

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL EFECTO DE LOS DISTINTOS TIPOS DE FIBRAS EN EL COMPORTAMIENTO POST FISURA DEL HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS

Rodríguez Lozano, Jose Juan
Segura Vicent, Elena

TUTORES:
Pascual Guillamón, Manuel
Serna Ros, Pedro
Roig Flores, Marta

TALLER 32: Hormigones reforzados con fibras



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

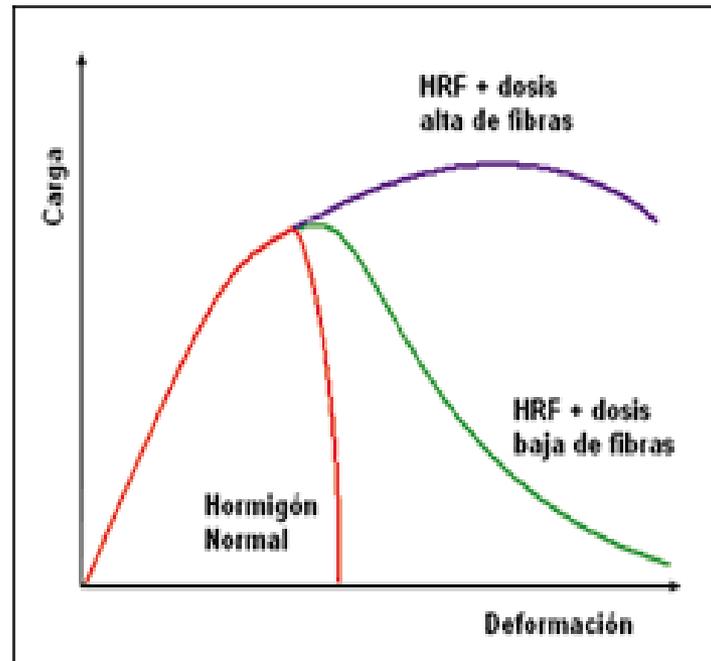
ÍNDICE

- **INTRODUCCIÓN**
- **OBJETIVOS INICIALES**
- **PROGRAMA EXPERIMENTAL**
- **METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**
- **RESULTADOS TRAS EL ENSAYO EN EL LABORATORIO DE LAS PROBETAS**
- **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**
- **ESTUDIO PRESUPUESTARIO**
- **CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

INTRODUCCIÓN

Los hormigones reforzados con fibras (HRF), se definen como aquellos hormigones que incluyen en su composición fibras cortas, discretas y aleatoriamente distribuidas en su masa (Anejo 14 EHE-08).

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

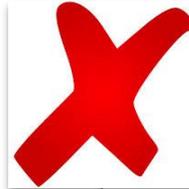


INTRODUCCIÓN



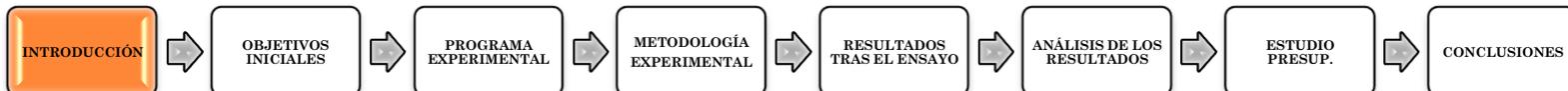
VENTAJAS

- Aumento de las resistencias a la tracción, a la flexión y al cortante.
- Reducción notable de las fisuras, efecto de cosido.
- Alta resistencia al agrietamiento y al impacto.
- Ahorro en materiales, como separadores, debido a la eliminación de recubrimientos.
- Incrementa la ductilidad y tenacidad del hormigón, produciendo un aumento de la capacidad importante.



DESVENTAJAS

- Corrosión de las fibras de acero.
- Disminución de la trabajabilidad.
- Formación de nudos de fibras durante el vertido.

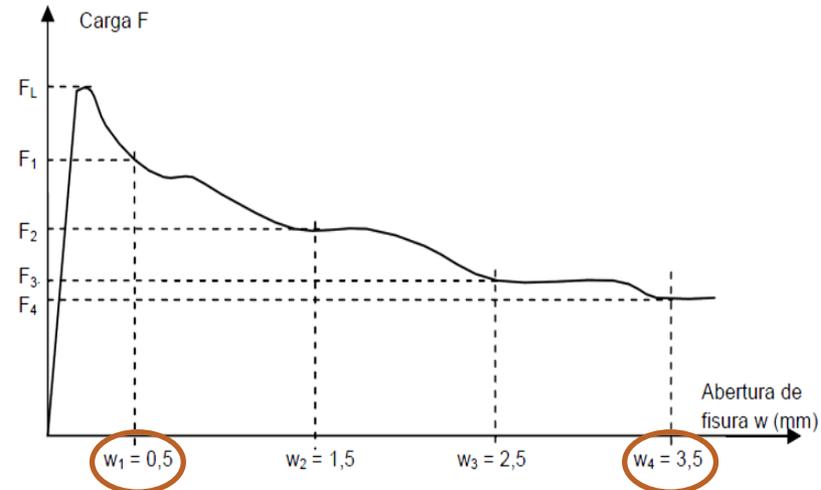


INTRODUCCIÓN

UNE EN 14845-2

$\geq 1,5$ MPa \longrightarrow 0,5 mm CMOD

≥ 1 MPa \longrightarrow 3,5 mm CMOD

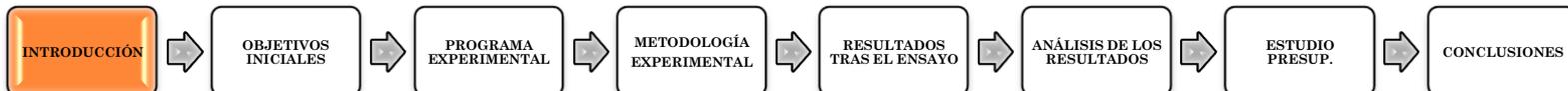


FIBRAS ESTRUCTURALES

- Aquellas que proporcionan una mayor energía de rotura al hormigón en masa

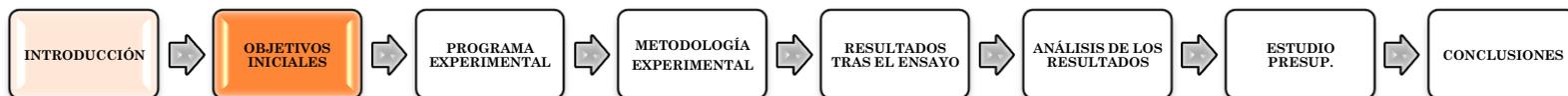
FIBRAS NO ESTRUCTURALES

- Aquellas que suponen una mejora ante determinadas propiedades (control de la fisuración por retracción, incremento de la resistencia al fuego, abrasión, impacto y otros).



