



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN

ESTUDIO DEL HACRF-P SOMETIDO A ESFUERZOS DE FLEXIÓN

PFG_T17

JULIO DE 2013

TUTORES: ALBIOL IBÁÑEZ, JOSÉ RAMÓN
GARCÍA BALLESTER, LUIS VICENTE

CHULIÁ SEQUI, VICENTE
GARRIDO BENACHES, FERNANDO

OBJETIVOS

- Estudiar las propiedades mecánicas del hormigón reforzado con fibras poliméricas, tanto en su estado fresco como en su estado endurecido.
- Estudiar el comportamiento a flexión del hormigón autocompactante reforzado con fibras poliméricas a partir de la construcción de vigas con diferente densidad de fibras y cantidad de armadura.
- Análisis comparativo para observar ventajas e inconvenientes de la utilización de las distintas cantidades de fibras poliméricas.

ESTADO DEL ARTE. DEFINICIONES

- Según la EHE-08 y en su anexo 17, los hormigones autocompactantes se definen como *“aquel hormigón que, como consecuencia de una dosificación estudiada y del empleo de aditivos superplastificantes, se compacta por la acción de su propio peso, sin necesidad de energía de vibración ni de cualquier otro método de compactación.”*
- Según la EHE-08 y en su Anejo 14, 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.”*



ESTADO DEL ARTE. DESIGNACIÓN Y TIPIFICACIÓN

- Designación del hormigón:

Hormigón Autocompactante Reforzado con fibras Poliméricas → HACRF-P

- Tipificación del hormigón HACRF-P:

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

- *T* Indicativo que será HACRF
- *R* Resistencia característica a compresión especificada, en N/mm².
- *AC* Consistencia autocompactante.
- *F* Indicativo del tipo de fibras, *P* en el caso de fibras poliméricas.
- *R1, R3* Resistencia característica residual a flexo tracción especificada $f_{R,1,k}$ y $f_{R,3,k}$, expresada en N/mm².
- *TM* Tamaño máximo del árido, en mm.
- *TF* Longitud máxima de la fibra, en mm.
- *A* Designación del ambiente

Tipificación propuesta por los alumnos:

HACRF-35/AC-E2+AC-V1+AC-RB2/P-5,64-6,01/12,5-60/I

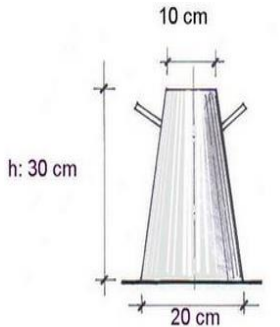
ESTADO DEL ARTE. CARACTERÍSTICAS HACRF-P

- **Fluidez o habilidad de fluir** el hormigón sin ayuda externa y llenar, así, el encofrado.
- Al ser una mezcla fluida tiene **resistencia al bloqueo** y puede discurrir **sin segregar** el árido en el paso entre las armaduras del elemento.
- Garantiza un **buen acabado**, de manera que se obtiene una superficie lisa, con color homogéneo y libre de coqueras.
- La incorporación de fibras modifica el comportamiento no lineal del hormigón estructural, especialmente en tracción, **impidiendo la abertura y propagación de fisuras**.

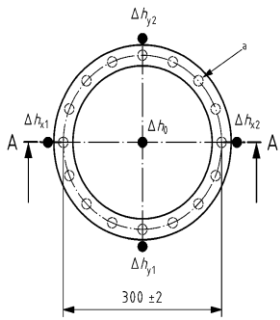


ESTADO DEL ARTE. ENSAYOS DEL HORMIGÓN

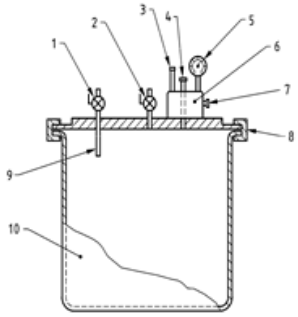
Ensayos del hormigón en estado fresco:



