

HORMIGÓN LAMINADO.

PFG. MATERIALES AVANZADOS. TALLER 17.

CURSO 2010 – 2011.



PROFESORES TUTORES:

José Ramón Albiol Ibáñez.

Luis Vicente García Ballester.

ALUMNA:

Sonia Martínez Ortega.



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACION

*“Los materiales se nutren de la tecnología,
así como el pensamiento humano de las palabras.”*



ÍNDICE

1. OBJETIVOS.....	5
2. ESTADO DEL ARTE.....	9
2.1. Introducción.	
2.2. Materiales	
2.2.1. Cementos.	
2.2.2. Adiciones.	
2.2.3. Agua.	
2.2.4. Áridos.	
2.2.5. Aditivos.	
2.2.6. Silicato de aluminio.	
2.3. Dosificación, fabricación y curado de la mezcla.	
2.3.1. Dosificación.	
2.3.2. Fabricación - amasado de la mezcla.	
2.3.3. Curado y protección.	
2.4. Características del hormigón de alta resistencia para el proyecto.	
2.4.1. Resistencia a compresión.	
2.4.2. Resistencia a tracción.	
2.4.2.1. Resistencia a tracción indirecta. (valor aproximado para UHPC)	
2.4.2.2. Resistencia a flexotracción.	
2.4.3. Modulo de elasticidad estático.	
2.4.4. Coeficiente de Poisson.	
2.4.5. Coeficiente de dilatación térmica.	
2.4.6. Retracción.	
2.4.7. Fluencia.	
2.5. Durabilidad del hormigón.	
2.5.1. Permeabilidad al agua.	
2.5.2. Reserva alcalina.	
2.6. Aplicaciones.	
2.7. Otros materiales de interés.	
2.7.1. Madera.	
2.7.2. Fibra de carbono.	
2.7.3. Polietileno.	
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	33
4. METODOLOGÍA DE ENSAYO.....	41
4.1. Materiales utilizados.	
4.1.1. Cementos.	



4.1.2.	Árido fino.	
4.1.3.	Agua.	
4.1.4.	Aditivos.	
4.1.5.	Adiciones.	
4.1.6.	Silicato de aluminio.	
4.1.7.	Fibra de carbono.	
4.1.7.1.	Laminado de fibra de carbono.	
4.1.7.2.	Tejido a base de fibra de carbono.	
4.1.7.3.	Barra de fibra de carbono.	
4.1.8.	Polietileno.	
4.1.9.	Acero.	
4.1.10.	Resinas epoxi.	
4.2.	Metodología.	
5.	ENSAYOS (RESULTADOS Y DISCUSIÓN).....	71
5.1.	Secuencia de trabajo.	
5.2.	Resultados.	
5.2.1.	UHPC laminado con lámina de polietileno. Probeta de 40x40x160 mm. Ficha 1.	
5.2.2.	UHPC laminado con 1 lámina de polietileno perforada. Probeta de 40x40x160 mm. Ficha 2.	
5.2.3.	UHPC laminado con 2 láminas polietileno perforadas. Probeta de 40x40x160 mm. Ficha 3.	
5.2.4.	UHPC laminado con lámina polietileno+epoxi. Probeta de 40x40x160 mm. Ficha 4.	
5.2.5.	UHPC laminado con tela de fibra de carbono. Probeta de 40x40x160 mm. Ficha 5.	
5.2.6.	UHPC laminado con lámina de fibra de carbono de 8 perforaciones. Probeta de 40x40x160 mm. Ficha 6.	
5.2.7.	UHPC laminado con lámina de fibra de carbono de 12 perforaciones. Probeta de 40x40x160 mm. Ficha 7.	
5.2.8.	UHPC laminado con lámina de tela de fibra de carbono + epoxi. Probeta de 40x40x160 mm. Ficha 8.	
5.2.9.	UHPC con barra de fibra de carbono de 12 mm. Probeta de 100x100x400 mm. Ficha 9.	
5.2.10.	UHPC con barra de acero de 12 mm. Probeta de 100x100x400 mm. Ficha 10.	
5.2.11.	UHPC laminado con tela de fibra de carbono + epoxi. Probeta de 100x100x400 mm. Ficha 11.	



5.2.12. UHPC laminado con tela de fibra de carbono entrelazada.

Probeta de 100x100x400 mm. Ficha 12.

5.2.13. UHPC laminado con lámina de fibra de carbono perforada.

Probeta de 100x100x400 mm. Ficha 13.

6. CONCLUSIONES.....	105
7. BIBLIOGRAFÍA.....	109
8. AGRADECIMIENTOS.....	113



1. Objetivos



La madera ha sido, en tiempos muy lejanos, un material muy utilizado por el hombre para sus construcciones, a partir del siglo pasado, la investigación en otros materiales, como el acero y especialmente el descubrimiento de Monier, en 1849, del hormigón armado y sus primeras construcciones en este producto, habían desbancado su utilización sobre todo en el campo estructural.

El mayor enemigo de la madera era su resistencia a partir de ciertas longitudes, donde la imposibilidad de unión de varias piezas que ofrecieran suficientes garantías de estabilidad y consistencia, la mermaba para su utilización en grandes luces.

A partir de 1905, se realizan las primeras investigaciones en el campo estructural de maderas unidas mediante colas tipo caseína, logrando resultados esperanzadores. En 1940, y con el descubrimiento de las colas sintéticas, se da un paso de gigante para la consecución de grandes piezas de madera laminada encolada que consiguen salvar grandes luces y compiten con ciertas ventajas con otros materiales. Esto es debido a que frente a la misma sección, si se compara la madera aserrada con la madera laminada, se comprueba que la segunda presenta una mejora de propiedades frente a la primera, y la diferencia es únicamente la laminación.

Esta es la idea a desarrollar en este proyecto, aunque con otro material, el hormigón.

Actualmente y para edificación, el material más utilizado es el hormigón. Este material, por sí solo, presenta una rotura frágil a flexión y necesita combinarse con otros materiales, como el acero, para aumentar su ductilidad.

Pero, ¿Sería posible aumentar la ductilidad del hormigón con la laminación en similitud con lo que ocurre con la madera laminada? ¿Mejorarían las propiedades en el hormigón laminado?

Partiendo de esta idea realizaré ensayos laminando las probetas de hormigón. El objetivo de este trabajo de investigación es comprobar si con la laminación se mantiene la tensión admisible del hormigón mientras aumenta la ductilidad de éste. Después de la rotura, analizaré y discutiré los resultados obtenidos de estos ensayos, comprobando la mejora o no de propiedades.



2. *Estado del arte*



2.1.- INTRODUCCIÓN.

Son pocos los antecedentes que existen sobre hormigón laminado como un conjunto, pero si se encuentran datos e investigaciones sobre los materiales utilizados para la realización de éste.

En esta investigación los ensayos se han realizado con probetas fabricadas con hormigón de ultra alta resistencia. Aunque no existe una clasificación normalizada en cuanto a la denominación de estos hormigones; sin embargo, se puede considerar que un hormigón es de alta resistencia cuando ésta supera los 50 N/mm² a 28 días, considerándose hormigón de muy alta resistencia el que supera los 90 N/mm² y superhormigones los que superan los 125 N/mm².

El uso de humo de sílice ha permitido junto con los superfluidificantes conseguir en laboratorio hormigones de hasta 140 N/mm² y que sea una realidad el empleo en obra de hormigones bombeados con resistencias de 100 N/mm².

Para la fabricación de estos hormigones no sólo es preciso emplear aditivos y adiciones especiales sino que también el tipo y clase de cemento utilizado, su dosificación, así como el tipo, naturaleza, tamaño máximo del árido, etc., tienen una gran importancia en la obtención de estos hormigones.

Son muchos los trabajos de investigación que se están haciendo en la actualidad sobre este tipo de hormigones y cada día se tiene más información sobre ellos. El problema que presentan estos hormigones es su elevado precio, especialmente cuando emplean humo de sílice o nanosílice.

A pesar de que el precio del metro cúbico de hormigón de alta resistencia sea elevado, el ahorro que se obtiene en las estructuras, especialmente en pilares, con respecto al hormigón tradicional es muy importante por las menores dimensiones de los elementos, reducción de acero, mayor espacio libre, etc.

Dado que en estos hormigones no son solo las resistencias mecánicas las que se mejoran de una forma notable sino también la durabilidad y estabilidad de volumen, a estos hormigones se les denomina también con el nombre de “hormigones de altas prestaciones”.

2.2.- MATERIALES.

Los materiales utilizados para la fabricación de hormigón de ultra alta resistencia, que definiremos a continuación, son los siguientes:

- Cementos.
- Adiciones.



- Agua.
- Áridos.
- Aditivo superplastificante.
- Silicato de alúmina.

2.2.1.- Cementos.

No hay uniformidad de criterios en cuanto al tipo de cemento a emplear para fabricar un hormigón de ultra alta resistencia, pues mientras algunos investigadores se inclinan por los cementos de altas resistencias iniciales, hay otros que lo hacen por los portland normales y otros por los de bajo calor de hidratación ya que demandan una menor cantidad de agua de amasado.

En España son muy recomendables los cementos CEM I 42,5 N y CEM I 52,5 N, y en ocasiones los CEM I 42,5 R y CEM I 52,5 R.

El cemento portland está formado, básicamente, por la molienda conjunta del producto resultante de la cocción, hasta sinterización, de una mezcla de caliza y arcilla que recibe el nombre de “clínker” y de un material empleado como regulador de fraguado que, generalmente, es yeso dihidrato. El clínker, componente básico del cemento, está formado por una mezcla de silicatos, aluminato y ferrito aluminato de cal, esto hace que en la composición de las materias primas que van a formar el “crudo” es decir, el material que se cuece en el horno, han de estar los óxidos de sílice, aluminio, hierro y cal en proporciones muy concretas.

En la fabricación del cemento portland pueden emplearse tanto materiales naturales como productos industriales con tal que posean los óxidos indicados anteriormente. Dado que estos óxidos han de estar en las proporciones determinadas es difícil encontrar una sola sustancia que los posea en las cantidades requeridas siendo, por tanto, preciso recurrir a la mezcla de varios componentes como puede ser, en el caso más simple, la formada por una caliza y una arcilla, o una caliza y una marga, estando formada esta última por una caliza a la que acompañan sílice y productos arenosos.

Los componentes minerales principales o activos del clínker son los que aparecen representados en el cuadro 1. Estos están formados por la combinación de dos o más óxidos principales y forman cristales mixtos en los que entran compuestos de otras fases en cantidades reducidas. Los componentes principales se encuentran en el clínker en estado cristalino aunque no en su totalidad pues de un 2 al 12 por 100 de ellos se encuentra en fase amorfa.

De todos los componentes principales los silicatos suman del 60 al 80 por 100 de ellos y son los responsables de las resistencias mecánicas del cemento. En



general, estos silicatos no se encuentran puros en el clínker sino conteniendo pequeñas cantidades de alúmina, magnesia y otros óxidos; debido a esto, a los silicatos y demás componentes se les suele denominar por su nombre mineralógico: alita, belita y celita.

Nombre	Composición	Peso molecular	Fórmula Abreviada	Nombre del mineral
Silicato tricálcico	3CaO,SiO ₂	228	C ₃ S	Alita
Silicato bicálcico	2CaO,SiO ₂	172	C ₂ S	Belita
Aluminato tricálcico	3CaO,Al ₂ O ₃	270	C ₃ A	
Ferrito aluminato tetracálcico	4CaO,Al ₂ O ₃ ,Fe ₂ O ₃	486	C ₄ AF	Celita
Ferrito Bicálcico	2CaO,Fe ₂ O ₃	272	C ₂ F	

Cuadro 1. Componentes minerales principales o activos del clínker.

La relación en masa CaO/ SiO₂ no debe ser inferior a 2 y el contenido de MgO no debe exceder del 5% su masa.

- Silicato tricálcico o “alita”.- Este componente se puede considerar como el principal o decisivo del clínker, confiriendo altas resistencias iniciales al cemento; prácticamente en una semana desarrolla sus resistencias y después presenta una elevación de las mismas muy lenta. El calor de hidratación que libera en su reacción con el agua es elevado cifrándose en 502 J/g (120 cal/g).
- Silicato bicálcico o “belita”.- Este componente, que es metaestable, de pocas resistencias en los primeros días pero luego las va desarrollando progresivamente hasta alcanzar al silicato tricálcico. El desarrollo de calor a que da lugar en su hidratación es más bajo que el proporcionado por el silicato tricálcico de sólo 251 J/g (60 cal/g).
- Aluminato tricálcico.- Este componente por sí solo contribuye muy poco a las resistencias del cemento pero en presencia de los silicatos desarrolla unas resistencias iniciales buenas. Su forma de participar en las resistencias y endurecimiento del cemento no están claras creyéndose que actúa como catalizador de la reacción de los silicatos. Su hidratación es rapidísima al tomar contacto con el agua, desarrollando una cantidad de calor de 886 J/g (207 cal/g). Para retrasar su actividad se emplea el yeso que actúa como regulador de fraguado.



- Ferrito aluminato tetracálcico o “celita”.- Apenas si tiene contribución en la resistencia de los cementos. Su hidratación es rápida aunque menor que la del aluminato y produce un buen desprendimiento de calor, 418 J/g (100 cal/g). El hierro que forma la celita tiene una gran importancia como fundente en el horno y es el responsable del color gris verdoso de los cementos portland; normalmente, en estos se encuentra en una proporción de un 3 por 100 y si su contenido se reduce al 0.5 por 100, o menos, se obtienen los cementos portland blancos.

2.2.2.- Adiciones.

Las adiciones empleadas en los hormigones de altas resistencias pueden ser humo de sílice, nanosílice o cenizas volantes. El humo de sílice oscurece al hormigón, mientras que la nanosílice no produce este efecto, empleándose por tanto en hormigones blancos de alta resistencia.

- **Humo de sílice.**

El humo de sílice denominado también microsílice, es un subproducto pulverulento esferoidal procedente de la fabricación en hornos eléctricos del silicio y del ferrosilicio a partir de cuarzo, caliza y hierro. El polvo se recoge en filtros electrostáticos y está formado por partículas esféricas de una gran finura compuestas de SiO₂ amorfa en un alto porcentaje (82 al 96%). Para hormigones de alta resistencia es recomendable que no baje del 90 por 100.

El humo de sílice es un material polvoriento de color grisáceo que posee una densidad real de 2.2 kg/dm³, su superficie específica Blaine es de aproximadamente 20.000 m²/kg y el tamaño máximo de las partículas es inferior a una micra teniendo un diámetro medio de 0.1 micras.

El humo de sílice se emplea como adición al cemento.

El papel del humo de sílice como adición en los hormigones es doble: uno físico al actuar como plastificante como consecuencia de su finura y, otro químico al reaccionar con el hidróxido cálcico procedente de los compuestos activos del cemento dando lugar a silicatos cálcicos hidratados de composición parecida a los procedentes de la hidratación del cemento y produciendo un aumento de resistencias mecánicas. No sólo son estos los efectos conseguidos sino también un aumento de la adherencia de la pasta a los áridos, una disminución importante de la permeabilidad de los hormigones al cerrar muchos de los conductos capilares que éste posee, y un aumento de la cohesión de la mezcla.

El humo de sílice se presenta en el mercado de varias formas: seco densificado, en polvo y en suspensión en agua.



Como adición al hormigón las dosis empleadas suelen oscilar entre el 5 y el 10 por 100, con respecto al peso de cemento. Dado que es una adición costosa lo mejor es emplearla en la cantidad suficiente para que reaccione con la portlandita o cal liberada en la hidratación del cemento. Un exceso de humo de sílice sobre el necesario para formar silicatos solo sirve como “filler” que actúa de forma física y que suele tener una demanda de agua grande.

El humo de sílice es imprescindible en la obtención de hormigones de alta resistencia y/o alta durabilidad.

- **Cenizas volantes.**

Las cenizas volantes proceden de la combustión del carbón pulverizado en las centrales termoeléctricas y se recogen en los filtros electrostáticos de las mismas. Su forma es esférica y el diámetro de las partículas oscila entre 1 y 150 micras, teniendo una superficie específica de unos 5000 cm²/g, como se ve muy inferior al del humo de sílice. La cantidad de sílice reactiva que presentan es también más reducida que el humo de sílice y oscila entre el 34 y 63 por 100, dependiendo del carbón empleado y de las condiciones de quemado de la central.

Las cenizas volantes como adición al cemento, debido a su composición, son capaces de combinarse con la cal procedente de la hidratación de los componentes activos del cemento portland para dar compuestos, especialmente silicatos hidratados, parecidos a los procedentes de la hidratación del cemento, es decir tobermorita, que van a contribuir a incrementar las resistencias mecánicas del cemento, a la vez al reaccionar con la cal la van a fijar impidiendo problemas de lixiviación por aguas puras o de ataque por aguas ácidas, mejorando, por tanto, la durabilidad de los morteros y hormigones. En este aspecto su comportamiento es parecido al de las puzolanas naturales.

Las cenizas volantes pueden ser de naturaleza silíceas (V) o calcáreas (W). Las primeras tienen propiedades puzolánicas, las segundas pueden tener, además, propiedades hidráulicas.

Como consecuencia del diferente contenido de sílice amorfa y de la distinta finura y superficie no es de extrañar que el humo de sílice produzca un aumento de resistencias a todas las edades y que además este sea mayor que el producido por las cenizas volantes.

2.2.3.- Agua.

El agua es el segundo componente del hormigón empleándose en el amasado del mismo y en su curado.



El agua que se añade en la amasadora, junto con los demás componentes del hormigón, tiene las siguientes misiones: una primera, de hidratación de los componentes activos del cemento; una segunda, de actuar como lubricante haciendo posible que la masa fresca sea trabajable y, una tercera, de creadora de espacio en la pasta para los productos resultantes de la hidratación del cemento.

Para que un agua sea apta para el amasado de un hormigón debe de estar limpia y encontrarse libre de impurezas por encima de determinados límites a fin de que no se produzcan alteraciones en la hidratación del cemento, retrasos en su fraguado y endurecimiento, reducciones en sus resistencias, ni peligros en su durabilidad. El que un agua tenga aspecto limpio no ofrece seguridad suficiente sobre su pureza.

Determinadas impurezas como los cloruros, pueden actuar dando eflorescencias en las superficies vistas. Las aguas que son aptas para la bebida, con excepción de determinadas aguas minerales, los son también para el amasado del hormigón.

La Instrucción española del hormigón indica que el pH del agua no será inferior a 5.

La citada Instrucción del hormigón con respecto al agua de amasado indica que, salvo justificación especial de que no alteran perjudicialmente las propiedades exigibles al hormigón, deberán rechazarse las aguas que no cumplan una o varias de las siguientes condiciones:

- pH	≥ 5
- Sustancias disueltas	$\leq 15 \text{ g/l}$
- Sulfatos expresados en SO ₄	$\leq 1 \text{ g/l}$
- Ión cloruro para hormigón en masa	$\leq 3 \text{ g/l}$
- Hidratos de carbono	0
- Sustancias orgánicas solubles en éter	$\leq 15 \text{ g/l}$

2.2.4.- Áridos.

Los áridos que entran en la composición del hormigón son materiales granulares inertes, de tamaño comprendido entre 0 y 100 mm, de naturaleza inorgánica, alguna vez orgánica, y de procedencia natural o artificial que contribuyen a la estabilidad de volumen, resistencias y economía de los morteros y hormigones.

Aunque no toman parte en el fraguado y endurecimiento del hormigón, los áridos desempeñan un papel económico y técnico muy importante en las características de este material. Aproximadamente el 80 por 100 del volumen del hormigón, es decir, sus cuatro quintas partes, es ocupado por los áridos



siendo el resto la pasta de cemento que rellena los huecos existentes entre ellos y que crea una capa que envolviendo a los gránulos los mantiene unidos.

Al ser de menor costo que la pasta de cemento se desprende que cuanto mayor sea el peso de los mismos más económico será el hormigón, pero, la misión de los áridos no se limita a la de ser un material de relleno barato, sino que también ejercen una influencia muy positiva en las resistencias mecánicas, retracción, fluencia, abrasión e incluso durabilidad del hormigón.

A los áridos se les puede considerar como el componente más homogéneo de los que entran en la composición del hormigón.

Los áridos pueden clasificarse en naturales y artificiales. Los naturales proceden de la desintegración natural o artificial de rocas y según la naturaleza de éstas reciben el nombre de silíceos, calizos, graníticos, basálticos, etc. Los artificiales son obtenidos mediante un proceso industrial a partir de materiales inorgánicos u orgánicos como ocurre, en el primer caso, con las arcillas expandidas o las escorias dilatadas y en el segundo, con las microesferas de poliestireno expandido, por ejemplo.

Los áridos naturales, por otra parte, se pueden clasificar en rodados y machacados. Las arenas así como los áridos gruesos procedentes de la desintegración natural y erosión de rocas son, en general, redondeados con superficies lisas sin aristas y se les denomina “áridos rodados”, mientras que los obtenidos por desintegración artificial mediante trituración, poseen superficies rugosas y aristas vivas y se denominan “áridos machacados”.

A un árido que se emplea sin hacer una separación por fracciones de distintos tamaños, es decir, con la granulometría original y limitando únicamente sus tamaños máximo y mínimo se le denomina “todo-uno”.

La división más simple de árido sería en dos fracciones que denominamos árido fino y árido grueso.

La Instrucción española del hormigón, define como árido fino o arena a la fracción del mismo que pasa por el tamiz de 4 mm, siendo árido grueso la fracción del mismo que queda retenida en el tamiz.

Dentro de esta clasificación se pueden reconocer otros tamaños y así en las arenas cabe hacer el distinguo entre gruesas de tamaño 2 a 4 mm y finas las comprendidas entre 0,063 y 2 mm; denominándose finos o “filler” a la fracción de tamaño inferior a 0,063 mm.

Para la fabricación de un hormigón de alta resistencia, los áridos finos deben ser arenas silíceas rodadas debido a que requieren una menor cantidad de agua de mojado.



Cualquiera que sea la naturaleza de los áridos estos deben estar limpios de polvo y cualquier elemento contaminante.

2.2.5.- Aditivos.

Los aditivos superplastificantes son de uso obligado en estos hormigones a fin de obtener una trabajabilidad adecuada empleando relaciones agua/cemento inferiores a 0,30. Por otra parte, los superplastificantes aumentan las resistencias iniciales debido a la dispersión que producen de las partículas del cemento. Las resistencias a compresión a 28 días también se incrementan hasta en un 19 por 100, con respecto a una mezcla sin aditivo, al igual que lo hace la resistencia a tracción que aumenta en un 10 por 100 a esa misma edad. La retracción es menor en las mezclas con aditivo.

El tipo de superplastificante a emplear debe estar basado en naftaleno o melanina sulfonatos, en policarboxilatos o en copolímeros de vinilo toda vez que los derivados del lignosulfato no pueden emplearse en grandes dosis debido a su efecto retardador. La dosis a emplear de este tipo de aditivos es de 3 a 5 veces la precisa para un hormigón convencional y viene determinada por el asiento que quiera conseguirse y la relación agua/cemento que se esté empleando. No debe superarse el 1,5 % respecto a peso de cemento. Las reducciones de agua de amasado alcanzadas pueden llegar hasta el 30%

Dado que estos aditivos suelen llevar agua incorporada es preciso conocer su cantidad a fin de deducirla del agua de amasado.

2.2.6.- Silicato de aluminio.

El silicato de alúmina es un mineral que procede de diversas explotaciones mineras por lo que su composición no es fija, teniendo pequeñas variaciones en los porcentajes de sus componentes.