OBJETIVOS INICIALES

- Dosificación y ajuste, a partir de un hormigón de referencia, de hormigones reforzados con distintos contenidos y tipos de fibras.
- Análisis del efecto y contenido de fibras metálicas (longitud: 35 mm), sintéticas (longitud: 50 mm) y de vidrio (longitud: 12 mm), sobre la resistencia a flexotracción.
- Análisis de la resistencia característica obtenida a partir de ensayos a compresión.
- Obtención de las resistencias residuales de cada una de las distintas amasadas en función del tipo y contenido de fibras.
- Realización de un análisis comparativo que nos permita determinar la resistencia estructural aportada por las fibras al hormigón.



PROGRAMA EXPERIMENTAL

Dosificación

- Granulometría de los áridos
- Aproximación a la Curva teórica de Bolomey. Parámetros de partida: $a=17$, $D_{\text{máx}}=10$ mm

Hormigón de Referencia

DOSIFICACIÓN	kg/m ³
Relación A/C efectiva	0,55
Cemento (CEM I 42,5R)	350
Arena	192,5
Grava	828
Arena	990
Fibras	0
Aditivo plast. (Sika ViscoCrete 5720)	0,7% en peso del C
Filler	10
Densidad	2372,4



PROGRAMA EXPERIMENTAL

Modificación del Href para añadir fibras

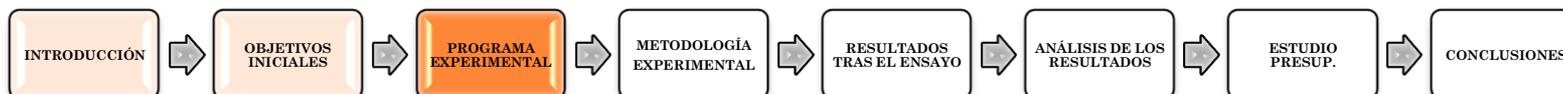
Fecha amasada	Referencia	Nº probetas cilín./prismáticas	Tipo de fibra	Longitud fibras (mm)	kg/m3	Cono de Abrams (en cm)	Relación A/C	
15.03.13	Sin fibras	2C/4P	--	--	--	5 Plástico	0,55	
03.04.13	Sin fibras	3C/3P	--	--	--	12 Fluido	0,55	
12.04.13	AM1	RC-65/35-BN	3C/3P	Metálica DRAMIX 65/35	35	20	20 Líquido	0,55
	AM2	RC-65/35-BN	3C/3P	Metálica DRAMIX 65/35	35	15	21 Líquido	0,55
19.04.13	AM1	RC-80/35-BN	3C/3P	Metálica DRAMIX 80/35	35	20	14 Fluido	0,55
	AM2	RC-80/35-BN	3C/3P	Metálica DRAMIX 80/35	35	25	20 Líquido	0,55
13.05.13	AM1	END.600	3C/3P	Sintéticas ENDURO 600 (PROPEX Fibermesh)	50	5	8 Blando	0,55
	AM2	END.600	3C/3P	Sintéticas ENDURO 600 (PROPEX Fibermesh)	50	4	18 Líquido	0,55
22.05.13	AM1	M-48	3C/3P	Sintéticas Sika Fiber M-48	50	4	17 Líquido	0,55
	AM2	M-48	3C/3P	Sintéticas Sika Fiber M-48	50	5	18 Líquido	0,55
24.05.13	AM1	Anti-Crak HP 58/12	3C/3P	Vidrio OCV Reinforcements	12	5	9 Blando	0,55
	AM2	Anti-Crak HP 58/12	3C/3P	Vidrio OCV Reinforcements	12	4	9 Blando	0,55



PROGRAMA EXPERIMENTAL

Modificación del Href para añadir fibras

DOSIFICACIÓN	kg/m ³
Relación A/C efectiva	0,55
Cemento (CEM I 42,5R)	350
Arena	192,5
Grava	826
Arena	985
Fibras	En función del tipo de fibra
Aditivo plast.(Sika ViscoCrete 5720)	0,7% en peso de C
Filler	10
Densidad	En función del tipo de fibra (aprox. 2350 kg/m ³)



METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Fabricación de probetas cilíndricas y prismáticas



Preparación de los componentes



Amasado



Estudio de la consistencia



Vertido en los moldes



Vibrado y compactación



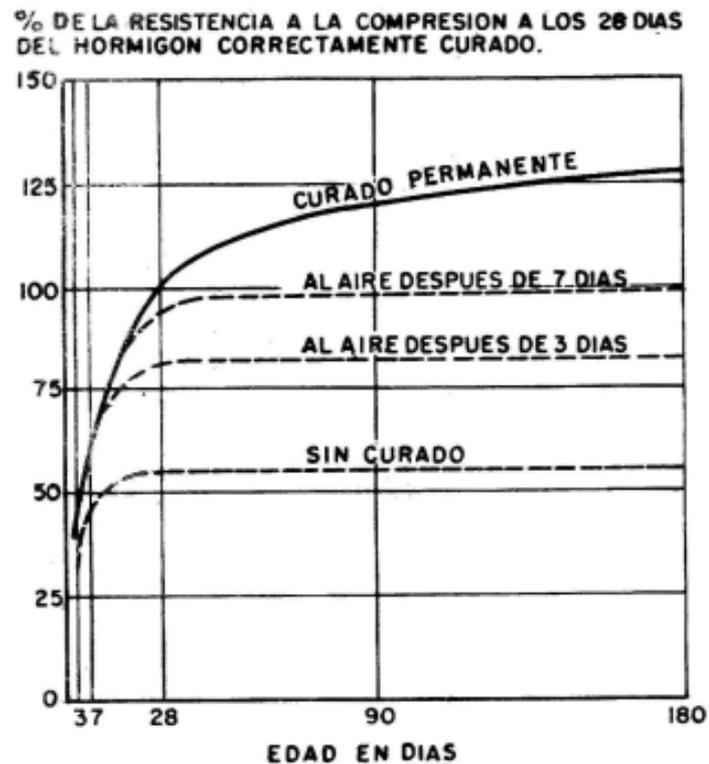
Desenfofrado y almacenamiento



METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Curado de las probetas

Las probetas se han mantenido un tiempo mínimo de 28 días en cámara de humedad a 20°C y 90 % de humedad.



METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

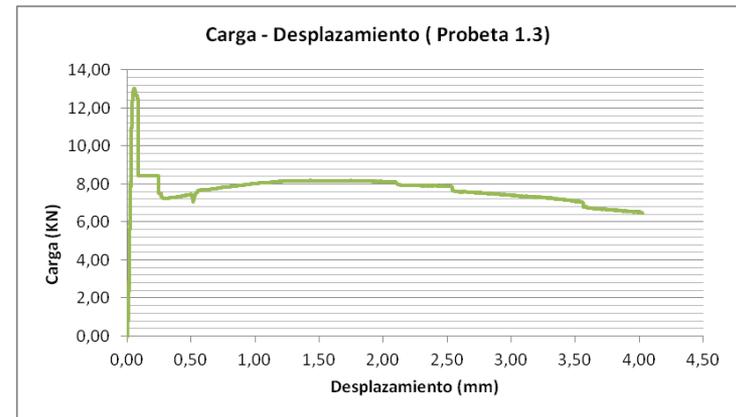
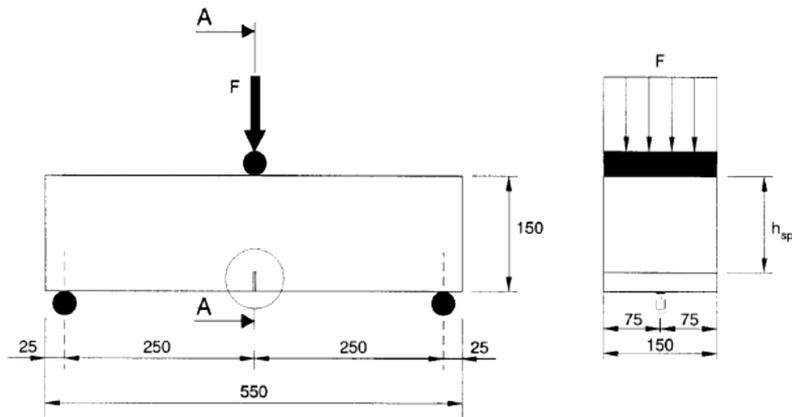
Programa de ensayos. Compresión UNE EN 12390-3

Carga máxima \rightarrow Resistencia a compresión
 $\varnothing=15\text{ cm}$, $h=30\text{ cm}$



METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Programa de ensayos. Flexotracción UNE EN 12390-5

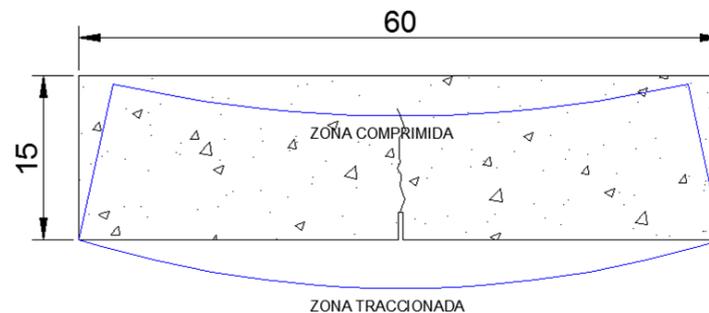
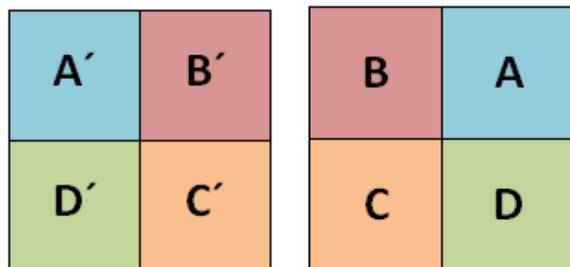


RESULTADOS TRAS EL ENSAYO

Recuento de fibras

El método consistió en dividir las caras resultantes en la zona de rotura en cuatro partes iguales.

Comprobación del número de fibras que sobresalen perpendiculares a la sección fisurada.



ZONA COMPRIMIDA: Menor esfuerzo para provocar la rotura.

ZONA TRACCIONADA: Mayor esfuerzo para abrir la fisura, las fibras hacen efecto de cosido.



RESULTADOS TRAS EL ENSAYO

Resultados a flexotracción

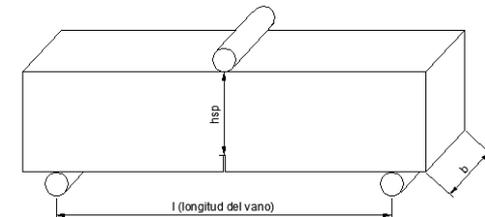
- Sin fibras

Probeta	Resultados a flexotracción (KN)
Prob. 1	11
Prob. 2	13,5
Prob. 3	17,5
Prob. 4	17,5

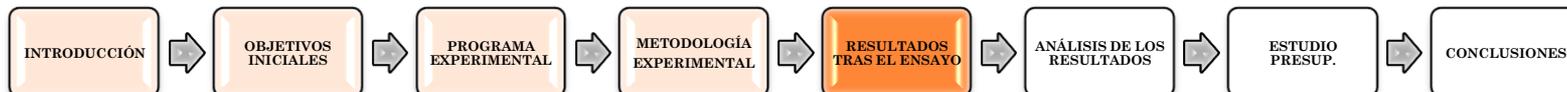


f_L es la resistencia a la tracción por flexión en la primera fisura, en Newtons por milímetro cuadrado.

F_L es la carga en primera fisura a la tracción por flexión, en Newtons.



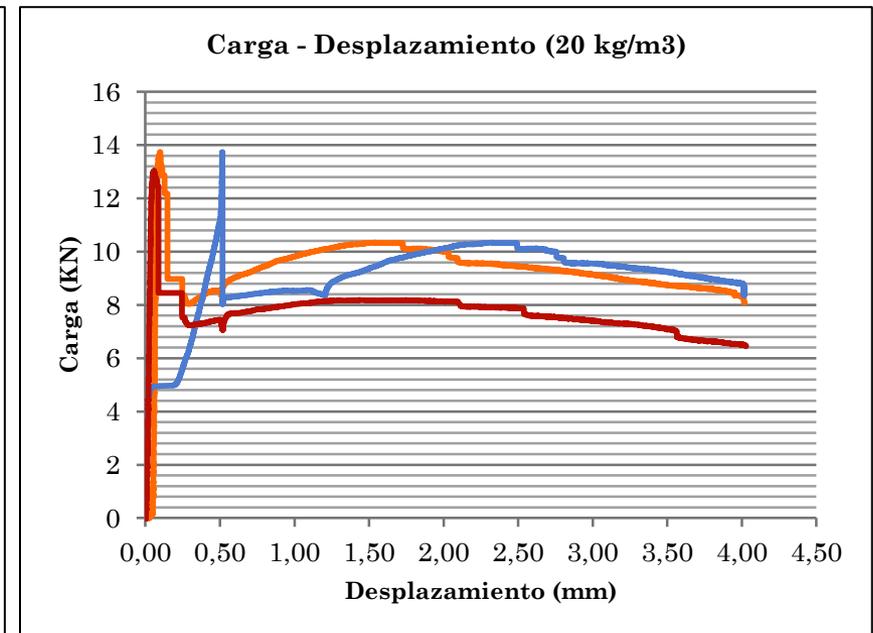
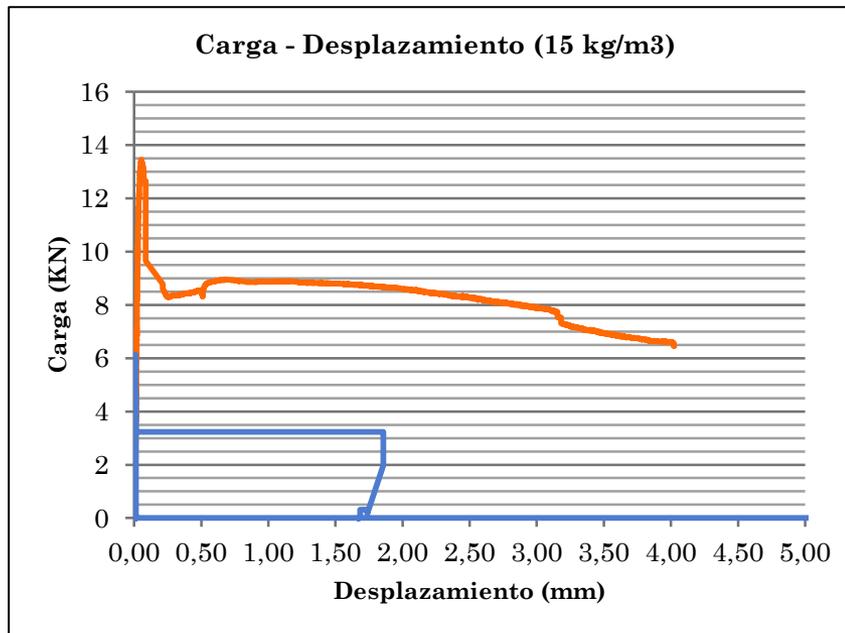
$$f_L = \frac{3F_L l}{2bh_{sp}^2} = \frac{3 \times 14,5 \times 1000 \times 500}{2 \times 150 \times 125^2} = 4,64 \text{ N/mm}^2 = 4 \pm 0,3 \text{ N/mm}^2$$



