

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

Escuela Técnica Superior en Ingeniería de la Edificación

Taller Proyecto Final de Grado en Materiales Avanzados

“Comportamiento Mecánico del Hormigón Reforzado con
Fibra de Polipropileno Multifilamento: Influencia del
Porcentaje de Fibra Adicionado”

Alumno: Fernando Muñoz Cebrián

Directores Académicos: José Ramón Albiol Ibáñez

Luis Vicente García Ballester

CURSO 2010/2011

“En esta breve reseña me gustaría dedicar esta investigación a todas aquellas personas que me han apoyado a lo largo de estos cuatro años en la facultad, tanto a mis familia como amigos, así como a profesores y técnicos de laboratorio que me han ayudado a llevar a cabo este proyecto.

Ha sido un placer ampliar mi conocimiento en un campo tan apasionante como es el de los materiales de construcción y espero haber contribuido con la elaboración de esta investigación”

Un cordial saludo.

Fernando

RESUMEN

Hormigón Reforzado con Fibra de Polipropileno Multifilamento

El presente trabajo tiene como objetivo estudiar la influencia de la incorporación de fibra de polipropileno multifilamento en hormigones de altas prestaciones, en las propiedades mecánicas del hormigón endurecido.

En la investigación se realizaron ensayos comparativos entre un mortero patrón, que no contenía fibras y morteros con distinto porcentaje de fibra adicionado. La fibra adicionada osciló entre el 5% y el 20% en peso del cemento. Las propiedades del hormigón que se estudiaron fueron la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexotracción.

Se pudo observar que a mayor cantidad de fibra adicionada menor es la trabajabilidad del hormigón.

En el hormigón endurecido se logró determinar que la adición de fibras de polipropileno no tiene mayor influencia en el aumento de la resistencia a la compresión del hormigón, y que por el contrario, el aumento de la cantidad de fibra de polipropileno presente en la mezcla de hormigón incide directamente en la disminución de la resistencia a la flexotracción de éste.

Del análisis de los resultados de la presente investigación unido a la investigación bibliográfica, se desprende que algunas de las aplicaciones prácticas del hormigón reforzado con fibras de polipropileno serían: losas de hormigón (soleras, forjados), pavimentos de hormigón, hormigón y mortero proyectado, morteros, revocos de fachadas, revocos de para mejor la resistencia al fuego, elementos prefabricados, etc.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN (página 7)

Capítulo 1 ANTECEDENTES TEÓRICOS (página 8-14)

1.1 Materiales Compuestos (pag.8-11)

1.1.1 Introducción

1.1.2 Materiales Compuestos Reforzados con Partículas

1.1.3 Materiales Compuestos Estructurales

1.1.4 Materiales Compuestos Reforzados con Fibras

1.2 Conceptos Generales del Comportamiento Mecánico de Materiales Reforzados con Fibras (pag.11-17)

1.2.1 Influencia de la Longitud de la Fibra

1.2.2 Influencia de la Orientación y de la Concentración de la Fibra

1.2.2.1 Materiales Compuestos con Fibras Discontinuas y Orientadas al Azar

1.2.3 Fase Fibrosa

1.2.4 Fase Matriz

1.3 Fibra de Polipropileno (pag.17-19)

1.3.1 Tipos de Polipropileno

1.4 La Fibra de Polipropilenos multifilamento (pag.19-24)

1.4.1 Historia

1.4.2 Fabricación

Capítulo 2 PROGRAMA EXPERIMENTAL (página 25-31)

2.1 Introducción (pag.25)

2.2 Objetivos (pag.26)

2.2.1 Objetivo General

2.2.2 Objetivos Específicos

2.2.3 Variable a Estudiar en el Desarrollo Experimental

2.3 Programa de Ensayos (pag.26-28)

2.4 Descripción de los Ensayos (pag.28-31)

2.4.1 Compresión

2.4.2 Flexotracción

Capítulo 3 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL (página 31-50)

3.1 Materiales (pág. 31-40)

3.1.1 Áridos

3.1.2 Cemento

3.1.3 Fibras de Polipropileno

3.1.4 Agua

3.1.5 Aditivo

3.1.6 Humo de sílice

3.2 Dosificación y Confección del Hormigón (pag.40-43)

3.2.1 Dosificación del Hormigón Patrón

3.2.2 Confección del Hormigón

3.2.3 Programación de las Amasadas

3.3 Tipología de probeta fabricada en el laboratorio (pag.43-48)

- 3.3.1 Fabricación de probetas prismáticas para ensayos de flexión y compresión
- 3.3.2 Curado Inicial y Desmolde de las Probetas
- 3.3.3 Identificación de las Probetas
- 3.3.4 Curado de las Probetas

3.4 Desarrollo de los Ensayos (pag.48-50)

- 3.4.1 Ensayo de Compresión
- 3.4.2 Ensayo de Flexión

Capítulo 4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS (página 51-54)

4.1 Ensayo de Compresión (pag.51-52)

4.2 Ensayo de Flexión (pag.52-54)

Capítulo 5 CONCLUSIONES (página 55-60)

5.1 El Hormigón Fresco (pag.55-56)

5.2 El Hormigón Endurecido (pag.56-58)

5.3 Posibles Usos del Hormigón Reforzado con Fibra de Polipropileno (pag.59)

5.4 Comparación con Otras Fibras de Refuerzo (pag.60)

5.5 Propuesta de investigaciones futuras (pag.60)

Anexo 1. Tablas y gráficas complementarias (página 61-67)

Anexo 2. Fichas técnicas de los materiales empleados (página 68-80)

Bibliografía (página 81-82)

Agradecimientos (página 82)

INTRODUCCIÓN

Los materiales aglomerantes, en la forma de hormigones o morteros, son atractivos para su uso como materiales de construcción, dado su bajo costo, su durabilidad y su adecuada resistencia a la compresión para un uso estructural. Adicionalmente, en el estado fresco ellos son fácilmente moldeables a las formas más complejas que sean requeridas. Su defecto radica en sus características de baja resistencia a la tracción y a los impactos, y a su susceptibilidad a los cambios de humedad. Un reforzamiento mediante fibras puede ofrecer un conveniente, práctico y económico método para superar estas deficiencias.

La adición de fibras como refuerzo de hormigones, morteros y pasta de cemento pueden incrementar muchas de las propiedades de éstos, destacando entre ellas, la resistencia a la flexión, tenacidad, fatiga, impacto, permeabilidad y resistencia a la abrasión.

En el caso concreto de las fibras de polipropileno se usan mayormente como refuerzo de morteros, controlando la fisuración por retracción, para elementos prefabricados (mejoran la resistencia al impacto y al fraccionamiento de las piezas terminadas) y para Hormigones proyectados, en los que se producen menores pérdidas por rebote y se consiguen mayores espesores sin descuelgues de material.

En el presente trabajo se estudiará la influencia del porcentaje de fibra de polipropileno en las propiedades mecánicas del hormigón.

Capítulo 1

ANTECEDENTES TEÓRICOS

1.1 Materiales Compuestos

1.1.1 Introducción

Existen materiales compuestos naturales, como por ejemplo, la madera, que consiste en fibras de celulosa flexibles embebidas en un material rígido llamado lignina. El hueso es un material compuesto formado por colágeno, una proteína resistente pero blanda, y por apatito, un mineral frágil.

En el presente contexto, un material compuesto es un material multifase obtenido **artificialmente**, en oposición a los que se encuentran en la naturaleza. Además, las fases constituyentes deben ser químicamente distintas y separadas por una interfaz.

La mayoría de los materiales compuestos se han creado para mejorar la combinación de propiedades mecánicas tales como rigidez, tenacidad y resistencia a la tracción a temperatura ambiente y a elevadas temperaturas.

La mayor parte de los materiales compuestos están formados por dos fases; una, llamada matriz, es continua y rodea a la otra fase, denominada fase dispersa. Las propiedades de los compuestos son función de las propiedades de las fases constituyentes, de sus proporciones relativas y de la geometría de las fases dispersas.

Un esquema simple para clasificar los materiales compuestos consta de tres divisiones (Imagen 1.1):

- Compuestos reforzados con partículas
- Compuestos reforzados con fibras
- Compuestos estructurales

Se debe mencionar que la fase dispersa de los materiales compuestos reforzados con fibras tiene una relación longitud-diámetro muy alta.

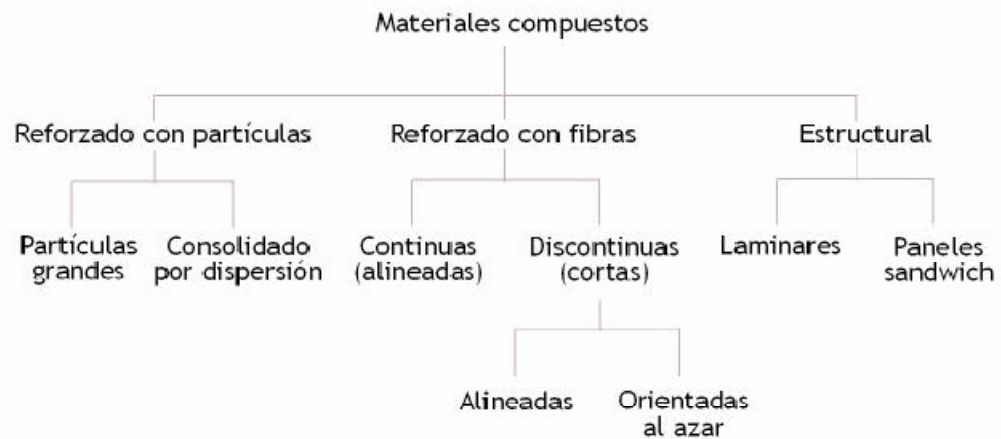


Imagen 1.1. Clasificación de los Materiales Compuestos (Calister, 1996).

1.1.2 Materiales Compuestos Reforzados con Partículas

Los materiales compuestos reforzados con partículas se subdividen en reforzados con partículas grandes y consolidadas por dispersión (Imagen 1.2). Esta distinción se fundamenta en el mecanismo de consolidación o de reforzamiento. El término "grande" se utiliza para indicar que las interacciones matriz-partícula no se pueden describir a nivel atómico o molecular, sino mediante la mecánica continua. En la mayoría de los materiales compuestos la fase dispersa es más dura y resistente que la matriz y las partículas de refuerzo tienden a restringir el movimiento de la matriz en las proximidades de cada partícula. En esencia, la matriz transfiere parte del esfuerzo aplicado a las partículas, las cuales soportan una parte de la carga. El grado de reforzamiento o de mejora del comportamiento mecánico depende de la fuerza de cohesión en la interfaz matriz-partícula.

Un material compuesto con partículas grandes es el hormigón, formado por cemento (matriz) y arena o grava (partículas).

El refuerzo es más efectivo cuanto más pequeñas sean las partículas y cuanto mejor distribuidas estén en la matriz. Además, la fracción de volumen de las dos fases influye en el comportamiento; las propiedades mecánicas aumentan al incrementarse el contenido de partículas. Se formulan dos expresiones matemáticas para relacionar el módulo elástico con la fracción de volumen de las fases constituyentes de un material

compuesto de dos fases. Las ecuaciones de la regla de las mezclas predice que el valor del módulo elástico estará comprendido entre un máximo $E_c = E_m V_m + E_p V_p$ y un mínimo $E_c = E_m E_p / (V_m E_p + V_p E_m)$

En estas expresiones, E y V representan el módulo elástico y la fracción de volumen, respectivamente, mientras los subíndices c , m y p significan material compuesto, matriz y fase-partícula.

Las partículas de los materiales compuestos consolidados por dispersión normalmente son mucho más pequeñas: los diámetros tienen de 10 a 100 nm. Las interacciones matriz-partícula que conducen a la consolidación ocurren a nivel atómico o molecular. Mientras la matriz soporta la mayor parte de la carga aplicada, las pequeñas partículas dispersas dificultan o impiden el desplazamiento de dislocaciones. De este modo se restringe la deformación plástica de tal manera que aumenta el límite elástico, la resistencia a la tracción y la dureza.

En el presente proyecto por tanto se procedió a la realización de la fase experimental con una matriz de *micromortero* de árido de un diámetro especialmente fino, sin la presencia de gravas.

1.1.3 Materiales Compuestos Estructurales

Un material compuesto estructural está formado tanto por materiales compuestos como por materiales homogéneos y sus propiedades no sólo dependen de los materiales constituyentes sino de la geometría del diseño de los elementos estructurales. Los compuestos laminares, los cuales poseen una dirección preferente con elevada resistencia (tal como ocurre en la madera), y los paneles sándwich, que poseen caras externas fuertes separadas por una capa de material menos denso, o núcleo (ver figura 1-2), son dos de los compuestos estructurales más comunes.

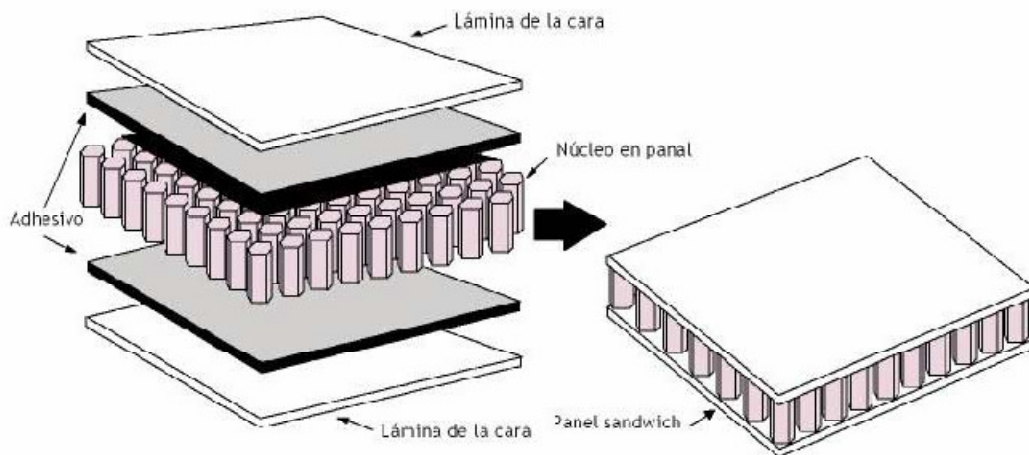


Imagen 1.2. Diagrama esquemático de la fabricación de un panel sándwich con un núcleo en panel

1.1.4 Materiales Compuestos Reforzados con Fibras

Tecnológicamente, los materiales compuestos con fases dispersas en forma de fibras son los más importantes. A menudo se diseñan materiales compuestos reforzados con fibras con la finalidad de conseguir elevada resistencia y rigidez a baja densidad. Estas características se expresan mediante los parámetros resistencia específica y módulo específico, que corresponden, respectivamente, a las relaciones entre la resistencia a la tracción y el peso específico y entre el módulo de elasticidad y el peso específico. Utilizando materiales de baja densidad, tanto para la matriz como para las fibras, se fabrican compuestos reforzados con fibras que tienen resistencias y módulos específicos excepcionalmente elevados.

Los materiales compuestos reforzados con fibras se subclasifican por la longitud de la fibra. Una descripción detallada de este tipo de materiales se muestra más adelante.

1.2 Conceptos Generales del Comportamiento Mecánico de Materiales Reforzados con Fibras

1.2.1 Influencia de la Longitud de la Fibra

Las características mecánicas de los compuestos reforzados con fibras dependen no sólo de las propiedades de la fibra, sino también del grado en que una carga aplicada se transmite a la fibra por medio de la fase matriz. En este proceso de transmisión de carga es muy importante la magnitud de la unión en la interfaz de las fases matriz y fibra. Al aplicar un esfuerzo de tracción, la unión fibra-matriz cesa en los extremos de la fibra y en la matriz se genera un patrón de deformación como el que se muestra en la Imagen; en otras palabras, en los extremos de la fibra no hay transmisión de carga desde la matriz.