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CARACTERÍSTICAS	
SiO ₂	46 - 52%	Dureza	6-7 Mohs
Al ₂ O ₃	22 - 31%	Color	negro/marón
Fe ₂ O ₃	8 - 12%	Densidad	1,3 g/cm ³
CaO	3 - 5%	Forma	angular
K ₂ O	2 - 5%		
MgO	2%		
Na ₂ O	1%		
TiO ₂	1%		

Cuadro 2. Composición química y características del Silicato de Alúmina.



Se le somete a procesos de calentamiento, triturado y separación de los granos por tamizado. Se trata de un tipo de abrasivo que se desarrolló para la aplicación por chorreado, normalmente en procesos de chorreado a presión.

Tiene su aplicación básica en la industria naval, en mantenimientos, eliminación de óxidos en piezas férricas, limpieza y decapado de interiores de tanques y depósitos, tratamiento y limpieza de fachadas...

Este abrasivo cuenta con homologación CE.

2.3.- DOSIFICACIÓN, FABRICACIÓN Y CURADO DE LA MEZCLA.

2.3.1.- Dosificación.

Los métodos de dosificación de hormigones tienen por finalidad encontrar las proporciones en que hay que mezclar a los diferentes componentes de los mismos para conseguir mezclas que posean determinadas características de: consistencia, compacidad, resistencia, durabilidad, etc.

El cálculo teórico de las proporciones en que hay que mezclar a los componentes no exime de la comprobación experimental para la puesta a punto de la composición a adoptar, esto es debido a que ningún método de dosificación puede tener en cuenta la gran cantidad de factores que influyen en las propiedades del hormigón a conseguir.

No existe un método único de dosificación sino que dependiendo de las condiciones que deba reunir el hormigón, y de las características de los propios componentes del mismo, se podrá elegir uno entre varios de los muchos existentes y los resultados que se consigan con él serán buenos cuanto éste se haya seleccionado convenientemente y se hayan realizado las correcciones oportunas, después de hacer masas de prueba.

Los métodos de dosificación pueden dividirse en dos grupos fundamentales: uno, formado por los que tienen como dato principal de partida la dosificación de cemento, teniendo además en cuenta otras características como pueden ser la consistencia, tamaño máximo del árido a emplear, tipos de áridos, aire ocluido en determinadas proporciones, clase de ambiente, etc.; y otro, formado por los que se basan en las resistencias mecánicas del hormigón, especialmente la de compresión y a la que deben acompañar otros datos como los indicados anteriormente para los hormigones definidos por su dosificación de cemento.

La dosificación utilizada en este trabajo de investigación ha sido facilitada por José Ramón Albiol Ibáñez, profesor tutor de la ETSIE, según investigaciones anteriores realizadas por él. Esta dosificación se puede observar en el cuadro 3.

CEMENTO	H2O	ADITIVO	H. SÍLICE	AL2O3	ÁRIDO 0/1	
1000	250	60	100	400	600	Kg/m3 gr/l

Cuadro 3. Dosificación empleada en este trabajo de investigación.

2.3.2.- Fabricación - amasado de la mezcla.

El amasado del hormigón tiene por finalidad recubrir a los áridos de una capa de pasta de cemento y mezclar a todos los componentes hasta conseguir una masa uniforme. El amasado se realiza en mezcladoras u hormigoneras. La mezcla no debe perder su uniformidad durante las operaciones de descarga y esto dependerá de la cohesión de la mezcla y de la forma de la hormigonera.

Las hormigoneras se clasifican en: basculantes o de eje inclinado, de eje horizontal y, de eje vertical. Estas pueden considerarse como tradicionales. En el laboratorio y para la realización de las probetas se utiliza una amasadora de eje vertical.

Las amasadoras de eje vertical pueden tener cubas fijas o giratorias, disponiendo de unas paletas que van sujetas a unos brazos y que describen un movimiento planetario. Estas máquinas suministran un hormigón muy homogéneo, poseyendo, además, la ventaja de permitir al operador vigilar al hormigón a través de la parte superior, de donde puede tomar muestras y hacer las correcciones que estime precisas.

El tiempo de amasado puede ser inferior al de otras hormigoneras, aunque conviene que sea el preciso para obtener una mezcla homogénea. No se recomienda que el tiempo de amasado, en segundos, para una hormigonera de diámetro D, en metros, sea inferior a:

$$t = 90\sqrt{D}$$

La velocidad de giro, en r.p.m., suele ser aproximadamente:

$$N = \frac{15}{\sqrt{D}}$$

2.3.3.- Curado y protección.

Para conseguir un buen hormigón con las propiedades deseadas, hay que curarlo en un ambiente adecuado. Tiene que ser curado y protegido para:

- Hacer mínima la retracción plástica,
- Evitar fisuración por retracción,
- Asegurar una resistencia superficial adecuada,



- Asegurar una buena durabilidad,
- Evitar daños por vibraciones, impacto, etc.

La resistencia, estabilidad de volumen y durabilidad de un buen hormigón solo se logran si este se cura adecuadamente.

El curado del hormigón tiene por finalidad impedir la pérdida por evaporación de agua y controlar la temperatura del mismo durante el proceso inicial de hidratación de los componentes activos del cemento.

El fin último del curado es lograr que el espacio lleno por el agua en la pasta fresca sea ocupado por los productos hidratados del cemento, es decir, que se produzca la hidratación en los capilares llenos de ésta, para lo cual habrá que impedir que el agua se escape, o sustituir la que se haya perdido por evaporación mediante agua externa.

Las probetas realizadas para los ensayos se mantienen en la cámara húmeda sumergidas en agua hasta su rotura, evitando la pérdida y evaporación del agua.

2.4.- CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGON DE ULTRA ALTA RESISTENCIA PARA EL PROYECTO.

2.4.1.- Resistencia a compresión.

Como en todos los hormigones el conocimiento de la resistencia a compresión es fundamental debido a que muchas son las características que están relacionadas con ella. En los UHPC la resistencia a compresión se eleva de una forma considerable gracias al empleo de bajas relaciones agua/cemento y a la incorporación de adiciones activas tales como humo de sílice.

La evolución de la resistencia a compresión es muy rápida al principio quizá como consecuencia de la mayor exotermicidad de estos hormigones que acelera las reacciones de hidratación del cemento, a la mayor proximidad de las partículas de cemento hidratado debido a la mejor relación agua/cemento empleada y al fuerte carácter puzolánico del humo de sílice: esto último, hace que la ganancia de resistencias a corto plazo sea muy superior a la conseguida con el empleo de cenizas volantes.

La ganancia de resistencias a compresión continúa incluso después de los 28 días, de aquí que haya investigadores que propongan que la resistencia de los UHPC se indique a los 56 o 90 días.



La resistencia media del hormigón está definida como la suma de las resistencias individuales de cada probeta dividida por el número de probetas ensayadas, obteniéndose un valor que no tiene en cuenta la dispersión entre los resultados individuales. A fin de paliar este inconveniente aparece la resistencia característica que se basa en un estudio estadístico en base a una distribución normal y que tiene en cuenta la dispersión de los resultados individuales del ensayo; así, la resistencia característica se define como el valor de la resistencia por debajo del cual no se presentaran más de un 5 por 100 de roturas; es decir, el 95 por 100 de las roturas serán de valor superior a la resistencia característica.

El hormigón de ultra alta resistencia con el que estamos trabajando en este trabajo presenta una resistencia media aproximada de 130 Kn/Mpa, con una resistencia característica de 120 Kn/Mpa.

2.4.2.- Resistencia a tracción.

El hormigón es un material que presenta una resistencia a tracción baja, del orden de la décima parte de su resistencia a compresión. Esta debilidad de la resistencia a tracción es causa frecuente de la fisuración del mismo.

El desarrollo de las resistencias a tracción se realiza de una forma más rápida que las de compresión debido a la mayor densificación de la matriz en la zona de transición.

2.4.2.1.- Resistencia a tracción indirecta.

La resistencia a tracción está relacionada con la resistencia a compresión del hormigón. En el cuadro 4 podemos observar la resistencia a tracción indirecta de los diferentes tipos de hormigón.

Para este tipo de hormigones de ultra alta resistencia, el valor de la resistencia a tracción indirecta suele ser del orden de un 8% de la resistencia a compresión.

CARACTERÍSTICAS	HA	HAR	HAC	UHPC	UHPC-CV
RESISTENCIA TRACCIÓN	2 MPa	4 MPa	4 MPa	6 MPa	10 MPa

Cuadro 4. Resistencia a tracción indirecta de los distintos tipos de hormigones.

2.4.2.2.- Resistencia a flexotracción.

El ensayo a flexotracción se realiza sobre probetas prismáticas de 10x10x40 cm. Estas probetas se apoyan sobre rodillos separados 3 veces la arista, ejerciéndose la carga sobre un rodillo centrado. El momento flector máximo se corresponde con la vertical que pasa por el punto de aplicación de la carga y, por consiguiente, afecta solo al hormigón situado sobre esa línea.



La resistencia a flexotracción de este tipo de hormigón, suele ser del orden de un 12% de la resistencia a compresión.

2.4.3.- Módulo de elasticidad estático.

Se denomina módulo de elasticidad a la razón entre el incremento de esfuerzo y el cambio correspondiente a la deformación unitaria. Si el esfuerzo es una tensión o una compresión, el módulo se denomina módulo de Young.

Los diferentes estudios experimentales con diferentes tipos de UHPC, demuestran que no se puede usar simplemente un solo tipo de fórmula.

En el cuadro 5, podemos observar las diferencias existentes entre los distintos tipos de hormigones, desde el más habitual HA- 30 con 30 GPa, hasta los 50 GPa o incluso más, que puede dar el hormigón de ultra alta resistencia curado al vapor. El material cada vez es más rígido, conforme la matriz cementante, la realizamos con una mayor concentración de la pasta.

CARACTERÍSTICAS	HA	HAR	HAC	UHPC	UHPC-CV
E	30 GPa	32 GPa	32 GPa	45 GPa	50 GPa

Cuadro 5. Módulo de elasticidad de los distintos tipos de hormigones.

2.4.4.- Coeficiente de Poisson.

El coeficiente de Poisson es una constante elástica que proporciona una medida de estrechamiento de sección de un prisma de material elástico lineal e isótropo cuando se estira longitudinalmente y se adelgaza en las direcciones perpendiculares a la de estiramiento.

En general, a falta de información experimental podemos utilizar el valor de 0.2, como se puede comprobar no es un parámetro que sufre grandes variaciones según la tipología del hormigón. Ver cuadro 6.

CARACTERÍSTICAS	HA	HAR	HAC	UHPC	UHPC-CV
POISSON	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,2	0,2	0,2

Cuadro 6. Coeficiente de Poisson para los distintos tipos de hormigones.

2.4.5.- Coeficiente de dilatación térmica.

El valor de $1.1 \times 10^{-5} \text{ m/m/}^\circ\text{C}$, puede ser considerado a falta de ensayos. No sufre prácticamente variación en función de la topología de hormigón. Ver cuadro 7.

CARACTERÍSTICAS	HA	HAR	HAC	UHPC	UHPC-CV
Coef. Dilatación térmica	12	12	12	11.8	11.8
	$\mu\text{m/m/}^\circ\text{C}$	$\mu\text{m/m/}^\circ\text{C}$	$\mu\text{m/m/}^\circ\text{C}$	$\mu\text{m/m/}^\circ\text{C}$	$\mu\text{m/m/}^\circ\text{C}$

Cuadro 7. Coeficiente de dilatación térmica para los distintos tipos de hormigones.



2.4.6.- Retracción.

La retracción es la disminución del volumen del hormigón durante el proceso de fraguado del mismo, y se produce por la pérdida de agua, debida a la evaporación.

El UHPC exhibe un rápido desarrollo de la retracción, resultado de una acelerada autodesecación, llevada a cabo por la relación A/C baja y unos poros capilares muy finos. El volumen de contracción es causado por la reacción puzolánica debido a la gran cantidad de humo de sílice, así como el alto volumen de pasta en el UHPC.

El tratamiento térmico de curado minimiza la retracción.

CARACTERÍSTICAS	HA	HAR	HAC	UHPC	UHPC-CV
RETRACCIÓN	250 $\mu\text{m}/\text{m}$	350 $\mu\text{m}/\text{m}$	350 $\mu\text{m}/\text{m}$	550 $\mu\text{m}/\text{m}$	<10 $\mu\text{m}/\text{m}$

Cuadro 8. Retracción de los distintos tipos de hormigones.

Es evidente como podemos comprobar en el cuadro 8, que realizando un curado al vapor los problemas de retracción disminuyen considerablemente, casi en un 98% respecto al curado en cámara húmeda.

2.4.7.- Fluencia.

La fluencia es la deformación brusca de la probeta sin incremento de la carga aplicada.

El tratamiento térmico en el curado, implica una reducción considerable de los problemas de fluencia, como se puede ver en los datos del cuadro 9.

CARACTERÍSTICAS	HA	HAR	HAC	UHPC	UHPC-CV
FLUENCIA	-	-	-	0,8	0,3

Cuadro 9. Fluencia de los distintos tipos de hormigones.

2.5.- DURABILIDAD DEL HORMIGÓN.

El UHPC es un material novedoso y diferente de los encontrados en ingeniería civil como en edificación, es un material muy resistente desde el punto de vista mecánico frente al hormigón convencional como ya se ha visto. El comportamiento desde el punto de vista de los factores de durabilidad, resistencia a los sulfatos, reacciones árido álcali, resistencia a las heladas, permeabilidad al agua y a los gases, etc, mejora al hormigón convencional.

Lo cierto es que está demostrado que este hormigón posee una gran resistencia en medios agresivos, en estructuras de la industria nuclear, su mantenimiento



es mínimo a lo largo del tiempo. Al ser tan eficaz los recubrimientos disminuyen.

2.5.1.- Permeabilidad al agua.

El método usado es el recomendado por AFREM, “Determinación de la densidad aparente y la porosidad accesible al agua”. El ensayo determina la masa húmeda del material, la masa saturada y su volumen aparente mediante peso hidrostático. El rango abarcado por este método va desde 1 % al 20 %, los valores en distintos tipos de hormigón se muestran a continuación en el cuadro 10.

CARACTERÍSTICAS	HA-30	HAR	UHPC	UHPC-CV
POROSIDAD AL AGUA %	-	-	0,8	0,3

Cuadro 10. Porosidad al agua de los distintos tipos de hormigón.

A medida que el hormigón es más compacto y posee una matriz mucho más rica en la concentración de su pasta, la permeabilidad es mucho menor. Con lo cual la accesibilidad de la materia perjudicial a través del agua hacia el interior del hormigón es menor y tendrá éste una mayor durabilidad.

2.5.2.- Reserva alcalina.

Los valores de portlandita en el hormigón es un claro indicativo de su basicidad, PH 11-13, ésta mantiene las armaduras protegidas frente a la corrosión. El acero queda desprotegido cuando el PH pasa a un medio menos básico 6-9, medio en el cual los fenómenos de corrosión son más activos.

CARACTERÍSTICAS	HA-30	HAR	UHPC	UHPC-CV
PORTLANDITA Kg/m ³	76,00	86,00	66,00	0,00

Cuadro 11. Contenido de Portlandita en los distintos tipos de hormigones.

En el cuadro 11, se muestra como estos hormigones poseen una menor cantidad de portlandita, producto de hidratación del cemento, debido a que la actividad puzolánica se nutre de la portlandita para poder formar sus productos. Puede incluso llegar a no tener portlandita si activamos el proceso de actividad puzolánica con tratamiento térmicos de curado (UHPC-CV), agotándola. Este es un serio inconveniente para hormigones que tengan armaduras o fibras que serán fácilmente atacadas por el oxido, aunque existen soluciones.

Estas soluciones pasan por verter en el propio hormigón durante la mezcla, activadores alcalinos. En estado endurecido podemos reactivar alcalinamente el hormigón sin reserva alcalina, aplicando en su superficie el reactivador, que por difusión penetra en el interior del hormigón. Podemos utilizar armaduras de acero y fibras galvanizadas o inoxidable, todo ello conlleva un encarecimiento del material.



2.6.- APLICACIONES.

Los hormigones de UHPC se están aplicando en campos muy concretos que podemos dividir en tres: edificación, puentes, otras aplicaciones.

En edificación, podemos nombrar varios edificios situados en EE.UU como el Peachtree Center en Atlanta o el Seattle en el Columbia Center.



Imagen 1. Peachtree Center en Atlanta.



Imagen 2. Seattle en el Columbia Center.

En el edificio de Peachtree Center, de 257 m de altura construido en Atlanta en 1990 se ha empleado un hormigón de 84 N/mm² y en el Seattle en el Columbia Center se han empleado hormigones de 133 N/mm² a 56 días.

Estas aplicaciones en edificios están justificadas por la propia alta resistencia del hormigón que permite reducir las dimensiones de pilares y columnas y, por tanto, conseguir espacio, disminuyendo, al mismo tiempo las cargas transmitidas al terreno. Otra razón justificativa puede ser el ahorro de acero que puede conseguirse con este tipo de hormigones. Por cada 7 N/mm² de aumento de resistencia en el hormigón se puede reducir un 10% de armadura.

En el campo de aplicación a puentes, gracias a este tipo de hormigones se han podido conseguir luces que eran inimaginables en estas últimas décadas. La gran relación resistencia a compresión/peso, la relativa alta resistencia a tracción y la menor deformación por fluencia han contribuido mucho al empleo de estos hormigones en puentes pretensados. Como aplicación reciente en este campo



está la del Tower Road Bridge de Washington en el que se ha empleado hormigón de 62 N/mm².

En las plataformas petrolíferas “off-shore” del Mar del Norte y del Océano Ártico, los hormigones de alta resistencia tienen ventajas gracias a sus mayores resistencias y a su mayor durabilidad. Igualmente se han empleado, por estas mismas cualidades, en los segmentos pretensados de los túneles bajo el mar en el Gran Belt (Dinamarca).

Estos hormigones se han empleado en depósitos enterrados para almacenar combustibles, en protecciones militares frente a penetración de proyectiles, en naves industriales prefabricadas, en canales, etc.

En España ya existen muchas aplicaciones de estos hormigones en obra de edificios y puentes. El conjunto “Natura Playa” de Alicante ha empleado en pilares un hormigón H-70. Las dovelas del túnel del Trasvase Guadiaro-Majaceite se han construido con un H-80. En el puente del Río Miño se ha utilizado hormigón H-65. En las pasarelas de Montjuic en Barcelona se ha empleado H-80, así como también en el puente sobre el Río Guadalete. En el 2007, se ha construido en Zaragoza un puente sobre el río Ebro con hormigón blanco autocompactante de alta resistencia de 100 N/mm², empleando como adición nanosílice.

2.7.- OTROS MATERIALES DE INTERÉS.

2.7.1.- Madera.

La madera es un material orgánico natural y con una estructura celular; se llama madera al conjunto de tejidos que forman el tronco, las Raíces y las Ramas, de los vegetales leñosos, excluidas de la corteza. Estas se clasifican en madera de coníferas y madera frondosas. Las coníferas son especies pertenecientes al orden coníferales (Abetos, piceas, alerces, cedros, pinos, etc.) Que pertenecen a las gimnospermas. Las frondosas son especies leñosas pertenecientes a las angiospermas dicotiledóneas (robles, olmo, encina, etc.).

Pocos materiales poseen la capacidad de evocación de la madera. Durante miles de años el hombre la ha manipulado para que sirviera a sus necesidades y, aún en nuestros días, tipologías ancestrales continúan siendo válidas. La madera fue uno de los primeros materiales utilizados por el hombre para construcción de viviendas, herramientas para cazar, fabricación de utensilios, etc. Después fue uno de los materiales predilectos para la construcción de palacios, templos y casas desde el siglo XX a.c. y hasta el siglo XIV d.c; donde al descubrirse nuevas técnicas y materiales para la construcción, tales como el hormigón armado, el hierro, el cristal, el cartón, la fibra textil y todos los sustitutos de la madera,



disminuyeron en gran medida el uso de esta hasta la aparición de la madera laminada con el descubrimiento de las colas sintéticas en 1940.

La madera no es un material homogéneo, es un material anisótropo que se comporta de forma diferente según la dirección de las fibras. Esta propiedad o característica de la madera deja de manifestarse en la madera laminada, ya que la laminación disminuye esta anisotropía, haciendo de la madera un material más homogéneo.

Según la UNE-EN 386:2001 podemos definir la madera laminada encolada como: “Elementos estructurales formados por la unión encolada de laminas de madera con la fibra orientada básicamente de forma paralela”.

Con todo esto podemos decir que ante una misma sección de madera y madera laminada, la segunda presenta una mejora de propiedades respecto de la primera.

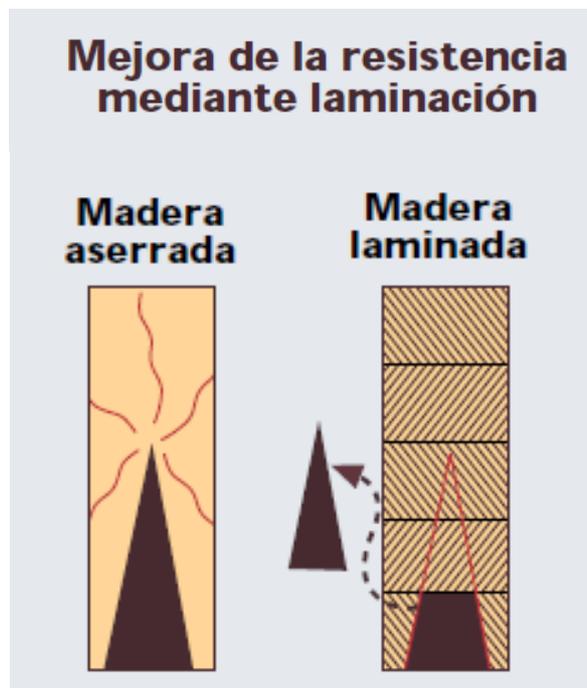


Imagen 3. Distribución de tensión en la madera.

Como se observa en la imagen 3 anterior, la tensión o grieta en la madera laminada se disipa con la laminación. Los resultados obtenidos en el ensayo a flexión son los siguientes:

- Madera laminada GL28: 24 N/mm².
- Madera maciza C18: 18 N/mm².

Esta mejora de propiedades ha permitido que con la madera laminada encolada se consigan salvar luces mucho más grandes y que ésta compita con ventaja sobre otros materiales.



2.7.2.- Fibra de carbono.

La fibra de carbono es un material compuesto, constituido principalmente por carbono. Tiene propiedades mecánicas similares al acero y es tan ligera como la madera o el plástico. Por su dureza tiene menor resistencia al impacto que el acero.



Imagen 4. Lámina de fibra de carbono.



Imagen 5. Tela de fibra de carbono.

Las propiedades principales de este material compuesto son:

- Elevada resistencia mecánica, con un módulo de elasticidad elevado.
- Baja densidad, en comparación con otros elementos como por ejemplo el acero.
- Elevado precio de producción.
- Resistencia a agentes externos.
- Gran capacidad de aislamiento térmico.
- Resistencia a las variaciones de temperatura, conservando su forma, sólo si se utiliza matriz termoestable.

Las razones del elevado precio de los materiales realizados en fibra de carbono se debe a varios factores:

- El refuerzo, fibra, es un polímero sintético que requiere un caro y largo proceso de producción. Este proceso se realiza a alta temperatura, entre 1100 y 2500 °C, en atmósfera de hidrógeno durante semanas o incluso meses dependiendo de la calidad que se desee obtener ya que pueden realizarse procesos para mejorar algunas de sus características una vez se ha obtenido la fibra.
- El uso de materiales termoestables dificulta el proceso de creación de la pieza final, ya que se requiere de un complejo utillaje especializado, como el horno autoclave.



Tiene muchas aplicaciones en la industria aeronáutica y automovilística, al igual que en barcos y en bicicletas, donde sus propiedades mecánicas y ligereza son muy importantes. También se está haciendo cada vez más común en otros artículos de consumo como patines en línea, raquetas de tenis, edificios, ordenadores portátiles, trípodes y cañas de pesca e incluso en joyería .