RESULTADOS TRAS EL ENSAYO

Resultados a flexotracción

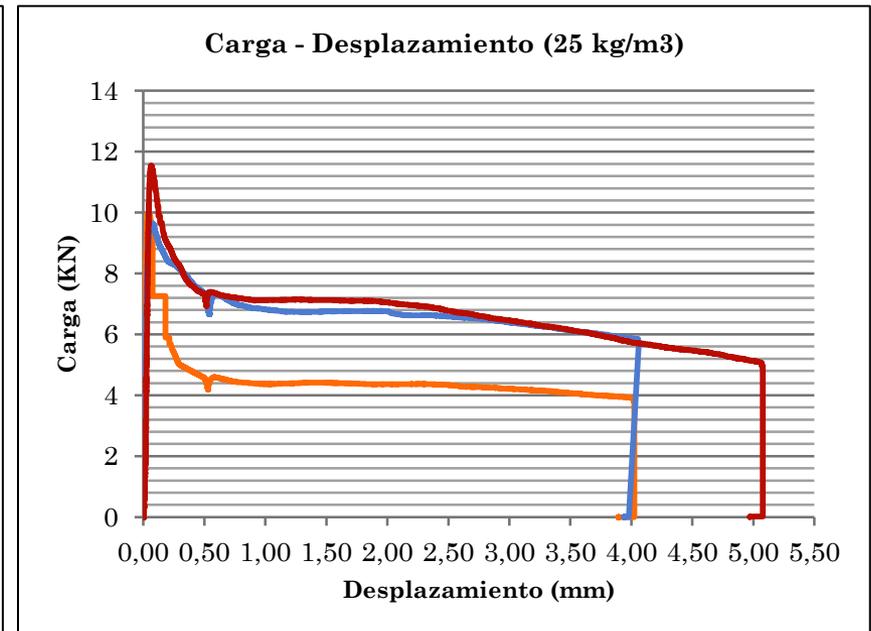
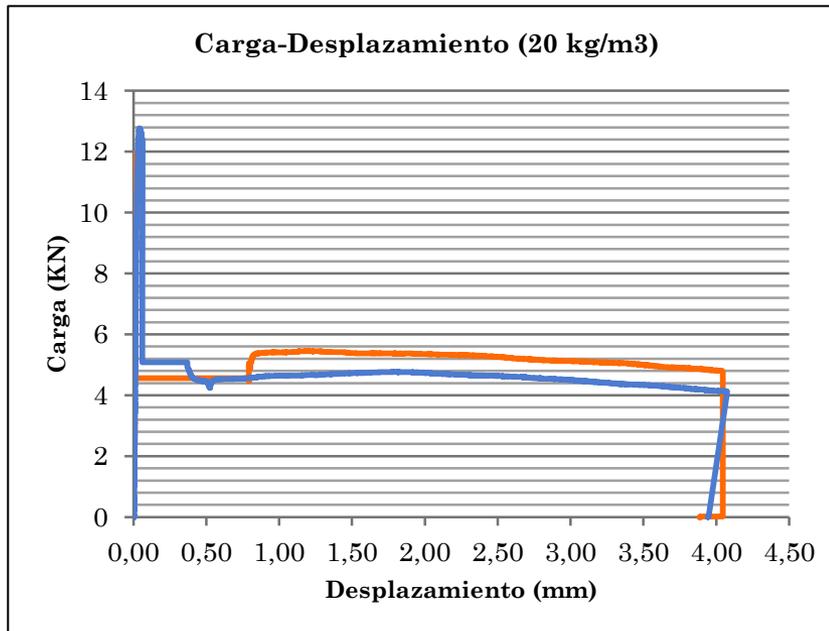
- Fibras metálicas DRAMIX 65/35