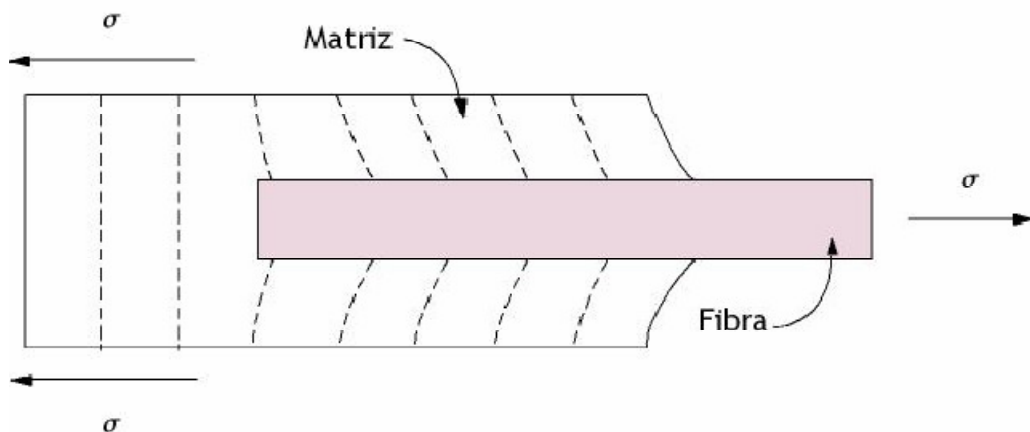


Imagen 1.3. Patrón de deformación en una matriz que rodea a una fibra sometida a un esfuerzo de tracción.

Existe una longitud de fibra crítica para aumentar la resistencia y la rigidez del material compuesto. Esta longitud crítica l_c depende del diámetro d de la fibra, de la resistencia a la tracción σ_f y de la resistencia de la unión matriz-fibra (o resistencia al cizalle de la matriz), τ_c , de acuerdo con:

$$l_c = \frac{\sigma_f d}{\tau_c}$$

Las fibras con $l > 15 l_c$ se denominan *continuas*; y las fibras de menor longitud se denominan *discontinuas* o *fibras cortas*. En las fibras discontinuas de longitud significativamente menor que l_c , la matriz se deforma alrededor de la fibra de modo que apenas existe transferencia del esfuerzo y el efecto del reforzamiento de la fibra es insignificante.

1.2.2 Influencia de la Orientación y de la Concentración de la Fibra

La disposición u orientación relativa de las fibras y su concentración y distribución influyen en la resistencia y en otras propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibras. Con respecto a la orientación existen dos situaciones extremas:

- 1 - Alineación paralela de los ejes longitudinales de las fibras
- 2 - Alineación al azar. Las fibras continuas normalmente se alinean (Imagen 1.4.a) mientras que las fibras discontinuas se pueden alinear (Imagen 1.4.b) o bien se pueden orientar al azar (Imagen 1.4.c) o alinearse parcialmente.

En el caso de esta investigación, dado el largo de la fibra de polipropileno l , equivalente a 12 mm, se tiene que $l \approx 6 l_c$, con l_c longitud crítica de la fibra. Es decir, se tiene una fibra discontinua o fibra corta. Además esta fibra estará orientada al azar.

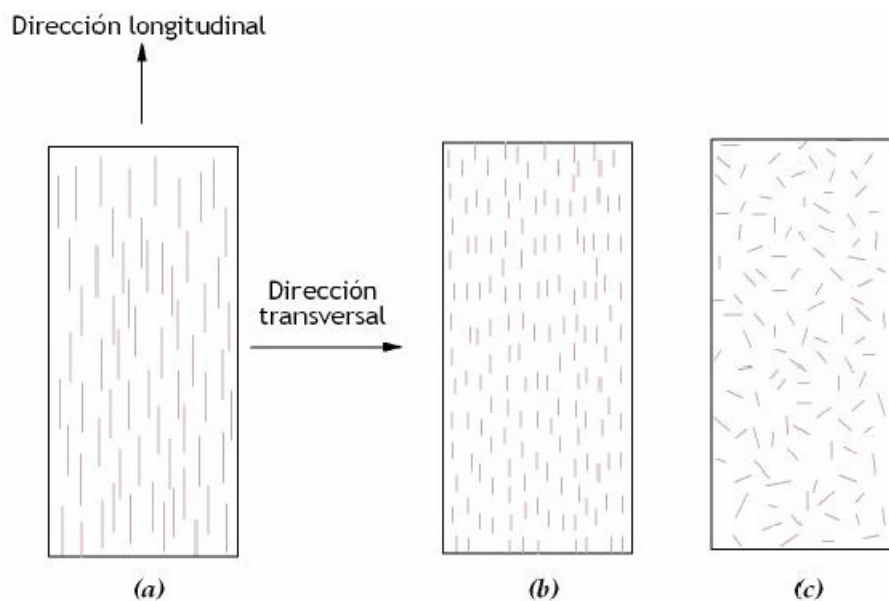


Imagen 1.4. (a) Representaciones esquemáticas de compuestos reforzados con fibras (a) continuas y alineadas, (b) discontinuas y alineadas y (c) discontinuas y orientadas al azar.

1.2.3 Fase Fibrosa

Una importante característica de muchos materiales, especialmente los frágiles, es que las fibras con diámetros pequeños son mucho más resistentes que el material macizo. Como es sabido, la probabilidad de la presencia de una imperfección superficial crítica que conduzca a la rotura disminuye cuando aumenta el volumen específico. Este fenómeno se utiliza con ventaja en los compuestos reforzados con fibras. El material utilizado como fibra de refuerzo debe tener alta resistencia a la tracción.

En función de sus diámetros y características, las fibras se agrupan en tres categorías diferentes: *whiskers*, *fibras* y *alambres*. Los whiskers son monocristales muy delgados que tienen una relación longitud-diámetro muy grande. Como consecuencia de su pequeño diámetro, tienen alto grado de perfección cristalina y están prácticamente libres de defectos, y por ello tienen resistencias excepcionalmente elevadas. Los whiskers pueden ser de grafito, carburo de silicio, nitruro de silicio y óxido de aluminio. En la Tabla 1.1 se dan algunas características mecánicas de estos materiales

Material	Peso específico (g/cm³)	Resistencia a la tracción (GPa)	Resistencia específica (GPa)	Módulo elástico (GPa)	Módulo específico (GPa)
Whiskers					
Grafito	2.2	20	9.1	690	314
Carburo de silicio	3.2	20	6.3	480	150
Nitruro de silicio	3.2	14	4.4	380	119
Óxido de aluminio	3.9	14 – 28	3.6 – 7.2	415 – 550	106 – 141
Fibras					
Aramida (Kevlar 49)	1.4	3.5	2.5	124	89
Vidrio E	2.5	3.5	1.4	72	29
Carbono³	1.8	1.5 – 5.5	0.8 – 3.1	150 – 500	83 – 278
Óxido de aluminio	3.2	2.1	0.7	170	53
Carburo de silicio	3.0	3.9	1.3	425	142
Alambres Metálicos					
Acero alto en carbono	7.8	4.1	0.5	210	27
Molibdeno	10.2	1.4	0.14	360	35.3
Tungsteno	19.3	4.3	0.22	400	20.7

³ Para designar estas fibras se utiliza el término “carbono” en vez de “grafito”, ya que están compuestas de regiones de grafito cristalino y también de material no cristalino y de áreas con cristales defectuosos.

Tabla 1.1. Fuente: Adaptado de Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, W. Calister, 1996.

Los materiales clasificados como fibras son policristalinos o amorfos y tienen diámetros pequeños; los materiales fibrosos son generalmente polímeros o cerámicas (p.ej., aramida, vidrio, carbono, boro, óxido de aluminio y carburo de silicio). La Tabla 1.1 también indica algunos datos de varios materiales utilizados como fibras.

1.2.4 Fase Matriz

La fase matriz de un material compuesto con fibras ejerce varias funciones. En primer lugar, une las fibras y actúa como un medio que distribuye y transmite a las fibras los esfuerzos externos aplicados; sólo una pequeña fracción del esfuerzo aplicado es resistido por la matriz. Además, la matriz debe ser dúctil y, por otra parte, el módulo elástico de la fibra debe ser mucho mayor que el de la matriz. En segundo lugar, la matriz protege las fibras del deterioro superficial que puede resultar de la abrasión mecánica o de reacciones químicas con el medio ambiente. Estas interacciones introducen defectos superficiales capaces de originar grietas, que podrían producir fallos con esfuerzos de tracción relativamente bajos. Finalmente, la matriz separa las fibras y, en virtud de su relativa blandura y plasticidad, impide la propagación de grietas de una fibra a otra, que originaría fallos catastróficos; en otras palabras, la matriz actúa como una barrera que evita la propagación de grietas. Aunque algunas fibras individuales se rompan, la rotura total del material compuesto no ocurrirá hasta que se hayan roto gran número de fibras adyacentes, que forman un agregado de tamaño crítico.

Es esencial que la adherencia de la unión entre fibra y matriz sea elevada para minimizar el arrancado de fibras. En efecto, la resistencia de la unión tiene gran importancia en el momento de seleccionar la combinación matriz-fibra. La resistencia a la tracción final del compuesto depende, en gran parte, de la magnitud de esta unión; una unión adecuada es esencial para optimizar la transmisión de esfuerzos desde la matriz a las fibras.

1.3 Fibra de Polipropileno

La fibra de polipropileno es un material compuesto consistente en fibras continuas o discontinuas de polipropileno embebidas en una matriz plástica, este compuesto se produce en gran cantidad. El polipropileno se utiliza como material de refuerzo debido a las siguientes razones:

- Muy buena relación coste/beneficio
- Versatilidad: compatible con la mayoría de las técnicas de procesamiento existentes y usado en diferentes aplicaciones

- Es el material plástico de menor peso específico (0,9 g/cm³), lo que implica que se requiere de una menor cantidad para la obtención de un producto terminado
- Propiedades mecánicas: el polipropileno logra alcanzar buen balance rigidez/impacto.
- Propiedades químicas: presenta excelente resistencia química a solventes comunes
- Buena estabilidad dimensional a altas temperaturas (150 °C)
- Barrera al vapor de agua: evita el traspaso de humedad

1.3.1 Tipos de Fibra de Polipropileno

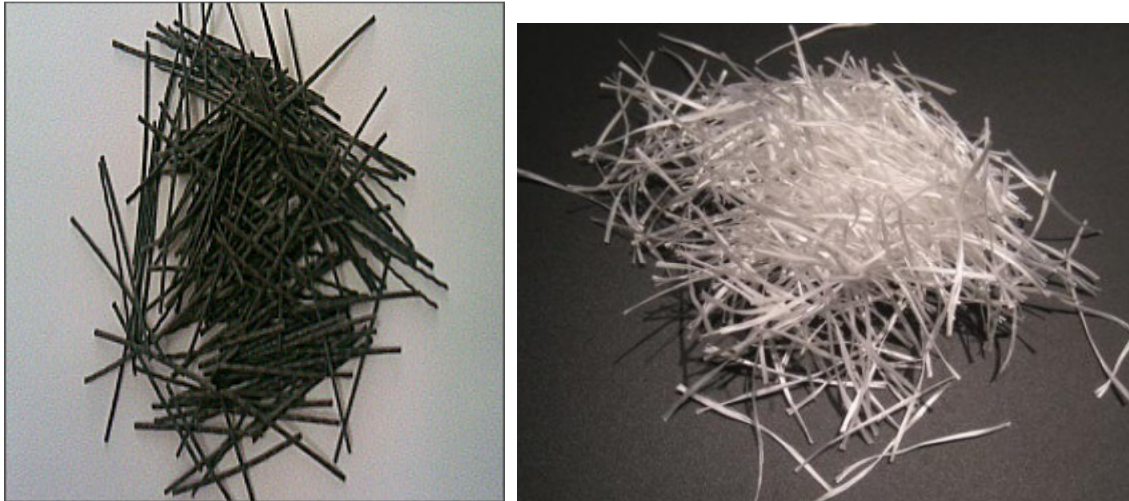
Fibra de polipropileno monofilamento.

Estas fueron diseñadas para sustituir especialmente la maya electro soldada, varillas y fibras de acero. Además de ser anticorrosivas, antimagnéticas y 100 % a prueba de álcalis.

Debido a su alto desempeño permite reducciones significativas en el encogimiento plástico, así como mejores en la resistencia de flexión, compresión e impacto.

También proporciona una fácil dispersión, facilidad de uso, un fácil bombeo, buen encaje y un buen terminado. Facilitan el manejo y colocación a diferencia de las fibras de acero, mallas electrosoldadas o armadas con varilla.

Las fibras de monofilamento son resistentes y por su forma tiene una gran adherencia al hormigón, transmitiendo los esfuerzos, además que se elimina la preocupación relativa a la correcta colocación del refuerzo y a comparación de las fibras de acero no se corroen, son antimagnéticas y 100% a prueba de álcalis



* Imágenes 5 y 6. Dos clases distintas de fibras de polipropileno monofilamento

Fibra de polipropileno multifilamento.

Las fibras de polipropileno multifilamento son especialmente tratadas, diseñadas y producidas para su uso en hormigones y morteros. Se presentan en forma de mechas compuestas de polipropileno multifilamento con un agente de superficie. Se distribuyen aleatoriamente dentro de la masa de hormigón o mortero formando una red tridimensional muy uniforme.

La adición de este producto reduce la fisuración por retracción superficial en morteros y sustituye a la armadura destinada a absorber las tensiones que se producen durante el fraguado y endurecimiento del hormigón, aportando las siguientes ventajas: Reducción de la fisuración por retracción e impidiendo su propagación, aumento importante del índice de tenacidad del hormigón, mejora la resistencia al impacto, reduciendo la fragilidad.



* Imagen 7. Fibra de polipropileno multifilamento

Otros

Fibra del acoplamiento del polipropileno

Fibra curvada del marco del polipropileno

Fibra torcida del polipropileno del paquete

1.4 La Fibra de Polipropileno Multifilamento

1.4.1 Historia

El precursor en el agregado de fibras para reforzar el hormigón fue el cuerpo de ingenieros del ejército americano, durante la década de los setenta del siglo pasado.

Trabajaron intensamente para encontrar aditivos que mejoraran la resistencia del hormigón a las más altas tensiones y a la potencia de los explosivos, para la construcción de pistas de aviación, silos para misiles, etc.

Entre otras, desarrollaron toda una tecnología con el agregado de fibras de los más diversos materiales, acero, sintéticos, polímeros y hasta fibras vegetales. Ya en la década del ochenta, el asunto fue tomado por la industria civil, continuando su desarrollo por sus propios medios y con la colaboración de universidades.

El tema del agregado de fibras al hormigón, ha sido exhaustivamente estudiado y el ACI-American Concrete Institute, el ASTM, el US Army Corps of EGINEERING, la British Standards Institution entre otros, han publicado numerosas normas y métodos de experimentación a este respecto. En la introducción a la norma ACI 544.2R-89 (febrero 1999) - Measurement of Properties of Fiber Reinforced, Concrete se expresa textualmente:

“El uso del hormigón reforzado con fibras (FRC-Fiber Reinforced Concrete) ha pasado de las pequeñas escalas de aplicación experimental a los trabajos de rutina y aplicaciones de campo, que involucran su utilización en muchos cientos de miles de yardas cúbicas (1yarda cúbica = 0,7645 metros cúbicos) por año en todo el mundo.”

De las distintas fibras mencionadas, unas de las que mejor satisfacen técnicamente y además la ecuación calidad versus coste, son las de polipropileno.

Durante muchos años, la tendencia del hormigón a agrietarse ha sido aceptada como un hecho natural. Hay solamente una razón por la que las grietas ocurren en el hormigón, existen tensiones que exceden la resistencia del hormigón en un momento específico.