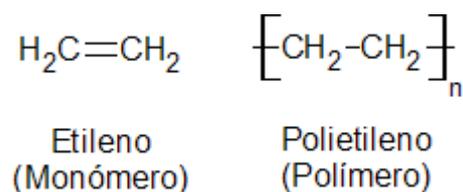
Cada filamento de carbono es la unión de muchas miles de fibras de carbono. Un filamento es un fino tubo con un diámetro de 5–8 micrómetros y consiste mayoritariamente en carbono.

La densidad de la fibra de carbono es de 1.750 kg/m³. Es conductor eléctrico y de baja conductividad térmica. Al calentarse, un filamento de carbono se hace más grueso y corto.

2.7.3.- Polietileno.

El polietileno (PE) es un material termoplástico blanquecino, de transparente a translúcido, y es frecuentemente fabricado en finas láminas transparentes. Las secciones gruesas son translúcidas y tienen una apariencia de cera. Mediante el uso de colorantes pueden obtenerse una gran variedad de productos coloreados.

Por la polimerización de etileno pueden obtenerse productos con propiedades físicas muy variadas. Estos productos tienen en común la estructura química fundamental $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$, y en general tienen propiedades químicas de un alcano de peso molecular elevado. Este tipo de polímero se creó para usarlo como aislamiento eléctrico, pero después ha encontrado muchas aplicaciones en otros campos, especialmente como película y para envases.



En general hay dos tipos de polietileno:

- De baja densidad (LDPE)
- De alta densidad (HDPE).

El de baja densidad tiene una estructura de cadena enramada, mientras que el polietileno de alta densidad tiene esencialmente una estructura de cadena recta.

El polietileno de baja densidad fue producido comercialmente por primera vez en el Reino Unido en 1939 mediante reactores autoclave (o tubular) necesitando



presiones de 14.500 psi (100 Mpa) y una temperatura de unos 300 °C. El polietileno de alta densidad fue producido comercialmente por primera vez en 1956-1959 mediante los procesos de Philips y Ziegler utilizando un catalizador especial. En estos procesos la presión y temperatura para la reacción de conversión del etileno en polietileno fueron considerablemente más bajas. Por ejemplo, el proceso Philips opera de 100 a 150 °C y 290 a 580 psi (2 a 4 MPa) de presión.

Sobre 1976 se desarrolló un nuevo proceso simplificado a baja presión para la producción de polietileno, el cual utiliza una presión de 100 a 300 psi (0,7 a 2 Mpa) y una temperatura de unos 100 °C. El polietileno producido puede describirse como un polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) y tiene una estructura de cadena lineal con ramificaciones laterales cortas, inclinadas.

El polietileno de baja densidad es un polímero que se caracteriza por:

1. Buena resistencia térmica y química.
2. Buena resistencia al impacto.
3. Es de color lechoso, puede llegar a ser transparente dependiendo de su espesor.
4. Muy buena procesabilidad, es decir, se puede procesar por los métodos de conformado empleados para los termoplásticos, como inyección y extrusión.
5. Es más flexible que el polietileno de alta densidad.
6. Presenta dificultades para imprimir, pintar o pegar sobre él.

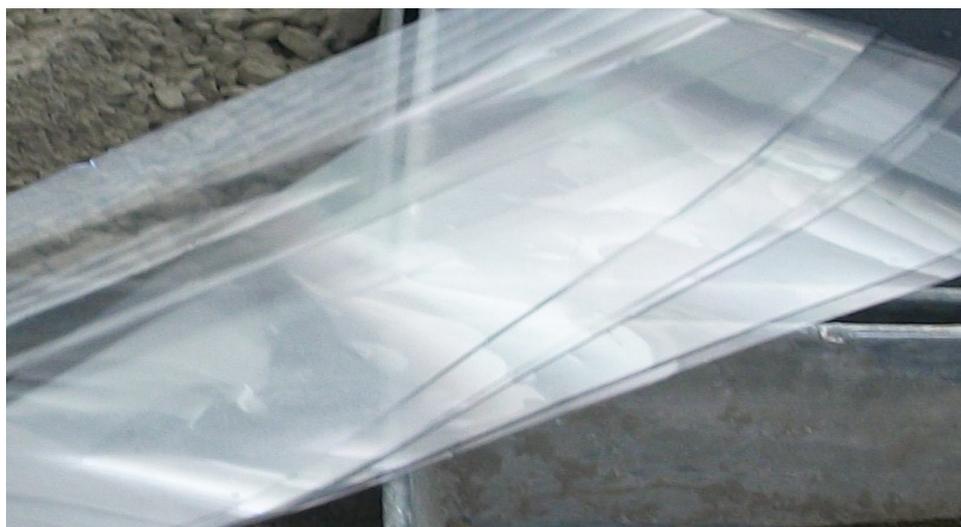


Imagen 6. Láminas de polietileno.



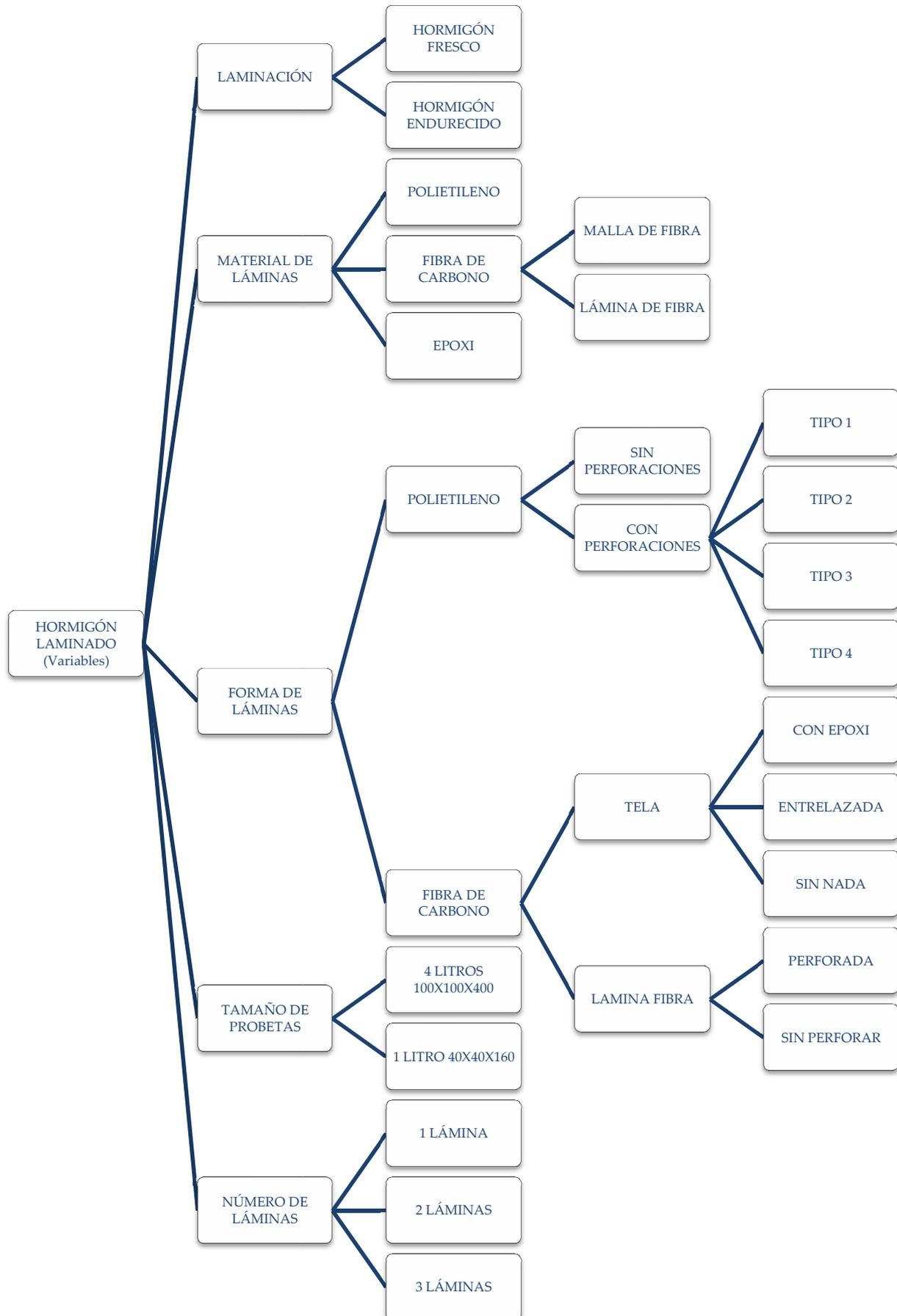
El polietileno se usa para diferentes tipos de productos finales, para cada uno de ellos se utilizan también diferentes procesos, entre los más comunes se encuentran:

- Extrusión: Película, cables, hilos, tuberías.
- Co-Extrusión: Películas y láminas multicapa.
- Moldeo por inyección: Partes en tercera dimensión con formas complicadas
- Inyección y soplado: Botellas de diferentes tamaños
- Extrusión y soplado: Bolsas o tubos de calibre delgado
- Extrusión y soplado de cuerpos huecos: Botellas de diferentes tamaños
- Rotomoldeo : Depósitos y formas huecas de grandes dimensiones

3. *Programa experimental*



En este trabajo de investigación, para la realización de las probetas hemos combinado los 5 tipos de variables que se muestran a continuación obteniendo un programa.







Fecha Amasado Amasada Probetas 140x60x60 mm	POLIETILENO																UNIÓN PROBETAS ROTAS CON EPOXI+LÁMINA (amasada 1)	
	0 (láminas de 160x40mm sin agujeros)				2 (láminas de 160x40mm)			3 (láminas de 160x40mm)			4 (láminas de 160x40mm)				1 lámina	2 láminas		
	Patrón	1 lám	2 lám		1 lám T1	1 lám T2	1 lám T3	2 lám T1	2 lám T1	2 lám T4	2 lám T3	2 lám T3	2 lám T4					
CEM (kg/m3) (gr/l)	1000	1000		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	
MICROSILICE (kg/m3) (gr/l)	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ARIDO 0/1 (kg/m3) (gr/l)	600	600		600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	
SILICATO Al2O3 (kg/m3) (gr/l)	400	400		400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	
H2O (kg/m3) (gr/l)	250	250		250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	
ADITIVO (kg/m3) (gr/l)	60	60		60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
tipo amasadora																		
Amasado																		
desemoldar																		
sumergir agua																		
horno fecha/dias/°C																		
rotura																		
h, mm/ bxh																		
fc-1 KN/Mpa																		
fc-2 KN/Mpa																		
fflex-1																		
forma rotura cortante/flexion																		
trabajabilidad																		
Unida con epoxi																		

Fecha Amasado Amasada Probetas 140x60x60 mm	TELA FIBRA CARBONO						RESINAS EPOXI			LÁMINA FIBRA DE CARBONO						
	5		10 (CON EPOXI)				7			8		9				
	Patrón	1 lám	2 lám	Patrón	1 lám FC+epoxi (1)	1 lám FC+epoxi (2)	patrón	1 lám= 32+8	2 lám=24+8+8	patrón	1 lám 8e	1 lám 8e	patrón	1 lám 12e	1 lám 12e	
CEM (kg/m3) (gr/l)	1000	1000		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
MICROSILICE (kg/m3) (gr/l)	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ARIDO 0/1 (kg/m3) (gr/l)	600	600		600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
SILICATO Al2O3 (kg/m3) (gr/l)	400	400		400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
H2O (kg/m3) (gr/l)	250	250		250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
ADITIVO (kg/m3) (gr/l)	60	60		60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
tipo amasadora																
Amasado																
desemoldar																
sumergir agua																
horno fecha/dias/°C																
rotura																
h, mm/ bxh																
fc-1 KN/Mpa																
fc-2 KN/Mpa																
fflex-1																
forma rotura cortante/flexion																
trabajabilidad																
Unida con epoxi																





	12	13	14	15	16	17
	1 BARRA FIBRA CARBONO ø12	1 BARRA ACERO ø12	PATRÓN	EPOXI+TELA FIBRA CARBONO	TELA FIBRA TEJIDA	LÁMINA FIBRA CARBONO
Fecha Amasado						
Amasada						
Probetas 400x100x100 mm						
CEM (kg/m ³) (gr/l)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
MICROSILICE (kg/m ³) (gr/l)	100	100	100	100	100	100
ARIDO 0/1 (kg/m ³) (gr/l)	600	600	600	600	600	600
SILICATO AL2O3 (kg/m ³) (gr/l)	400	400	400	400	400	400
H2O (kg/m ³) (gr/l)	250	250	250	250	250	250
ADITIVO (kg/m ³) (gr/l)	60	60	60	60	60	60
tipo amasadora						
Amasado						
desmoldar						
sumergir agua						
horno fecha/dias/°C						
rotura						
h, mm/ b x h						
f _c -1 KN/Mpa						
f _c -2 KN/Mpa						
fflex-1						
forma rotura cortante/flexion						
trabajabilidad						
Unida con epoxi						



4. Metodología de ensayo



4.1.- MATERIALES UTILIZADOS.

4.1.1.- Cementos.

Las características resistentes del cemento son fundamentales para un HAR por ello se ha utilizado cementos de alta categoría como son los CEM I -52.5 R, suministrados por Cementos La Unión, de altas resistencias, la de finura de Blaine de 5070, con el fin de que los granos de cemento se hidraten al máximo y de forma rápida. Este tipo de cemento con un alto calor de hidratación a corta edad por la finura del cemento y la gran cantidad de cemento que se utiliza (alrededor de 1000 Kg/m³), provoca mucha retracción hidráulica y una pérdida de trabajabilidad prematura.

La composición granulométrica (figura 35-bis), química y potencial del cemento utilizado en el programa experimental se muestra en las tablas 30-x y 31.

CaO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl	CaCO ₃
63,15	3,09	20,04	4,99	1,83	3,30	0,97	0,02	0,00	5,51
63,77	2,99	20,28	5,26	1,80	3,39	0,95	0,03	0,00	5,42
63,72	3,02	20,15	5,26	1,41	3,53	0,85	0,03	0,00	5,36
63,64	2,99	20,16	5,24	1,40	3,38	0,90	0,03	0,00	5,44
63,88	2,96	20,16	5,33	1,40	3,69	0,87	0,02	0,00	5,74
63,44	2,96	19,92	5,25	1,54	3,21	0,89	0,03	0,00	6,59
63,92	3,00	20,08	5,25	1,47	3,29	0,89	0,03	0,00	5,87
63,71	3,01	19,99	5,19	1,52	3,25	0,90	0,03	0,00	5,70
63,44	2,95	20,12	5,24	1,53	3,53	0,91	0,03	0,00	5,37
63,35	2,94	20,07	5,24	1,57	3,40	0,89	0,03	0,00	5,63
63,76	2,96	20,06	5,30	1,52	3,43	0,85	0,03	0,00	5,73

Tabla 30-x: Composición química media del CEM I-52.5 R, utilizado en el programa experimental. Datos proporcionados por el fabricante.

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
62,33	13,56	9,31	9,44

Tabla 31: Composición potencial del CEM I-52.5 R, utilizado en el programa experimental.

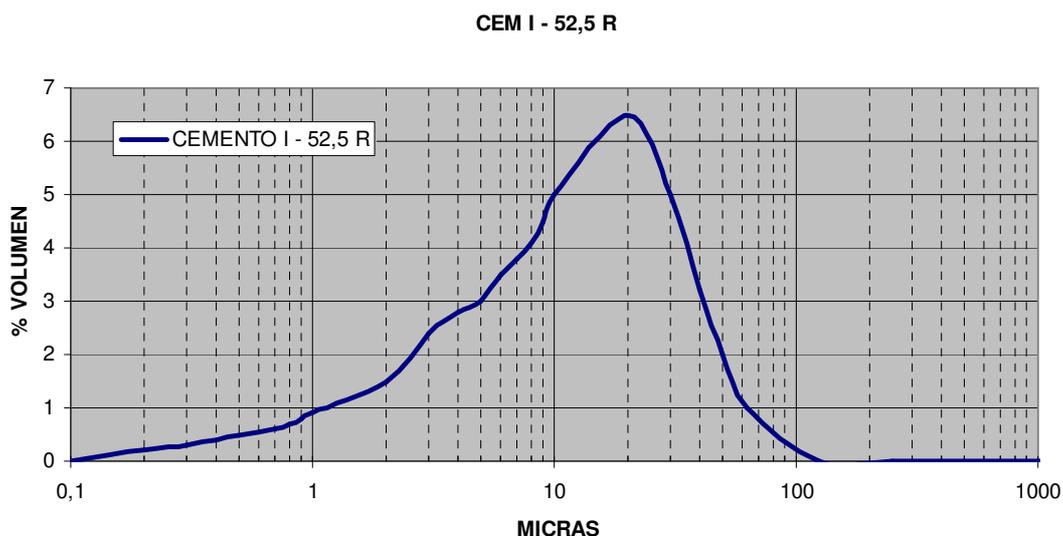


Figura 35 - bis: Distribución granulométrica del CEM I-52.5 R, utilizado en el programa experimental. Datos proporcionados por el fabricante.

Las características del cemento utilizado son las que se muestran a continuación:

CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO:			Resultados			Especificaciones según UNE-EN 197-1
			media	Inferior	Superior	
CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	Resistencia a Compresión MPa	2 días	44,8	43,1	46,4	≥ 30 MPa
		28 días	66,1	64,1	68,3	≥ 52.5 Mpa
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	Tiempos de fraguado (min)	Inicio	215	190	240	≥ 45 min
		Fin	265	250	280	≤ 12 h
	Expansión (mm)		0,1	0,0	0,3	≤ 10 mm
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	Pérdida por calcinación (%)		1,2	1,2	1,2	≤ 5%
	Residuo Insoluble (%)		1,2	1,2	1,2	≤ 5%
	Contenido en sulfatos (%)		3,25	2,97	3,69	≤ 4%
	Contenido en Cloruros (%)		0,05	0,05	0,05	≤ 0.1%
	Composición en núcleo de cemento (%)	% Clinker	99,03	98,91	99,18	95 - 100 %
		% Componentes minoritarios	0,97	-	-	≤ 5%
Contenido en Cr VI soluble (%)		0,0000	0,0000	0,0000	≤ 0.0002%	

Este cemento, certificado por AENOR, cuenta con CERTIFICADO DE CONFORMIDAD CE, y está fabricado según normas UNE-EN 197-1:2000, UNE-EN 197-1:2000/A3:2008 y UNE-EN 197-1:2002 ERRATUM.

El lugar de fabricación es la sede de Cementos la unión, S.A., instalada en Pi de actuación, fase 13 parcela 41, 46190 Ribarroja del Turia (Valencia-España).



4.1.2.- Árido fino.

Los áridos finos para la realización de un HAR deben ser arenas silíceas rodadas debido a que requieren una menor cantidad de agua de mojado.

Cualquiera que sea la naturaleza de los áridos estos deben estar limpios de polvo y cualquier elemento contaminante.

El árido utilizado en los ensayos realizados es una Arena Sikadur de la serie 500, en concreto la Arena Sikadur-510.

Se trata de una arena para sistemas antideslizantes de tipo semigrueso, con una granulometría de 0,4 – 1,00 mm y una densidad aparente de 1,5 kg/l. Viene suministrado por en sacos de 26 kg.

4.1.3.- Agua.

El agua utilizada para el amasado del hormigón está limpia y se encuentra libre de impurezas a fin de que no se produzcan alteraciones en la hidratación del cemento, retrasos en su fraguado y endurecimiento, reducciones en sus resistencias, ni peligros en su durabilidad.

4.1.4.- Aditivos.

El aditivo utilizado para la realización de las probetas es el Sika ViscoCrete – 20 HE, superplastificante de alto rendimiento. Este aditivo es especialmente adecuado para la confección de hormigones de altas resistencias iniciales, hormigones con gran necesidad de reducción de agua y de excelente fluidez.

El Sika ViscoCrete – 20 HE se utiliza principalmente para las siguientes aplicaciones:

- Hormigón prefabricado.
- Hormigón con altas resistencias iniciales.
- Hormigón realizado in situ con un rápido desmolde o desencofrado.
- Hormigón autocompactante.

Debido a la absorción superficial y el efecto esférico, que separan las partículas ligantes se consiguen las siguientes propiedades:

- Produce un rápido desarrollo de las resistencias iniciales, resultando muy económico porque reduce el tiempo de encofrado y desmolde 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.

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.

En cuanto a Certificados y Normas, podemos decir que 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.

Los datos del producto con los que contamos son los siguientes:

FORMA:

- Líquido marrón, ligeramente transparente.

ALMACENAMIENTO:

- 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 de fraguado: No retardante.
- Efecto de sobredosificación: Puede producir exudación.

DETALLES DE APLICACIÓN:

- Consumo/Dosificación:
 - o Para media trabajabilidad: 0,2-0,8 % del peso del cemento.
 - o Para una alta trabajabilidad, con una baja relación agua/cemento y para hormigón autocompactable: 1,0-2,0 % del peso del cemento.



4.1.5.- Adiciones.

La adición utilizada para la realización de las probetas es Sika Fume S-92-D, adición a base de humo de sílice. Esta adición se utiliza para aumentar la cohesión el hormigón fresco y las resistencias mecánicas y a agentes agresivos en el hormigón endurecido.

El Sika Fume S-92-D se utiliza principalmente para las siguientes aplicaciones:

- Hormigones estructurales de altas prestaciones.
- Hormigón bombeado.
- Hormigón proyectado tanto por vía seca como por vía húmeda.
- Hormigones resistentes a agentes agresivos.

Este material contiene partículas microscópicas (0,1 micras) de dióxido de silicio reactivo. La presencia de dichas sustancias aumenta la retención del agua en el hormigón fresco.

En el hormigón endurecido reacciona con la cal libre aumentando sus resistencias mecánicas y a agentes agresivos.

Aumenta las resistencias químicas a cloruros, sulfatos, ácidos, ciclos de hielo-deshielo, reacción álcali-árido.

No contiene cloruros ni elementos que puedan producir corrosión en las armaduras.

Los datos de este producto son los siguientes:

FORMA:

- Polvo gris.
- Envasado en sacos de 20 kg.

ALMACENAMIENTO:

- 12 meses desde su fecha de fabricación, en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados.
- En lugar seco y fresco protegiéndolos de las heladas y el frío excesivo, a una temperatura entre + 5º C y + 30º C.

DATOS TÉCNICOS:

- Composición química: Humo de sílice densificado.

DETALLES DE APLICACIÓN:

- Consumo/Dosificación:
 - o Hormigones de alta durabilidad y resistencias: aprox. 10% del peso de cemento.



- Hormigón normal: aprox. 5-10% del peso de cemento.
- Hormigón proyectado: aprox. 5% del peso de cemento.

4.1.6.- Silicato de aluminio.

El silicato de aluminio utilizado para la realización de probetas pertenece a la casa mpablast. Se trata de un silicato de aluminio granulado procedente de cámara de combustión, lavado, secado y clasificado, que cuenta con las siguientes características generales:

- Color marrón-negro.
- Exento de polvo.
- Formas de grano irregulares, la mayoría angulosas.
- Químicamente neutro.
- Tiene una friabilidad media, por lo que produce poco polvo.
- Granulometría controlada y muy ajustada.