RESULTADOS TRAS EL ENSAYO

Resultados a flexotracción

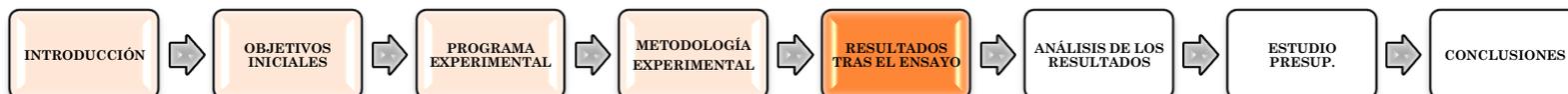
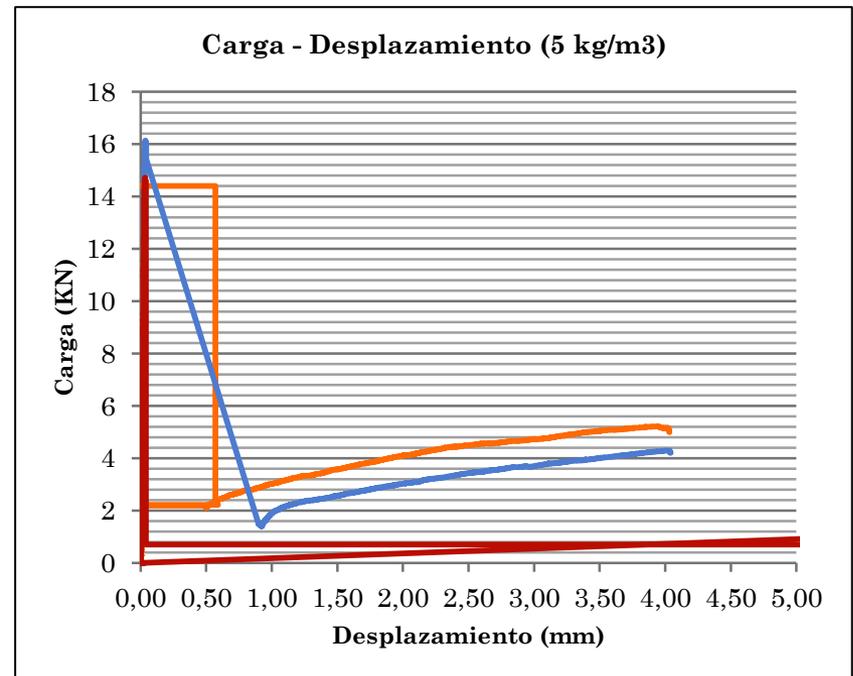
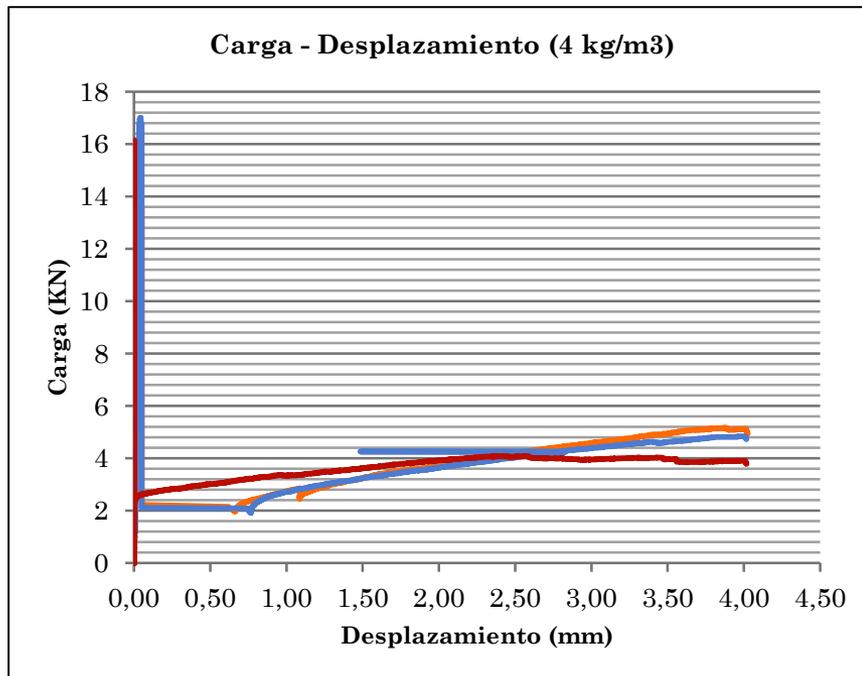
- Fibras metálicas DRAMIX 80/35



RESULTADOS TRAS EL ENSAYO

Resultados a flexotracción

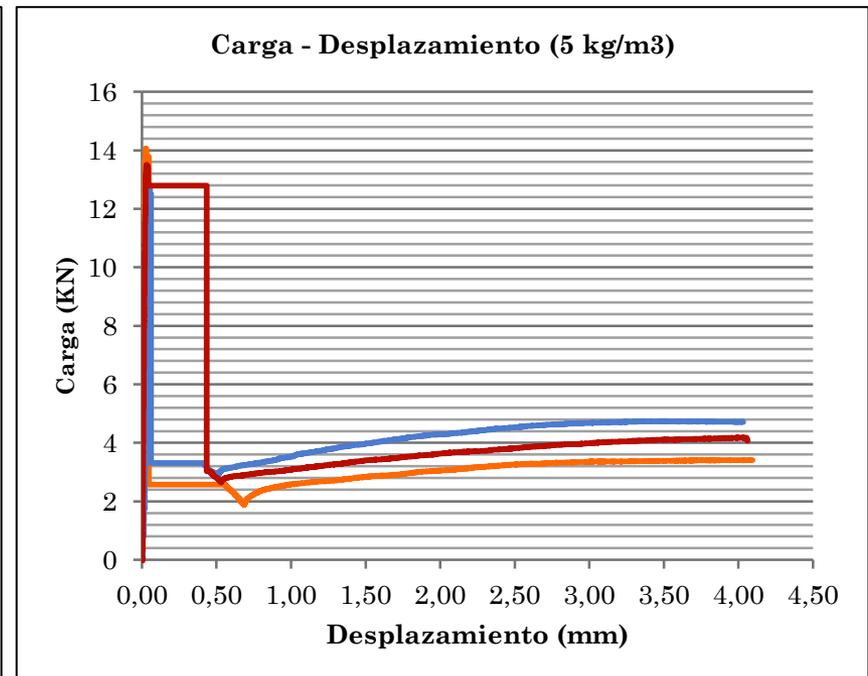
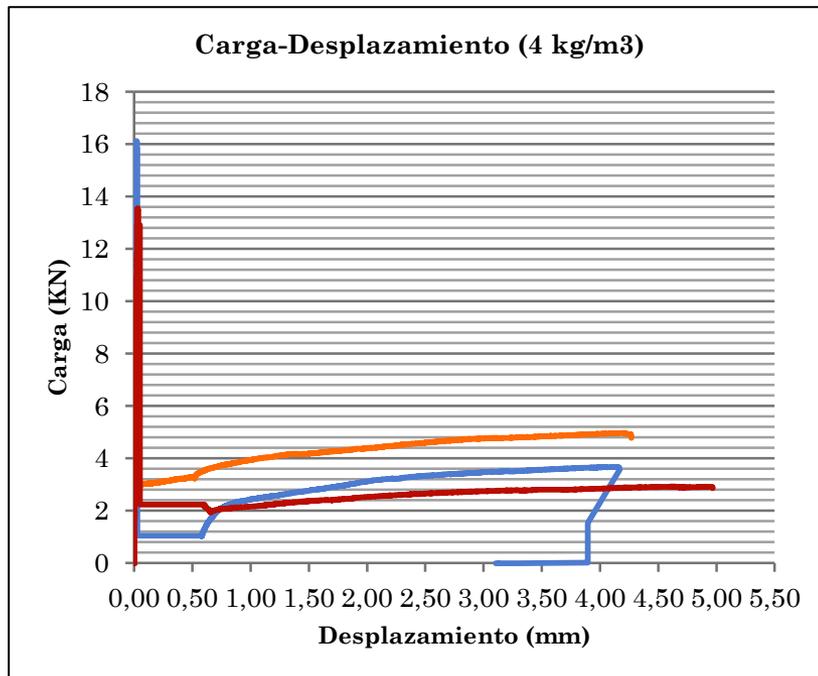
- Fibras sintéticas ENDURO 600



