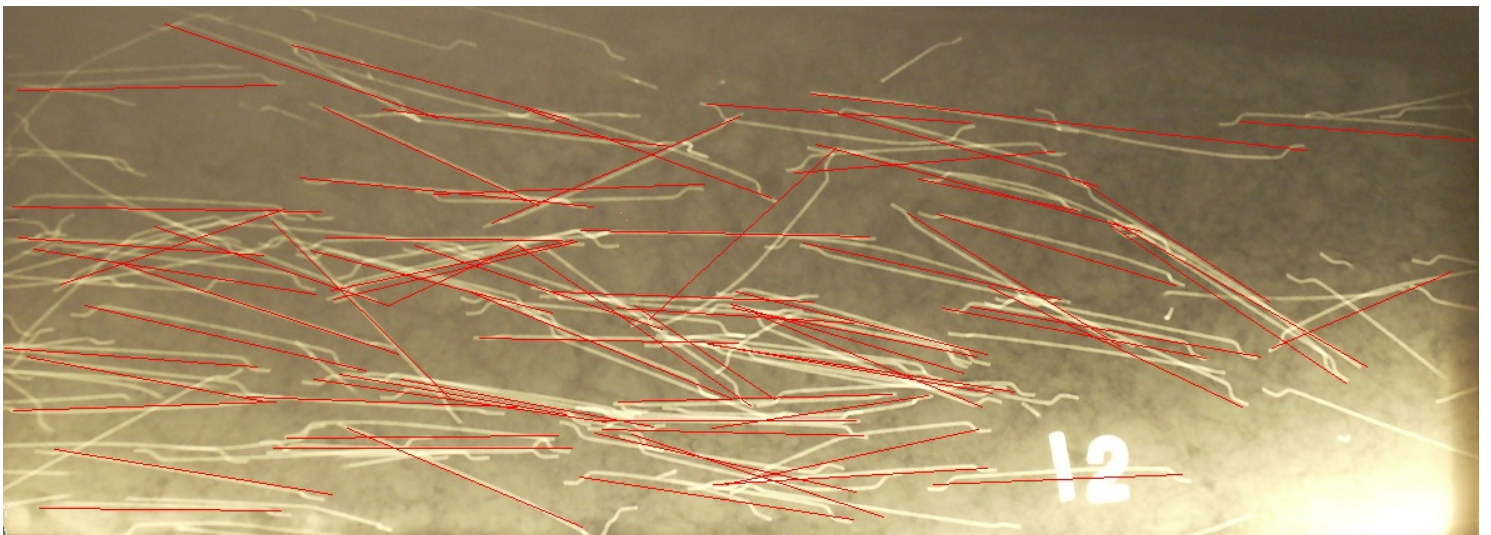
HACR29