Los porcentajes de los componentes de este silicato son los siguientes:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	MgO	TiO	Na ₂ O
45-52	24-31	7-11	3-8	2-5	2-3	0-2	0-1

Las características físico-químicas se muestran a continuación:

Dureza	Densidad aparente	Peso específico	Conductividad	Cloruros solubles en agua
7 Mohs	1,3 - 1,4 g/cm ³	2,4 - 2,6 g/cm ³	< 15 mS/m	< 0.001 % m/m

La distribución granulométrica estándar es la siguiente:

	Finos		Medios		Gruesos
	0,08-0,16	0,10-0,30	0,20-0,60	0,10-0,80	0.5-1.5

En cuanto al almacenaje deberá realizarse en lugar seco y templado para evitar la formación de grumos.

4.1.7.- Fibra de carbono.

4.1.7.1.- Laminado de fibra de carbono.

Uno de los materiales utilizados como lámina es el Sika CarboDur. Se trata de un polímero armado con fibras de carbono pultrusionadas (CFPR) diseñado para el refuerzo de estructuras de hormigón, madera y mampostería.



Las características de este material son las siguientes:

- No se corroe.
- Muy altas resistencias.
- Excelente durabilidad.
- Ligero y de poco peso.
- Disponible en cualquier longitud, no requiere juntas.
- Espesor total pequeño, puede ser cubierto.
- Fácil de transportar (rollos).
- Fácil solape y entrecruzamiento de laminados.
- Excelente resistencia a fatiga.
- Alto modulo de elasticidad.

Los datos de este producto son los siguientes:

FORMA:

- Matriz de polímeros (resina epoxi) reforzada con fibra de carbono, negro.

TIPOS:

Laminados Sika CarboDur Modulo de elasticidad 165.000 N/mm².

Tipo	Ancho	Espesor	Sección
Sika CarboDur S512/80	50 mm	1,2 mm	60 mm ²
Sika CarboDur S812/120	80 mm	1,2 mm	96 mm ²
Sika CarboDur S1014/180	100 mm	1,4 mm	140 mm ²
Sika CarboDur S1214/220	120 mm	1,4 mm	168 mm ²

ALMACENAMIENTO:

- Ilimitada si no hay exposición directa al sol, en condiciones secas a temperaturas inferiores a los 50°C.

DATOS TÉCNICOS:

- Densidad: 1,60 g/cm³.
- Resistencia térmica: > 150°C.
- Contenido volumétrico de fibra: > 68%.
- Modulo de elasticidad medio: 165.000 N/mm² o MPa.
- Resistencia a tracción media: 3100 N/mm² o MPa.
- Alargamiento a rotura: > 1,70%.
- Deformación unitaria de diseño: < 0,85%.

4.1.7.2.- Tejido a base de fibra de carbono.



El SikaWrap-230 C/45 es un tejido unidireccional a base de fibra de carbono que ha sido utilizado en este proyecto como material de lámina.

Las características de este material son las siguientes:

- Fabricado con una trama especial de fibras que consigue una gran estabilidad dimensional.
- Uso multifuncional
- Flexibilidad en la adaptación de la geometría de las superficies.
- Baja densidad.

Los datos de este producto son los siguientes:

ALMACENAMIENTO:

- 24 meses desde la fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados en un lugar seco a temperaturas de entre +5°C y 35°C.

DATOS TÉCNICOS:

- Peso: 230 g/m² +/- 10 g/m².
- Espesor de diseño de tejido: 0,131 mm (sección neta de fibras)
- Densidad: 1,76 g/cm³.
- Modulo elástico: 234.000 N/mm² o MPa.
- Resistencia a tracción: 4300 N/mm² o MPa.
- Alargamiento a rotura: 1,80 %.

4.1.7.3.- Barra de fibra de carbono.

El Sika CarboDur BC es un refuerzo estructural para la albañilería, la madera y el hormigón basado que basa su composición en fibras de carbono unidas con resinas epoxi según la prescripción del diseñador.

El Sika CarboDur BC es adecuado como refuerzo estructural para esfuerzos a cortante y flexión en hormigón, albañilería o madera. Es idóneo como sistema sustitutivo de la estructura metálica, y apenas se producen conflictos de armado, pues son necesarios menos redondos.

Las ventajas de este material son las siguientes:

- Ligereza de las barras.
- Muy alto valor de resistencia a tracción.
- Facilidad de colocación ante cualquier situación particularmente dificultosa.
- Modulo elástico compatible y adecuado para hormigón.



- Sistema económico respecto al tradicional sistema de hormigón pretensado.

Las características de este material son las siguientes:

- Los diámetros disponibles de fibra de carbono son 12, 10 y 8 mm.
- El color de las barras es negro.
- Se fabrican en piezas de 3 m.

Los datos de este producto son los siguientes:

ALMACENAMIENTO:

- La conservación de este material será como máximo 12 meses en el envoltorio original cerrado y conservado según las advertencias usuales para productos de plomería.

DATOS TÉCNICOS:

- Porcentaje volumétrico de fibra de carbono: > 68%
- Alargamiento de rotura: > 1,3 %
- Peso específico: 1,6 kg/litro según ASTM D 792
- Resistencia a tracción: > 2.000 MPa según ASTM D 638
- Modulo de elasticidad estatico: > 175.000 MPa según ASTM D 638

4.1.8.- Polietileno.

El film de polietileno de baja densidad LDPE utilizado para la realización de láminas presenta las siguientes características:

- Producto de peso liviano.
- Múltiples dimensiones.
- Buena resistencia térmica y química.
- Muy flexible.

Los datos de este producto son los siguientes:

PROPIEDADES MECÁNICAS/FÍSICAS

- Color: translúcida.
- Densidad: 0,92-0,93 g/cm³.
- Resistencia a la tracción a rotura:
 - o Longitudinal: 18 MPa.
 - o Transversal: 16 MPa.
- Alargamiento en rotura:
 - o Longitudinal: 449 %.



- Transversal: 513 %.
- Transmisión global de luz visible: 95 %.

ALMACENAJE

- Conservar en espacios grandes y ventilados.
- Mantenerse lejos de productos químicos.
- Área ventilada y fresca a temperatura 18°C – 25°C aproximadamente.
- Humedad relativa del ambiente entre 35 – 50 %.
- Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas.

4.1.9.- Acero.

La barra de acero corrugado de diámetro 12 mm colocada en una de las probetas de este trabajo de investigación, presenta las siguientes propiedades:

PROPIEDADES QUÍMICAS:

- Carbono (C): Entre 0.3% y 0.43%
- Silicio (Si): Entre 0.2% y 0.4%
- Manganeso (Mn): Entre 0.4% y 0.8%
- Fosforo (P): Máximo 0.03%
- Azufre (S): Máximo 0.03%
- Cromo (Cr): Entre 0.7% y 1.7%
- Níquel (Ni): Entre 1.4% y 2.0%

PROPIEDADES MECÁNICAS:

- Densidad: 7.850 kg/m³
- Coeficiente de Poisson: 0.27 - 0.30
- Módulo de Elasticidad: 190 – 210 GPa
- Resistencia a la Tracción: 744.6 Mpa
- Fluencia: 472.3 Mpa
- Elongación: 22.0 %
- Área de Reducción: 49.9 %
- Dureza: 217 HB
- Resistencia al impacto: 51.1 J



4.1.10.- Resinas epoxi.

La resina epoxi utilizada para la unión de las láminas es la resina Sikadur-52 Inyección. Se trata de un producto líquido de baja viscosidad para inyecciones a base de resinas epoxi de altas resistencias de dos componentes sin disolventes.

Como resina de inyección con buena adherencia a hormigón, mortero, piedra, acero y madera, Sikadur-52 Inyección se usa para rellenar y sellar agujeros y fisuras en estructuras tales como puentes y otro tipo de construcciones civiles e industriales incluyendo pilares, vigas, cimentaciones, muros, soleras y depósitos. No solo forma una barrera efectiva frente a las filtraciones de agua u el avance de la corrosión, también pega e une las secciones de hormigón existentes.

Las características de este material son las siguientes:

- No contiene disolventes.
- Se puede utilizar con soporte seco o húmedo.
- Utilizable a bajas temperaturas
- Endurece sin retracción.
- Altras resistencias mecánicas y de adhesión.
- Duro pero no frágil
- Muy baja viscosidad

Los datos del producto son los siguientes:

FORMA:

- Color:
 - o Componente A: transparente.
 - o Componente B: Marrón.
 - o Componentes A+B mezclados: amarillo transparente.

ALMACENAMIENTO:

- 24 meses, desde su fecha de fabricación en sus envases de origen bien cerrados y no deteriorados en un lugar seco a temperaturas comprendidas entre +5°C y +30°C.

DATOS TÉCNICOS:

- Base química: resina epoxi modificada de dos componentes libre de disolventes.
- Densidad:
 - o Componente A: 1,1 kg/l.
 - o Componente B: 1,0 kg/l.
 - o Componente A+B mezclados (2:1): 1,1 kg/l.



- Coeficiente de dilatación térmica: 89×10^{-6} por °C.
- Resistencia a compresión: 52 N/mm² (después de 7 días).
- Resistencia a flexotracción: 61 N/mm² (después de 7 días).
- Resistencia a tracción: 37 N/mm² (después de 7 días).
- Adherencia a hormigón: > 4 N/mm² (después de 7 días).
- Modulo de elasticidad: 1800 N/mm² (después de 7 días).

INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN:

- Mezclado: proporción de mezcla A: B = 2:1 partes por peso y por volumen.
- Tiempo de mezclado: añadir todo el componente B al componente A. mezclar con batidora eléctrica de bajas revoluciones (máx. 250 rpm) durante al menos 3 minutos.
- Vida de la mezcla:

Temperatura	Tiempo abierto
+5° C	120 minutos
+10° C	80 minutos
+20° C	25 minutos
+30° C	10 minutos
+40° C	-

- Límites:
 - Máximo ancho de fisuras que pueden ser inyectadas: 5mm.
 - Sikadur-52 Inyección es apropiado para soportes húmedos o secos pero no es aplicable en presencia de agua.



AMASAR

1. ELECCIÓN DE DOSIFICACIÓN. La dosificación elegida para la fabricación de las probetas es la siguiente:

CEMENTO	H ₂ O	ADITIVO	HUMO DE SÍLICE	SILICATO DE ALUMINIO	ÁRIDO	
1000	250	60	100	400	600	Kg/m ³ o gr/lt

NOTA: Según investigaciones anteriores de José Ramón Albiol Ibañez, profesor tutor de PFG.

2. ELECCIÓN DEL TAMAÑO DE PROBETA.

Las probetas pueden ser de diferentes tamaños pero siempre cumplirán con las siguientes relaciones:



$$L \geq 3,5 d$$

Imagen 1. Dimensiones nominales en probetas.

El tamaño de probetas que vamos a utilizar para la realización de los ensayos es:

- 160x40x40 mm
- 400x100x100 mm



Imagen 2. Molde de probeta 160x40x40 mm.



Imagen 3. Molde de probeta de 400x100x100 mm.

Ambos tamaños cumplen con las especificaciones de la Norma UNE-EN 12390-1.

3. PREPARACIÓN DE LÁMINAS.



Imagen 4. Láminas de tela de fibra de carbono.



Imagen 5. Láminas de polietileno.



Imagen 6. Láminas de fibra de carbono.

Para la fabricación y diseño de láminas se van a utilizar diferentes materiales. Estos son:

- Polietileno.
- Tela de fibra de carbono.
- Lámina de fibra de carbono

Polietileno.

Se van a utilizar 5 tipos de láminas de 160x40 mm, cada uno con un diseño y una distribución de orificios. Éstos son los siguientes:

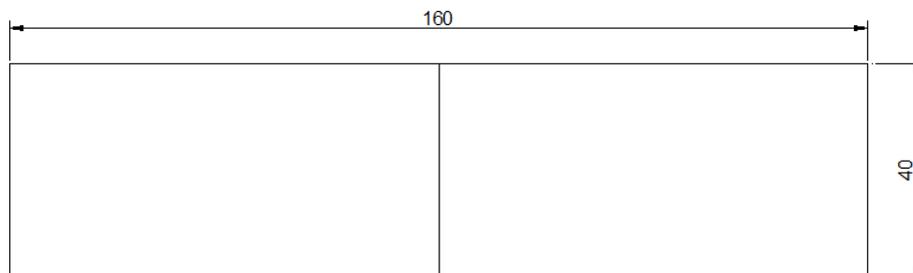


Imagen 7. Lámina de polietileno tipo 0, sin perforaciones.

El tipo de lámina que se muestra en la imagen 7 no presenta ningún tipo de perforación. Se utilizará en la amasada 0 de este trabajo de investigación.

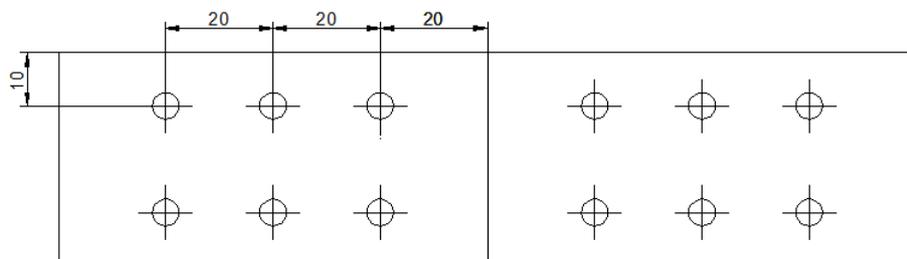


Imagen 8. Lámina de polietileno tipo 1.

La tipología de lámina que se muestra en la imagen 8 presenta doce perforaciones, seis a cada lado del eje central de la lámina. El tipo de lámina 1 se utilizará en las amasadas 2, 3 y 4 de este trabajo de investigación.

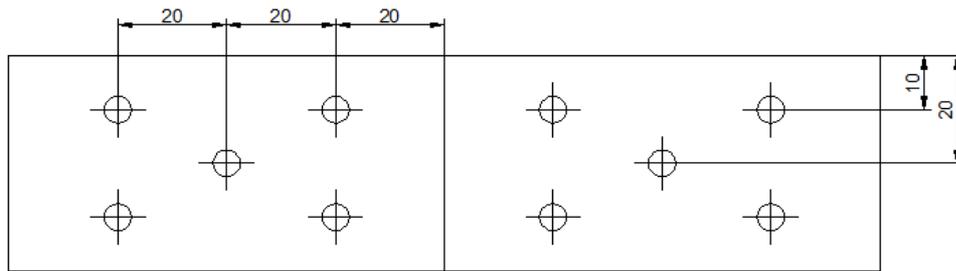


Imagen 9. Lámina de polietileno tipo 2.

La tipología de lámina de la imagen anterior presenta 10 perforaciones, cinco a cada lado del eje central de la lámina. Este tipo 2 de lámina se utilizará en las amasada 2 de este trabajo de investigación.

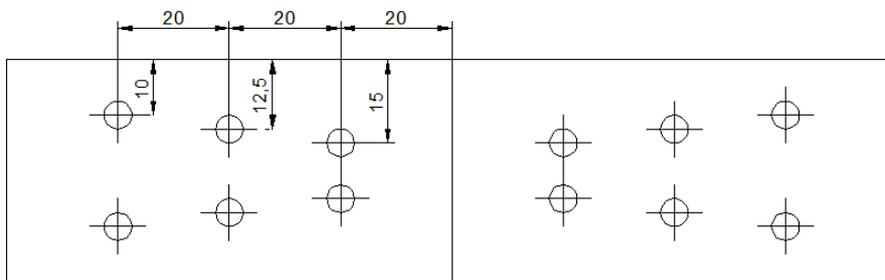


Imagen 10. Lámina de polietileno tipo 3.

El tipo de lámina que se muestra en la imagen 10 presenta doce perforaciones, seis a cada lado del eje central de la lámina. Se utilizará en las amasadas 2, 3 y 4 de este trabajo de investigación.

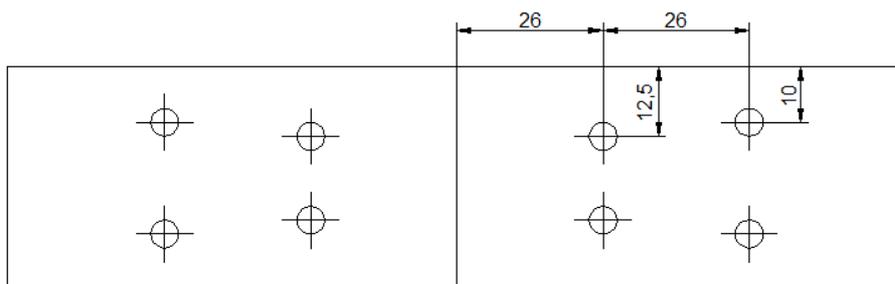


Imagen 11. Lámina de polietileno tipo 4.

La imagen anterior muestra la tipología de lámina 4 que presenta ocho perforaciones, cuatro perforaciones a cada lado del eje central de la misma. Se utilizará en las amasadas 3 y 4 de este trabajo de investigación.

El corte de las láminas de polietileno se ha realizado con tijeras.

Tela de fibra de carbono

Con este tipo de material se van a realizar dos tipos de láminas, según si se entrelazan o no las fibras.



La lámina de tela de fibra de carbono sin entrelazar de medidas 160x40 mm es la siguiente:



Imagen 12. Lámina de tela de fibra de carbono.

Este tipo de lámina se utilizará para la realización de las probetas en las amasadas 5, 10 y 15 de este trabajo de investigación.

En la imagen 13, se muestra el otro tipo de lámina a utilizar con este mismo material. En este caso se entrelaza la tela de fibra de carbono, colocando las fibras a 45° respecto de la dirección en la cual se ejerce la fuerza.



Imagen 13. Lámina de tela de fibra de carbono entrelazada.

Esta lámina de dimensiones 380x90 mm se utilizará en la amasada 16 con tamaño de probeta 400x100x100 mm.

Lámina de fibra de carbono

Con este material se van a utilizar 2 tipos diferentes de láminas de fibra de carbono de 140x30 mm, con 8 o 12 orificios. Éstas son las siguientes:



Imagen 14. Lámina de fibra de carbono 8 orificios.

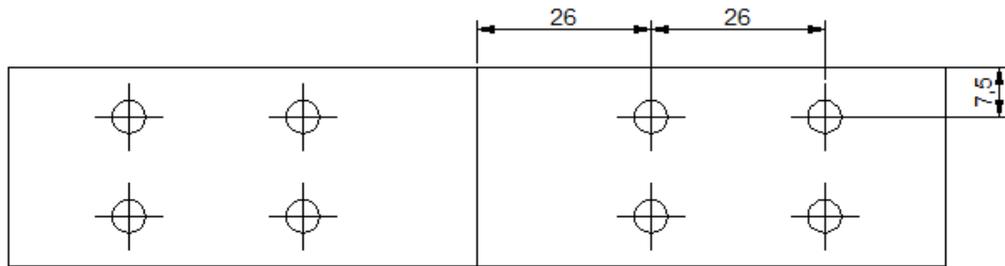


Imagen 15. Diseño de lámina de fibra de carbono 8 orificios.

Esta tipología de lámina se utilizará en la amasada 8 de este trabajo de investigación.

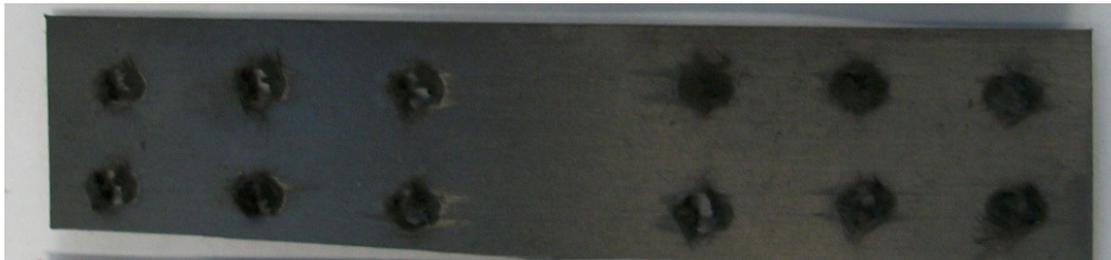


Imagen 16. Lámina de fibra de carbono 12 orificios.

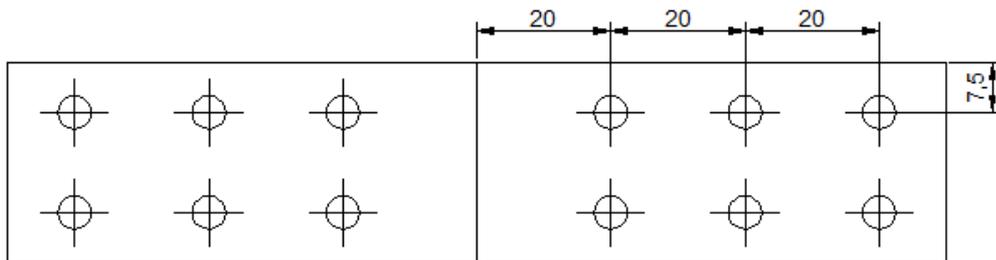


Imagen 17. Diseño de lámina de fibra de carbono 12 orificios.

El diseño de lámina que se muestra en las imágenes 16 y 17 se utilizará para la realización de las probetas en la amasada 9.

4. PESADO DE MATERIALES.

El pesado de los materiales se realizará con báscula electrónica utilizando las cubetas disponibles en el laboratorio de materiales.



Imagen 18. Pesado de materiales en báscula.



Imagen 19. Materiales preparados para amasar.



Los materiales a pesar para todas las amasadas que se van a realizar son los siguientes:

- 1000 gr. cemento Cem I 52,5 R.
- 600 gr. árido fino Sikadur-510.
- 400 gr. silicato de aluminio.
- 100 gr. humo de sílice Sika Fume S-92-D.
- 250 gr. agua.
- 60 gr. aditivo SikaViscoCrete-20 HE.



Imagen 20. Materiales acopiados al lado de amasadora.

En la imagen 20 se muestran los materiales necesarios para la realización de la amasada pesados y acopiados junto a la amasadora.

5. AMASADO.

El proceso de amasado en la amasadora planetaria de mortero se llevará a cabo siguiendo las siguientes pautas:

- a. Colocación cemento + $\frac{1}{2}$ agua + $\frac{1}{2}$ agua mezclado con $\frac{19}{20}$ de aditivo. 2 ciclos de 50 segundos.
- b. Colocación humo de sílice. 3 ciclos de 50 segundos.
- c. Vertido silicato de alúmina + $\frac{1}{20}$ de aditivo. 1 ciclo de 50 segundos.
- d. Colocación del árido. 2 ciclos de 50 segundos.



Imagen 21-22. Fabricación del hormigón en amasadora planetaria de mortero.

6. VERTIDO EN MOLDE.



Se trata del paso más complejo en la realización de las probetas de todo este trabajo de investigación, pues al tener que interponer las láminas entre las diferentes capas de hormigón es necesario controlar la forma de vertido y la altura vertida en molde.

Los moldes disponibles en el laboratorio que se van a utilizar son estancos, no absorbentes y están realizados en acero o fundición.

Además, todas las partes del molde calibrado son lo suficientemente robustas para impedir cualquier deformación en el montaje y en el uso. Todos los componentes del molde tienen marca de identificación, según norma UNE-EN 12390.

Para verter la cantidad necesaria de hormigón en el molde realizando las láminas de 8 mm, se han utilizado unos marcadores de cartón duro de 32 mm, 24 mm, 16 mm y 8 mm.

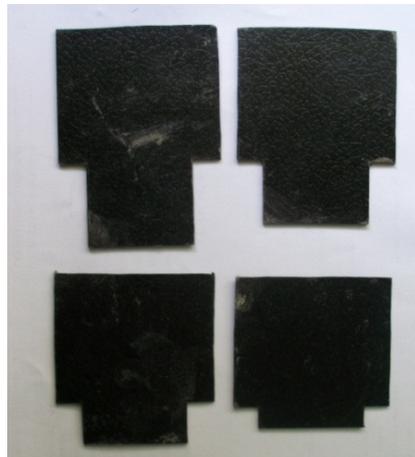


Imagen 23. Marcadores utilizados para el vertido en molde.