RESULTADOS TRAS EL ENSAYO

Resultados a flexotracción

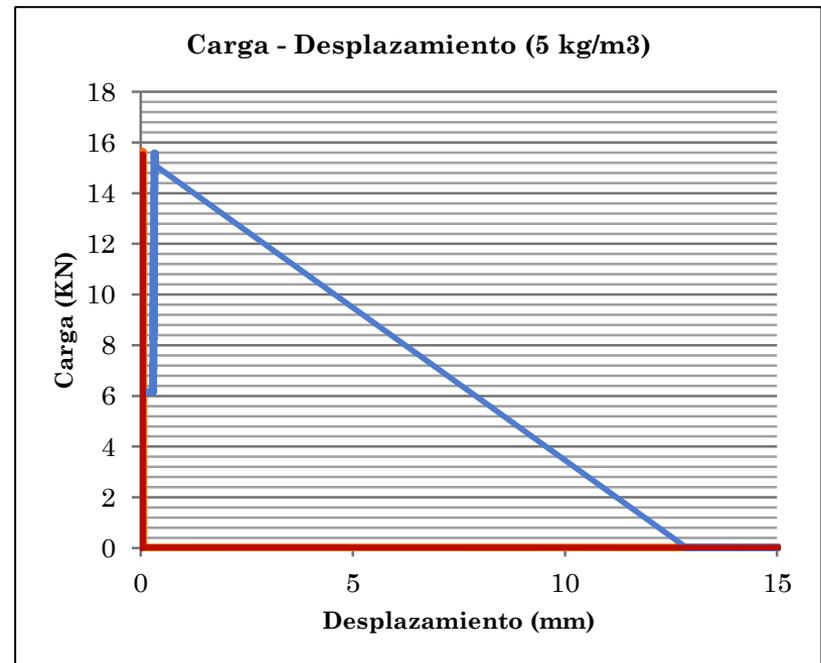
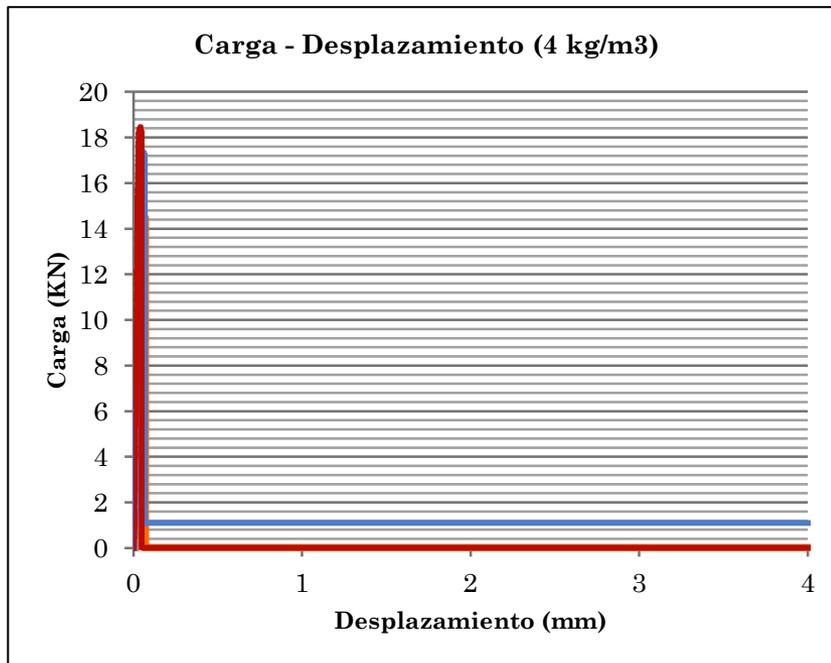
- Fibras sintéticas SikaFiber M-48



RESULTADOS TRAS EL ENSAYO

Resultados a flexotracción

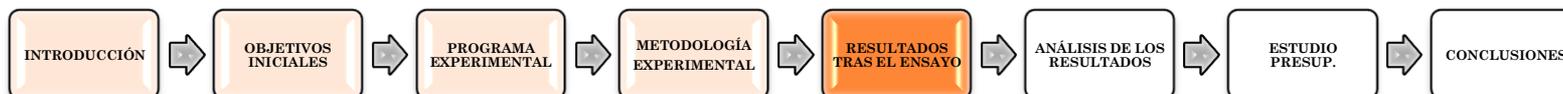
- Fibras de vidrio



RESULTADOS TRAS EL ENSAYO

Resultados a compresión

	PROBETA	DESCRIPCIÓN AMASADA	Kg/m3	FECHA DE AMASADO	FECHA DE ROTURA	Mpa	Tn	MEDIA	
								Mpa	Tn
AM 1	PROB. 1.1	Sin fibras	--	15.03.13	08.05.13	48,5	87	48,95	88
	PROB. 1.2					49,4	89		
AM1	PROB. 1.1	DRAMIX 80/35	20	12.04.13	15.05.13	46	83	45,73	82,5
	PROB. 1.2					45,2	81,5		
	PROB. 1.3					46	83		
AM2	PROB. 2.1	DRAMIX 80/35	15	12.04.13	15.05.13	46,3	83,5	44,10	79,5
	PROB. 2.2					44,4	80		
	PROB. 2.3					41,6	75		
AM1	PROB. 1.1	DRAMIX 65/35	20	19.04.13	28.05.13	25	45	25,9	44,67
	PROB. 1.2					26,1	47		
	PROB. 1.3					26,6	42		
AM2	PROB. 2.1	DRAMIX 65/35	25	19.04.13	28.05.13	27,2	49	25,33	45,67
	PROB. 2.2					22,2	40		
	PROB. 2.3					26,6	48		
AM1	PROB. 1.1	ENDURO 600	5	13.05.13	12.06.13	40,8	73,5	42,07	75,83
	PROB. 1.2					43,8	79		
	PROB. 1.3					41,6	75		
AM2	PROB. 2.1	ENDURO 600	4	13.05.13	12.06.13	38,8	70	37,7	68
	PROB. 2.2					33,8	61		
	PROB. 2.3					40,5	73		
AM1	PROB. 1.1	SikaFiber M-48	4	22.05.13	18.06.13	41,6	75	42,3	76,25
	PROB. 1.2					43	77,5		
AM2	PROB. 2.1	SikaFiber M-48	5	22.05.13	18.06.13	44,9	81	44,73	80,67
	PROB. 2.2					43,8	79		
	PROB. 2.3					45,5	82		
AM1	PROB. 1.1	Fibra de vidrio	5	24.05.13	20.06.13	47,4	85,5	46,2	83,33
	PROB. 1.2					46	83		
	PROB. 1.3					45,2	81,5		
AM2	PROB. 2.1	Fibra de vidrio	4	24.05.13	20.06.13	48,3	87	47,7	86
	PROB. 2.2					47,1	85		
	PROB. 2.3					47,7	86		
MEDIA								40,97	73,67
DESVIACIÓN TÍPICA								8,17	15,10
COEFICIENTE DE VARIACIÓN								0,19	0,2