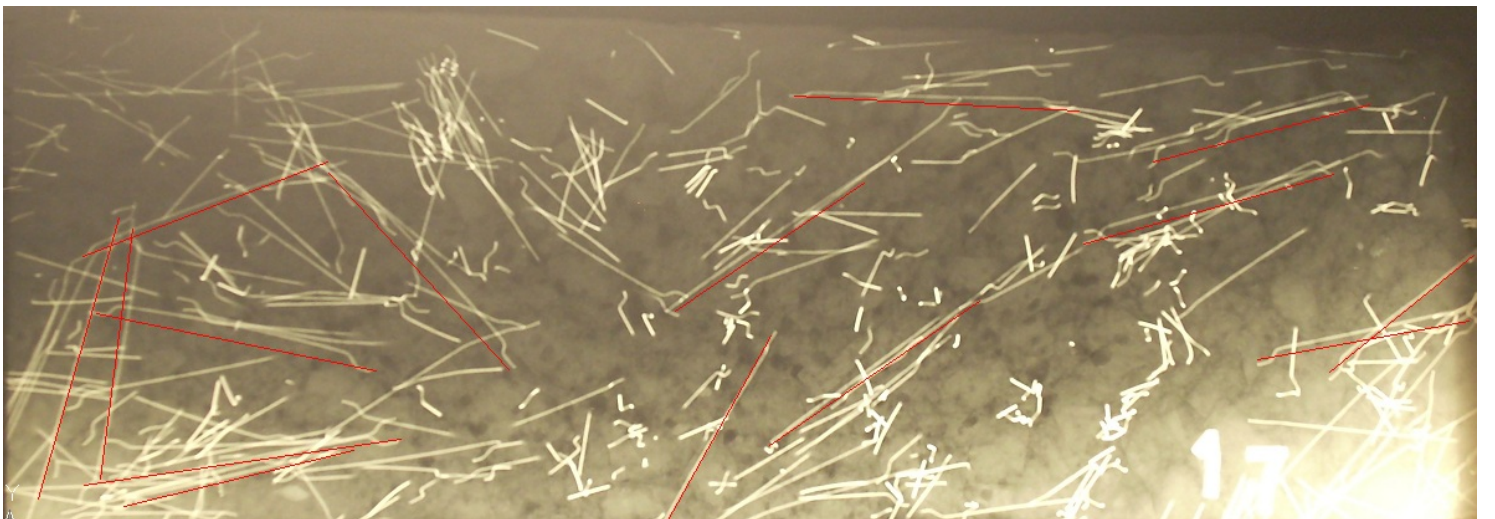
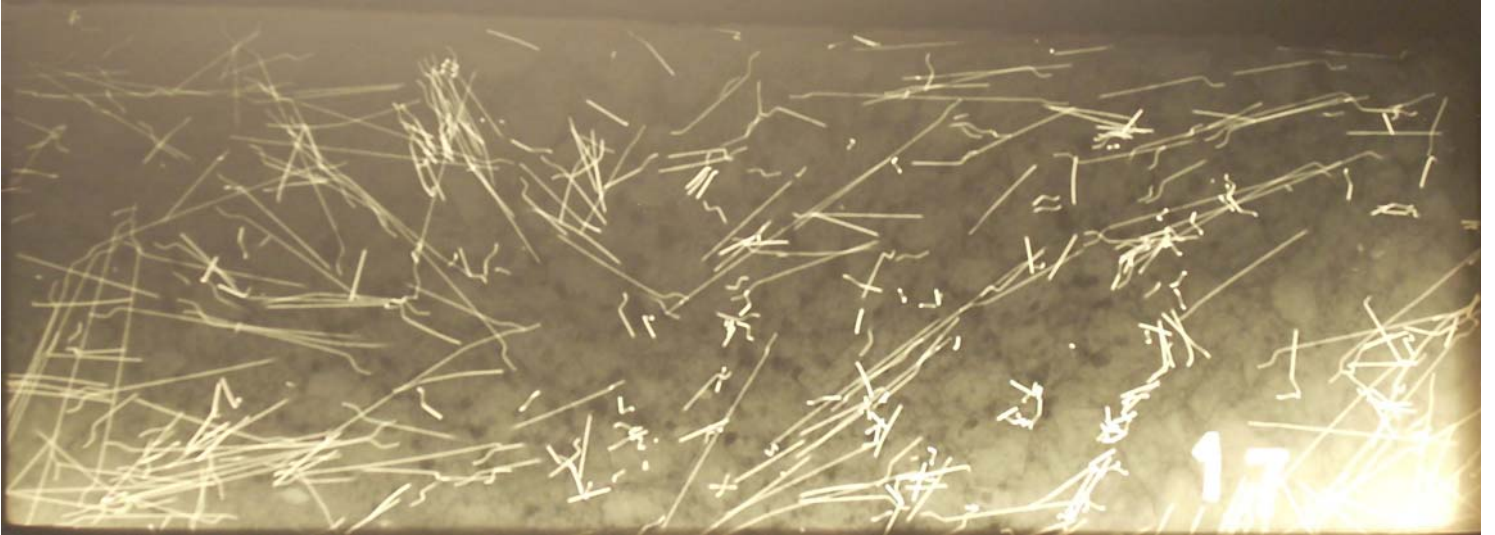
HTR10