Colocando estos separadores en el borde del molde se puede comprobar la altura de hormigón vertida en éste, procediendo a la colocación de las láminas.



Imagen 24. Molde preparado para el vertido.



Imagen 25. Vertido en molde con colocación de láminas de polietileno.



En la imagen 24 se observa el molde preparado para el vertido del hormigón y en la imagen 27 se muestra el molde con la altura suficiente de hormigón vertida (8 mm) antes de la colocación de las láminas.

Las imágenes 25 y 26 muestran como se deben colocar las láminas después de haber vertido la primera capa de 8 mm de hormigón. Posteriormente a la colocación de las láminas, se continúa vertiendo hormigón en el molde hasta su llenado total.

En cada amasada que se realice, se contará con 1 probeta patrón situada a la parte derecha.



Imagen 26. Vertido en molde colocando láminas de fibra de carbono. Imagen 27. Molde preparado para colocación de láminas.

En la imagen 28 se muestra 1 amasada donde cada probeta lleva 2 láminas. Después de la colocación de la primera lámina, se verterán 8 mm más de hormigón, se colocará la segunda lámina y se acabará de rellenar el molde.

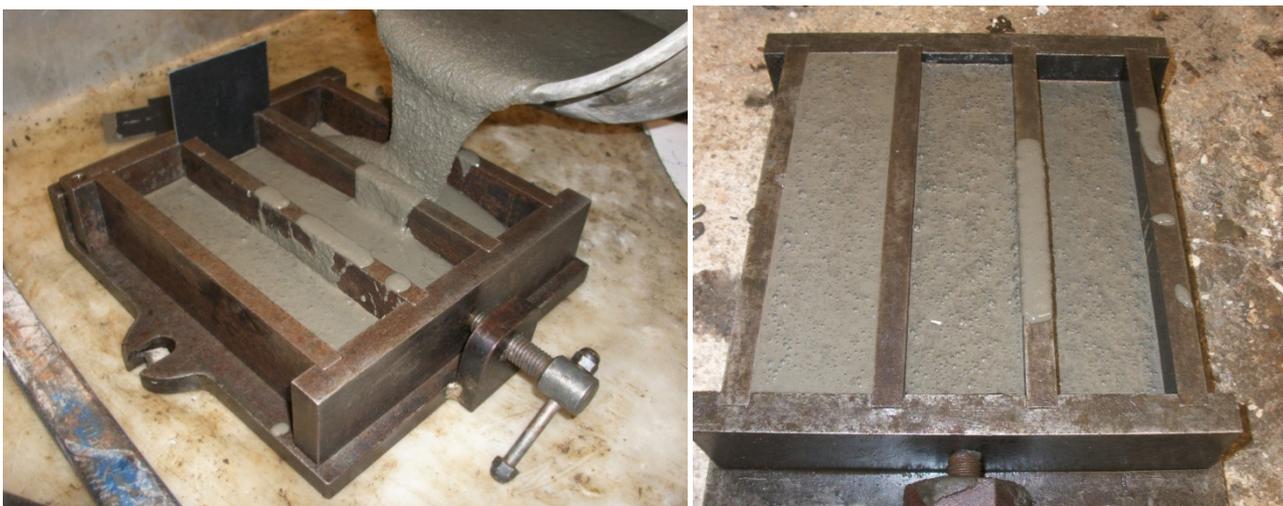


Imagen 28. Vertido en molde con colocación de 2 láminas por probeta. Imagen 29. Láminas de hormigón para unión con epoxy.

La imagen 29 muestra la amasada donde la unión de las diferentes láminas de hormigón se realizará una vez endurecido y curado éste con la ayuda de resinas epoxy. En la unión se colocará la lámina que corresponda según número de amasada.

DESMOLDAR



Aproximadamente a las 24 horas de amasar, se desmoldan las probetas y se limpia el molde.



Imagen 30. Desmoldado de probetas.



Imagen 31. Pequeños golpes para la separación de las probetas del molde.

En primer lugar, se aflojará el tornillo separando la parte delantera del molde, tal y como se muestra en la imagen 30.

Seguidamente con la ayuda de pequeños golpes y ayudándonos de las propias piezas del molde, como se muestra en la imagen 31, iremos separando una a una todas las piezas del molde para extraer las probetas.



Imagen 32. Probetas desmoldadas y listas para etiquetar.

Es importante mantener el orden al desmoldar, pues una vez tenemos desmoldadas todas las probetas hemos de etiquetarlas.



Imagen 33. Limpieza de molde con espátula.



Imagen 34. Untado de molde con material desengrasante.

Como se muestra en la imagen 33, cada una de las piezas del molde serán limpiadas y rascadas con espátula, para la eliminación de cualquier rastro de hormigón que puedan tener.

Cuando ya están limpias todas las partes del molde, éstas se untan con desengrasante y se vuelve a montar el molde. Es muy importante colocar cada pieza en el mismo lugar donde se encontraba, para asegurar el perfecto montaje y conexión de todas las piezas del molde.

CÁMARA HÚMEDA

Desde el amasado hasta la rotura, descontando los 3 días que las probetas se encuentran en el horno, éstas se encontrarán curándose en la cámara húmeda.



Imagen 35. Probetas en cámara húmeda sumergidas en agua.



Imagen 36. Temperatura que se mantiene en cámara húmeda.

La imagen 35 muestra las probetas en el interior de la cámara húmeda. Éstas se encuentran sumergidas en agua dentro de cajones o bateas de plástico a una temperatura entre 25°C y 27°C, tal y como se muestra en la imagen 36.



HORNO

Después de estar como mínimo 24 horas en la cámara húmeda, las probetas permanecerán en el horno tres días a una temperatura de 60 grados. De este modo, alcanzarán un valor de resistencia aproximado y algo superior al que se obtendría en la rotura a 28 días. Una vez se extraigan del horno y hasta la rotura, las probetas volverán a la cámara húmeda.



Imagen 37. Probetas sumergidas en agua dentro de olla a 60°C.



Imagen 38. Olla destapada con las probetas en su interior.

ROTURA

La rotura se realiza según las norma UNE-EN 12390.

Ensayo a flexión

En este ensayo se somete una probeta prismática a un momento flector mediante la aplicación de una carga a través de rodillos superiores e inferiores. Se registra la carga máxima alcanzada y se calcula la resistencia a flexión.

El dispositivo para la aplicación de cargas consiste en:

- Dos rodillos soportes.
- Un rodillo superior.

Todos los rodillos son de acero y tienen una sección circular con diámetro entre 20 y 40 mm. Son 10 mm más largos que el ancho de la probeta.

Dos rodillos, incluyendo el superior, son capaces de girar libremente alrededor de su eje y de inclinarse en un plano normal al eje longitudinal de la probeta.



La distancia entre los rodillos inferiores exteriores (es decir, la luz) es igual a $3d$, siendo d la anchura de la probeta, es decir 120 mm. Todos los rodillos están ajustados a esta distancia con una precisión de ± 2 mm.

PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO

Se limpian todas las superficies de los soportes del dispositivo de ensayo, y se eliminan de las caras de la probeta que van a estar en contacto con los rodillos todo el polvo u otros materiales extraños.

En las probetas almacenadas en agua se elimina el exceso de humedad de las caras de las probetas antes de su colocación de la máquina de ensayo.

Se coloca la probeta en el dispositivo de ensayo, correctamente centrada con su eje longitudinal en ángulo recto con los ejes longitudinales de los rodillos superiores e inferiores.

La carga no se comienza a aplicar hasta que el rodillo de carga y los de apoyo descansan firmemente sobre la probeta.

Se selecciona un incremento de tensión constante que se encuentre dentro del rango de 0,04 MPa/s a 0,06 MPa/s. Tras aplicarse la carga inicial, que no excede del 20% de la carga de rotura, se aplica la carga de forma continua y sin brusquedades con el incremento constante $\pm 10\%$, hasta que la probeta no soporte una carga mayor.

El incremento de carga se determina de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$R = \frac{2 \times d_1 \times d_2^2 \times s}{3 \times l}$$

Donde

R	es el incremento de carga requerido, en MPa (N/mm ²);
s	es el incremento de tensión, en MPa (N/mm ²);
d_1 y d_2	son las dimensiones laterales de la probeta, en mm;
l	es la distancia entre los rodillos inferiores, en mm.

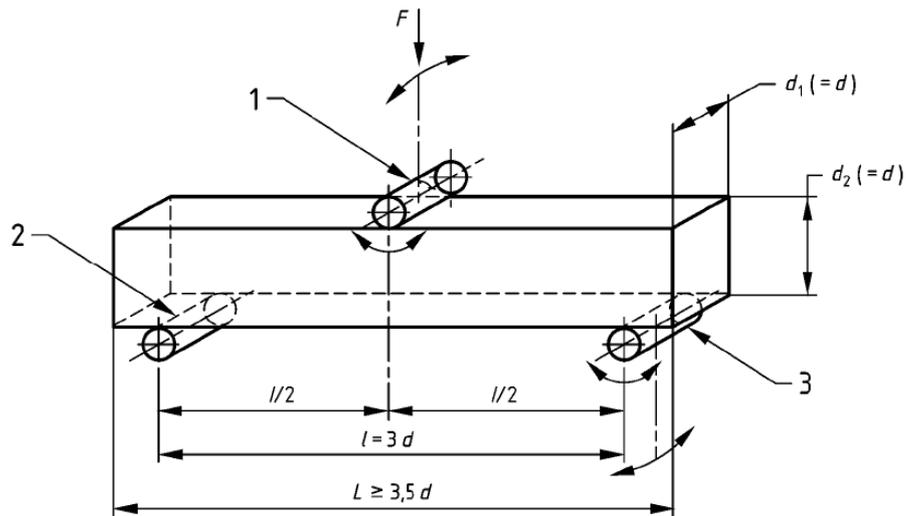
La resistencia a flexión viene dada por la fórmula siguiente:

$$f_{cf} = \frac{3 \times F \times l}{2 \times d_1 \times d_2^2}$$

donde

f_{cf}	es la resistencia a flexión, en MPa (N/mm ²);
F	es la carga máxima, en N;
l	es la distancia entre los rodillos soportes, en mm;
d_1 y d_2	son las dimensiones laterales de la sección, en mm;

La resistencia a flexión se expresa con una aproximación de 0,1 MPa (N/mm²).



- Leyenda
- 1 Rodillo de carga (capaz de girar e inclinarse)
 - 2 Rodillo soporte
 - 3 Rodillo soporte (capaz de girar e inclinarse)

Imagen 39. Disposición de cargas en las probetas de ensayo (punto central de carga).



Imagen 40. Máquina para el ensayo a flexión.



Imagen 41. Probeta preparada para la rotura a flexión.

Ensayo a compresión

En este ensayo las probetas se comprimen hasta rotura en una máquina de ensayo de compresión conforme a la Norma EN 12390-4. Se registra la máxima carga alcanzada por la probeta y se calcula la resistencia a compresión del hormigón.

Las probetas son cúbicas y cumplen con las dimensiones normalizadas en la Norma EN 12390-1.

PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO

Se limpian los platos de carga de la máquina, debiendo eliminarse cualquier resto de gravilla u otro material extraño de las superficies de la probeta que han de estar en contacto con los platos.



Se seca el exceso de humedad de la superficie de la probeta antes de ponerla en la máquina de ensayos, pues esta estaba sumergida en agua dentro de la cámara húmeda.

Las probetas se colocan de manera que la carga se aplique perpendicularmente a la dirección de hormigonado y se centran respecto al plato inferior con una aproximación de $\pm 1\%$ de la dimensión normalizada del lado de la probeta cúbica.

Para la realización del ensayo a compresión en probetas de tamaño 160x40x40 mm se utilizan platos auxiliares. Éstos se alinean con las caras superior e inferior de las probetas.



Imagen 42. Platos auxiliares utilizados para el ensayo a compresión.

Se selecciona una velocidad de carga constante dentro del rango de $0,6 \pm 0,2$ MPa/s (N/mm^2). Se aplica la carga inicial, que no excede de aproximadamente el 30% de la carga de rotura. Después de esto, se aplica la carga a la probeta sin brusquedades y se incrementa continuamente, a la velocidad seleccionada $\pm 10\%$ hasta que no se pueda soportar más carga.

Se registra la carga máxima indicada en kN.

Tenemos certeza de haber realizado satisfactoriamente el ensayo a compresión, cuando la forma de rotura de las probetas cúbicas es la que se muestra a continuación.

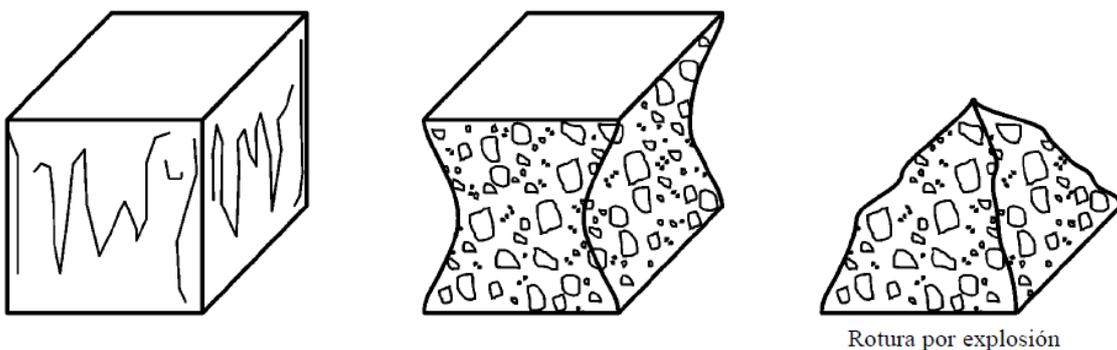
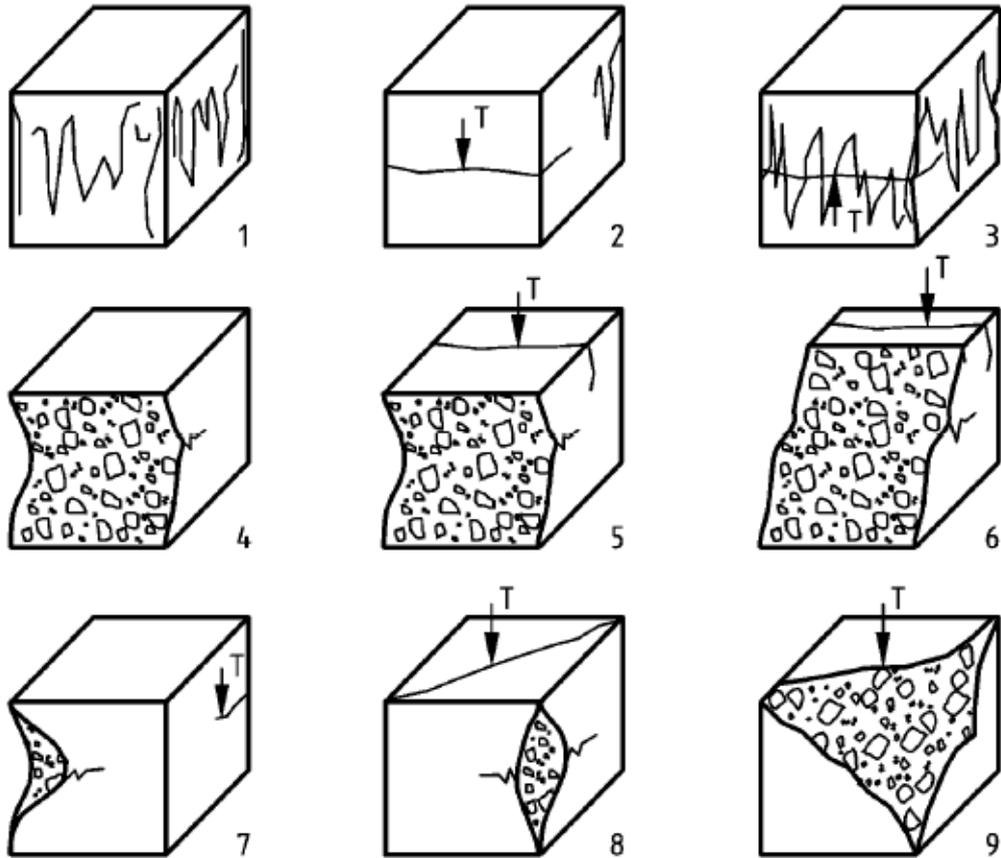


Imagen 43. Roturas satisfactorias en probetas cúbicas.



Por el contrario, si la rotura no es satisfactoria la probeta adoptará después del ensayo una forma de las siguientes.



NOTA T = Líneas de rotura.

Imagen 44. Ejemplos de roturas no satisfactorias en probetas cúbicas.

La resistencia a compresión viene dada por la ecuación:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

donde

f_c es la resistencia a compresión, en MPa (N/mm²);

F es la carga máxima de rotura, en N;

A_c es el área transversal de la probeta sobre la que actúa la fuerza de compresión.

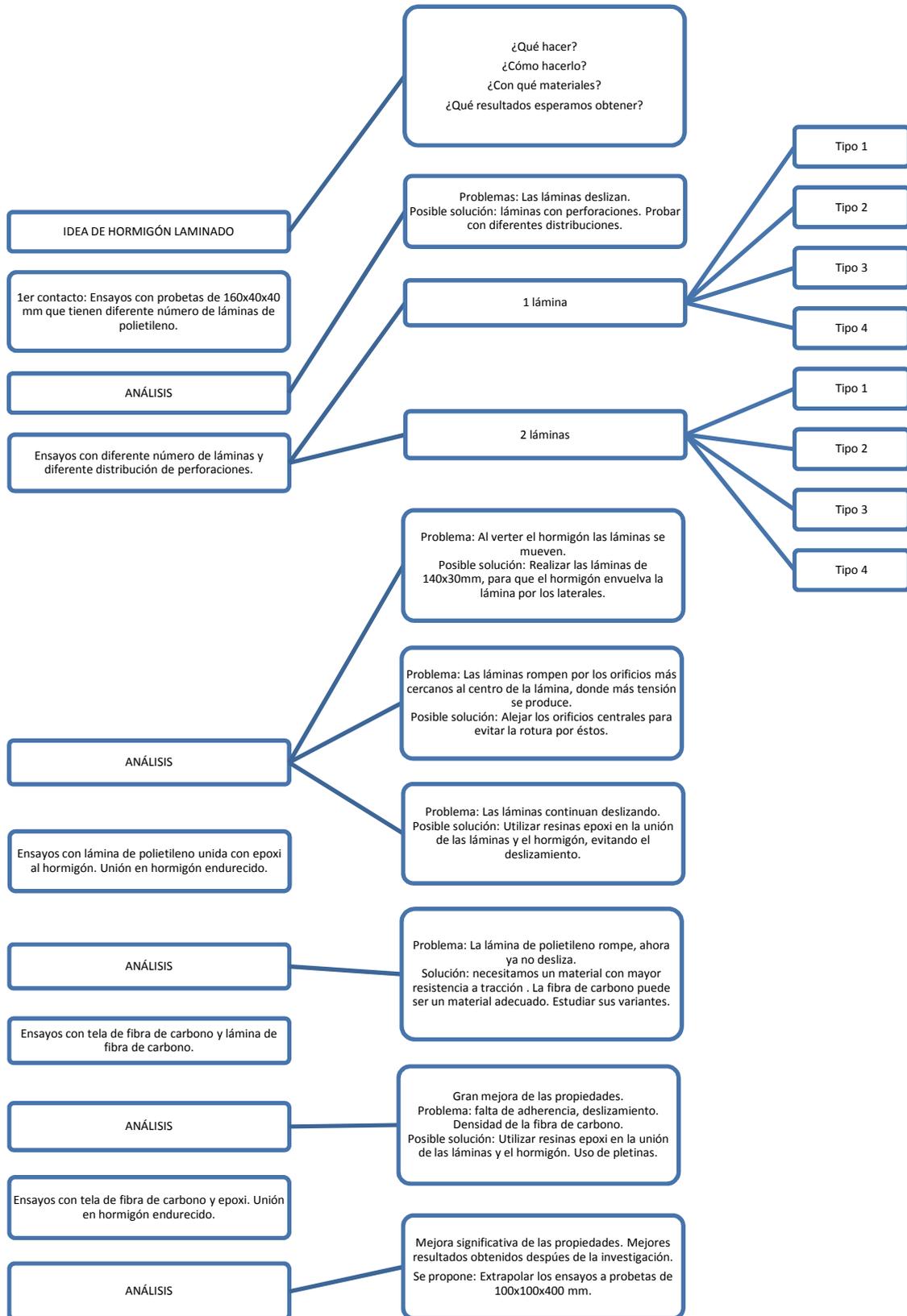
La resistencia a compresión debe expresarse con aproximación de 0,1 MPa (N/mm²).

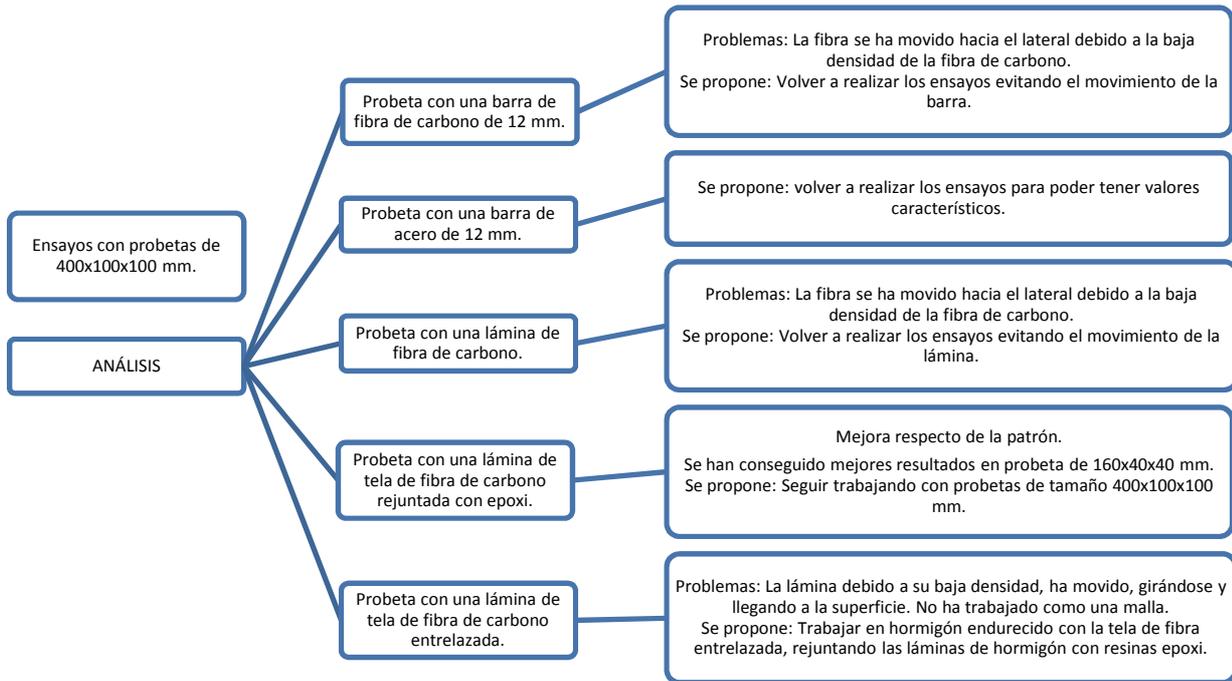


5. *Ensayos (resultados y discusión)*



5.1.- SECUENCIA DE TRABAJO.





5.2.- RESULTADOS.