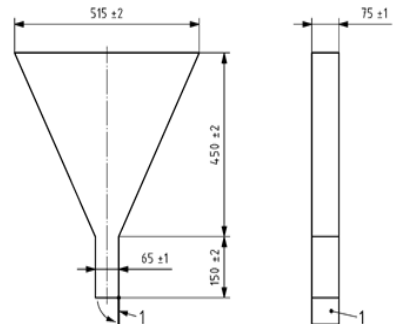
Escurrimiento



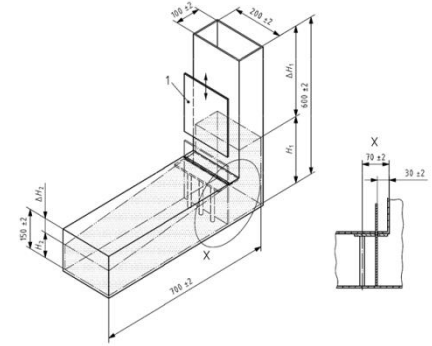
Anillo Japonés



Aire ocluido

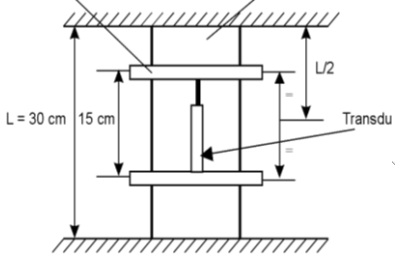


Embudo en "V"

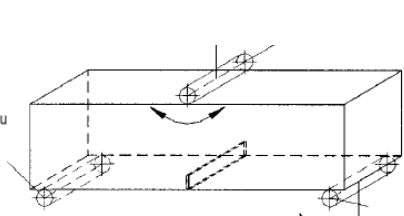


Caja en "L"

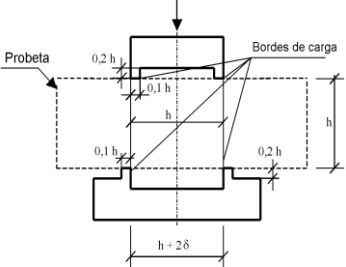
Ensayos del hormigón en estado endurecido:



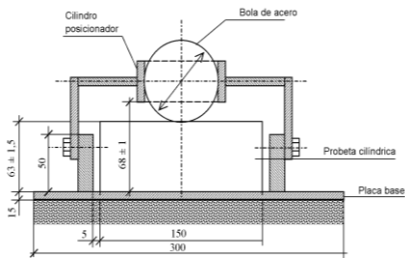
Módulo de Young



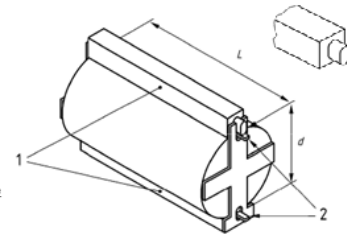
Rotura a flexión



Resistencia a cortante



Resistencia al impacto



Ensayo Brasileño

OBJETIVOS → ESTADO DEL ARTE

ESTADO DEL ARTE. FLEXIÓN

Estudio de la resistencia a flexión del HACRF-P

- Se han realizado muchos estudios, destacando los de Johnston, Swamy, Lankard y Edgington, todos éstos vienen a afirmar que los principales factores que afectan son:
 - El porcentaje de las fibras incorporadas.
 - La esbeltez de la fibra.
 - La orientación de las fibras.
 - La adherencia de las fibras a la matriz
- Según la ACHE sobre la resistencia a rotura por flexo tracción influyen también:
 - La calidad del proceso de curado del hormigón
 - La posición de la probeta durante el vertido del hormigón
 - El sistema de compactación
 - El uso de aditivos superfluidificantes

PROG. EXPERIMENTAL.

DOSIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE ELEMENTOS. ESTRUCTURALES

Finos	a/c 0,6	Kg/m ³	Densidad	Volumen
325	Cem	325	3	108,3
	Agua	195	1	195,0
18,5	Finos 1,5	18,5	2,65	7,0
87,9	A fina 0/2	517,0	2,65	195,1
75,7	A grue 0/4	757,0	2,65	285,6
	Grava 12,5	553,9	2,65	209,0
		2.366		1000,0
507,0	Finos total			
	aditivo 1,3 %	4,225	1,05	4,02

La cantidad de fibras en la dosificación que se han empleado son en diferentes cantidades.

- Patrón. 0 Kg/m³
- Patrón + 6,20 Kg/m³
- Patrón + 9,00 Kg/m³
- Patrón + 12,40 Kg/m³

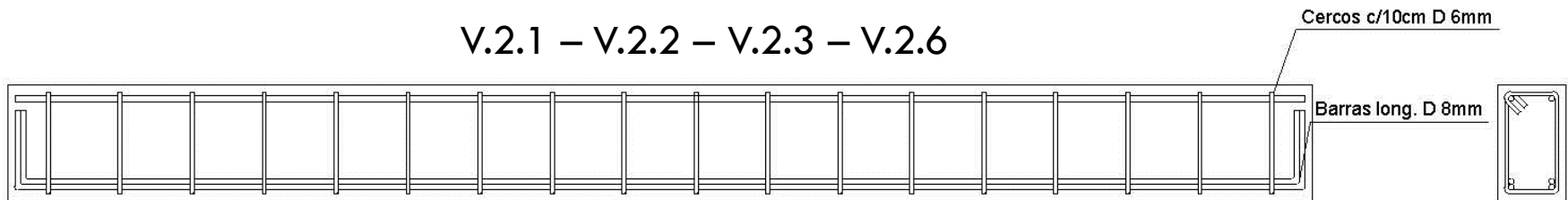
		FIBRAS KG/M3 + ARMADURA INFERIOR	ENSAYOS HORMIGÓN FRESCO				ENSAYOS HORMIGÓN ENDURECIDO				
			ESCURRIMIENTO		ANILLO JAPONÉS	EMBUDO EN "V"	AIRE OCLUIDO	PROB. PRISMÁTICAS FLEXIÓN	PROB. CILÍNDRICAS		VIGA FLEXIÓN
			CON FIBRAS	SIN FIBRAS					MODULO DE YOUNG	ROTURA	
HACRE-P	PATRON	0 + 4Ø8	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	FASE 1	6,2 + 4Ø8	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI
		9 + 4Ø8	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI
		12,4 + 4Ø8	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
	FASE 2	6,2 + 2Ø8	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI
		9 + 2Ø8	SI	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI
		12,4 + 2Ø8	NO	SI	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI