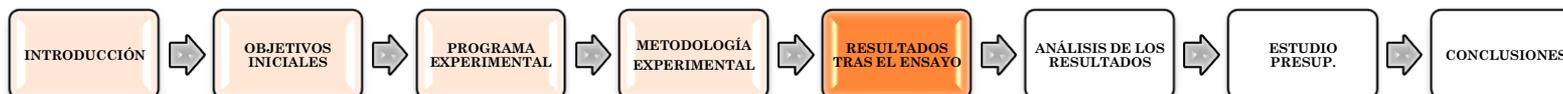
RESULTADOS TRAS EL ENSAYO

Resultados a compresión

	$f_{c,m}$ (N/mm ²)	
	ESPERADA	OBTENIDA
AM 1 15.03.13 sin fibras	42,97	49
AM 2 03.04.14 sin fibras	42,95	--
AM 1 12.04.13 metálicas 65/35	42,97	46
AM 2 12.04.13 metálicas 65/35	42,97	44
AM 1 19.04.13 metálicas 80/35	42,97	26
AM 2 19.04.13 metálicas 80/35	42,98	25
AM 1 13.05.13 plásticas ENDURO 600	43	42
AM 2 13.05.13 plásticas ENDURO 600	42,99	38
AM 1 22.05.13 plásticas SikaFiber M-48	42,99	42
AM 2 22.05.13 plásticas SikaFiber M-48	43	45
AM 1 24.05.13 fibras de vidrio	43	46
AM 2 24.05.13 fibras de vidrio	42,99	48
MEDIA	41,648	40

$$\frac{A}{C} = k_1 \times f_{c,m} + k_2$$

$f_{c,m} = f_{ck} + 8$; resistencia media a compresión a 28 días (Art 31.3 EHE-08)

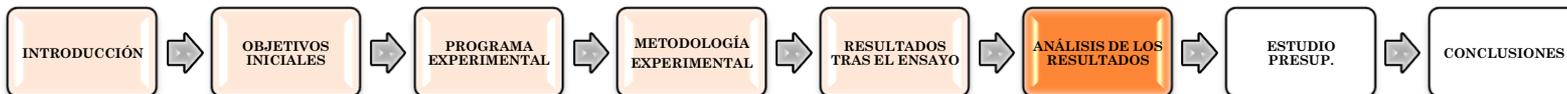
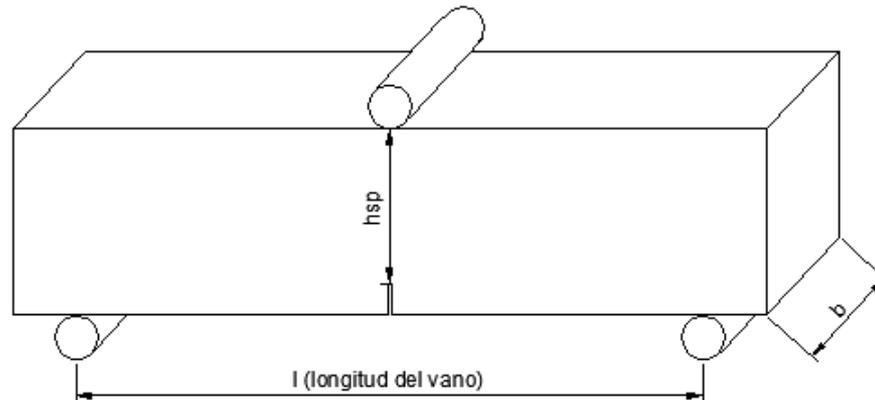


ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

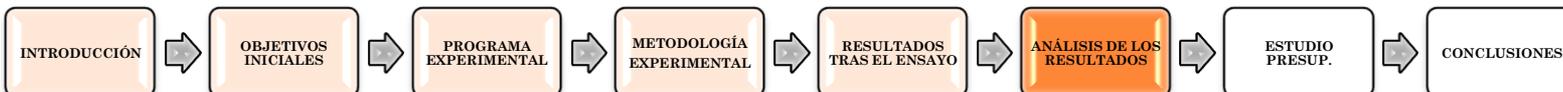
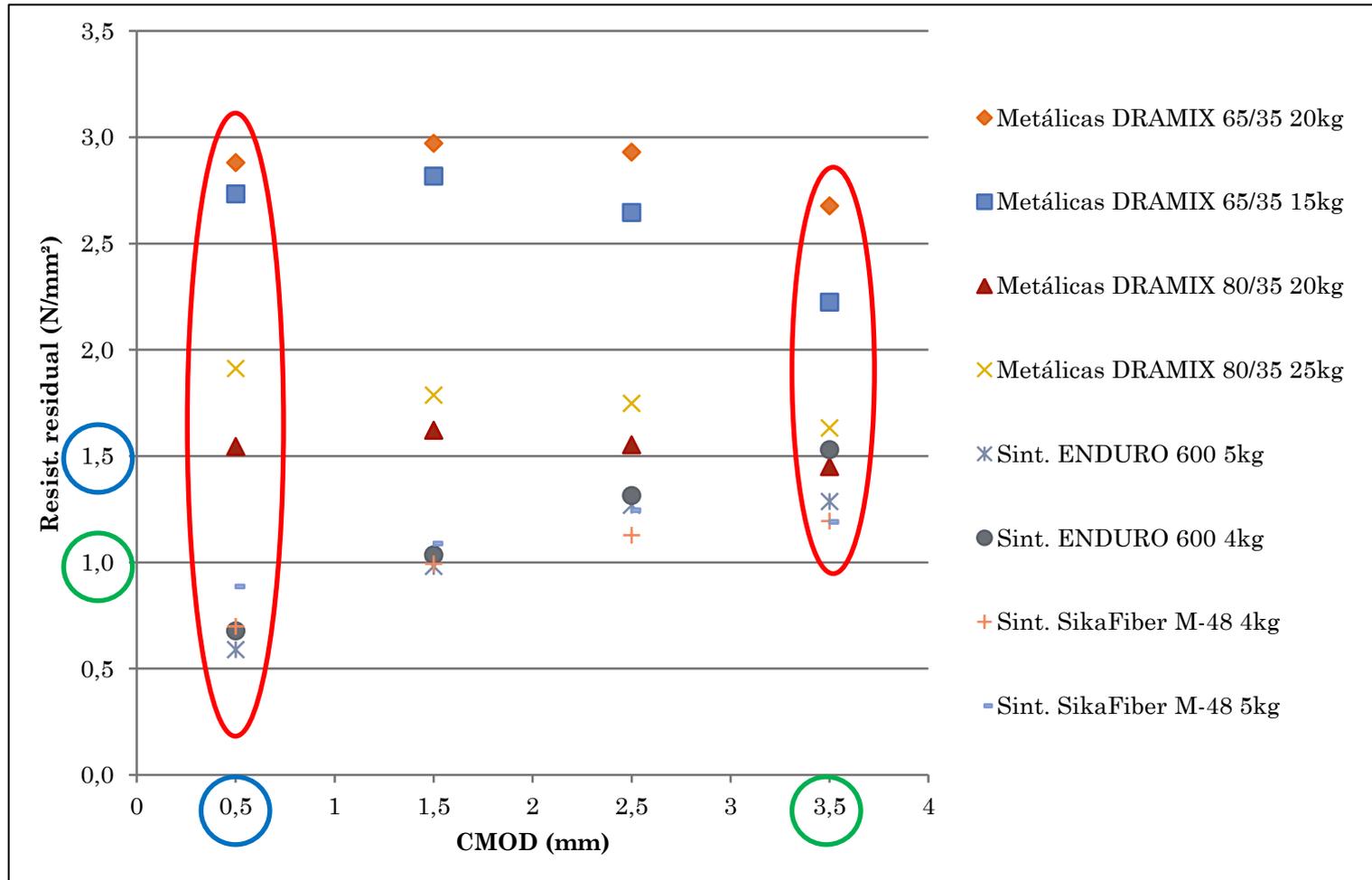
$$f_{R,j} = \frac{3F_j l}{2bh_{sp}^2}$$

F_j es la carga correspondiente a $CMOD = CMO_j$ o $\delta = \delta_j$ ($j = 1, 2, 3, 4$), en Newtons.