Las tensiones derivadas de las fuerzas externas pueden ser compensadas proveyendo resistencias estructurales mayores en las estructuras de hormigón, en los pavimentos y las losas. Sin embargo históricamente ha sido un problema controlar las tensiones intrínsecas, ocasionadas por el encogimiento dentro del propio hormigón, debido a su variedad y ocurrencia impredecible.

El tipo más común de grietas intrínsecas aparece en el estado plástico y este es ocasionado por la retracción al ocurrir el secado. Estas grietas se forman dentro de las primeras seis horas posteriores a la colocación del hormigón. Por lo general, las grietas debido a la retracción plástica cruzan toda la losa y forman planos débiles que reducen permanentemente la integridad de la estructura antes de que el hormigón tenga la oportunidad de obtener resistencia al diseño.

En muchas ocasiones, las grietas por retracción plástica no se observan sino hasta que transcurra un tiempo. Con frecuencia, estas son selladas en la superficie al llevar a cabo la operación de terminado o simplemente, no son lo suficientemente anchas para ser observadas sino hasta que el hormigón se encoge más o una carga hace que estos planos débiles aumenten hasta convertirse en grietas visibles.

El hormigón fresco simplemente comienza a hidratarse y perder agua a través de sistemas capilares que ocasiona la migración de humedad a la superficie exterior. A medida que el agua se evapora van quedando espacios vacíos y la masa del hormigón comienza a retraerse. Una rápida evaporación podría ocasionar esfuerzos de retracción que llegan a exceder la resistencia a la tensión del hormigón fresco. En este punto, las micro-grietas que se forman producen un debilitamiento a través de toda la masa de hormigón. A medida que la matriz continúa retrayéndose las micro-grietas se propagan y se tornan cada vez más grandes y visibles. Las grietas de cualquier dimensión, no solo reducen la calidad y durabilidad del hormigón sino también lo hacen estéticamente inaceptable.

Históricamente las mallas soldadas han sido utilizadas como refuerzo secundario para controlar agrietamiento por retracción. Sin embargo, en la práctica, la colocación o suspensión de la malla en el lugar indicado es raramente lograda. Aunque se logre colocar correctamente, las mallas solamente mantienen el hormigón unido después de

que este se ha agrietado. El refuerzo secundario de un solo plano no hace nada en absoluto para retardar o inhibir las micro-grietas que ocurren en el proceso normal de curado del hormigón, tampoco afecta la etapa de evaporación.

Durante el proceso de curado de un concreto con fibra la presencia de la fibra soporta a la mezcla homogénea y funciona como millones de puentes que distribuyen uniformemente los esfuerzos internos de retracción que tratan de separar la matriz. Estas mismas fibras interceptan la propagación de las micro-grietas y paralizan su crecimiento. Las fibras interrumpen la acción capilar de la humedad y permiten un curado más lento.

Al mezclarse la fibra a una matriz de hormigón, la curva carga-deformación presenta un incremento en la capacidad de carga, así mismo se mejora el post-agrietamiento permitiendo sostener cargas hasta valores altos de deformación, dando como resultado, mayor ductilidad en el elemento. En un hormigón sin fibras inicialmente la curva es lineal, luego se presenta en un brusco descenso en la capacidad de carga, fallando súbitamente el material.

El incremento de resistencia a la fatiga (que tiene directa relación con la durabilidad), resistencia al impacto y reducción de la permeabilidad, contribuyen a una mayor duración del hormigón beneficiando a largo plazo los costos asociados por mantenimiento.

La distribución tridimensional de las mini-redes, conlleva directamente a la reducción en el agrietamiento del hormigón y consecuentemente a una modificación en su comportamiento; en efecto, en la fase de retracción plástica se produce un gran número de micro-grietas.

Cuando se somete el hormigón a un esfuerzo, las micro grietas van evolucionando haciéndose mayores y enlazándose unas con otras. Al continuar ejerciéndose la carga, algunas de estas grietas comienzan a hacerse inestables y a fallar traspasando el concreto de un lado a otro, las fibras definitivamente interrumpen y estabilizan las micro grietas.

1.4.2. Fabricación

Partiendo de la materia prima, que es el petróleo, obtendremos el propileno del que obtendremos el material para la fabricación de nuestras fibras de polipropileno.

- **Obtención del Polipropileno.**

Aunque los procesos comerciales de obtención del polipropileno son variados, se les puede clasificar, dependiendo del medio de reacción y de la temperatura de operación, en tres tipos:

1. **En masa.** El reactor contiene sólo propileno líquido, catalizador y el PP producto. El ejemplo más extendido de este tipo de procesos es el Spherizone.
2. **En suspensión.** Además de propileno y catalizador, en estos reactores se añade un diluyente inerte. Este tipo de procesos fue el utilizado en primer lugar por Montecatini y el más empleado hasta los años 1980 pero hoy en día (2007) ya no se construyen plantas basadas en él por ser más complejo que las alternativas (en masa y en fase gas). Sin embargo, las plantas construidas hasta los años 1980 siguen funcionando y produciendo sobre todo PP choque.
3. **En fase gas.** En este caso el propileno se inyecta en fase gas para mantener al catalizador en suspensión, formando un lecho fluido. A medida que el PP se va formando sobre las partículas de catalizador, éstas modifican su densidad, lo cual hace que abandonen el lecho al terminar su función.

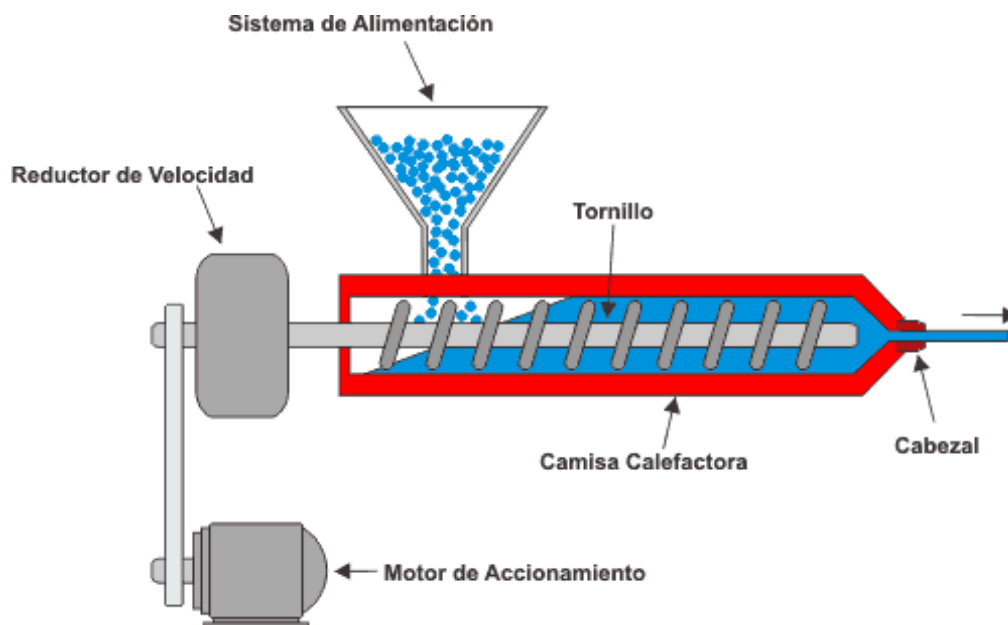
En la actualidad muchas de las nuevas unidades de producción incorporan procesos híbridos, en los que se combina un reactor que opera en suspensión con otro que opera en fase gas.

- **Extrusión del Polipropileno.**

Mediante la extrusión pueden ser obtenidos un sinnúmero de artículos continuos, entre los que se incluyen tubos, chapas, fibras, etc. Las chapas de polipropileno son hechas mediante el pasaje del material fundido a través de una matriz plana, y posteriormente enfriado en cilindros paralelos.

Las fibras son producidas por el corte y posterior estiramiento de una chapa, que luego son utilizadas en telares para la producción de tejidos, bolsas, etc.

Para otro tipo de elaboración de las fibras (Imagen 1.8), el material fundido es plastificado en una extrusora y forzado a través de minúsculos orificios, formando las fibras. De modo semejante son producidos los tejidos de polipropileno.



* Imagen 1.8. Esquema orientativo de la extrusión del polipropileno

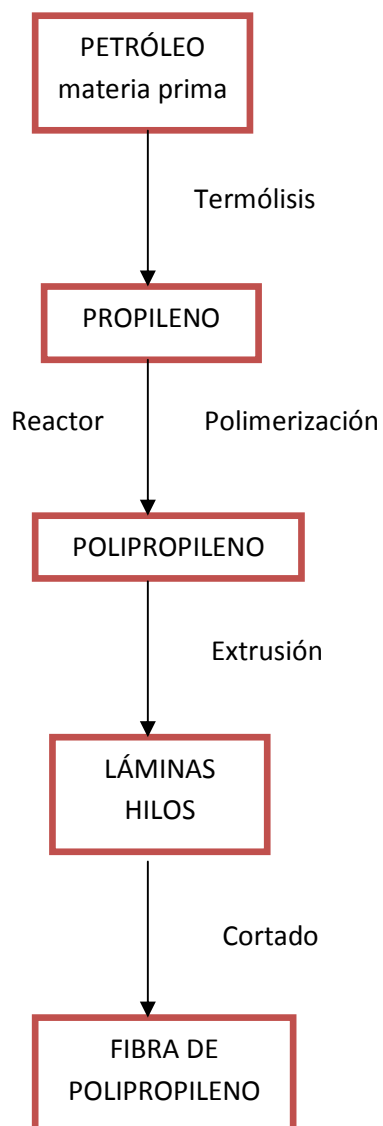
- **Secado.**

Los productos procedentes de la extrusión se pasan por diferentes dispositivos de secado con objeto de eliminar el exceso de agua en el que había disuelto durante el proceso, para consolidar sus propiedades frente a las aplicaciones a las que será sometido.

- **Transformación final:**

En la transformación final se realizarán las operaciones necesarias para conferir al hilo el formato adecuado para la correcta utilización por parte de los fabricantes de la fibra.

Esquema resumen del proceso de fabricación de las Fibras de Polipropileno



Capítulo 2

PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Introducción

En la actualidad, para el refuerzo de fibras de los hormigones, se utilizan fibras metálicas, plásticas y en algunos casos vegetales. Las fibras de polipropileno se usan mayormente como refuerzo de morteros, controlando la fisuración por retracción, para elementos prefabricados (mejoran la resistencia al impacto y al fraccionamiento de las piezas terminadas) y para Hormigones proyectados, en los que se producen menores pérdidas por rebote y se consiguen mayores espesores sin descuelgues de material.

En esta memoria se estudia el comportamiento mecánico de los hormigones reforzados con fibra de polipropileno multifilamento, caracterizando su resistencia a la compresión y a la flexotracción como función del porcentaje de fibra de polipropileno multifilamento adicionado. Además se han observado los cambios en la trabajabilidad en el hormigón dada la incorporación de la fibra de polipropileno multifilamento.

Utilizando un árido de tamaño máximo de 0.9 mm se establece un plan de ensayos a realizar en el laboratorio de materiales de construcción de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación de la Universidad Politécnica de Valencia.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo General

El objetivo general de esta memoria es determinar cómo varían las propiedades mecánicas del hormigón al adicionarle distintos porcentajes de fibra de polipropileno multifilamento

2.2.2 Objetivos Específicos

los objetivos específicos a conseguir con esta memoria se pueden clasificar en dos puntos, ambos referidos a la determinación de las propiedades del hormigón endurecido:

- Determinar la resistencia a la compresión.
- Determinar la resistencia a la flexotracción.

2.2.3 Variable a Estudiar en el Desarrollo Experimental

La variable a estudiar será el porcentaje de fibra de polipropileno multifilamento adicionada al hormigón, y su incidencia en la resistencia a compresión y resistencia a flexotracción de éste.

Dado lo anterior, se establecen dosificaciones óptimas para el hormigón reforzado con fibra de polipropileno, variando tan sólo la clase de cemento empleado.

2.3 Programa de Ensayos

Para cuantificar el efecto de la incorporación de fibras de polipropileno multifilamento al hormigón, se efectuarán ensayos comparativos entre un “hormigón patrón” (sin fibras) y hormigones con distinto porcentaje de fibra adicionado. La fibra usada será Sikafiber M-12, en un largo de 12 mm. Éste es el largo estándar, en que este tipo de fibra de polipropileno multifilamento, especialmente diseñada para hormigones, microhormigones y morteros, es confeccionada. Dicho largo condicionará el tamaño máximo de árido grueso, que para un refuerzo eficiente no debe sobrepasar los 20 mm y resistencias mínimas de 17.5 MPa. Dado lo anterior el tamaño máximo del árido grueso, para esta investigación, es de 0.9 mm.

Se utilizará un cemento de una calidad nominal, medida como resistencia a la compresión, de 42.5 a 62.5 Mpa, a los 28 días. Se ha considerado este tipo de hormigón, ya que se piensa que aplicaciones del hormigón reforzado con fibra de polipropileno multifilamento, que garanticen altas prestaciones mecánicas.

Los porcentajes adicionados de fibra de polipropileno multifilamento estarán comprendidos entre el 5% y el 20% en peso del cemento aumentando el porcentaje de fibra adicionada en cada ensayo, como se indica en la tabla siguiente. Dichas dosificaciones fueron obtenidas luego de realizar una investigación de la literatura existente sobre ensayos realizados con anterioridad, partiendo del máximo de fibra adicionada en otros ensayos, del 5% en peso de cemento, con la finalidad de ensayar y obtener nuevo resultados.

EN LA CONFECCIÓN DE LAS DISTINTAS AMASADAS EL RESTO DE LOS COMPONENTES PERMANECERÁ FIJO	VARIABLES	
	TIPO DE CEMENTO	% DE FIBRAS ADICIONADAS
	CEM II/B-V 42,5 R	0
		5
		10
		20
	CEM I -52.5 R	0
		5
		10
		15

Tabla 2.0. Porcentajes de fibras en peso de cemento

Los ensayos a realizar son los de resistencia a la compresión y resistencia a la flexotracción (tabla 2.1). Los ensayos se realizarán con el hormigón ya endurecido, mediante un procedimiento acelerado, que se explicará a continuación, para la obtención de resultados para un hormigón endurecido 1 día en cámara húmeda y 3 días en horno a 60 °C. Estos ensayos comprenden los 2 tipos de hormigones. Un resumen de los ensayos a realizar puede ser apreciado en la Tabla siguiente.

TIPO DE HORMIGON	TIPO DE CEMENTO	ENSAYO	TIEMPO
endurecido	CEM II/B-V 42,5 R	Flexo-tracción	8 días
		compresión	8 días
endurecido	CEM I -52.5 R	Flexo-tracción	8 días
		compresión	8 días

* Tabla 2.1.El Programa experimental de los ensayos con hormigón endurecido

2.4 Descripción de los Ensayos

2.4.1 Introducción

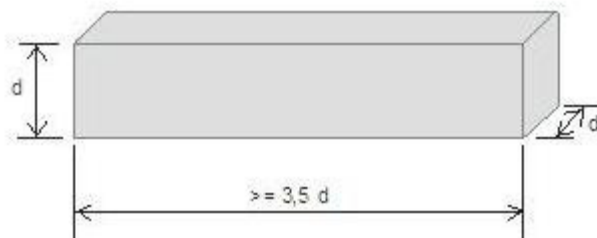
Para la realización de los ensayos se han empleado dos prensas con control electrónico tanto de la carga, como de la velocidad de aplicación de la misma, así como los útiles auxiliares necesarios para los ensayos de flexotracción y de compresión.