Fecha Amasado Amasada Probetas 140x60x60 mm	POLIETILENO														UNIÓN PROBETAS ROTAS CON EPOXI+LÁMINA (amasada 1)	
	10/03/2011 0 (láminas de 160x40mm sin agujeros)			29/03/2011 2 (láminas de 160x40mm)				30/03/2011 3 (láminas de 160x40mm)				30/03/2011 4 (láminas de 160x40mm)			1 lámina	2 láminas
	Patrón	1 lám	2 lám	1 lám T1	1 lám T2	1 lám T3	2 lám T1	2 lám T1	2 lám T4	2 lám T3	2 lám T3	2 lám T4				
CEM (kg/m3) (gr/l)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
MICROSILICE (kg/m3) (gr/l)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ARIDO 0/1 (kg/m3) (gr/l)	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
SILICATO Al2O3 (kg/m3) (gr/l)	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
H2O (kg/m3) (gr/l)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
ADITIVO (kg/m3) (gr/l)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
tipo amasadora	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	
Amasado	10/03/2011	10/03/2011	10/03/2011	29/03/2011	29/03/2011	29/03/2011	30/03/2011	30/03/2011	30/03/2011	30/03/2011	30/03/2011	30/03/2011	30/03/2011	05/04/2011	05/04/2011	
desemoldar	11/03/2011	11/03/2011	11/03/2011	30/03/2011	30/03/2011	30/03/2011	31/03/2011	31/03/2011	31/03/2011	31/03/2011	31/03/2011	31/03/2011	31/03/2011	06/04/2011	06/04/2011	
sumergir agua	14/03/2011- 1d	14/03/2011- 1d	14/03/2011- 1d	30/03/2011- 2d	30/03/2011- 2d	30/03/2011- 2d	31/03/2011- 1d	31/03/2011- 1d	31/03/2011- 1d	31/03/2011- 1d	31/03/2011- 1d	31/03/2011- 1d	31/03/2011- 1d	06/04/2011- 2d	06/04/2011- 2d	
horno fecha/días/°C	11/03/2011- 3d- 60°	11/03/2011- 3d- 60°	11/03/2011- 3d- 60°	04/04/2011- 1d	04/04/2011- 1d	04/04/2011- 1d	04/04/2011- 1d	04/04/2011- 1d	04/04/2011- 1d	04/04/2011- 1d	04/04/2011- 1d	04/04/2011- 1d	04/04/2011- 1d	11/04/2011- 1d	11/04/2011- 1d	
rotura	15/03/2011	15/03/2011	15/03/2011	01/04/2011- 3d- 60°	01/04/2011- 3d- 60°	01/04/2011- 3d- 60°	01/04/2011- 3d- 60°	01/04/2011- 3d- 60°	01/04/2011- 3d- 60°	01/04/2011- 3d- 60°	01/04/2011- 3d- 60°	01/04/2011- 3d- 60°	01/04/2011- 3d- 60°	08/04/2011- 3d- 60°	08/04/2011- 3d- 60°	
h, mm/ bxh	40	40	40	05/04/2011	05/04/2011	05/04/2011	05/04/2011	05/04/2011	05/04/2011	05/04/2011	05/04/2011	05/04/2011	05/04/2011	14/04/2011	14/04/2011	
fc-1 KN/Mpa	192,9/120,54			40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
fc-2 KN/Mpa	182,9/114,29			40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
fflex-1	6/14,06	6,32/14,81	5,59/13,10	5,68/13,31	6,56/15,38	7,31/17,13	5,12/12	6,28/14,72	8,29/19,43	6,36/14,91	7,22/16,92	5,85/13,71	3,68/8,63	7,14/16,73		
forma rotura cortante/flexion	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	
trabajabilidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	
Unida con epoxi														12/04/11-13/04/11	12/04/11-13/04/11	

Fecha Amasado Amasada Probetas 140x60x60 mm	TELA FIBRA CARBONO							RESINAS EPOXI			LÁMINA FIBRA DE CARBONO				
	29/03/2011 5			11/05/2011 10 (CON EPOXI)				05/04/2011 7			05/04/2011 8		05/04/2011 9		
	Patrón	1 lám	2 lám	Patrón	1 lám FC+epoxi (1)	1 lám FC+epoxi (2)	patrón	1 lám= 32+8	2 lám=24+8+8	patrón	1 lám 8s	1 lám 8s	patrón	1 lám 12s	1 lám 12s
CEM (kg/m3) (gr/l)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
MICROSILICE (kg/m3) (gr/l)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ARIDO 0/1 (kg/m3) (gr/l)	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
SILICATO Al2O3 (kg/m3) (gr/l)	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
H2O (kg/m3) (gr/l)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
ADITIVO (kg/m3) (gr/l)	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
tipo amasadora	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero	Planetaria de mortero
Amasado	29/03/2011	29/03/2011	29/03/2011	11/05/2011	11/05/2011	11/05/2011	05/04/2011	05/04/2011	05/04/2011	05/04/2011	05/04/2011	05/04/2011	05/04/2011	05/04/2011	05/04/2011
desemoldar	30/03/2011	30/03/2011	30/03/2011	12/05/2011	12/05/2011	12/05/2011	06/04/2011	06/04/2011	06/04/2011	06/04/2011	06/04/2011	06/04/2011	06/04/2011	06/04/2011	06/04/2011
sumergir agua	30/03/2011- 2d	30/03/2011- 2d	30/03/2011- 2d	12/05/2011-1d	12/05/2011-1d	12/05/2011-1d	06/04/2011- 2d	06/04/2011- 2d	06/04/2011- 2d	06/04/2011- 2d	06/04/2011- 2d				
horno fecha/días/°C	04/04/2011- 1d	04/04/2011- 1d	04/04/2011- 1d	16/05/2011-28d	16/05/2011-28d	16/05/2011-28d	08/04/2011- 3d- 60°	08/04/2011- 3d- 60°	08/04/2011- 3d- 60°	08/04/2011- 3d- 60°	08/04/2011- 3d- 60°				
rotura	01/04/2011- 3d- 60°	01/04/2011- 3d- 60°	01/04/2011- 3d- 60°	13/05/2011-3d-60°	13/05/2011-3d-60°	13/05/2011-3d-60°	14/04/2011	14/04/2011	14/04/2011	14/04/2011	12/04/2011	12/04/2011	12/04/2011	12/04/2011	12/04/2011
h, mm/ bxh	05/04/2011	05/04/2011	05/04/2011	17/06/2011	17/06/2011	17/06/2011	40	45	50	40	40	40	40	40	40
fc-1 KN/Mpa	208,7/130,46	213,3/133,34		221,3/145,62			40	45	50	40	40	40	40	40	40
fc-2 KN/Mpa	208,7/130,45			214/140,76			40	45	50	40	40	40	40	40	40
fflex-1	8,71/20,41	8,58/20,11. Desliz.	11,46/26,86	5,05/25,98	15,23/39,55	15,70/36,80	6,31/14,79	3,63/8,51	1,77/4,15	8,64/20,25	12,73/29,84	12,48/29,25	7,19/16,85	9,86/23,11	14,54/34,08
forma rotura cortante/flexion	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Flexión	Cortante	Flexión	Cortante	Flexión
trabajabilidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Unida con epoxi				15/06/2011	15/06/2011	15/06/2011	12/04/11-13/04/11	12/04/11-13/04/11	12/04/11-13/04/11						





	17/05/2011 12 1 BARRA FIBRA CARBONO ø12	17/05/2011 13 1 BARRA ACERO ø12	17/05/2011 14 PATRÓN	17/05/2011 15 EPOXI+TELA FIBRA CARBONO	17/05/2011 16 TELA FIBRA TEJIDA	17/05/2011 17 LÁMINA FIBRA CARBONO
Fecha Amasado	17/05/2011	17/05/2011	17/05/2011	17/05/2011	17/05/2011	17/05/2011
Amasada	12	13	14	15	16	17
Probetas 400x100x100 mm	1 BARRA FIBRA CARBONO ø12	1 BARRA ACERO ø12	PATRÓN	EPOXI+TELA FIBRA CARBONO	TELA FIBRA TEJIDA	LÁMINA FIBRA CARBONO
CEM (kg/m3) (gr/l)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
MICROSILICE (kg/m3) (gr/l)	100	100	100	100	100	100
ARIDO 0/4 (kg/m3) (gr/l)	600	600	600	600	600	600
SILICATO AIZO3 (kg/m3) (gr/l)	400	400	400	400	400	400
H2O (kg/m3) (gr/l)	250	250	250	250	250	250
ADITIVO (kg/m3) (gr/l)	60	60	60	60	60	60
tipo amasadora	Amasadora de hormigón 25 litros	Amasadora de hormigón 25 litros	Amasadora de hormigón 25 litros	Amasadora de hormigón 25 litros	Amasadora de hormigón 25 litros	Amasadora de hormigón 25 litros
Amasado	17/05/2011	17/05/2011	17/05/2011	17/05/2011	17/05/2011	17/05/2011
desemoldar	18/05/2011	18/05/2011	18/05/2011	18/05/2011	18/05/2011	18/05/2011
sumergir agua	18/05/2011-2d	18/05/2011-2d	18/05/2011-2d	18/05/2011-5d	18/05/2011-2d	18/05/2011-2d
horno fecha/dias/°C	23/05/2011-1d	23/05/2011-1d	23/05/2011-1d	26/05/2011-18d	23/05/2011-1d	23/05/2011-1d
rotura	20/05/2011- 3d- 60°	20/05/2011- 3d- 60°	20/05/2011- 3d- 60°	23/05/2011-3d-40°	20/05/2011- 3d- 60°	20/05/2011- 3d- 60°
h, mm/ b/xh	24/05/2011	24/05/2011	24/05/2011	17/06/2011	24/05/2011	24/05/2011
fc-1 KN/Mpa	100	100	100	84	100	100
fc-2 KN/Mpa	1123,5/118,25	1123,5/118,25	1123,5/118,25	25,48/16,25	21,10/9,495	18,80/8,46
fflex-1	23,40/10,53	69,34/31,204	19,936/8,971			
forma rotura cortante/flexion	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
trabajabilidad	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena	Buena
Unidad con epoxi				15/06/2011		



DOSIFICACIÓN *

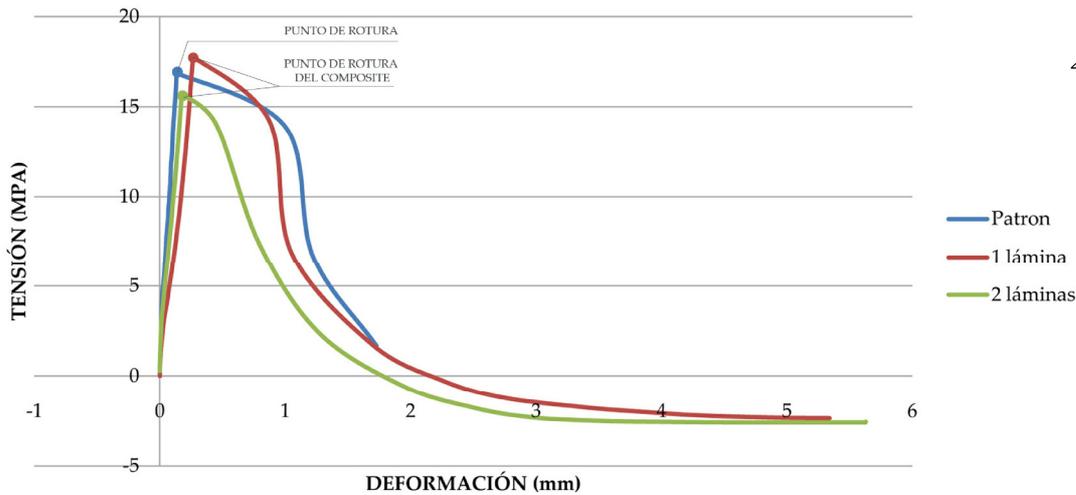
CEMENTO	H2O	ADITIVO	H. SÍLICE	AL2O3	ÁRIDO 0/1	
1000	250	60	100	400	600	KG/M3 GR/L

* NOTA: SEGÚN INVESTIGACIONES ANTERIORES DE JOSE RAMÓN ALBIOL IBAÑEZ, PROFESOR TUTOR DE PFG.

	PATRÓN	1 LÁMINA	2 LÁMINAS	AMASADO	FECHA
FLEXIÓN (KN/MPA)	6/16,87	6,32/17,78	5,59/15,72		10/03/2011
COMPRESIÓN (KN/MPA)	192,9/120,54 182,9/114,29	-	-	DESENMOLDADO	11/03/2011
TENACIDAD (KN*MM)	0,441	0,799	0,532	CÁMARA HÚMEDA	14/03/2011 - 1 D
RESILIENCIA (KN*MM)	5,548	4,702	3,205	HORNO	11/03/2011 3D-60°
				ROTURA	15/03/2011



LÁMINAS POLIETILENO. AMASADA 0



ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN TÉCNICA.

La fcm máx de esta amasada se consigue con la probeta que contiene una lámina de polietileno en su interior. El valor de fcm es 17,78 Mpa con una tenacidad de 0,799 KN*mm. No se aumentan mucho los valores respecto a la probeta patrón.

La fabricación de las probetas ha sido en hormigón fresco, vertiendo en el molde tantas capas de hormigón de 8 mm como sean necesarias y colocando la lámina de polietileno entre las capas.

Esta amasada se trata del primer contacto con el hormigón laminado, y de ella podemos extraer la siguiente conclusión después de observar la forma de rotura:

- Los resultados de las tres probetas son similares, ya que las láminas de polietileno han deslizado al romper a flexión, no aumentando significativamente la tensión admisible ni la ductilidad. Estos resultados se observan en el gráfico tensión-deformación.

Se plantea perforar las láminas para seguir ensayando, con la intención de que de éste modo se aumente la adherencia entre la lámina-hormigón obteniendo mejores resultados.

Se proponen 4 tipologías diferentes de láminas, con diferente distribución de perforaciones.



Imagen 1. Patrón. Rotura a compresión.



Imagen 2. Probeta con 1 lámina de polietileno.



Imagen 3. Probeta con 2 láminas de polietileno.

APELLIDOS	NOMBRE	ASIGNATURA	TALLER	FICHA Nº
MARTÍNEZ ORTEGA	SONIA	PFG. MATERIALES AVANZADOS	17	1
FICHA	UNIVERSIDAD		CURSO	
AMASADA 0 HORMIGÓN LAMINADO	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA EDIFICACIÓN		2011	
	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA			

DOSIFICACIÓN *

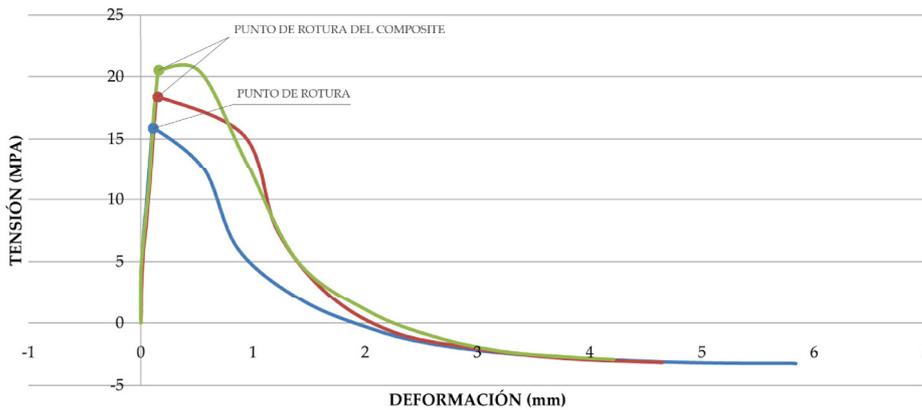
CEMENTO	H2O	ADITIVO	H. SÍLICE	AL2O3	ÁRIDO 0/1	
1000	250	60	100	400	600	KG/M3 GR/L

* NOTA: SEGÚN INVESTIGACIONES ANTERIORES DE JOSE RAMÓN ALBIOL IBAÑEZ, PROFESOR TUTOR DE PFG.

				FECHA	
	1 LÁM T1	1 LÁM T2	1 LÁM T3	AMASADO	29/03/2011
FLEXIÓN (KN/MPA)	5,68/15,98	6,56/18,45	7,31/20,56	DESENMOLDADO	30/03/2011
COMPRESIÓN (KN/MPA)	-	-	-	CÁMARA HÚMEDA	30/03/2011- 2D 04/04/2011- 1D
TENACIDAD (KN*MM)	0,381	0,519	0,665	HORNO	01/04/2011 3D-60°
RESILIENCIA (KN*MM)	3,424	5,915	6,338	ROTURA	05/04/2011



LÁMINAS POLIETILENO. AMASADA 2



ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN TÉCNICA.

La fcm máx de esta amasada se consigue con la probeta que contiene una lámina de polietileno de tipología 3 en su interior. El valor de fcm es 20,56 Mpa con una tenacidad de 0,665 KN*mm. Esta distribución de orificios es la que mejor trabaja, ya que tiene los orificios en el sentido que se producen los esfuerzos.

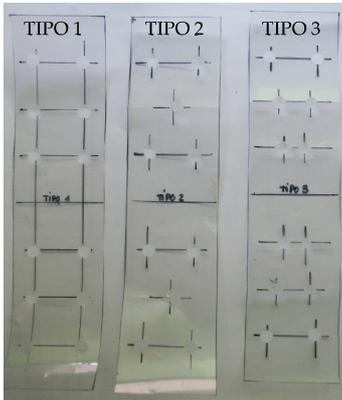


Imagen 1. Distribución de orificios en láminas.

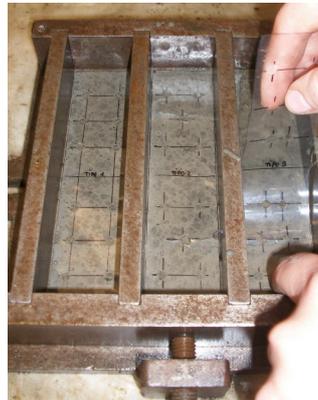


Imagen 2. Vertido en molde.

La fabricación de las probetas ha sido en hormigón fresco, vertiendo en el molde una capa de hormigón de 8 mm, colocando la lámina de polietileno y terminando de llenar el molde con hormigón. Al verter el hormigón las láminas se mueven.

De esta amasada podemos extraer las siguientes conclusiones después de la rotura:

- Las perforaciones ayudan a aumentar la tensión admisible del hormigón, pero las láminas continúan deslizando, tal y como se muestra en el gráfico tensión-deformación, por tanto necesitamos seguir aumentando la adherencia.
- Algunas láminas rompen por los orificios más cercanos al centro de la lámina que es donde más tensión se produce y donde se encuentra uno de los puntos débiles de ésta.

Se plantea lo siguiente:

- Realizar las láminas de 140x30mm, de manera que el hormigón envuelva la lámina por los laterales y se evite el movimiento de ésta.
- Eliminar los orificios centrales para evitar la rotura por los mismos.
- Utilizar resinas epoxi en la unión de las láminas con el hormigón, para evitar el deslizamiento.
- Añadir tipología 4.



Imagen 3. Probeta con 1 lámina T1.



Imagen 4. Probeta con 1 lámina T2.



Imagen 5. Probeta con 1 lámina T3.

APELLIDOS	NOMBRE	ASIGNATURA	TALLER	FICHA Nº
MARTÍNEZ ORTEGA	SONIA	PFG. MATERIALES AVANZADOS	17	2
FICHA	ESCUELA		CURSO	
AMASADA 2 HORMIGÓN LAMINADO	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA EDIFICACIÓN		2011	
		UNIVERSIDAD		
		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA		

DOSIFICACIÓN *

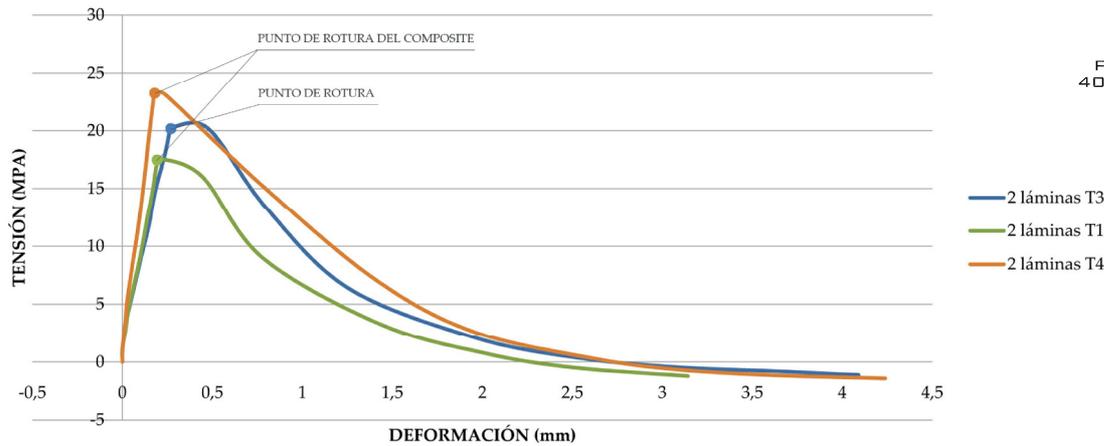
CEMENTO	H2O	ADITIVO	H. SÍLICE	AL2O3	ÁRIDO 0/1	
1000	250	60	100	400	600	KG/M3 GR/L

* NOTA: SEGÚN INVESTIGACIONES ANTERIORES DE JOSE RAMÓN ALBIOL IBAÑEZ, PROFESOR TUTOR DE PFG.

			FECHA		
	2 LÁM T1	2 LÁM T3	2 LÁM T4	AMASADO	30/03/2011
FLEXIÓN (KN/MPA)	6,28/17,66	7,22/20,31	8,29/23,31	DESENMOLDADO	31/03/2011
COMPRESIÓN (KN/MPA)	-	-	-	CÁMARA HÚMEDA	31/03/2011- 10 04/04/2011- 10
TENACIDAD (KN*MM)	0,648	1,05	0,759	HORNO	01/04/2011 30-60°
RESILIENCIA (KN*MM)	4,041	5,702	6,351	ROTURA	05/04/2011



LÁMINAS POLIETILENO. AMASADA 3 Y 4



ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN TÉCNICA.

La fcm máx de esta amasada se consigue con la probeta que contiene dos láminas de polietileno de tipología 4 en su interior. El valor de fcm es 23,31 Mpa con una tenacidad de 0,759 KN*mm.

La fabricación de las probetas ha sido en hormigón fresco, vertiendo en el molde una capa de hormigón de 8 mm, colocando la lámina de polietileno y terminando de llenar el molde con hormigón. Al verter el hormigón las láminas se mueven.

De esta amasada podemos extraer las siguientes conclusiones después de la rotura:

- Se consigue una mejora de propiedades respecto a la amasada 2, en la que se habían obtenido los mejores resultados con la tipología 3. Esto se debe a la separación de los orificios del centro de la lámina, donde se encuentra la parte que soporta un mayor esfuerzo, manteniendo la misma forma de distribución de orificios. El gráfico tensión-deformación que aparece en la parte superior nos muestra esa mejora.
- Las perforaciones realizadas no son suficiente, y las láminas siguen deslizando.

Se plantea lo siguiente:

- Realizar las láminas de 140x30mm, de manera que el hormigón envuelva la lámina por los laterales y se evite el movimiento de ésta.
- Utilizar resinas epoxi en la unión de las láminas con el hormigón, para evitar el deslizamiento.