$f_{R,j}$ es la resistencia residual a la tracción por flexión, correspondiente a $CMOD = CMO_j$ o $\delta = \delta_j$ ($j = 1, 2, 3, 4$), en Newtons por milímetro cuadrado.



ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

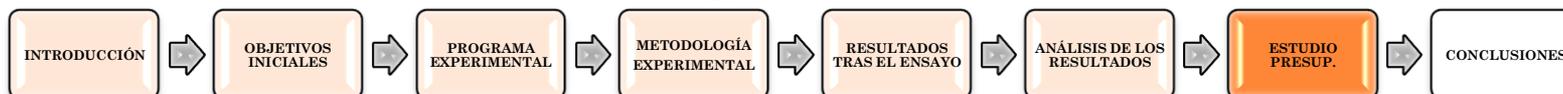


ESTUDIO PRESUPUESTARIO

CÓDIGO	RESUMEN	PARTES IGUALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
CAPÍTULO 01 PFG_HORMIGÓN CON FIBRAS					
P01.1	m ³ Agua.	12	0,014	1,89	0,32
P01.2	t Cemento portland CEM I 42.5R, según norma UNE-EN 197-1:2000 a granel.	12	0,02663	98,11	31,35
P01.3	kg Aditivo fluidificante para hormigones de calidad y difícil puesta en obra, y en hormigón bombeado, suministrado en envases de 30 kg.	12	0,18	1,66	3,59
	t Arena triturada de naturaleza silíceas, sin lavar, de granulometría 0/4, a pie de obra, considerando transporte con camión de 25t, a una distancia media de 30 km.	12	0,0765	14,83	13,61
P01.4	t Grava triturada caliza de granulometría 7/12, lavada, a pie de obra, considerando transporte con camión de 25t, a una distancia media de 30 km.	10	0,01711	16,45	2,81
	t Grava triturada caliza de granulometría 7/12, lavada, a pie de obra, considerando transporte con camión de 25t, a una distancia media de 30 km.	2	0,00313	16,45	0,10
P01.5	t Grava triturada caliza de granulometría 4/7, lavada, a pie de obra, considerando transporte con camión de 25t, a una distancia media de 30 km.	10	0,0754	15,85	11,95
	t Grava triturada caliza de granulometría 4/7, lavada, a pie de obra, considerando transporte con camión de 25t, a una distancia media de 30 km.	2	0,06	15,85	1,90
P01.6	t Filler de aportación.	12	0,00076	74,66	0,68
	kg Fibras de acero.				6,65
P01.7	DRAMIX 65/35	1	2,66	2,5	
P01.8	DRAMIX 80/35	1	3,42	2,5	8,55

P01.9	kg Fibras de plástico. ENDURO 600	1	0,68	6,23	4,24
P01.10	SikaFiber M-48	1	0,68	10,75	7,31
P01.11	kg Fibras de vidrio.	1	0,68	3,69	2,51
P01.12	I Desencofrante para moldes de hierro formulado en base aceite.	1	4	1,98	7,92
P01.13	u Par de guantes para riesgos mecánicos fabricados en algodón tejido punzonado con refuerzo de serraje vacuno en la palma, con certificado CE.	2	1	3,47	6,94
P01.14	h Técnico de laboratorio				
Descomposición					
	Amasadas (hormigón con fibras y sin fibras)	12	1,25	7,5	112,5
	Desmoldear probeta prismática	37	0,25	7,5	69,38
	Desmoldear probeta cilíndrica	35	0,1	7,5	26,25
	Ensayar probeta prismática a flexotracción	37	0,75	7,5	208,13
	Ensayar probeta cilíndrica a compresión	35	0,1	7,5	26,25
					442,5

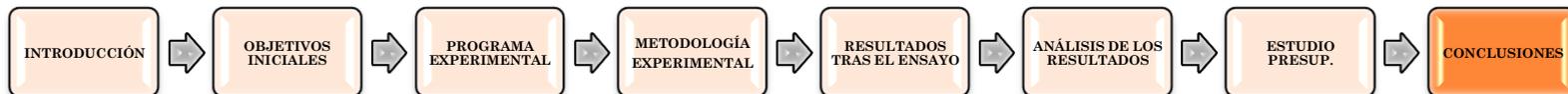
TOTAL CAPÍTULO 01 PFG_HORMIGÓN CON FIBRAS				552,94
	Estimación Costes Indirectos	13%		624,82
	IVA	21%		756,03
	TOTAL			756,03



CONCLUSIONES

Conclusiones

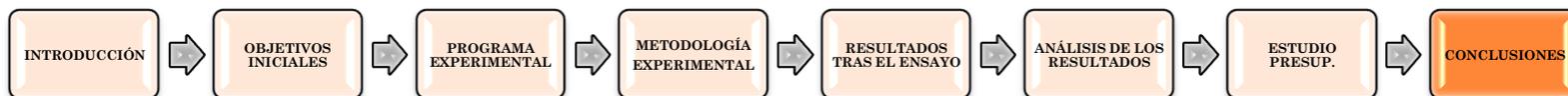
- La resistencia a compresión del hormigón reforzado, no se ve afectada por la adición de las mismas, sean del tipo que sean.
- Los hormigones con fibras de acero pueden trabajar estructuralmente, incluso pueden sustituir al acero convencional en muchas aplicaciones.
- Con fibras metálicas se ha comprobado que las resistencias residuales obtenidas son mayores que mediante la adición de fibras plásticas, ya que la recuperación en éstas últimas es menor.
- Se ha comprobado que la cantidad de fibras metálicas añadidas ha sido suficiente para conseguir una resistencia de 1,5 MPa en , tal y como indica la norma UNE EN 14845-2.
- Es necesario una mayor adición de fibras sintéticas para conseguir 1,5 MPa en $CMOD_1$.
- Con fibras de vidrio cortas (longitud: 12 mm) se han obtenido resistencias residuales nulas, esto nos lleva a concluir que este tipo de fibras no son aptas para resistir estructuralmente.



CONCLUSIONES

Futuras líneas de investigación

- Profundizar más en cómo se cuantifica el efecto de ciertos tipos de fibras, como las de vidrio, a través de los distintos parámetros que caracterizan la resistencia estructural del hormigón.
- Estudio de otras propiedades en fibras de vidrio o plásticas.
- Hacer cálculos presupuestarios en cada obra de hormigón armado para ver si es más económico incorporar las fibras en hormigones convencionales para mejorar sus propiedades ante solicitaciones de tracción.



GRACIAS POR SU
ATENCIÓN