Se han ensayado probetas prismáticas normalizadas de 40 x 40 x 160 mm, de forma que como producto residual del ensayo de flexión (rotura de la probeta por la sección de aplicación de la carga) se obtienen dos probetas, la mitad de las cuáles, en general, se emplean para la ejecución del ensayo de compresión

2.4.2 Flexotracción

Se ha considerado de interés el caracterizar los hormigones del presente estudio en cuanto a su resistencia a la flexotracción, ello principalmente, debido a que una posible aplicación de estos hormigones sería la de pavimentos industriales, y en ese caso un aumento de la resistencia a flexotracción por efecto de las fibras sería muy beneficioso.

Para la realización de esta prueba se aplica una carga constante aplicada en dos puntos simétricos al centro de la pieza, estando apoyada la misma en dos puntos de sus extremos.

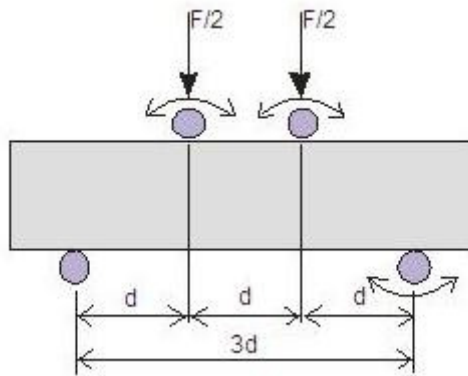


* Imagen 2.1. Relación óptima de la dimensión de las probetas a ensayar.

Geometría de las probetas utilizadas:

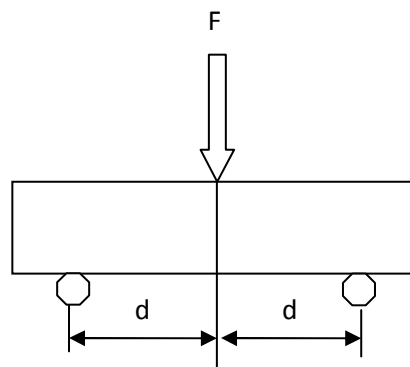
D= 40 mm

3.5 d = 140 mm < 160 mm CUMPLE



* Imagen 2.2. Realización idílica del ensayo de flexotracción

En nuestro caso utilizaremos probetas de sección cuadrada de 40 mm y longitud 160 mm, por lo tanto, debido a nuestra reducida geometría realizaremos el ensayo aplicando una única carga puntual en la mitad de la luz, que reflejará con la misma exactitud los resultados.



* Imagen 2.3. Realización de nuestro ensayo de flexotracción

2.4.3 Compresión

La resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes del hormigón, siendo también el factor que se emplea frecuentemente para definir su calidad.

El valor de la resistencia obtenido en el ensayo no es absoluto, puesto que depende de las condiciones en que ha sido realizado. Entre estas condiciones, las de mayor influencia son analizadas a continuación:

a. Forma y dimensiones de la probeta:

* Las probetas empleadas normalmente para determinar la resistencia a la compresión son de forma cúbica o cilíndrica. De las primeras, se emplean de preferencia las de 15 y 20 cm de arista, y para las segundas las de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

* En nuestro caso elegimos unas probetas de menor tamaño, 40 mm de sección cuadrada por 160 mm de longitud.

b. Condiciones de ejecución del ensayo:

* Velocidad de aplicación de la carga de ensayo

* Estado de las superficies de aplicación de la carga.

*Centrado de la carga de ensayo.

c. Características del hormigón:

* Tipo de cemento.

* Relación agua / cemento.

* Edad del hormigón.

d. Condiciones ambientales:

* Temperatura.

* Humedad.

Capítulo 3

METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.1 Materiales

3.1.1 Áridos

El árido empleado es de tamaño máximo 0.9 mm, cuya procedencia es la planta de áridos SIKA S.A.U. en Alcobendas, Madrid.

Hemos elegido éste tipo de agua debido a que para el uso de fibras de polipropileno multifilamento es preceptivo un árido de la mayor finura posible, para que el hormigón se encuentre suficientemente hidratado, ya que éste tipo de fibras tiene una absorción de agua nula.

Las propiedades del árido se muestran en la Tabla 3.1.

Denominación	Usos	Granulometría	Densidad aparente	Presentación
Sikadur - 502	* Elaboración de capas de lisaje y de fondo, utilizando sikafloor 161 E como ligante * Espolvoreo de las capas de lisaje y de fondo	0.4 - 0.9 mm	≈1.69 kg/l	Sacos 18 kg

*** Tabla 3.1 Propiedades del árido utilizado en la investigación.**



* Imágenes 3.1, 3.2, 3.3. Arriba izquierda portada saco 18 kg árido Sikadur-502, arriba derecha reverso saco y abajo apreciación de la finura del árido seleccionado

3.1.2 Cemento

Se han utilizado dos tipos de cemento para hormigón de distintas prestaciones y calidad para la realización de los ensayos;

En primer lugar hemos elegido un CEM II/B-V 42,5 R, un cemento especial para hormigón de LAFARGE, proveniente de la delegación de Levante, Sagunto (Valencia).

Cabe destacar que este cemento cumple con las especificaciones recogidas en las UNE EN 197-1:2000 y RC-08.

Las propiedades del cemento se muestran en la Tabla 3.2.

En segundo lugar hemos elegido un CEM I/52.5 R, un cemento de alta resistencia de CEMENTOS LA UNION, proveniente de la delegación Ribarroja del Túrria (Valencia).

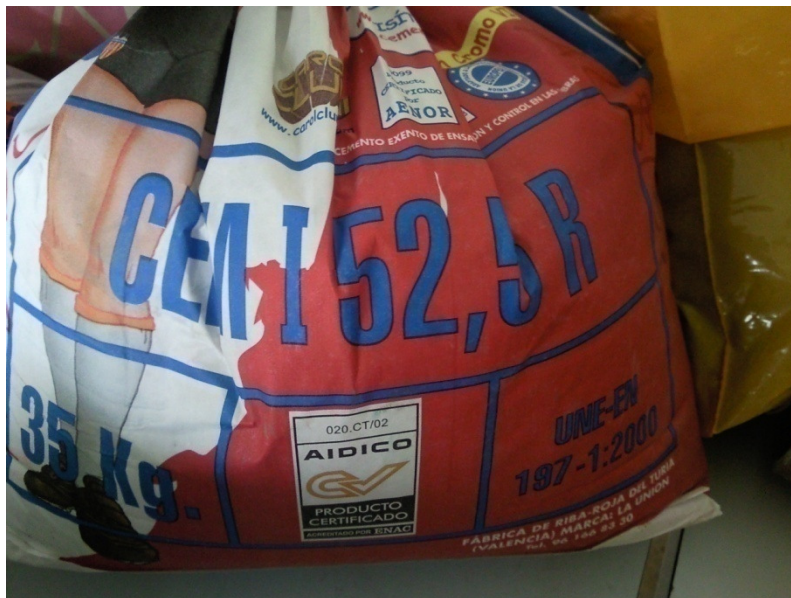
Cabe destacar que el cemento tiene certificación conformidad cementos especiales AIDICO y también cumple con las especificaciones recogidas en las UNE EN 197-1:2000 y RC-08.

	CEM II/B-V 42,5 R	CEM I/52.5 R
Composición en masa		
Clinker	65-79%	98%
Cenizas volantes	21-35%	2%
Componentes minoritarios	0-5%	0%
Exigencias químicas		
sulfato	≤ 4%	
cloruros	≤ 0,10%	
Cromo	≤ 2 ppm	
Exigencias mecánicas		
R. compresión a 2 días	≥20 MPa	
R. compresión a 28 días	≥42.5 MPa ≤ 62.5 MPa	
Exigencias Físicas		
Inicio de fraguado	≥ 60 minutos	
Expansión	≤ 10 mm	

* Tabla 3.2. Propiedades de los cementos utilizados durante la investigación



* Imagen 3.4 Cemento CEM II/B-V 42,5 R LAFARGE



* Imagen 3.5 Cemento CEM I/52.5 R CEMENTOS LAUNON

3.1.3 Fibras de Polipropileno

La fibra de polipropileno utilizada, Es una fibra multifilamento de polipropileno diseñada para ser mezclada con hormigones y morteros con el fin de aumentar su durabilidad y evitar la fisuración. Su nombre comercial es Sikafiber M-12, y es fabricado por el grupo Sika. El diámetro del filamento corresponde a 31 micras y su longitud a 12 mm. En la siguiente tabla se recogen las principales propiedades de la fibra.

Propiedad	Valor
Composición química	Fibras de polipropileno
Densidad	0.91 kg/l
Absorción de agua	nula
Alargamiento a rotura	80-140%
Resistencia química	Resistente a los rayos ultravioletas. Inerte a los álcalis del cemento, ácidos en general, agua de mar, residuos alimentarios y ganaderos, aceites vegetales. Imputrescible, resistente a hongos y bacterias.
Longitud	12 mm
Tenacidad	280-310 N/mm ²
Punto de fusión	163-170 °C
Diámetro de las fibras	31 micras
Numero de fibras por kilo	102 millones

* Tabla 3.3 Propiedades de Sikafiber M-12



* Imagen 3.6 Bolsa soluble Sikafiber M-12



* Imagen 3.7 Fibra de PP multilamento Sikafiber M-12

3.1.4 Agua

Para la confección de los hormigones se utiliza agua potable tomada directamente desde la red de suministro de la ciudad de Valencia. Esta agua cumple con la Ley 4/2005 de Salud Pública de la Comunitat Valenciana, del *Agua de Consumo Humano* de la Comunitat Valenciana, referida a los requisitos del agua potable.

3.1.5 Aditivo

Al adicionar fibra de polipropileno, disminuye la trabajabilidad del hormigón. Por este motivo se utiliza un aditivo superplastificante de alto rendimiento. El aditivo usado es Sika ViscoCrete-20, fabricado por SIKA S.A.

La dosificación utilizada es la recomendada por el fabricante, que equivale al 6% en peso de cemento.



* Imagen 3.8. Aditivo Sika ViscoCrete 20HE

3.1.6 Humo de Sílice

El microsíllice (o humo de sílice) suele definirse como una “súper puzolana” por las propiedades que proporciona al cemento.

El microsíllice, debido a su extrema finura además de su contenido de sílice, tiene un importante papel en las reacciones internas de la pasta de hormigón.

Al ser tan pequeñas las partículas, estas actúan llenando los espacios vacíos en la pasta haciendo que el hormigón tenga mayores propiedades adherentes, creando mayor compacidad a la vez que brinda más fluidez a la mezcla. Además ayuda a reducir la exudación de agua en la superficie y proporciona reducciones significativas en la permeabilidad del hormigón y, al ser menos permeable, incrementa también la durabilidad del mismo.

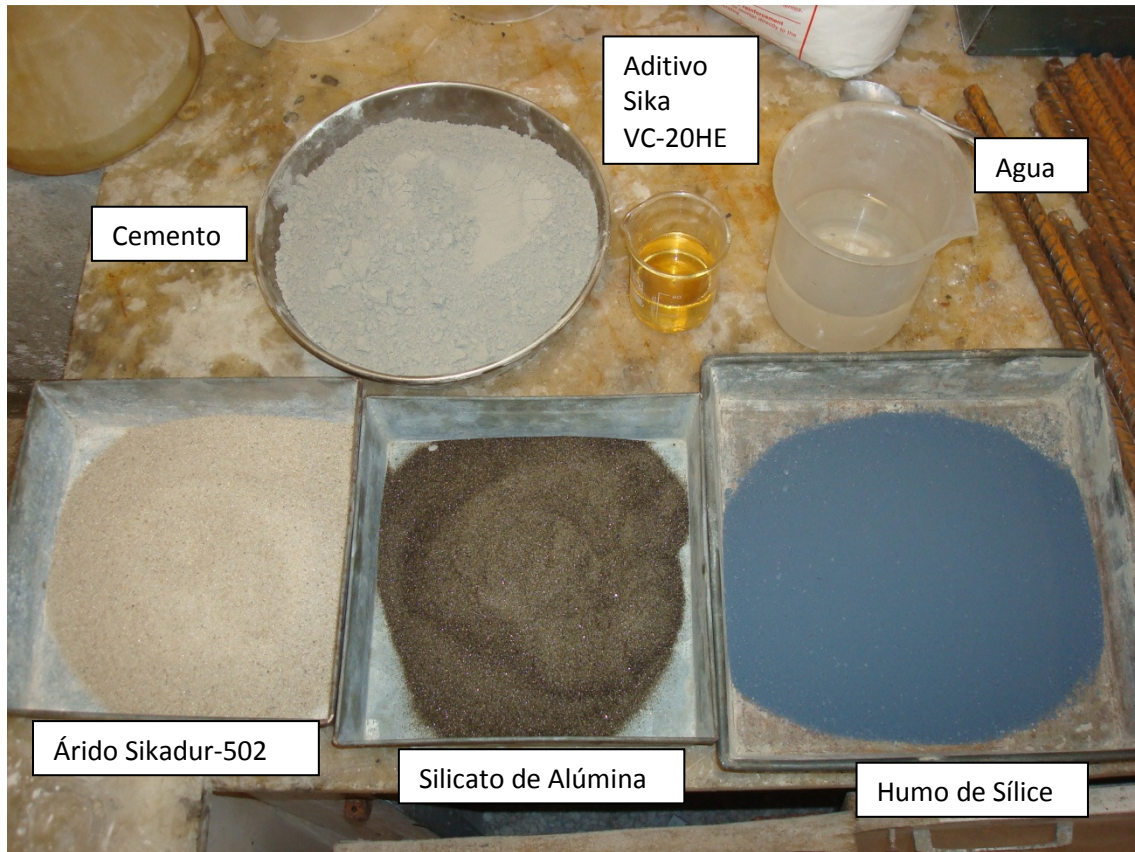
En cuanto a la resistencia del hormigón, se han determinado aumentos significativos desde 20 a 50%, obteniendo mayores beneficios con el uso de súper plastificantes. Al hacer uso de éstos los contenidos normales de microsíllice varían entre el 5% y el 15% del peso del cemento. (20% en nuestro caso)

Otra de las propiedades que brinda el uso de microsíllice como adición es el incremento de la resistencia al ataque de sulfatos y cloruros, reduce casi hasta eliminar una probable reacción álcali sílice. Todo esto se traduce en mayor durabilidad en los elementos en los cuales se emplee esta adición y que estén sometidos a climas extremos tales como hielo-deshielo, etc.

3.1.7 Silicato de Alúmina Al_2O_3

Vemos necesario garantizarle cierta resistencia al fuego al hormigón que vamos a ensayar, por lo tanto utilizaremos materiales que son difíciles de fundir a altas temperaturas. En general se utilizan óxidos de metales.

En nuestro caso utilizaremos Al_2O_3 (alúmina): cuyo punto de fusión es de 2050 °C, en una proporción del 40 % en peso de cemento.



* Imagen 3.9. Presentación de los materiales

3.2 Dosificación y Confección del Mortero (Ver Anexo I)

3.2.1 Dosificación del Mortero Patrón [1]

Material	Peso (g/litro)
Cemento	1000
Humo de Sílice	200
Árido Sikadur-502	600
Silicato de Alúmina	400
Aditivo Sika ViscoCrete-20 HE	60
Agua de amasado	260
Peso total	2520
Relación A/C	0.26

* Tabla 3.3 Dosificación del mortero [1]

3.2.2 Confección del Mortero

Se ha seguido el mismo procedimiento para la confección de las distintas amasadas, tan sólo variando la cantidad de fibras adicionadas al hormigón.