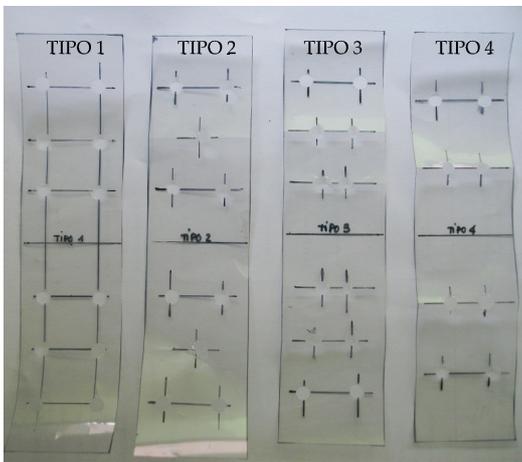


Imagen 1. Distribución de orificios en láminas.

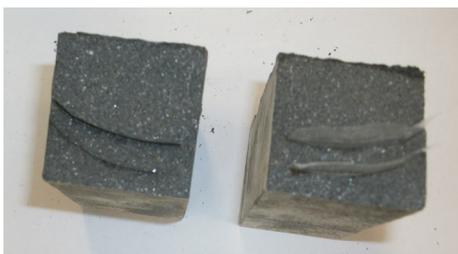


Imagen 2. Probeta con 2 láminas T1.



Imagen 3. Probeta con 2 láminas T3.



Imagen 4. Probeta con 2 láminas T4.

APELLIDOS	NOMBRE	ASIGNATURA	TALLER	FICHA Nº
MARTÍNEZ ORTEGA	SONIA	PFG. MATERIALES AVANZADOS	17	3
FICHA	AMASADA 3 Y 4 HORMIGÓN LAMINADO		ESCUELA	CURSO
			ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA EDIFICACIÓN	2011
			UNIVERSIDAD	
			UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA	

DOSIFICACIÓN *

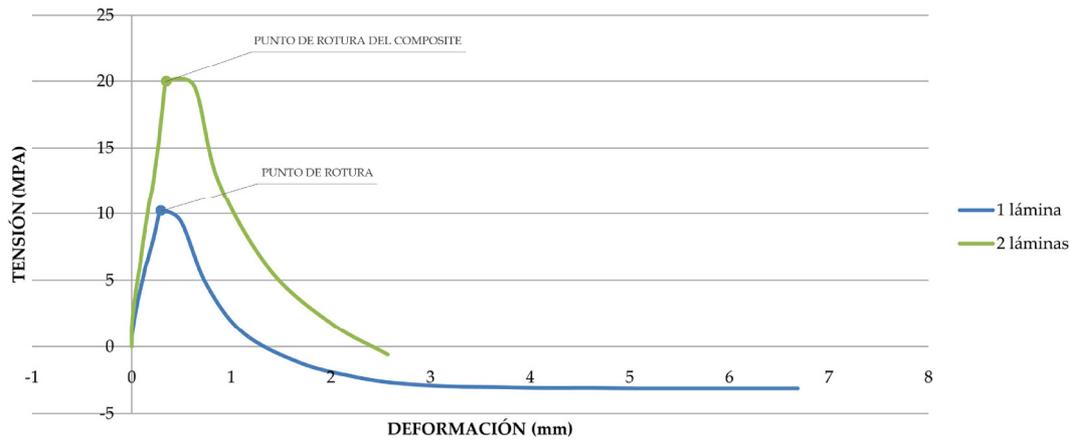
CEMENTO	H2O	ADITIVO	H. SÍLICE	AL2O3	ÁRIDO 0/1	
1000	250	60	100	400	600	KG/M3 GR/L

* NOTA: SEGÚN INVESTIGACIONES ANTERIORES DE JOSE RAMÓN ALBIOL IBAÑEZ, PROFESOR TUTOR DE PFG.

			FECHA
	1 LÁMINA+EPOXI	2 LÁMINAS+EPOXI	AMASADO
			DESENMOLDADO
			CÁMARA HÚMEDA
			HORNO
			ROTURA
			PEGADO EPOXI
FLEXIÓN(KN/MPA)	3,68/10,35	7,14/20,08	05/04/2011
COMPRESIÓN (KN/MPA)	-	-	06/04/2011- 2D 11/04/2011- 1D
TENACIDAD (KN*MM)	0,602	1,282	08/04/2011 3D-60°
RESILIENCIA (KN*MM)	1,861	5,816	14/04/2011
			12/04/2011 13/04/2011



LÁMINAS POLIETILENO + EPOXI. AMASADA 1



ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN TÉCNICA.

La fcm máx de esta amasada se consigue con la probeta que contiene dos láminas de polietileno en su interior. El valor de fcm es 20,08 Mpa con una tenacidad de 1,382 KN*mm.

La fabricación de las probetas ha sido la siguiente:

1. En primer lugar se fabrican en moldes las láminas de hormigón. Para la probeta con 1 lámina necesitaremos 1 lámina de hormigón de 8 mm y otra de 32 mm, y para la probeta con 2 láminas de polietileno necesitaremos 2 láminas de hormigón de 8 mm de espesor y otra de 24 mm.
2. Las laminas se introducen en la cámara húmeda y en el horno, dejando que adquieran la resistencia a 28 días.
3. Una vez adquirida esta resistencia, se procede al rejuntado con resinas epoxi colocando una lámina de polietileno entre láminas, dejando secar la epoxi 24 horas antes de la rotura.

De esta amasada podemos extraer las siguientes conclusiones después de la rotura:

- Las láminas han roto y ya no deslizan, por tanto, hemos conseguido la adherencia que buscábamos.



Imagen 1. Probetas unidas con epoxi.



Imagen 2. Preparación de las láminas de hormigón.

- Se plantea lo siguiente:
- Los ensayos con láminas de polietileno han finalizado, pues ya tenemos la adherencia que buscábamos pero ahora las láminas rompen. Necesitamos un material con mayor resistencia a tracción para intentar alcanzar nuestros objetivos: mejorar la tensión admisible del hormigón a la vez que la ductilidad, antes de que se produzca la rotura de la probeta.
 - La fibra de carbono puede ser un material apropiado para proporcionarnos estas características.

APELLIDOS	NOMBRE	ASIGNATURA	TALLER	FICHA Nº
MARTÍNEZ ORTEGA	SONIA	PFG. MATERIALES AVANZADOS	17	4
FICHA	AMASADA 1 HORMIGÓN LAMINADO		ESCUELA	CURSO
			UNIVERSIDAD	2011
			UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA	

DOSIFICACIÓN *

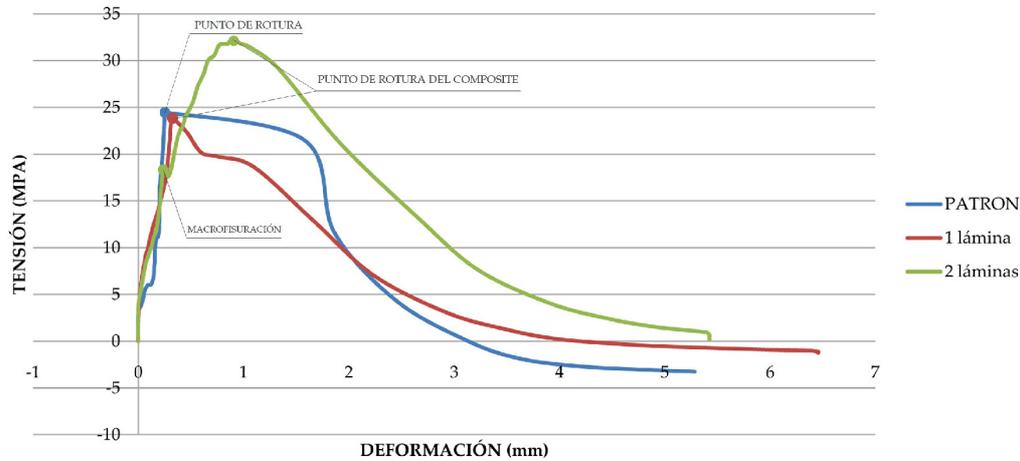
CEMENTO	H2O	ADITIVO	H. SÍLICE	AL2O3	ÁRIDO 0/1	
1000	250	60	100	400	600	KG/M3 GR/L

* NOTA: SEGÚN INVESTIGACIONES ANTERIORES DE JOSE RAMÓN ALBIOL IBAÑEZ, PROFESOR TUTOR DE PFG.

				FECHA	
	PATRÓN	1 LÁMINA	2 LÁMINAS	AMASADO	29/03/2011
FLEXIÓN (KN/MPA)	8,71/24,50	8,58/24,13	11,46/32,23	DESENMOLDADO	30/03/2011
COMPRESIÓN (KN/MPA)	208,7/130,46	213,3/133,34	-	CÁMARA HÚMEDA	30/03/2011 - 20 04/04/2011 - 10
TENACIDAD (KN*MM)	0,841	1,472	0,868	HORNO	01/04/2011 30-60°
RESILIENCIA (KN*MM)	13,04	12,05	23,01	ROTURA	05/04/2011



TELA DE FIBRA DE CARBONO. AMASADA 5



ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN TÉCNICA.

La fcm máx de esta amasada se consigue con la probeta que contiene dos láminas de tela de fibra de carbono en su interior. El valor de fcm es 32,23 Mpa con una tenacidad de 0,868 KN*mm. La diferencia entre la tenacidad, 0,868 KN*mm, y la resiliencia, 23,01 KN*mm, es significativa.

La fabricación de las probetas ha sido en hormigón fresco, vertiendo en el molde una capa de hormigón de 8 mm, colocando la lámina de tela de fibra de carbono y terminando de llenar el molde con hormigón.

De esta amasada podemos extraer las siguientes conclusiones después de la rotura:

- Se consigue una mejora significativa de la resistencia a flexión respecto de la patrón, como se muestra en el gráfico tensión-deformación. Esto es debido a que después de alcanzar punto de rotura o macrofisuración del hormigón comienza a trabajar la lámina de tela de fibra de carbono.
- La diferencia entre la tenacidad y la resiliencia es significativa, por tanto después de superar la macrofisuración del hormigón, la probeta continua trabajando hasta su rotura definitiva, aumentando la ductilidad.
- La probeta con 1 lámina de tela de fibra de carbono ha deslizado.

Se plantea lo siguiente:

- La fibra de carbono es un material apropiado para obtener la mejora de propiedades que buscamos. Seguir investigando con éste material y sus diferentes variantes.
- Utilizar resinas epoxi en la unión de las láminas con el hormigón, para evitar el deslizamiento y por tanto, la mejora de la adherencia.



Imagen 1. Vertido en molde y colocación de láminas.



Imagen 2. Probetas después de rotura a flexión.



Imagen 3. Deslizamiento de la tela de fibra de carbono.

APELLIDOS	NOMBRE	ASIGNATURA	TALLER	FICHA Nº
MARTÍNEZ ORTEGA	SONIA	PFG. MATERIALES AVANZADOS	17	5
FICHA	ESCUELA		CURSO	
AMASADA 5 HORMIGÓN LAMINADO	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA EDIFICACIÓN		2011	
	UNIVERSIDAD			
	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA			

DOSIFICACIÓN *

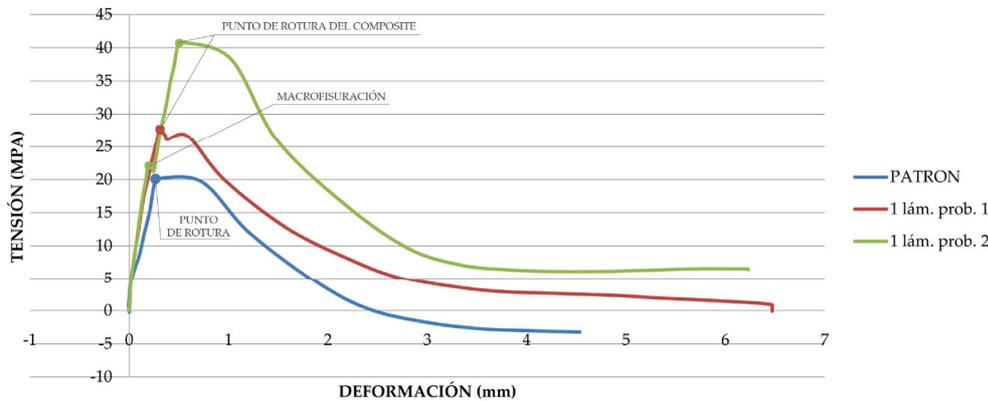
CEMENTO	H2O	ADITIVO	H. SÍLICE	AL2O3	ÁRIDO 0/1	
1000	250	60	100	400	600	KG/M3 GR/L

* NOTA: SEGÚN INVESTIGACIONES ANTERIORES DE JOSE RAMÓN ALBIOL IBAÑEZ, PROFESOR TUTOR DE PFG.

				FECHA	
	PATRÓN	1 LÁMINA (1)	1 LÁMINA (2)	AMASADO	05/04/2011
FLEXIÓN (KN/MPA)	7,19/20,22	9,86/27,73	14,54/40,89	DESENMOLDADO	06/04/2011
COMPRESIÓN (KN/MPA)	-	-	-	CÁMARA HÚMEDA	06/04/2011 - 2D 11/04/2011 - 1D
TENACIDAD (KN*MM)	1,015	1,854	0,871	HORNO	08/04/2011 3D-60°
RESILIENCIA (KN*MM)	7,386	15,649	19,545	ROTURA	12/04/2011



12ª FIBRA CARBONO. AMASADA 9.



ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN TÉCNICA.

La fcm máx de esta amasada se consigue con la probeta 2 que contiene una lámina de fibra de carbono en su interior. El valor de fcm es 40,89 Mpa con una tenacidad de 0,871 KN*mm. La diferencia entre la tenacidad, 0,871 KN*mm, y la resiliencia, 19,545 KN*mm, es significativa.

La fabricación de las probetas ha sido en hormigón fresco, vertiendo en el molde una capa de hormigón de 8 mm, colocando la lámina de tela de fibra de carbono y terminando de llenar el molde con hormigón. Las láminas son de 140x30mm, con 12 perforaciones en la lámina. En la elaboración de las probetas se han utilizado dos pletinas de cartón para mantener la lámina de fibra de carbono en su posición correcta, pues al tener las láminas menor densidad que el hormigón tendían a subir a la superficie.

De esta amasada podemos extraer las siguientes conclusiones después de la rotura:

- Se consigue una mejora significativa de la resistencia a flexión respecto de la patrón, como se muestra en el gráfico tensión-deformación. Esto es debido a que después de alcanzar el punto de rotura o la macrofisuración del hormigón, comienza a trabajar la lámina de fibra de carbono.
- La diferencia entre la tenacidad y la resiliencia es significativa, por tanto después de superar el punto de macrofisuración del hormigón, la probeta continúa trabajando hasta su rotura definitiva, aumentando la ductilidad.
- La lámina rompe cuando se produce el deslizamiento.
- En la probeta 1 se ha producido el deslizamiento de la lámina al superarse el punto de rotura del hormigón.
- Con mayor número de perforaciones se consiguen mejores resultados.

Se plantea lo siguiente:

- La fibra de carbono es un material apropiado para obtener la mejora de propiedades que buscamos. Seguir investigando con éste material y sus diferentes variantes.
- Utilizar resinas epoxi en la unión de las láminas con el hormigón, para evitar el deslizamiento y por tanto, la mejora de la adherencia.



Imagen 1. Rollo de fibra de carbono.



Imagen 2. Láminas de fibra de carbono.



Imagen 3. Rotura a flexión.

APPELLIDOS	NOMBRE	ASIGNATURA	TALLER	FICHA Nº
MARTÍNEZ ORTEGA	SONIA	PFG. MATERIALES AVANZADOS	17	7
FICHA	ESCUELA		CURSO	
AMASADA 9 HORMIGÓN LAMINADO	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA EDIFICACIÓN		2011	
	UNIVERSIDAD			
	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA			

DOSIFICACIÓN *

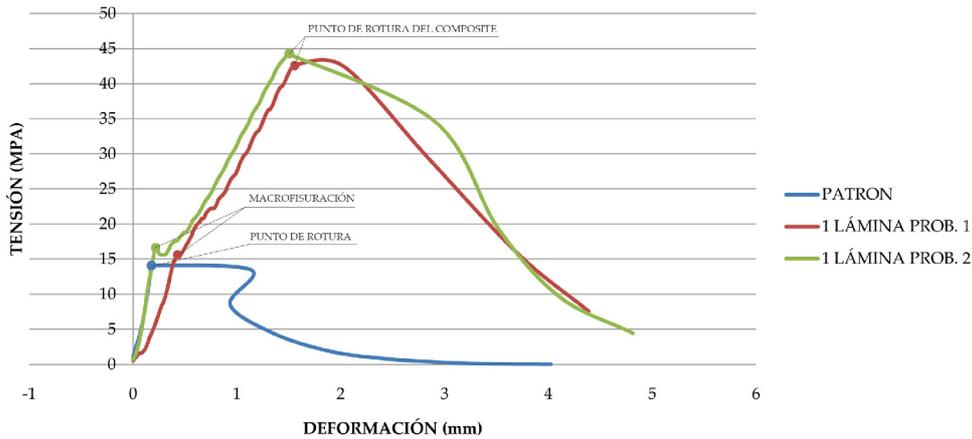
CEMENTO	H2O	ADITIVO	H. SÍLICE	AL2O3	ÁRIDO 0/1	
1000	250	60	100	400	600	KG/M3 GR/L

* NOTA: SEGÚN INVESTIGACIONES ANTERIORES DE JOSE RAMÓN ALBIOL IBAÑEZ, PROFESOR TUTOR DE PFG.

				FECHA	
	PATRÓN	1 LÁMINA (1)	1 LÁMINA (2)	AMASADO	11/05/2011
FLEXIÓN(KN/MPA)	5,05/14,20	15,23/42,83	15,70/44,15	DESENMOLDADO	12/05/2011
COMPRESIÓN (KN/MPA)	221,37/145,62 214/140,76	-	-	CÁMARA HÚMEDA	12/05/2011- 1D 16/05/2011- 28D
TENACIDAD (KN*MM)	0,419	12,43	13,687	HORNO	13/05/2011 3D-60°
RESILIENCIA (KN*MM)	5,642	34,726	38,207	ROTURA	17/06/2011
				PEGADO EPOXI	15/06/2011



TELA DE FIBRA DE CARBONO+EPOXI. AMASADA 10



ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN TÉCNICA.

La fcm máx de esta amasada se consigue con la probeta 2 que contiene una lámina de tela de fibra de carbono en su interior. El valor de fcm es 44,15 Mpa con una tenacidad de 13,687 KN*mm. La diferencia entre la tenacidad, 13,687 KN*mm, y la resiliencia, 38,207 KN*mm, es significativa.

La fabricación de las probetas ha sido la siguiente:

1. En primer lugar se fabrican en moldes las láminas de hormigón. Para ambas probetas necesitaremos 1 lámina de hormigón de 8 mm y otra de 32 mm.
2. Las laminas de hormigón se introducen en la cámara húmeda y en el horno, dejando que adquieran la resistencia a 28 días.
3. Una vez adquirida esta resistencia, se procede al rejuntado con resinas epoxi colocando una lámina de tela de fibra de carbono entre láminas, dejando secar la epoxi 24 horas antes de la rotura.

De esta amasada podemos extraer las siguientes conclusiones después de la rotura:

- Se consigue una mejora significativa de la resistencia a flexión respecto de la patrón, como se muestra en el gráfico tensión-deformación. Esto es debido a que después de alcanzar el punto de rotura o macrofisuración del hormigón comienza a trabajar la lámina de tela de fibra de carbono.
- La diferencia entre la tenacidad y la resiliencia es significativa, por tanto después de producirse la macrofisuración del hormigón, la probeta continua trabajando hasta su rotura definitiva, aumentando la ductilidad.
- Son los mejores resultados obtenidos en este trabajo de investigación, pues en este ensayo hemos obtenido la mayor resistencia a flexión y la mayor resiliencia, se ha conseguido frenar el deslizamiento aumentando la ductilidad.

Se plantea lo siguiente:

- Extrapolar los ensayos a amasadas de 100x100x400 mm.



Imagen 1. Probetas unidas con epoxi.



Imagen 2. Colocación de la lámina de fibra. Unión con epoxi.



Imagen 3. Probetas antes de rotura.



Imagen 4. Probeta 2 después de rotura a flexión.



Imagen 5. Probeta 1 después de rotura a flexión.



Imagen 6. Probeta patrón después de rotura a compresión.

APELLIDOS	NOMBRE	ASIGNATURA	TALLER	FICHA Nº
MARTÍNEZ ORTEGA	SONIA	PFG. MATERIALES AVANZADOS	17	8
FICHA	ESCUELA		CURSO	
AMASADA 10 HORMIGÓN LAMINADO	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA EDIFICACIÓN		2011	
	UNIVERSIDAD			
	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA			

DOSIFICACIÓN *

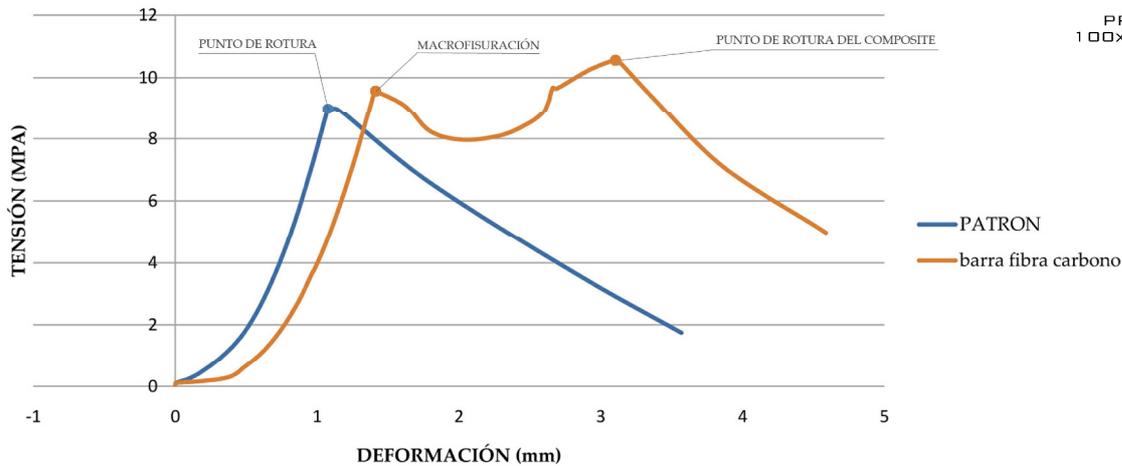
CEMENTO	H2O	ADITIVO	H. SÍLICE	AL2O3	ÁRIDO 0/1	
1000	250	60	100	400	600	KG/M3 GR/L

* NOTA: SEGÚN INVESTIGACIONES ANTERIORES DE JOSE RAMÓN ALBIOL IBAÑEZ, PROFESOR TUTOR DE PFG.

	PATRÓN	1 BARRA FIBRA DE CARBONO	AMASADO	FECHA
FLEXIÓN (KN/MPA)	19,936/8,972	23,40/10,53	DESENMOLDADO	17/05/2011
COMPRESIÓN (KN/MPA)	1123,5/118,25	-	CÁMARA HÚMEDA	18/05/2011- 2D 23/05/2011- 1D
TENACIDAD (KN*MM)	7,137	41,510	HORNO	20/05/2011 3D-60°
RESILIENCIA (KN*MM)	29,262	63,378	ROTURA	24/05/2011



1ø12 FIBRA DE CARBONO. AMASADA 12-14.



ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN TÉCNICA.

En esta amasada podemos comparar la probeta patrón con una probeta que contiene una barra de fibra de carbono de diámetro 12 mm en su interior. El valor de fcm de la probeta con barra es 10,53 Mpa con una tenacidad de 63,378 KN*mm.

Para la fabricación de la probeta con barra de fibra de carbono se han utilizado unos alambres como sujeción, evitando el movimiento de la barra y garantizando el recubrimiento inferior de la misma.