HTR12



HTR17



	n_c	Sup	D	V_p	D_{fh}	mf	r	e	n_m	n_e	W
HAC R1	80	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	1,64
HAC R2	24	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,21
HAC R3	73	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	1,41
HAC R5	60	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	0,98
HAC R6	28	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,08
HAC R7	81	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	1,67
HAC R9	9	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,70
HAC R10	10	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,67
HAC R11	7	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,77
HAC R11	8	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,74
HAC R13	27	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,11
HAC R15	83	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	1,74
HAC R16	51	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	0,68
HAC R17	56	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	0,85
HAC R18	89	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	1,94
HAC R19	11	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,64
HAC R20	8	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,74
HAC R21	9	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,70
HAC R22	9	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,70
HAC R23	16	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,47
HAC R24	6	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,80
HAC R25	32	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	0,06
HAC R26	2	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,93
HAC R28	16	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,47
HAC R29	8	16000	18	0,000288	30	7,33E-05	35	0,257	117,87	30,31	-0,74
HT R10	5	15000	18	0,00027	30	7,33E-05	35	0,257	110,50	28,42	-0,82
HT R12	76	15000	18	0,00027	30	7,33E-05	35	0,257	110,50	28,42	1,67
HT R17	15	15000	18	0,00027	30	7,33E-05	35	0,257	110,50	28,42	-0,47

- *Compresión*

PLANNING ROTURA DE PROBETAS							
CÓDIGO	TIPO DE HORMIGÓN	FORMA	TMA (MM)	DÍA AMASADO	DÍA TEST	R (CÁLCULO)	R (TEST)
P1 HAC V	AUTOCOMPACTABLE. VIBRADO	CIL	20	30-3	27-4	25	NO TEST
P2 HAC V	AUTOCOMPACTABLE. VIBRADO	CIL	20	30-3	27-4	25	NO TEST
P3 HAC SV	AUTOCOMPACTABLE. SIN VIBRAR	CIL	20	30-3	27-4	25	29,40
P4 HAC SV	AUTOCOMPACTABLE. SIN VIBRAR	CIL	20	30-3	27-4	25	36,60
P1 HT	TRADICIONAL	CIL	20	30-3	27-4	25	24,70
P2 HT	TRADICIONAL	CIL	20	30-3	27-4	25	20,00
P3 HT	TRADICIONAL	CIL	20	30-3	27-4	25	20,20
P4 HT	TRADICIONAL	CIL	20	30-3	27-4	25	22,20
P5 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	20	10-4	8-5	25	47,40
P6 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	20	10-4	8-5	25	46,00
P7 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	20	10-4	8-5	25	45,80
P8 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	20	10-4	8-5	25	45,50
P9 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	20	10-4	8-5	25	45,20
P10 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	20	10-4	8-5	25	39,63
P11 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	20	10-4	8-5	25	47,73
P12 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	20	10-4	8-5	25	43,43
P13 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	20	10-4	8-5	25	46,62
P14 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	20	10-4	8-5	25	45,45
P15 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	20	10-4	8-5	25	50,23
P16 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	20	10-4	8-5	25	50,21
P17 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	20	10-4	8-5	25	51,76
P5 HT	TRADICIONAL	CIL	20	10-4	8-5	25	29,70
P6 HT	TRADICIONAL	CIL	20	10-4	8-5	25	30,80
P7 HT	TRADICIONAL	CIL	20	10-4	8-5	25	28,80