El procedimiento detallado de la confección de los hormigones se describe a continuación:

- a) Pesaje de cada uno de los compuestos separadamente en báscula electrónica.
- b) Preparar la amasadora mecánica, limpieza de la cuba y revisión de la hélice.
- c) Cargar la cuba de la amasadora con el cemento y la mitad aproximada del agua de amasado.
- d) Activar la amasadora durante un ciclo de 50 segundos
- e) Verter el aditivo al agua restante, homogeneízan la mezcla y añadir a la cuba de amasado.
- f) Activar la amasadora durante 2 ciclos de 50 segundos
- g) Añadir a la mezcla el humo de sílice
- f) Activar la amasadora durante 3 ciclos de 50 segundos
- h) Añadir el Silicato de Alúmina a la cuba junto al aditivo que haya escurrido de las paredes del vaso que lo contenía.
- i) Activar la amasadora durante un ciclo de 50 segundos
- j) En su caso, añadir las fibras de polipropileno a la cuba de la amasadora (asegurándose de que la fibra se reparta de una manera homogénea en la mezcla).
- k) Activar la amasadora durante un ciclo de 50 segundos (En el caso de haber añadido fibra).
- l) Poner el árido en la cuba junto al resto de los componentes.
- m) Activar la amasadora durante 2 ciclos de 50 segundos

n) Moldear las probetas correspondientes para los ensayos planificados.

El proceso de mezclado de los distintos componentes requiere un tiempo aproximado de 10 minutos, el de pesaje de los materiales 10 minutos y moldear la probeta unos 5 minutos, por lo tanto el proceso de elaboración de una amasada es aproximadamente de 25 minutos. Los trabajos se pueden realizar tan solo con una persona debido a las proporciones utilizadas.

3.2.3 Programación de las Amasadas

Se planifica de ejecución de 2 tandas de 4 amasadas, cada una con un tipo de cemento distinto pero manteniendo la dosificación del mortero patrón:

- Primera Tanda: en esta tanda vamos a utilizar un cemento 42.5R de LAFARGE, descrito anteriormente, realizaremos 4 amasadas, una inicial, a la que llamaremos “patrón”, y luego 3 amasadas con distinto porcentaje de fibras de polipropileno, 5, 10 y 20 gramos respectivamente. Los moldes que vamos a utilizar proporcionan 3 probetas cada unos, por lo tanto obtendremos un total de 12 probetas.

- Segunda Tanda: en esta tanda vamos a utilizar un cemento 52.5R de CEMENTOS LA UNION, descrito anteriormente, realizaremos 4 amasadas, una inicial, a la que llamaremos “patrón”, y luego 3 amasadas con distinto porcentaje de fibras de polipropileno, 5, 10 y 15 gramos respectivamente. Los moldes que vamos a utilizar proporcionan 3 probetas cada unos, por lo tanto obtendremos un total de 12 probetas.

TANDA	AMASADA	FIBRAS	Nº PROBETAS	CEMENTO
1	1	0	3	42.5R
	2	5	3	42.5R
	3	10	3	42.5R
	4	20	3	42.5R
2	1	0	3	52.5R
	2	5	3	52.5R
	3	10	3	52.5R
	4	15	3	52.5R

***Tabla 3.4. Identificación de las amasadas**

3.3 Tipología de Probetas Fabricadas en Laboratorio

Para la fabricación de las probetas se eligió el molde que aparece en imagen más abajo, que conforma 3 probetas prismáticas de 160 mm de sección cuadrada de 40 mm, para cada amasada.



*** Imagen 3.10. Tipología de probeta**

3.3.1 Fabricación de Probetas Prismáticas para Ensayos de Flexotracción y Compresión

La mezcla fue vertida a los moldes, previamente engrasados, en dos capas de espesor similar, procediendo a alisarlas. Terminado alisado superficial se procedió al vibrado de las caras del molde, para evitar que se quede aire atrapado en la probeta. El tiempo requerido para llenar el molde fue de aproximadamente 5 minutos. Las dimensiones de estos moldes prismáticos corresponden a 4 cm de ancho, 4 cm de alto y 16 cm de largo. El número total de probetas prismáticas también ascendió a 20.



*** Imagen 3.11. Alisado de la superficie de la probeta**



***Imagen 3.11. Vibrado de las caras del molde**

3.3.2 Curado Inicial y Desmolde de las Probetas

Una vez concluido el proceso de llenado de los moldes, se metió en la cámara húmeda del laboratorio cada una de las probetas para que no perdieran su agua superficial.

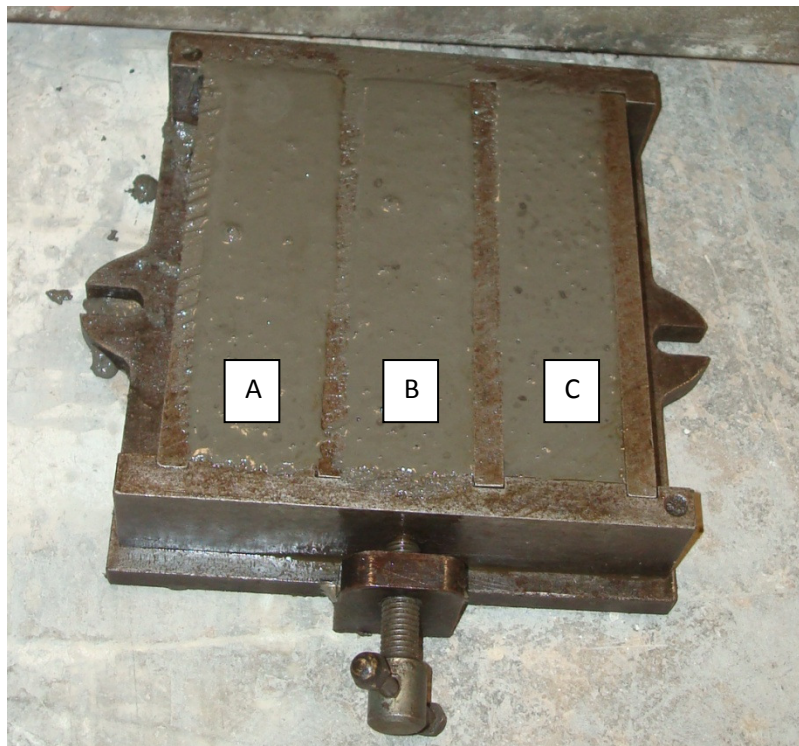
A las 24 horas se procedió al desmolde de las probetas prismáticas en el laboratorio, limpiando y engrasando de nuevo lo moldes utilizados.

3.3.3 Identificación de las Probetas

La manera de identificar las probetas una vez sacadas del horno se puede apreciar en la tabla que se muestra a continuación

Identificador de tanda	Identificador % fibra	Identificador probeta
A o B	000,005,010,015 o 020	A,B o C

Ejemplo: una probeta realizada con CEM 42.5 R, realizada con un porcentaje de fibras del 5 % del peso en cemento y situada la derecha del molde (siempre con la llave del molde mirando hacia nosotros), se identificaría en su sección así: **A005C**



***Imagen 3.12. Identificador de probeta**

3.3.4 Curado de las Probetas en el Laboratorio

Las probetas cúbicas fueron colocadas en la cámara de curado (ver foto) a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ y a una humedad relativa de $97 \pm 1\%$. Las probetas estuvieron 2 días en la mencionada cámara.



***Imagen 3.13. Cámara húmeda**

Las probetas prismáticas fueron sumergidas en agua tranquila y saturada con cal, y colocadas en un horno a la temperatura de aproximada de 60°C . Dichas probetas prismáticas estuvieron 3 días sumergidas en agua en el horno del laboratorio de materiales de la ETSIE.



***Imagen 3.14. Horno**



***Imagen 3.15. Balde lleno de agua donde se sumergen las probetas para meterlas al horno**

Una vez extraídas las probetas del horno, se colocaron de nuevo en la cámara húmeda a la misma temperatura y humedad de la anterior vez, durante el periodo de tiempo de un día. Una vez extraídas las probetas ya están listas para ser ensayadas.

3.4 Desarrollo de los Ensayos

3.4.1 Ensayo de Flexotracción

El ensayo de flexotracción se ejecuta para las dimensiones de esta probeta aplicando una carga puntual constante, aplicada en el tercio central de la luz de ensayo a una velocidad de carga de 0,2 KN/s. Se ha escogido una luz de ensayo de 11 cm, de esta manera se respeta la distancia mínima de 2,5 cm que suele quedar entre las líneas de apoyo y los extremos de la probeta. Obtendremos 3 resultados para cada amasada, que nos lo facilitará la instalación de un palpador en la máquina de rotura.



***Imagen 3.16. Maquinaria utilizada para la realización de ensayos a flexotracción**

3.4.2 Ensayo de Compresión

El ensayo se desarrolla una vez realizado el ensayo de flexotracción, ensayaremos a compresión uno de los dos fragmentos resultantes del ensayo. Se obtendrán tres resultados por cada amasada. Una vista de este ensayo puede apreciarse a continuación en la foto.



***Imagen 3.17. Maquinaria utilizada para la realización de ensayos a compresión.**



***Imagen 3.18. Parte resultante del ensayo de flexotracción, objeto de ensayo a compresión.**

Capítulo 4

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Ensayo de Flexotracción

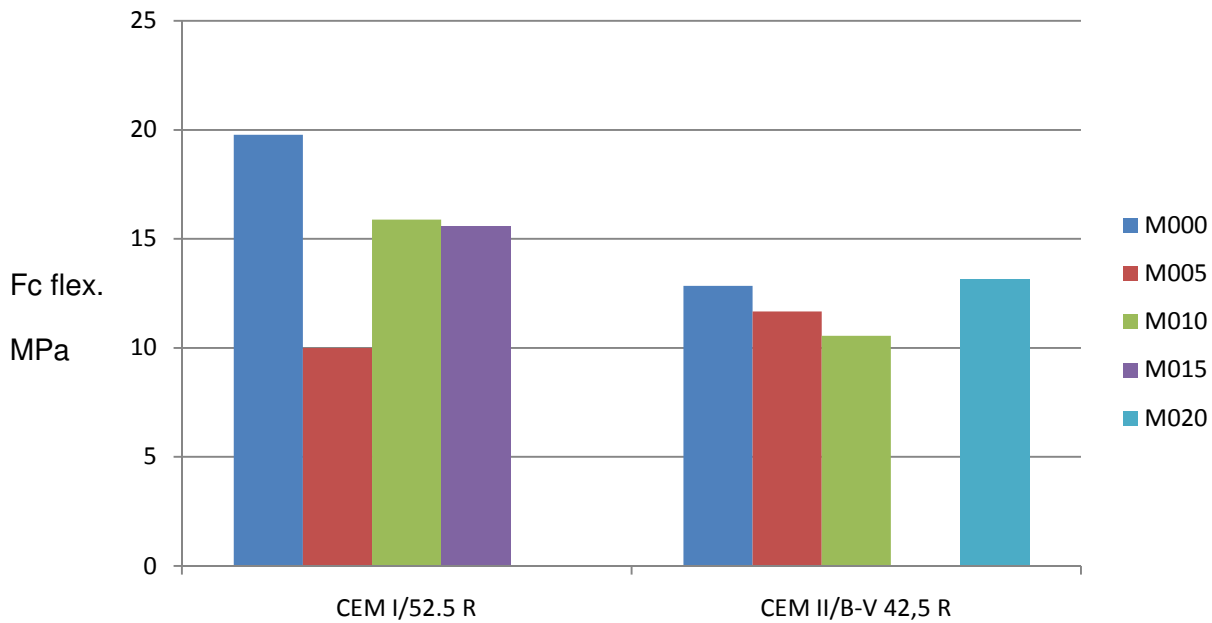
Al realizar el ensayo de compresión se obtienen los valores que se indican en la tabla 4.1 (Ver Anexo I)

Indicador de Fibras	% Fibras	Promedio de Resistencia a Flexotracción (MPa)		Variación respecto de la amasada patrón	
		CEM I/52.5 R	CEM II/B-V 42,5 R	CEM I/52.5 R	CEM II/B-V 42,5 R
M000	0%	19.77	12.85	-	-
M005	5%	10	11.67	- 49.41%	-9.18%
M010	10%	15.88	10.55	-19.67%	-17.89%
M015	15%	15.58	-	-21.19%	-
M020	20%	-	13.13	-	2.18%

* Tabla 4.1. Resultado del Ensayo a Flexotracción

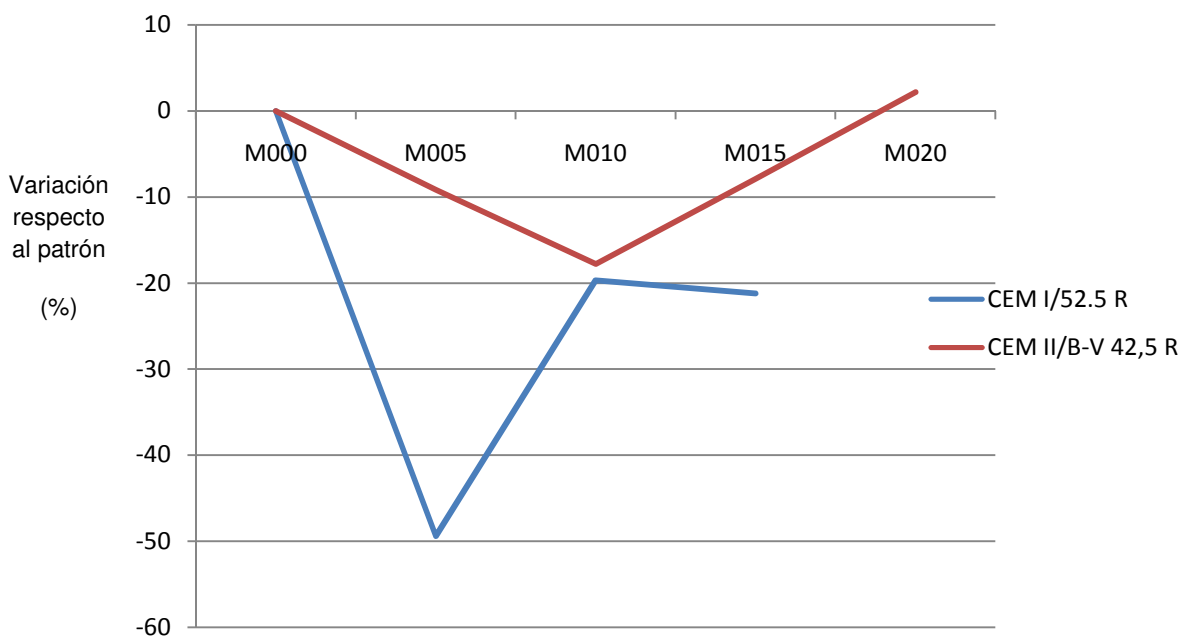
Para las amasadas realizadas con CEM II/B-V 42,5 R, los resultados obtenidos indican que a medida que agregamos fibra la capacidad resistente de las probetas se ve mermada, únicamente cuando la proporción de fibras es del 20% en peso de cemento comenzamos a notar una leve mejora, pero dicho aumento es muy pequeño.

Mientras para las probetas realizadas con CEM I/52.5 R, los resultados obtenidos muestran que la resistencia cae en picado con la adición de estas fibras multifilamento, a partir de la proporción del 10% en peso de cemento observamos una recuperación de la resistencia, todavía por debajo del amasado patrón.



*** Gráfico 4.1. Resultado del Ensayo a Flexotracción**

En el gráfico se puede apreciar que si bien hay un efecto en el aumento de la resistencia a la flexotracción a medida que se adiciona mayor porcentaje de fibra de polipropileno, porcentualmente esta variación es considerable, disminuyendo la entre el 50% y el 20% de su resistencia para las amasadas con cemento CEM I/52.5 R y variando el incremento de resistencia entre el -18% y el 2% para las amasadas con cemento CEM II/B-V 42,5 R.