De esta probeta podemos extraer las siguientes conclusiones después de la rotura:

- No se consigue mejora significativa, pues debido a la baja densidad de la barra de fibra de carbono, ésta ha tendido a subir moviéndose al lateral al tener dos alambres evitando el movimiento vertical.
- La fibra de carbono no ha trabajado en la rotura.

Se plantea lo siguiente:

- Seguir trabajando con barra de fibra de carbono hasta conseguir la correcta colocación de la barra en la probeta obteniendo valores representativos.



Imagen 1. Patrón. Probeta con barra de fibra de carbono.



Imagen 2. Rotura de probeta a flexión en tres puntos.



Imagen 3. Rotura de la probeta con barra de fibra de carbono.

APELLIDOS	NOMBRE	ASIGNATURA	TALLER	FICHA Nº
MARTÍNEZ ORTEGA	SONIA	PFG. MATERIALES AVANZADOS	17	9
FICHA	UNIVERSIDAD		CURSO	
AMASADA 12 HORMIGÓN LAMINADO	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA		2011	

DOSIFICACIÓN *

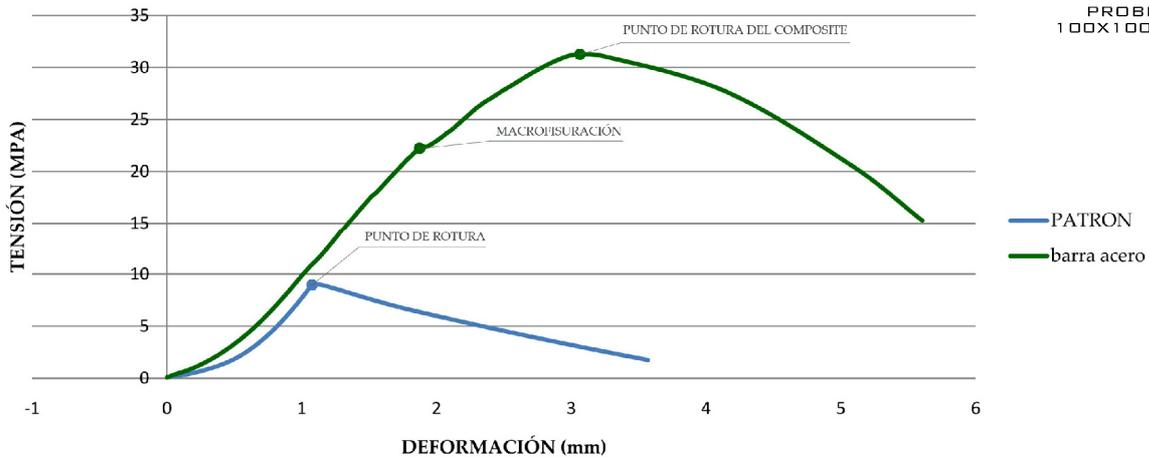
CEMENTO	H2O	ADITIVO	H. SÍLICE	AL2O3	ÁRIDO 0/1	
1000	250	60	100	400	600	KG/M3 GR/L

* NOTA: SEGÚN INVESTIGACIONES ANTERIORES DE JOSE RAMÓN ALBIOL IBAÑEZ, PROFESOR TUTOR DE PFG.

	PATRÓN	1 BARRA ACERO	AMASADO	FECHA
FLEXIÓN (KN/MPA)	19,936/8,972	69,34/31,205	DESENMOLDADO	17/05/2011
COMPRESIÓN (KN/MPA)	1123,5/118,25	-	CÁMARA HÚMEDA	18/05/2011- 2D 23/05/2011- 1D
TENACIDAD (KN*MM)	7,137	109,067	HORNO	20/05/2011 3D-60°
RESILIENCIA (KN*MM)	29,262	240,528	ROTURA	24/05/2011



12 ACERO. AMASADA 13-14.



ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN TÉCNICA.

En esta amasada podemos comparar la probeta patrón con una probeta que contiene una barra de acero de diámetro 12 mm en su interior. El valor de fcm de la probeta con barra es 31,205 Mpa con una tenacidad de 109,067 KN*mm.

Para la fabricación de la probeta con barra de fibra de carbono se han utilizado unos alambres como sujeción, evitando el movimiento de la barra y garantizando el recubrimiento inferior de la misma.

De esta probeta podemos extraer las siguientes conclusiones después de la rotura:

- Se consigue mejora significativa a flexión, tal y como se muestra en el gráfico tensión-deformación. Al llegar a alcanzar el punto de rotura o macrofisuración del hormigón empieza a trabajar la barra de acero.

Se plantea lo siguiente:

- Trabajar con otros materiales en probeta de 400x100x100 mm para intentar conseguir resultados similares a los obtenidos con barra de acero.
- Repetir el ensayo, para obtener valores representativos.



Imagen 1. Probeta con barra de acero.



Imagen 2. Rotura de probeta con barra de acero.



Imagen 3. Rotura de la probeta a cortante

APELLIDOS	NOMBRE	ASIGNATURA	TALLER	FICHA Nº
MARTÍNEZ ORTEGA	SONIA	PFG. MATERIALES AVANZADOS	17	10
FICHA	ESCUELA		CURSO	
AMASADA 13 HORMIGÓN LAMINADO	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA EDIFICACIÓN		2011	
	UNIVERSIDAD			
	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA			

DOSIFICACIÓN *

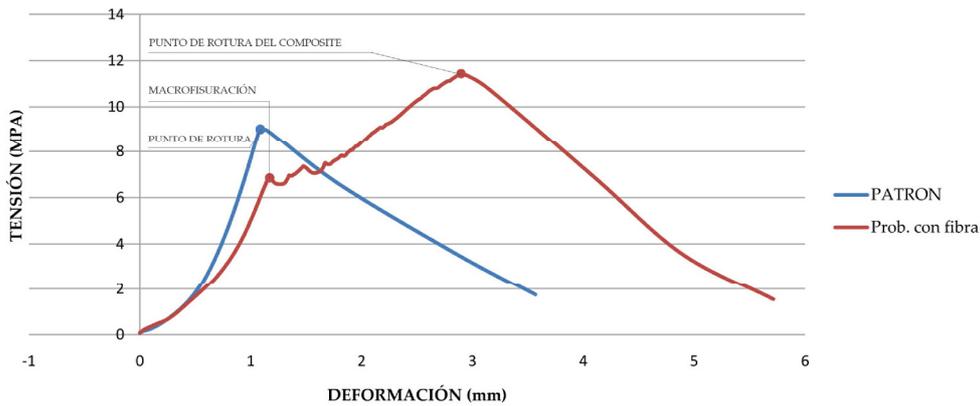
CEMENTO	H2O	ADITIVO	H. SÍLICE	AL2O3	ÁRIDO 0/1	
1000	250	60	100	400	600	KG/M3 GR/L

* NOTA: SEGÚN INVESTIGACIONES ANTERIORES DE JOSE RAMÓN ALBIOL IBAÑEZ, PROFESOR TUTOR DE PFG.

			FECHA	
FLEXIÓN (KN/MPA)	PATRÓN	19,936/8,972	1 LÁMINA TELA FIBRA+EPOXI	25,48/16,25
	AMASADO			11/05/2011
COMPRESIÓN (KN/MPA)		1123,5/118,25		12/05/2011
	DESENMOLDADO			18/05/2011 - 5d 26/05/2011 - 18d
TENACIDAD (KN*MM)		7,137		23/05/2011 3d-4d
	HORNO			17/06/2011
RESILIENCIA (KN*MM)		29,262		15/06/2011
	ROTURA			
	PEGADO EPOXI			



EPOXI+TELA FIBRA. AMASADA 14-15.



ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN TÉCNICA.

En esta amasada podemos comparar la probeta patrón con una probeta que contiene una lámina de tela de fibra de carbono unida con epoxi para ganar adherencia. El valor de fcm de la probeta con lámina es 16,25 Mpa con una tenacidad de 40,053 KN*mm.

La fabricación de las probetas ha sido la siguiente:

1. En primer lugar se fabrican en moldes las láminas de hormigón. Para ambas probetas necesitaremos 1 lámina de hormigón de 15 mm y otra de 85 mm.
2. Desenmoldamos a las 24 horas y las laminas de hormigón se introducen en la cámara húmeda y en el horno, dejando que adquieran la resistencia a 28 días.
3. Una vez adquirida esta resistencia, se procede al rejuntado con resinas epoxi colocando una lámina de tela de fibra de carbono entre láminas, dejando secar la epoxi 24 horas antes de la rotura.

De esta amasada podemos extraer las siguientes conclusiones después de la rotura:

- Se consigue una mejora de la resistencia a flexión respecto de la patrón, como se muestra en el gráfico tensión-deformación. Esto es debido a que después de alcanzar el punto de rotura o macrofisuración del hormigón comienza a trabajar la lámina de tela de fibra de carbono.

Se plantea lo siguiente:

- Se han conseguido mejores resultados en probeta de 160x40x40 mm. Seguir trabajando con probetas de 100x100x400 mm.

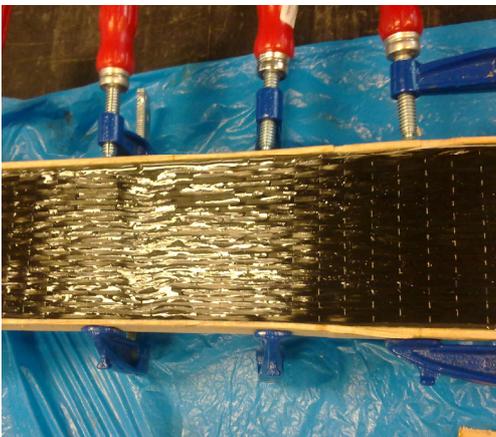


Imagen 1. Probeta con lámina de tela de fibra de carbono. Encofrado para sujeción de epoxi.

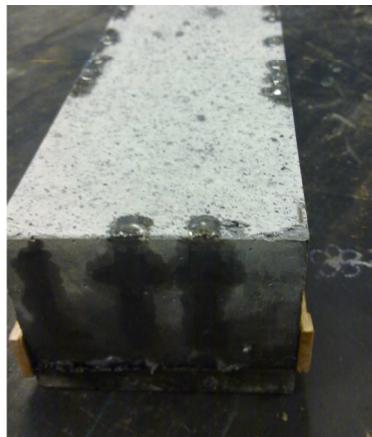


Imagen 2. Probeta antes de la rotura. Unido con epoxi.



Imagen 3. Rotura de probeta.

APELLIDOS	NOMBRE	ASIGNATURA	TALLER	FICHA Nº
MARTÍNEZ ORTEGA	SONIA	PFG. MATERIALES AVANZADOS	17	11
FICHA	ESCUELA		CURSO	
AMASADA 15 HORMIGÓN LAMINADO	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA EDIFICACIÓN		2011	
	UNIVERSIDAD			
	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA			

DOSIFICACIÓN *

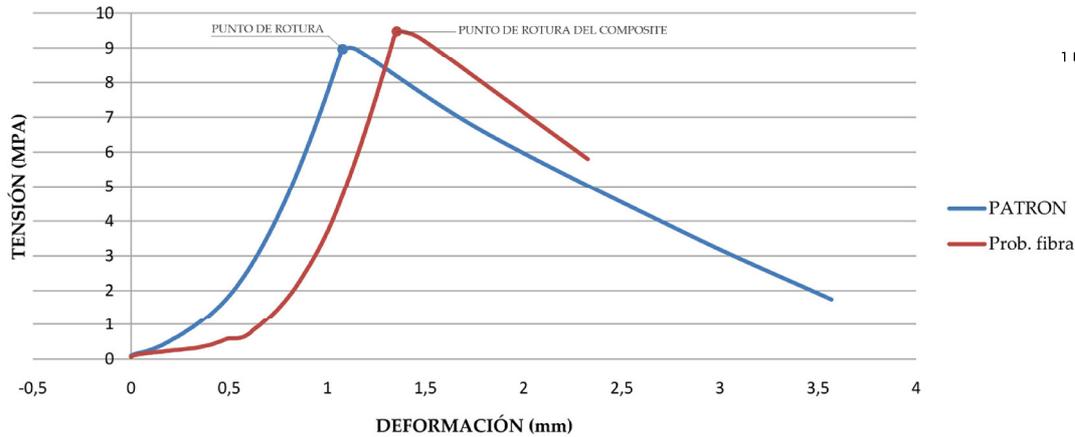
CEMENTO	H2O	ADITIVO	H. SÍLICE	AL2O3	ÁRIDO 0/1	
1000	250	60	100	400	600	KG/M3 GR/L

* NOTA: SEGÚN INVESTIGACIONES ANTERIORES DE JOSE RAMÓN ALBIOL IBAÑEZ, PROFESOR TUTOR DE PFG.

			FECHA	
	PATRÓN	1 LÁMINA FIBRA ENTRELAZADA	AMASADO	17/05/2011
FLEXIÓN (KN/MPA)	19,936/8,972	21,10/9,495	DESENMOLDADO	18/05/2011
COMPRESIÓN (KN/MPA)	1123,5/118,25	-	CÁMARA HÚMEDA	18/05/2011 - 2D 23/05/2011 - 1D
TENACIDAD (KN*MM)	7,137	7,204	HORNO	20/05/2011 3D-60°
RESILIENCIA (KN*MM)	29,262	22,356	ROTURA	24/05/2011



TELA DE FIBRA ENTRELAZADA. AMASADA 14-16.



ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN TÉCNICA.

En esta amasada podemos comparar la probeta patrón con una probeta que contiene una lámina de tela de fibra de carbono entrelazada en su interior. El valor de fcm de la probeta con lámina de tela de fibra de carbono es 9,495 Mpa con una tenacidad de 7,204 KN*mm.

La fabricación de la lámina se realiza con tela de fibra de carbono, dividiendo esta tela en sus hilos y entrelazándolos. Se intenta que la lámina trabaje como una malla donde el esfuerzo que se produzca en la rotura se disipe por los hilos colocados a 45°. Se permite el paso de el hormigón a través de la lámina para conseguir mayor adherencia. Las láminas son de 380x90mm.

La fabricación de las probetas ha sido en hormigón fresco, vertiendo en el molde una capa de hormigón de 15 mm, colocando la lámina de tela de fibra de carbono entrelazada y terminando de llenar el molde con hormigón.

De esta probeta podemos extraer las siguientes conclusiones después de la rotura:

- No se consigue mejora en los resultados respecto a la patrón. La lámina debido a su baja densidad se ha movido, girándose y llegando a la superficie. La lámina no ha trabajado como una malla, que era lo que se pretendía.

Se plantea lo siguiente:

- Trabajar en hormigón endurecido con tela de fibra de carbono entrelazada, para evitar el movimiento de la misma en hormigón fresco. Realizar láminas de hormigón y rejuntarlas con resinas epoxi.



Imagen 1. Probeta con tela de fibra de carbono.



Imagen 2. Probeta en cámara húmeda. Posición de la tela.



Imagen 3. Probeta tras la rotura. Posición de la tela.

APELLIDOS	NOMBRE	ASIGNATURA	TALLER	FICHA Nº
MARTÍNEZ ORTEGA	SONIA	PFG. MATERIALES AVANZADOS	17	12
FICHA	ESCUELA		CURSO	
AMASADA 16 HORMIGÓN LAMINADO	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA EDIFICACIÓN		2011	
		UNIVERSIDAD		
		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA		

DOSIFICACIÓN *

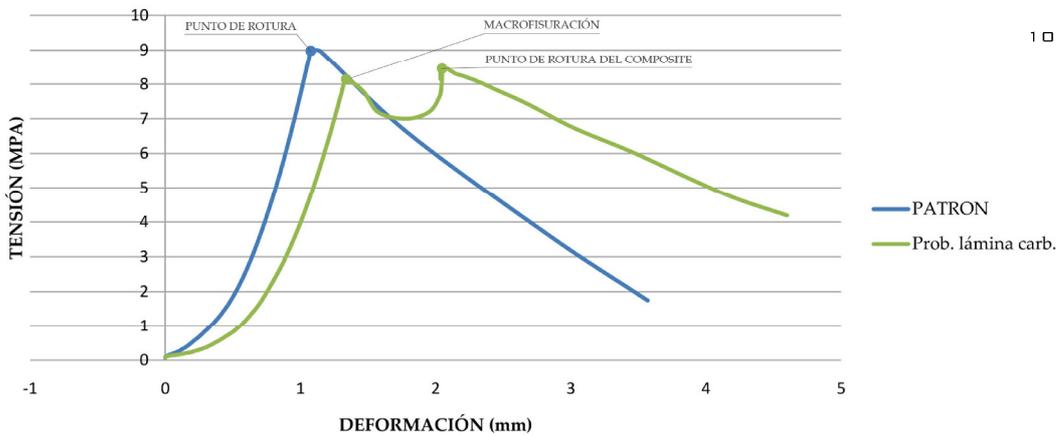
CEMENTO	H2O	ADITIVO	H. SÍLICE	AL2O3	ÁRIDO 0/1	
1000	250	60	100	400	600	KG/M3 GR/L

* NOTA: SEGÚN INVESTIGACIONES ANTERIORES DE JOSE RAMÓN ALBIOL IBAÑEZ, PROFESOR TUTOR DE PFG.

			FECHA
	PATRÓN	1 LÁMINA FIBRA DE CARBONO	AMASADO
			17/05/2011
FLEXIÓN (KN/MPA)	19,936/8,972	18,80/8,46	DESENMOLDADO
			18/05/2011
COMPRESIÓN (KN/MPA)	1123,5/118,25	-	CÁMARA HÚMEDA
			18/05/2011 - 2D 23/05/2011 - 1D
TENACIDAD (KN*MM)	7,137	19,380	HORNO
			20/05/2011 3D-60°
RESILIENCIA (KN*MM)	29,262	52,804	ROTURA
			24/05/2011



LÁMINA FIBRA DE CARBONO. AMASADA 14-17.



ANÁLISIS Y DESCRIPCIÓN TÉCNICA.

En esta amasada podemos comparar la probeta patrón con una probeta que contiene una lámina de fibra de carbono perforada en su interior. El valor de fcm de la probeta con lámina es 8,46 Mpa con una tenacidad de 19,38 KN*mm.

Para la fabricación de la probeta con lámina de fibra de carbono se han utilizado unos alambres como sujeción, evitando el movimiento de la lámina y garantizando el recubrimiento inferior de la misma.

De esta probeta podemos extraer las siguientes conclusiones después de la rotura:

- No se consigue mejora, pues debido a la baja densidad de la lámina de fibra de carbono, ésta ha tendido a subir desplazándose al lateral al estar coaccionado el movimiento vertical.
- La lámina de fibra de carbono no ha trabajado en la rotura.

Se plantea lo siguiente:

- Seguir trabajando con lámina de fibra de carbono hasta conseguir la correcta colocación de la lámina en la probeta obteniendo de este modo valores representativos.



Imagen 1. Probeta con lámina de fibra de carbono.



Imagen 2. Rotura de probeta.



Imagen 3. Probeta tras la rotura. Lámina de fibra de carbono.

APELLIDOS	NOMBRE	ASIGNATURA	TALLER	FICHA Nº
MARTÍNEZ ORTEGA	SONIA	PFG. MATERIALES AVANZADOS	17	13
FICHA	ESCUELA		CURSO	
AMASADA 17 HORMIGÓN LAMINADO	ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA EDIFICACIÓN		2011	
	UNIVERSIDAD			
	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA			

6. *Conclusiones*



El hormigón es el material más utilizado en construcción. Se trata de un material resistente pero frágil sobre el que numerosos investigadores trabajan diariamente para conseguir mayor ductilidad.

El objetivo de este trabajo de investigación era comprobar si con la laminación, en similitud con lo que ocurre entre madera aserrada y laminada, se mantiene la tensión admisible del hormigón mientras aumenta la ductilidad de éste.

Se puede decir que este objetivo se ha cumplido parcialmente, dependiendo del tamaño de que material utilicemos para la realización de la lámina y que tamaño de probeta se utilice.

Después de realizar los ensayos, hemos concluido que:

- Con el composite hormigón y lámina de polietileno nunca se podrá aumentar la ductilidad, pues la lámina de polietileno rompe por sufrir un esfuerzo mayor a su resistencia máxima a tracción.
- Con el composite hormigón y lámina de fibra de carbono hemos aumentado la tensión admisible pero la lámina, aún estando perforada, desliza.
- Con el composite hormigón y tela de fibra de carbono se aumenta la tensión admisible pero en la rotura la fibra acaba deshilachándose y deslizando. Con este composite, evitamos el deslizamiento en hormigón endurecido, añadiéndole epoxi en la unión de las láminas.
- Los ensayos realizados con probetas de tamaño 400x100x100 mm no han dado los resultados esperados, ya que debido a la baja densidad de la fibra de carbono las láminas y barras de este material al endurecer se han movido dentro de la probeta.

Para la continuación con este trabajo de investigación se propone seguir investigando con probetas 400x100x100 mm evitando el movimiento de la fibra de carbono debido a la baja densidad de la misma.



7. *Bibliografía*



“State-of-the-Art Report on High Strength Concrete” (ACI 363 R-92), Detroit, 1999.

“Guide to Quality Control and Testing of High Strength Concrete” (ACI 363.2R-98), Detroit 1999.

Alaejos González, P. “Estudio del comportamiento de los hormigones de alta Resistencia”.- Tesis doctoral.- ETS. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politecnica de Madrid. 1994. Director: M.F. Cánovas.

Fernández Cánovas, M. “Estudio experimental de hormigón de alta resistencia”.- CEDEX.- Madrid 1996.

Fernández Cánovas, M. “El control de calidad del Hormigón de Alta Resistencia”.- Cemento y Hormigón. nº 738. Barcelona 1994.

“Applications of high strength concrete for highway bridges”.- Public Roads.- Septiembre 1980.

“Properties of high strength concrete subject to long-term loads” ACI Journal.- Agosto 1981.

Fernández Canovas, M. “Hormigones de altas resistencia”.- Cemento y Hormigón. nº 658. Barcelona 1988.

Moreno Almansa, E.: “Los hormigones de alta resistencia en las plataformas petrolíferas marinas”.- Cemento y Hormigón.- nº 787.- Barcelona 1998.

AENOR. Ensayos de hormigón endurecido. UNE-EN 12390. Madrid: Febrero 2005.

Guía comercial Finnforest KERTO.



8. *Agradecimientos*



Quisiera aprovechar la oportunidad para agradecer a todas esas personas que me han apoyado durante este tiempo.

En primer lugar, y como no podía ser de otra forma, agradecer a mis padres por todo su apoyo, tanto en los momentos buenos como en los más difíciles, donde nunca me han fallado. Además les doy las gracias por haberme dado la oportunidad de estudiar en un lugar de tanto prestigio como es la Universidad Politécnica de Valencia.

En segundo lugar, quisiera agradecer a José Ramón Albiol Ibáñez, mi tutor de proyecto, y a Luís García Ballester, mi cotutor, por ofrecerme este proyecto que me permite culminar la carrera e iniciar la transición al mundo laboral, siguiente etapa de mi vida en la que podré afrontar nuevos retos.

En tercer lugar y no menos importante, a Sika España, y en concreto, a su comercial José Fortea, que me ha facilitado gran parte de los materiales utilizados para la realización de mi proyecto.

Además, como olvidarse en un momento así, de aquellos compañeros de estudio y trabajo como José Aznar, Jessica Bataller, Raúl Simarro o Jose Vicente Blasco con los que he superado día a día durante estos cuatro años las dificultades que nos iban surgiendo y a los que echaré de menos y no olvidare nunca.

Por último, pero no por ello menos importante, a todos aquellos amigos, a mi hermana, Lorena, y a mi novio, Jesús, que siempre han confiado en mí, por su apoyo y amistad que siempre te fortalecen en los momentos más difíciles, así como a todos los profesores y los técnicos del laboratorio de materiales, Rafa y Jesús, que me han encaminado hacia este momento.