PLANNING ROTURA DE PROBETAS							
CÓDIGO	TIPO DE HORMIGÓN	FORMA	TMA (MM)	DÍA AMASADO	DÍA TEST	R (CÁLCULO)	R (TEST)
P8 HT	TRADICIONAL	CIL	20	10-4	8-5	25	28,60
P9 HT	TRADICIONAL	CIL	20	10-4	8-5	25	29,90
P10 HT	TRADICIONAL	CUB	20	10-4	8-5	25	15,76
P11 HT	TRADICIONAL	CUB	20	10-4	8-5	25	20,61
P12 HT	TRADICIONAL	CUB	20	10-4	8-5	25	25,60
P13 HT	TRADICIONAL	CUB	20	10-4	8-5	25	25,66
P14 HT	TRADICIONAL	CUB	20	10-4	8-5	25	25,45
P15 HT	TRADICIONAL	CUB	20	10-4	8-5	25	29,00
P16 HT	TRADICIONAL	CUB	20	10-4	8-5	25	30,83
P17 HT	TRADICIONAL	CUB	20	10-4	8-5	25	30,06
P1 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CIL	12	18-4	25-4	40	44,40
P2 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CIL	12	18-4	25-4	40	42,50
P3 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CIL	12	18-4	25-4	40	46,00
P4 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CIL	12	18-4	25-4	40	43,00
P5 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CIL	12	18-4	25-4	40	45,50
M1 P1 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CUB	12	18-4	25-4	40	41,18
M1 P2 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CUB	12	18-4	25-4	40	39,11
M1 P3 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CUB	12	18-4	25-4	40	37,90
M1 P4 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CUB	12	18-4	25-4	40	47,86
M2 P1 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CUB	12	18-4	25-4	40	41,44
M2 P2 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CUB	12	18-4	25-4	40	34,57
M2 P3 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CUB	12	18-4	25-4	40	47,63
M2 P4 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CUB	12	18-4	25-4	40	48,74

PLANNING ROTURA DE PROBETAS							
CÓDIGO	TIPO DE HORMIGÓN	FORMA	TMA (MM)	DÍA AMASADO	DÍA TEST	R (CÁLCULO)	R (TEST)
P6 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CIL	12	20-4	27-4	40	46,30
P7 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CIL	12	20-4	27-4	40	42,70
P8 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CIL	12	20-4	27-4	40	46,90
P9 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CIL	12	20-4	27-4	40	47,40
P10 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CIL	12	20-4	27-4	40	45,80
P11 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CUB	12	20-4	27-4	40	33,61
P12 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CUB	12	20-4	27-4	40	39,14
P13 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CUB	12	20-4	27-4	40	49,78
P14 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CUB	12	20-4	27-4	40	47,54
P15 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CUB	12	20-4	27-4	40	45,05
P16 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CUB	12	20-4	27-4	40	41,78
P17 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CUB	12	20-4	27-4	40	39,97
P18 HAC SF	AUTOCOMPACTABLE. SIN FIBRA	CUB	12	20-4	27-4	40	330,00
P15(18) HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	12	20-4	27-4	40	41,30
P16(19) HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	12	20-4	27-4	40	39,90
P17(20) HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	12	20-4	27-4	40	44,40
P18(21) HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	12	20-4	27-4	40	43,00
P19(22) HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	12	20-4	27-4	40	42,50
P20(23) HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	12	20-4	27-4	40	36,87
P21(24) HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	12	20-4	27-4	40	45,25
P22(25) HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	12	20-4	27-4	40	43,56
P23(26) HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	12	20-4	27-4	40	44,98
P24(27) HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	12	20-4	27-4	40	36,20

PLANNING ROTURA DE PROBETAS

CÓDIGO	TIPO DE HORMIGÓN	FORMA	TMA (MM)	DÍA AMASADO	DÍA TEST	R (CÁLCULO)	R (TEST)
P25(28) HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	12	20-4	27-4	40	46,30
P26(29) HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	12	20-4	27-4	40	43,53
P27(30) HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	12	20-4	27-4	40	35,89
P31 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	20		7 DÍAS	25	24,70
P32 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	20		7 DÍAS	25	25,80
P33 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	20		7 DÍAS	25	24,70
P34 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	20		7 DÍAS	25	25,50
P35 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	20		7 DÍAS	25	25,00
P36 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	20		7 DÍAS	25	25,35
P37 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	20		7 DÍAS	25	27,55
P38 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	20		7 DÍAS	25	23,80
P39 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	20		7 DÍAS	25	21,75
P40 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	20		7 DÍAS	25	27,99
P41 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	20		7 DÍAS	25	26,99
P42 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	20		7 DÍAS	25	26,17
P43 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	20		7 DÍAS	25	27,00
P44 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	12	18-5	28-5	40	16,00
P45 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	12	18-5	28-5	40	10,00
P46 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	12	18-5		40	
P47 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	12	18-5		40	
P48 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CIL	12	18-5	28-5	40	27,20
P49 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	12	18-5		40	
P50 HAC	AUTOCOMPACTABLE	CUB	12	18-5		40	