*** Gráfico 4.3. Variación (%) de la resistencia a Flexotracción por influencia de la fibra agregada**

4.2 Ensayo de Compresión

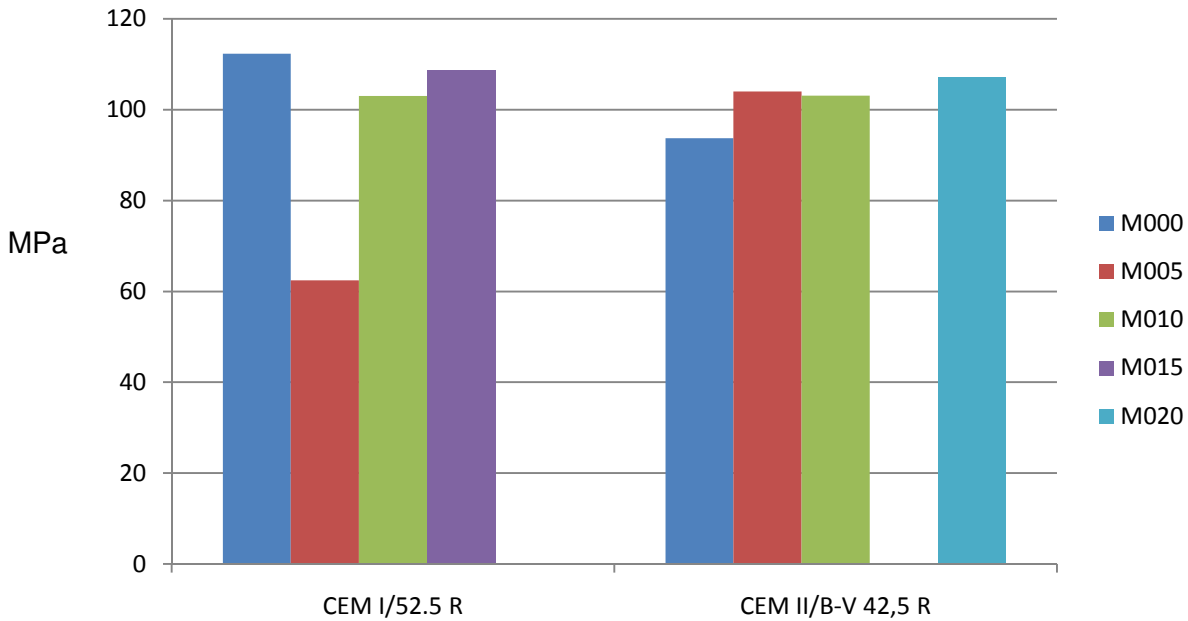
Al realizar el ensayo de compresión se obtienen los valores que se indican en la tabla

Indicador de Fibras	% Fibras	Promedio de Resistencia a Compresión (MPa)		Variación respecto de la amasada patrón	
		CEM I/52.5 R	CEM II/B-V 42,5 R	CEM I/52.5 R	CEM II/B-V 42,5 R
M000	0%	112.33	93.76	-	-
M005	5%	62.41	104	- 44.44	10.92
M010	10%	103	103.10	- 8.30	9.96
M015	15%	108.61	-	- 3.28	-
M020	20%	-	107	-	14.12

* Tabla 4.2. Resultado del Ensayo a compresión

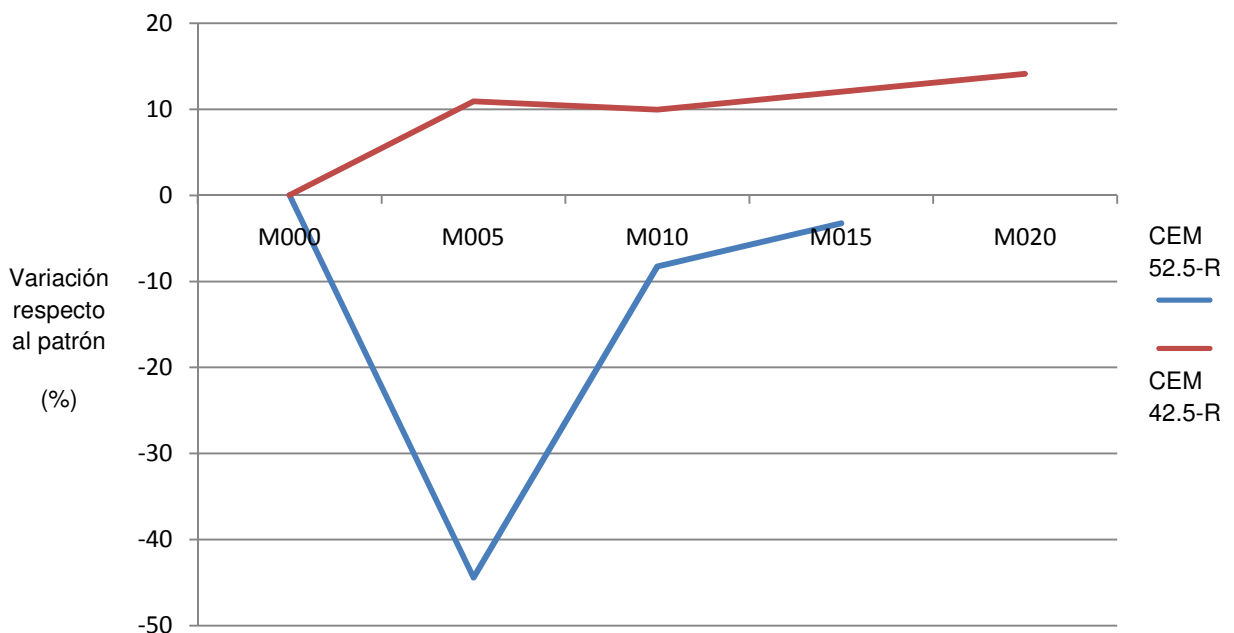
Para las amasadas con CEM II/B-V 42,5 R, los resultados obtenidos indican que a medida de que se aumenta la cantidad de fibra adicionada, aumenta la resistencia a compresión, este aumento es muy pequeño, a partir de 5 gramos de fibra prácticamente no se aprecia cambio.

Mientras que para las amasadas elaboradas con CEM I/52.5 R, los resultados muestran que con la adición de fibras obtenemos una caída de resistencia inicial y a medida que añadimos cantidades de fibras mayores se produce un aumento en la resistencia, a partir de la adición de 10 gramos de fibra el aumento de la resistencia no es tan considerable.



*** Gráfico 4.4. Gráfico resultado del Ensayo a Compresión**

En el gráfico se puede apreciar que si bien hay un efecto en el aumento de la resistencia a la compresión a medida que se adiciona mayor porcentaje de fibra de polipropileno, porcentualmente esta variación es considerable, disminuyendo la entre el -45% y el 3% de su resistencia para las amasadas con cemento CEM I/52.5 R y aumentando entre el 10% y el 15% para las amasadas con cemento CEM II/B-V 42,5 R.



*** Gráfico 4.5. Variación de la resistencia a la compresión por influencia de la fibra agregada**

Capítulo 5

CONCLUSIONES

5.1 El Hormigón en Estado Fresco

La incorporación de fibras de polipropileno, tiene una serie de repercusiones sobre las propiedades del hormigón en estado fresco, destacando entre ellas la reducción de la trabajabilidad. A medida que aumenta el porcentaje de fibra de polipropileno adicionado al hormigón la docilidad de la mezcla disminuye.

A lo largo de la investigación se han ido adaptando los porcentajes de fibra a adicionar según la trabajabilidad de la masa. Por lo que se ha elaborado la siguiente tabla, que refleja la docilidad del mortero cuando era amasado y según la dificultad que tubo la conformación de las probetas en los moldes.

AMASADA	% FIBRAS (en peso cemento)	Nivel de Dificultad del amasado	Nivel de Dificultad conformación moldes
A000	0	0	0
A005	5	1	1
A010	10	1	2
A020	20	2	3
B000	0	0	0
B005	5	1	1
B010	10	2	2
B015	15	3*	3

* Tabla 4.3. Valoración de la trabajabilidad de las amasadas

NIVELES:

0 – Dificultad Baja

1 – Dificultad Media

2 – Dificultad Alta

3 – Dificultad Muy Alta. (La puesta en obra de este tipo de dosificación es prácticamente nula)

* Cabe destacar que se presentaba peor trabajabilidad en las amasadas tipo B, por lo tanto se optó por no realizar ensayos con 20 gramos de fibra adicionada, sino con 15% pese a esto la amasadora mecánica se sobrecalentó y hubo que terminar el amasado manualmente.



* Imagen 4.1. Tomada durante el momento del amasado



* Imagen 4.2. Corresponde a una amasada de trabajabilidad Nivel 3 (Dificultad Muy Alta)

La pérdida de trabajabilidad en el hormigón con fibras está acompañada de un efecto que puede ser beneficioso, ya que se aumenta la cohesión del hormigón. Lo anterior ofrece algunas ventajas constructivas en algunas obras particulares, tales como hormigonado de taludes, vaciado del hormigón desde cierta altura y hormigón proyectado

5.2 El Hormigón Endurecido

En cuanto a las propiedades mecánicas de **compresión** del hormigón endurecido, se pueden apreciar dos comportamientos distintos, uno para cada tanda de amasadas:

Para la primera tanda con CEM II/B-V 42,5 R, se ha podido observar que la resistencia a compresión aumenta a medida que le añadimos fibra de polipropileno, pero a partir de la cantidad del 5% de fibras en peso de cemento, con la que aumenta la resistencia un 10.92 %, el aumento no es relevante.

Para la segunda tanda de amasadas con CEM I/52.5 R la resistencia a la compresión experimenta una caída de resistencia cuando le añadimos fibra de polipropileno y va aumentando a medida que la mezcla de hormigón contiene mayor porcentaje de fibra de polipropileno.

En el primer caso el aumento es muy pequeño, cuando se produce, teniendo un máximo de variación con respecto al hormigón patrón del orden del 14.12%. Se puede decir, que la adición de fibra de polipropileno no tiene una notable influencia en el aumento de la resistencia a la compresión del hormigón realizado con CEM II/B-V 42,5 R.

En el segundo caso se disminuye la resistencia a compresión del hormigón, teniendo un máximo de variación con respecto al hormigón patrón del orden del 44.44%. Se puede decir, que la adición de fibra de polipropileno tiene una importante influencia en la disminución de la resistencia a la compresión del hormigón realizado con CEM I/52.5 R, llegando incluso a disminuir su resistencia a la mitad.

En cuanto a las propiedades mecánicas de **flexotracción** del hormigón endurecido, se pueden apreciar dos comportamientos muy similares para cada tanda de amasadas:

Para la primera tanda con CEM II/B-V 42,5 R, se ha podido observar que la resistencia a flexotracción sufre una caída con la adición de fibras y más tarde

aumenta a medida que le añadimos más cantidad fibra de polipropileno, pero a hasta la cantidad aproximada del 20% en peso del cemento el hormigón no recupera la resistencia inicial de la patrón.

Para la segunda tanda de amasadas con CEM I/52.5 R la resistencia a la flexotracción experimenta una caída de resistencia cuando le añadimos fibra de polipropileno y va aumentando a medida que la mezcla de hormigón contiene mayor porcentaje de fibra de polipropileno, pero no experimenta ningún cambio importante con más del 10 % de fibras en peso de cemento.

En el primer caso el disminución inicial de resistencia es importante, teniendo un máximo de variación con respecto al hormigón patrón del orden del 17.89%. Se puede decir, que la adición de fibra de polipropileno si tiene influencia en la disminución de la resistencia a flexotracción del hormigón realizado con CEM II/B-V 42,5 R.

En el segundo caso se disminuye la resistencia a flexotracción del hormigón, teniendo un máximo de variación con respecto al hormigón patrón del orden del 49.41%. Se puede decir, que la adición de fibra de polipropileno tiene una importante influencia en la disminución de la resistencia a la flexotracción del hormigón realizado con CEM I/52.5 R, llegando incluso a disminuir su resistencia a la mitad.

Cabe destacar que el hormigón preparado con CEM I/52.5 R, tiene la propiedad de conseguir resistencias a más corto plazo, debido a su mayor cantidad de silicato tricálcico, por lo cual es muy difícil que la resistencia mecánica presente mejoras en este aspecto con la adición de fibras.

“Cabe destacar que las conclusiones obtenidas no pueden afirmarse de una manera absoluta, ya que los ensayos se han realizado con un número de amasadas limitado, por lo que se pueden ver afectadas las tendencias respecto a la variación de las resistencias”

5.3 Posibles usos del hormigón reforzado con Fibra de Polipropileno Multifilamento.

El uso de fibras de polipropileno como parte integrante del hormigón, es capaz de producir cambios desfavorables en su comportamiento. De los ensayos realizados se advierte que las mayores pérdidas se obtienen en la disminución de la resistencia a la flexotracción de los hormigones.

En base a la bibliografía estudiada, se encuentra que existe acuerdo en cuanto a que el hormigón reforzado con fibras de polipropileno no mejora en ningún aspecto la capacidad mecánica del hormigón, tan solo en desacuerdo con las fichas técnicas de algunas empresas dedicadas a la fabricación y venta de estas fibras.

Pero a su vez, si que se ha observado en el momento de la rotura de probetas a flexotracción que la rotura es menos frágil en aquellas que contenían fibras de polipropileno, garantizando al hormigón una mayor ductilidad.

Como consecuencia del análisis de los resultados de la presente investigación, cabe destacar aquellos usos apropiados para la utilización de éste tipo de fibras:

- Losas de hormigón (soleras, forjados).
- Pavimentos de hormigón.
- Hormigón y Mortero proyectado.
- Morteros.
- Revocos de fachadas.
- Revocos de para mejor la Resistencia al Fuego.
- Elementos prefabricados.

Podrá sustituir a la armadura destinada a absorber las tensiones que se producen durante el fraguado y endurecimiento del hormigón. Pero nunca sustituirá a las armaduras principales obtenidas mediante cálculo.

5.4 Comparación con otras fibras de refuerzo.

Dos de las fibras más usadas en el refuerzo del hormigón además de la de polipropileno, son la fibra de vidrio y la fibra de acero.

La fibra de vidrio presenta la mayoría de los atributos en el hormigón que presenta la fibra de polipropileno, sin embargo, sí que tiene influencia en el aumento de la resistencia a la flexotracción en el hormigón, como no lo hace la fibra de polipropileno multifilamento. Desde este punto de vista la fibra de vidrio es superior.

La fibra de acero presenta propiedades similares en el hormigón a las que presenta la fibra de polipropileno, sin embargo, el peso propio de la misma y la dificultad de la puesta en obra juegan en su contra. Desde este punto de vista la fibra de polipropileno es superior.

5.5 Propuesta de Investigaciones futuras.

Tras realizar la presente investigación, surgen varias ideas acerca de otros aspectos relativos al hormigón reforzado con fibra de polipropileno, que podrían ser tratados en investigaciones futuras, entre ellos:

- Grado de resistencia al fuego que garantizan vinculada a la pérdida de propiedades mecánicas del hormigón.
- Influencia del porcentaje de fibra en la puesta en obra del hormigón armado.
- Comparación extensiva de la fibra de polipropileno multifilamento y las otras fibras para su uso en hormigón proyectado.
- Efecto de la fibra en la confección de elementos prefabricados.

Espero que la presente investigación, que concluye aquí, de pie a futuras investigaciones del hormigón con fibras y sus verdaderas propiedades como refuerzo del hormigón.

Anexo 1. Tablas de resultados y gráficas complementarias

ANÁLISIS DETALLADO DE LA METODOLOGÍA EXPERIMENTAL DEL TRANCURSO DE LA INVESTIGACIÓN

TANDA 1		
ENSAYOS REALIZADOS CON CEM 42,5 R LAFARGE		
abr-11		TAREA DESEÑADA
martes	12	Elaboración de las amasadas y confección de las probetas (se colocaron en la cámara húmeda, curado inicial)
miércoles	13	Desmoldado y colocación en la cámara húmeda
jueves	14	Cámara húmeda
viernes	15	Colocación de las probetas en el horno a 60° sumergidas en agua
sábado	16	horno
domingo	17	horno
lunes	18	Sacar del horno y colocación en cámara húmeda
martes	19	Realización de los ensayos de flexotracción y compresión

TANDA 2		
ENSAYOS REALIZADOS CON CEM 52,5 R CEMENTOS LA UNIÓN		
may-11		TAREA DESEÑADA
martes	10	Elaboración de las amasadas y confección de las probetas (se colocaron en la cámara húmeda, curado inicial)
miércoles	11	Desmoldado y colocación en la cámara húmeda
jueves	12	Cámara húmeda
viernes	13	Colocación de las probetas en el horno a 60° sumergidas en agua
sábado	14	horno
domingo	15	horno
lunes	16	Sacar del horno y colocación en cámara húmeda
martes	17	Realización de los ensayos de flexotracción y compresión

* Cronología de la etapa experimental

TANDA 1
CEM 42.5R

Ensayos realizados dia 19 Abril

			Resultados ensayo a Flexión		Resultado ensayo a Compresion	
Molde	Amasada	Gramos de fibra	Fuerza Kn	Resistencia Mpa	Fuerza Kn	Resistencia Mpa
M000						
	1	0	5,47	12,77	150,9	94,33
	2	0	5,84	13,62	152,1	95,07
	3	0	5,19	12,16	147	91,89
		Resultado medio	5,5	12,85	150	93,76
M005						
	1	5	5,12	12,16	172	107,48
	2	5	5,04	11,81	160,5	100,33
	3	5	4,71	11,04	166,7	104,2
		Resultado medio	4,96	11,67	166,40	104,00
M010						
	1	10	4,46	10,45	165,3	103,29
	2	10	4,24	9,94	161,7	101,05
	3	10	4,81	11,27	167,96	104,96
		Resultado medio	4,50	10,55	164,99	103,10
M020						
	1	20	5,33	12,49	164,9	103,08
	2	20	5,43	12,73	171,9	107,41
	3	20	6,05	14,18	176,7	110,43
		Resultado medio	5,60	13,13	171,17	106,97

RESULTADO MEDIO MAS ELEVADO
PROBETA DE MEJOR RESULTADO

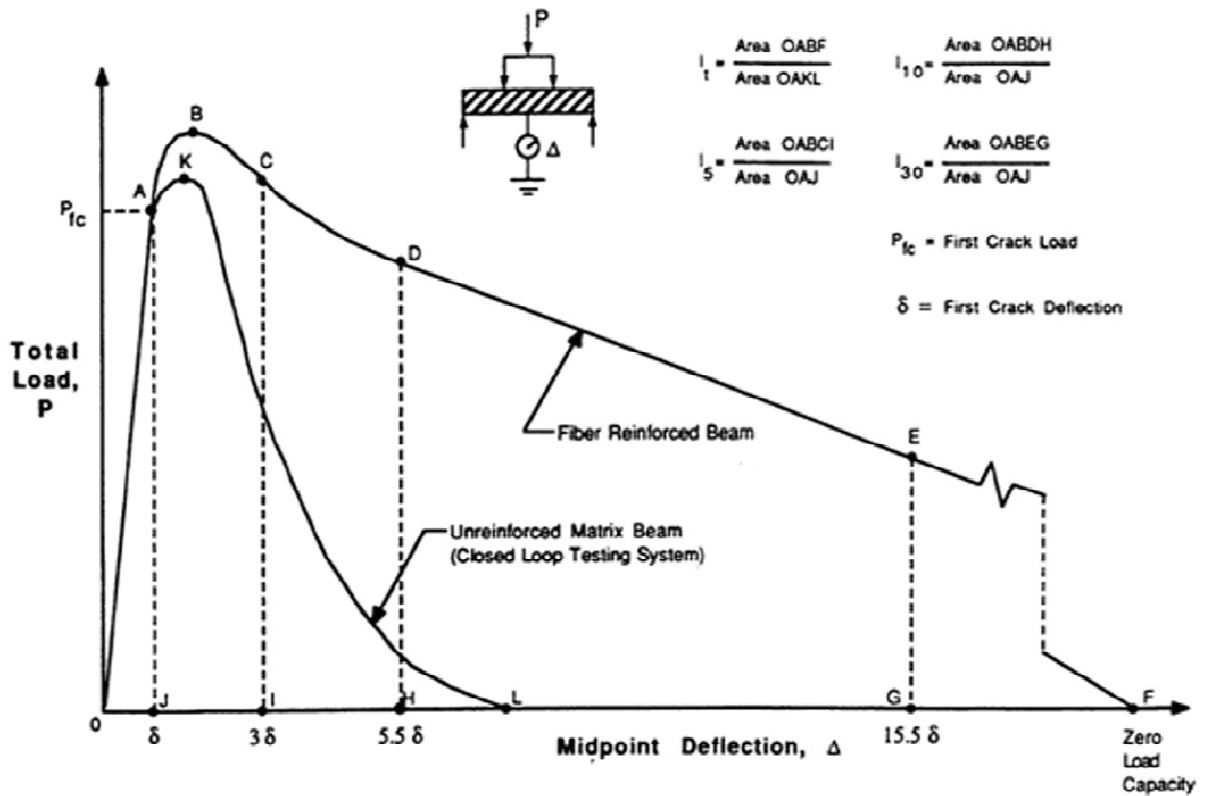
TANDA 2
CEM 52.5

Ensayos realizados dia 17 Mayo

			Resultados ensayo a Flexión		Resultado ensayo a Compresion	
Molde	Amasada	Gramos de fibra	Fuerza Kn	Resistencia Mpa	Fuerza Kn	Resistencia Mpa
M000						
	1	0	8,24	19,31	186,9	116,83
	2	0	8,43	19,76	184,3	115,18
	3	0	8,64	20,25	168	104,97
		Resultado medio	8,436666667	19,77333333	179,7333333	112,33
M05						
	1	5	4,54	10,64	88,9	60,1
	2	5	4,21	9,87	98,01	64,483
	3	5	4,05	9,49	95,2	62,634
		Resultado medio	4,27	10,00	94,04	62,41
M010						
	1	10	7,28	17,06	157,4	98,39
	2	10	5,63	13,2	173,6	108,52
	3	10	7,42	17,39	163,2	102,01
		Resultado medio	6,78	15,88	164,73	102,97
M015						
	1	15	5,01	11,74	174,7	109,18
	2	15	7,77	18,21	175,1	109,45
	3	15	7,16	16,78	173,8	108,61
		Resultado medio	6,65	15,58	174,53	109,08

RESULTADO MEDIO MAS ELEVADO
PROBETA DE MEJOR RESULTADO

PROPERTIES OF FIBER REINFORCED CONCRETE

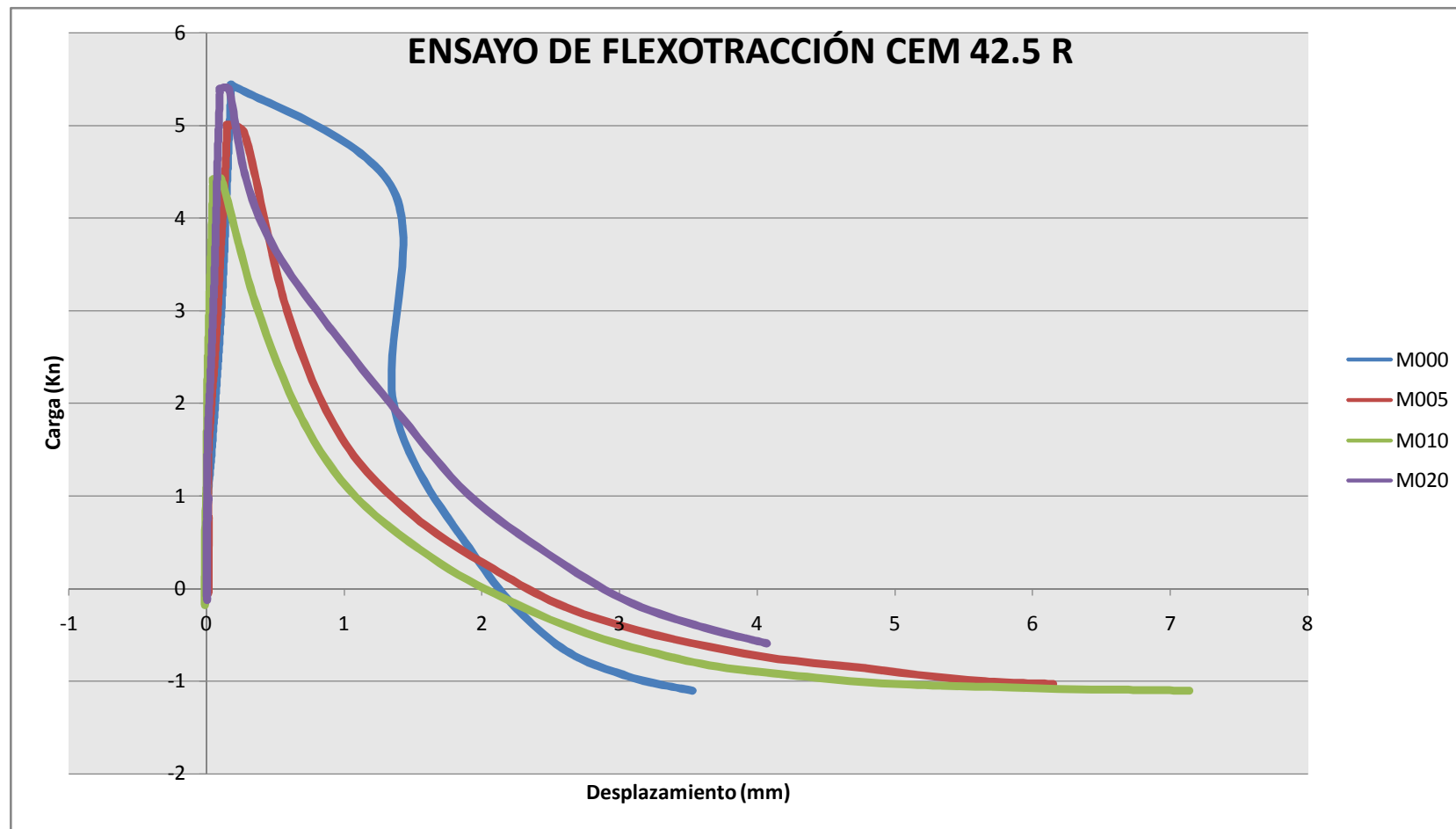


Toughness indexes from flexural load-deflection diagram

* Modelo de la variación (%) de la resistencia a Flexotracción por influencia de la fibra agregada

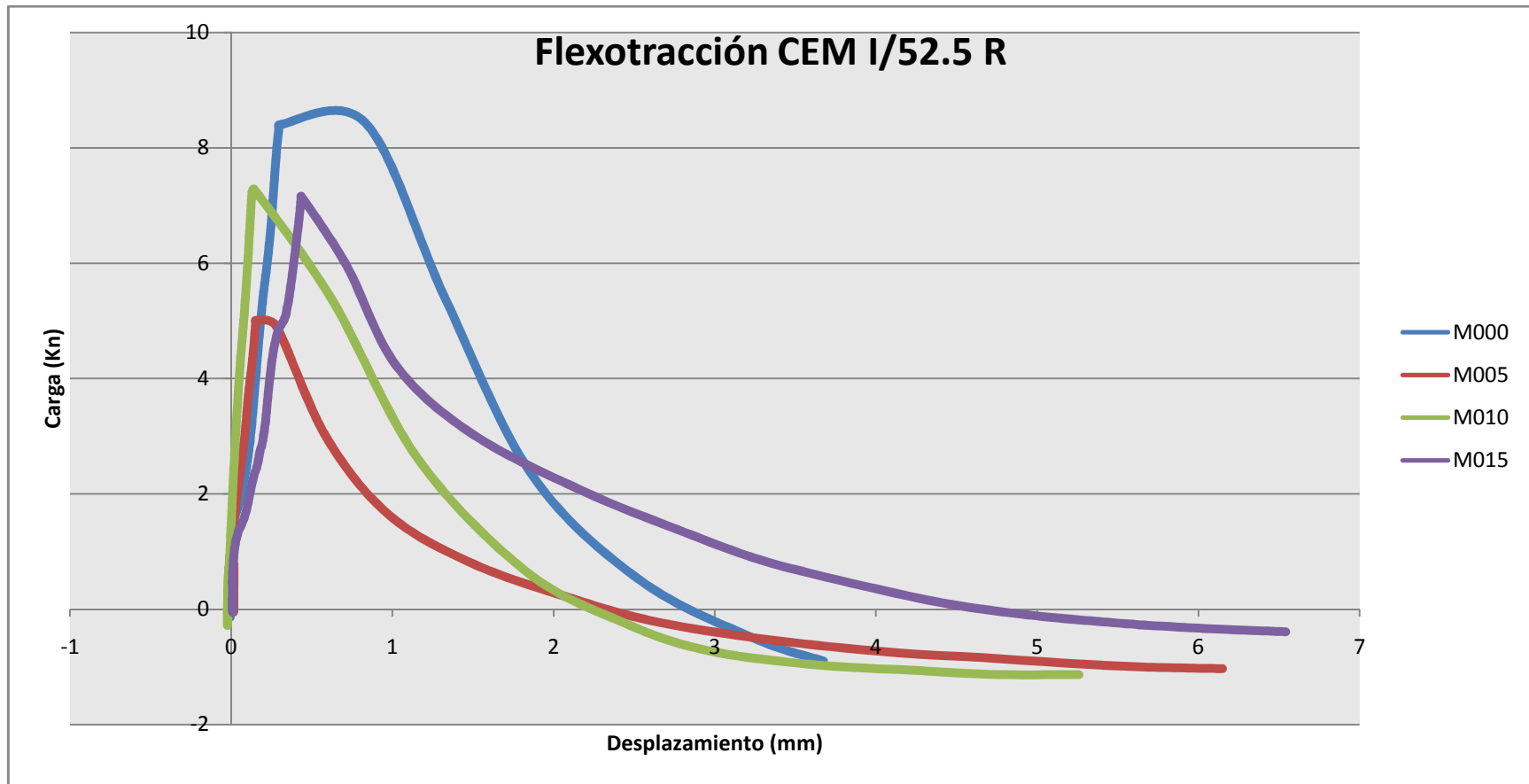
En el gráfico podemos se muestra el que sería el comportamiento idílico de un hormigón reforzado con fibras, se puede apreciar que mediante la adición de fibras a una matriz cualquiera se produce un aumento en la resistencia a flexotracción.

La tenacidad y la ductilidad del hormigón queda reflejada por el área comprendida entre los ejes "x" e "y" y cada uno de los puntos que conforman la curva de carga desplazamiento, a mayor área mayor tenacidad del hormigón.



Área M000 > Área M020 > Área M005 > Área M010
Mayor Área = Mayor Tenacidad

* Gráfico comparativo entre las resistencias a Flexotracción de los morteros con distintas cantidades de fibra



Área M000 > Área M015 > Área M010 > Área M005
Mayor Área = Mayor Tenacidad

* Gráfico comparativo entre las resistencias a Flexotracción de los morteros con distintas cantidades de fibra

Anexo 2. Fichas técnicas de los materiales empleados

Hoja de Datos de Producto

Edición 23/09/2005

Identificación nº 8.4.11

Versión nº 1

Arenas Sikadur®: Serie 500

Arenas Sikadur®: Serie 500

Denominación	Usos	Granulometría	Densidad Aparente	Presentación
Sikadur®-501	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de morteros autonivelantes, utilizando como ligante el Sikafloor® -261. • Arena de espolvorear para mejorar la adherencia de capas de acabado fino. 	0.08 – 0.3 mm	~ 1.5 kg/l	Sacos de 20 kg y de 22 kg
Sikadur®-502	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de capas de lisaje y de fondo, utilizando el Sikafloor® -161 E como ligante. • Espolvoreo de las capas de lisaje y de fondo. 	0.4 – 0.9 mm	~ 1.69 kg/l	Sacos de 18 kg
Sikadur®-506	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de morteros gruesos, utilizando como ligante el Sikafloor® -261. • Arena para sistemas antideslizantes de tipo grueso. 	0.1 – 2.0 mm	~ 1.6 kg/l	Sacos de 28 kg
Sikadur®-510	<ul style="list-style-type: none"> • Arena para sistemas antideslizantes de tipo semigrueso. 	0.4 – 1.0 mm	~ 1.5 kg/l	Sacos de 26 kg
Sikadur®-591	<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de morteros gruesos, utilizando como ligante el Sikafloor® -261. 	0.08 – 0.8 mm	~ 1.5 kg/l	Sacos de 27 kg



Construcción

Notas	Todos los datos técnicos indicados en estas Hojas 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. 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. 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, 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



CEM II/B-V 42,5 R



damos *vida* a los materiales

Cemento especial para hormigón con la calidad Lafarge

Principales campos de aplicación. Hormigón en masa y armado en grandes volúmenes. Hormigón para desencofrado y descimbrado rápido. Cimentaciones de hormigón en masa y armado. Aplicaciones no estructurales ejecutadas en obra. Hormigones fabricados con áridos potencialmente reactivos. Prefabricados no estructurales. Aplicaciones hidráulicas en masa, armadas o pretensadas como por ejemplo tubos de hormigón o canalizaciones. Pavimentos de hormigón vibrado. Solado de pavimentos. Suelo-cemento, gravacemento y hormigón compacto. Estabilización de suelos. Hormigones de limpieza y relleno de zanjas. Morteros de albañilería.

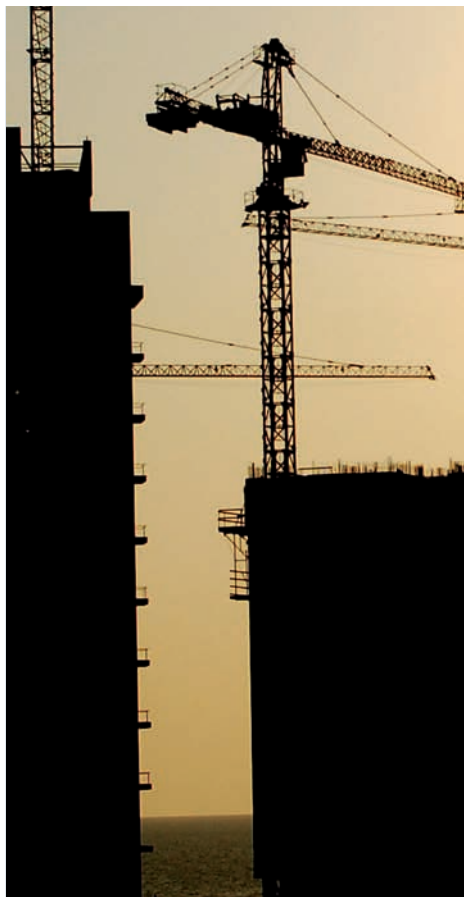
Recomendaciones de uso. Hormigones sometidos a insolaciones fuertes. Hormigonado en tiempo caluroso⁽¹⁾. Hormigones armados sometidos a ambientes con riesgo de corrosión de las armaduras por cloruros de origen marino⁽¹⁾. Hormigones expuestos a riesgo de lixiviación por aguas puras, ácidas o con CO₂ agresivo.

⁽¹⁾ En estas circunstancias, es esencial adoptar las medidas adecuadas según la Instrucción del Hormigón Estructural EHE-08.

Principales restricciones de empleo. Hormigón para reparaciones rápidas de urgencia. Hormigón pretensado. Hormigones de gran resistencia. Cimentaciones con riesgo de exposición a sulfatos y cloruros de origen no marino. Tubos de hormigón, canales y otras aplicaciones hidráulicas pretensadas. Presas de hormigón vibrado o compactado.

Principales precauciones. Almacenar no más de un mes en lugares secos y estancos. Cuidar la dosificación, el amasado y el curado para evitar la desecación. Tomar medidas para evitar las fisuras por retracción, particularmente en grandes superficies de hormigón que contengan dosificaciones importantes de cemento. No mezclar con yeso u otro tipo de cemento.

ADVERTENCIA: Se incluyen tan solo las observaciones más importantes. Para conocer la totalidad de las recomendaciones se aconseja consultar las publicaciones de IECA, AENOR, EHE-08 y RC-08.



ESPECIFICACIONES

UNE EN 197-1:2000 y RC-08

Composición en masa:

Clínker: 65-79%

Cenizas volantes: 21-35%

Componentes minoritarios: 0-5%

Estos valores se refieren al núcleo del cemento con exclusión del sulfato de calcio y de cualquier aditivo.

Exigencias químicas:

Sulfato $\leq 4,0\%$

Cloruros $\leq 0,10\%$

Cromo (VI) soluble en agua ≤ 2 ppm.

Exigencias mecánicas:

Resistencia a compresión a 2 días ≥ 20 MPa.

Resistencia a compresión a 28 días $\geq 42,5$ MPa.

$\leq 62,5$ MPa.

Exigencias físicas:

Inicio de fraguado ≥ 60 minutos.

Expansión (Le Chatelier) ≤ 10 mm.

Cromo (VI) soluble en agua certificado por AENOR, que garantiza el cumplimiento de la directiva europea 53/CE/2003.



Oficinas

Delegación CATALUÑA:

Carretera C-17, km 2,930
08110 Montcada i Reixac (Barcelona).

tlf: 93 509 50 00, fax: 93 509 50 60

atención al cliente: 93 575 16 64

pedidos.montcada@lafarge.com

atencioncliente.montcada@lafarge.com

Delegación LEVANTE:

Isaac Newton s/n, polígono Sepes

46520 Sagunto (Valencia)

teléfono: 96 267 15 52 / 96 101 40 00

fax: 96 267 66 66 / 96 268 05 70

atención al cliente: 96 267 89 80

pedidos.sagunto@lafarge.com

atencioncliente.sagunto@lafarge.com

Delegación CENTRO:

Carretera Madrid-Toledo km 49,800

45520 Villaluenga de la Sagra (Toledo),

tlf: 925 02 15 00, fax: 925 53 11 36

atención al cliente: 925 55 01 77

pedidos.vga@lafarge.com

atencioncliente.vga@lafarge.com

Sede central

Calle Orense 70, 28020 Madrid

Teléfono: (+34) 91 213 60 00

Laboratorio Técnico Comercial:

Carretera Madrid-Toledo km. 49,800

45520 Villaluenga de la Sagra (Toledo)

Tlf: 925 021 500

www.lafarge.com



Hoja de Datos de Producto

Edición 06/10/2008

Identificación n.º 2.15.1

Versión n.º 1

Sikafiber® M-12

Sikafiber® M-12

Fibras de polipropileno multifilamento para el refuerzo de hormigones y morteros

Descripción del Producto	Es una fibra multifilamento de polipropileno diseñada para ser mezclada con hormigones y morteros con el fin de aumentar su durabilidad y evitar la fisuración.
Usos	<p>Se utilizan añadiéndose al hormigón o mortero, para mejorar las características siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Resistencia a la fisuración. ■ Resistencia al impacto. ■ Resistencia a flexotracción. ■ Resistencia a la abrasión. <p>Su uso está especialmente indicado en:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Losas de hormigón (soleras, forjados). ■ Pavimentos de hormigón. ■ Hormigón y Mortero proyectado. ■ Morteros. ■ Revocos de fachadas. ■ Elementos prefabricados. ■ Revestimiento de canales. <p>Sustituye a la armadura destinada a absorber las tensiones que se producen durante el fraguado y endurecimiento del hormigón. En cambio no sustituye a las armaduras principales obtenidas mediante cálculo.</p>
Características/Ventajas	<p>La adición en la masa de hormigón o mortero de estas fibras aporta las ventajas siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Perfecta dispersión en la masa del hormigón o mortero. ■ Asegura la distribución homogénea y uniforme de las tensiones en la masa de hormigón o mortero, evitando la formación de fisuras y los consiguientes puntos débiles. ■ Reduce la fisuración por retracción. ■ Aumenta la impermeabilidad. ■ Reduce el riesgo de disgregación de la masa. ■ Mejora la resistencia a compresión y a tracción. ■ Aumenta la resistencia al impacto, reduciendo la fragilidad.
Datos del Producto	
Forma	
Presentación	Bolsas de 600 g. Autodestruibles en la masa de hormigón o mortero. Caja de 20 bolsas



Almacenamiento

Condiciones de almacenamiento/Conservación	En lugar seco y fresco. Conservación ilimitada
---	--

Datos Técnicos

Composición química	Fibras de polipropileno
----------------------------	-------------------------

Densidad (20 °C)	Aprox. 0,91 kg/l
-------------------------	------------------

Absorción de agua	Nula
--------------------------	------

Alargamiento a rotura	80-140%
------------------------------	---------

Resistencia a compresión (Mpa)		7 días	28 días
		21,4	26,7
	Hormigón testigo Hormigón con Sikafiber M-12	25,4	28,9

Resistencia a tracción Indirecta (Mpa)		7 días	28 días
		2,13	2,76
	Hormigón testigo Hormigón con Sikafiber M-12	2,63	2,9

Resistencia a flexión (Mpa)		7 días	28 días
		2,74	3,5
	Hormigón testigo Hormigón con Sikafiber M-12	3,01	3,79

Resistencia al impacto (N de golpes)		7 días	28 días
		28	39
	Hormigón testigo Hormigón con Sikafiber M-12	31	42

Resistencia química	Resistente a los rayos ultravioletas. Inerte a los álcalis del cemento, ácidos en general, agua de mar, residuos alimentarios y ganaderos, aceites vegetales. Imputrescible, resistente a hongos y bacterias.
----------------------------	---

Longitud	12 mm
-----------------	-------

Tenacidad	~ 280-310 N/mm ² / 30-34 cn/tex
------------------	--

Punto de fusión	~ 163 - 170 °C
------------------------	----------------

Diámetro de fibras	~ 31 µm
---------------------------	---------

Número de fibras	~ 102 millones/kg
-------------------------	-------------------

Información del Sistema

Detalles de Aplicación

Consumo/Dosificación	Es de una bolsa de 600 gramos por cada metro cúbico de hormigón o mortero.
-----------------------------	--

Instrucciones de Aplicación	<p>Se agrega, en planta o a pie de obra, añadiendo la bolsa cerrada directamente a la hormigonera en cualquier momento del mezclado o al final del mismo, pero nunca directamente sobre el agua antes de agregar el resto de los componentes. Una vez añadido el Sikafiber® M-12 basta con prolongar el amasado durante al menos 5 minutos. Pasado este tiempo, la bolsa se deshace al entrar en contacto con el medio alcalino del hormigón.</p> <p>Se emplea preferentemente en morteros, microhormigones y hormigones con tamaño máximo de áridos de 20 y resistencias mínimas de 17,5 MPa.</p>
------------------------------------	--

<p>Notas de aplicación /Limitaciones</p>	<p>No reduce la trabajabilidad del hormigón, aunque por observación visual puede parecerlo. La medida de la consistencia de los hormigones mediante el cono de Abrams no es representativa, ya que este método es poco sensible para este tipo de hormigones. Se recomienda realizar la medida de la consistencia mediante el método del cono invertido UNE 83-503-99.</p> <p>No sustituye a las armaduras principales y secundarias resultantes del cálculo. No evita las grietas derivadas de un mal dimensionamiento. No sustituye las labores convencionales de curado de las masas de hormigón o mortero.</p> <p>No elimina la retracción por secado.</p> <p>Es compatible con cualquier otro aditivo de SIKA®.</p> <p>Para cualquier aclaración rogamos consulten con nuestro Departamento Técnico.</p>
<p>Notas</p>	<p>Todos los datos técnicos indicados en esta Hoja de Datos de Producto están basados en ensayos de laboratorio. Las medidas reales de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.</p>
<p>Instrucciones de Seguridad e Higiene</p>	<p>Para cualquier información referida a cuestiones de seguridad en el uso, manejo, almacenamiento y eliminación de residuos de productos químicos, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad del producto, que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la seguridad.</p>
<p>Notas Legales</p>	<p>Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil, de acuerdo a las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario de los productos debe realizar las pruebas para comprobar su idoneidad de acuerdo al uso que 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».</p>



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 06/10/2008
 Identificación n.º 2.1.8
 Versión no. 3
 Sika ViscoCrete®-20 HE

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 m ³ 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	1,08 kg/l
Valor de pH	4,3 +/- 0,5
Contenido en Cloruros	Libre de cloruros (EN 934-2)
Efecto del fraguado	No retardante
Efecto de sobredosificación	Puede producir exudación
Información del Sistema	
Detalles de Aplicación	
Consumo/Dosificación	Dosificación recomendada: Para media trabajabilidad: 0,2-0,8% del peso del cemento Para una alta trabajabilidad, con baja relación agua/cemento y para hormigón autocompactable: 1,0-2,0 % del peso del cemento.
Condiciones de Aplicación/Limitaciones	
Compatibilidad	El Sika ViscoCrete®-20 HE se combina con los siguientes productos Sika entre otros: <ul style="list-style-type: none"> - SikaPump® - Sika® Ferrogard®-901 - Sikafume® - SikaRapid® - Sika® Stabilizer®-229 Se recomienda hacer ensayos antes de combinar los productos.
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. El tiempo de amasado variará en función de la composición de la mezcla, la amasadora utilizada, etc.
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.
Notas de aplicación/Limitaciones	Hormigón autocompactable: Para la realización de hormigones autocompactables con Sika ViscoCrete®-20 HE se deben hacer diseños del hormigón específicos Heladas: Si el Sika ViscoCrete®-20 HE se helase, puede utilizarse después de deshelarse 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.
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



Diseño y producción en instalaciones
de Alcobendas (Madrid)



Bibliografía

1. “Trabajo de Investigación de Hormigones de Alta Resistencia y Prestaciones UMPC” Departamento de Ingeniería de la Construcción y Proyectos de Ingeniería Civil Escuela Técnica Superior Ingeniería de Caminos U.P.V. Profesor José Ramón Albiol Ibáñez, Departamento de Construcciones Arquitectónicas.
2. Jornadas SAM – CONAMET – AAS 2001, Septiembre de 2001
3. Vance Pool/ National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA). *Revista Concrete In focus/ 2007.*
4. Instrucción del Hormigón Estructural EHE-08, TÍTULO 3 “propiedades tecnológicas de los materiales”
5. Anales de la Mecánica de Fractura, Vol 1 (2007), Hormigón reforzado con fibras de polipropileno, influencia en la ductilidad de la fibra sobre la fragilidad y el efecto del tamaño. F. Medina, H. Cifuentes
6. “Comportamiento Mecánico del Hormigón Reforzado con Fibra de Vidrio: Influencia del Porcentaje de Fibra Adicionado”. José Patricio Bravo Celis. Universidad de Chile.
7. Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, W. Callister, 1996.
8. Callister, William D. “Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, 1ª Edición, Barcelona, España, Editorial Reverté , 1997.
9. “Las fibras de polipropileno para refuerzo del hormigón” PYQ, productos industriales.

1. “Concreto reforzado con fibras” Editado por el Instituto Mexicano del Cemento y el Concreto. Vol13, febrero 2007.
2. www.petroquim.cl
3. www.monografias.com/trabajos12/hoes/hoes.shtml

Agradecimientos

Se agradece la colaboración de las entidades que han hecho posible la realización del presente trabajo de investigación, sin el material que nos han aportado no habría sido posible:

1. Sika Fortea “SIKA ESPAÑA”.
2. CEMENTOS LA UNIÓN delegación Ribarroja del Túria (Valencia).
3. LAFARGE delegación de Levante, Sagunto (Valencia).