OBJETIVOS → ESTADO DEL ARTE → PROGRAMA EXPERIMENTAL

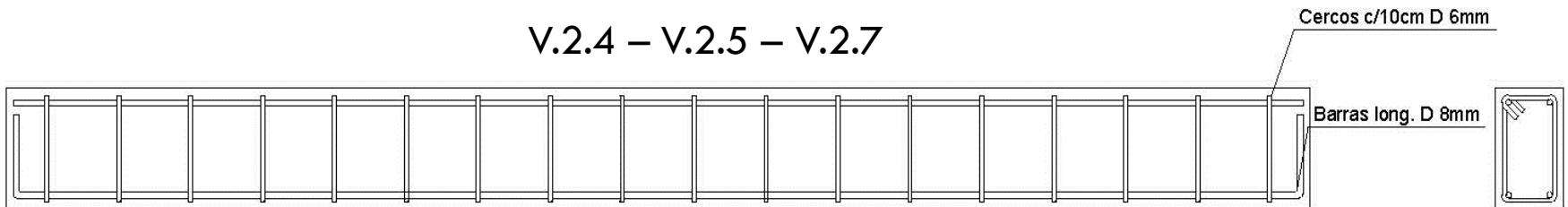
PROG. EXPERIMENTAL. TIPIFICACIÓN DE LAS VIGAS

V.2.1	V.2.2	V.2.3	V.2.4	V.2.5	V.2.6	V.2.7
patron	patron+12,4	patron+6,2	1/2 patron+12,4	1/2 patron+6,2	patron+9	1/2 patron+9
2 \varnothing 8 + 4 \varnothing 8	2 \varnothing 8 + 4 \varnothing 8	2 \varnothing 8 + 4 \varnothing 8	2 \varnothing 8 + 2 \varnothing 8	2 \varnothing 8 + 2 \varnothing 8	2 \varnothing 8 + 4 \varnothing 8	2 \varnothing 8 + 2 \varnothing 8
18 \varnothing 6 c/10cm.	18 \varnothing 6 c/10cm.	18 \varnothing 6 c/10cm.	18 \varnothing 6 c/10cm.	18 \varnothing 6 c/10cm.	18 \varnothing 6 c/10cm.	18 \varnothing 6 c/10cm.
polimérica	polimérica	polimérica	polimérica	polimérica	polimérica	polimérica

V.2.1 – V.2.2 – V.2.3 – V.2.6



V.2.4 – V.2.5 – V.2.7



OBJETIVOS → ESTADO DEL ARTE → PROGRAMA EXPERIMENTAL

PROG. EXPERIMENTAL. PROGRAMACIÓN

- Programación de ejecución y rotura de las probetas y vigas:

NOMBRE	CANTIDAD DE PROBETAS/VIGAS	DIA HORMIGONADO	DIA DE DESENCOFRADO	DIA DE CURADO	DIA DE ROTURA
E.P_1	2 Probetas cilíndricas	26/04/2013	27/04/2013	27/04/2013	24/05/2013
E.P_2	2 Probetas cilíndricas	29/04/2013	30/04/2013	30/04/2013	27/05/2013
E.P_3	3 Probetas cilíndricas	29/04/2013	30/04/2013	30/04/2013	27/05/2013
V.2.2	1 Viga+2 Cilíndricas+ 2 Rectangulares	02/05/2013	03/05/2013	03/05/2013	30/05/2013
V.2.3	1 Viga+2 Cilíndricas+ 2 Rectangulares	02/05/2013	03/05/2013	03/05/2013	30/05/2013
V.2.4	1 Viga+2 Cilíndricas+ 2 Rectangulares	06/05/2013	07/05/2013	07/05/2013	03/06/2013
V.2.1	1 Viga+2 Cilíndricas+ 2 Rectangulares	06/05/2013	07/05/2013	07/05/2013	03/06/2013
V.2.5	1 Viga+2 Cilíndricas+ 2 Rectangulares	09/05/2013	10/05/2013	10/05/2013	06/06/2013
V.2.6	1 Viga+2 Cilíndricas+ 2 Rectangulares	09/05/2013	10/05/2013	10/05/2013	06/06/2013
V.2.7	1 Viga+2 Cilíndricas+ 2 Rectangulares	09/05/2013	10/05/2013	10/05/2013	06/06/2013

E.P= Ensayos previos

OBJETIVOS → ESTADO DEL ARTE → PROGRAMA EXPERIMENTAL

METODOLOGÍA. MATERIALES



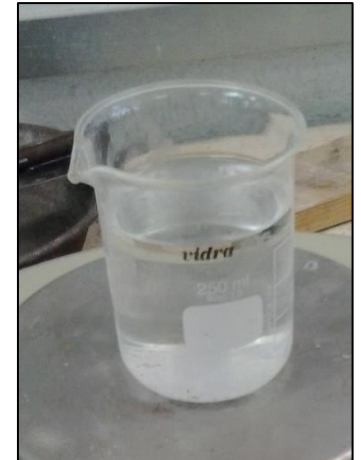
CEMII/B-M (S-L) 42,5R



AGUA



SIKA FIBER T60



SIKA VISCONCRETE 3425



GRAVAS Y ARENA

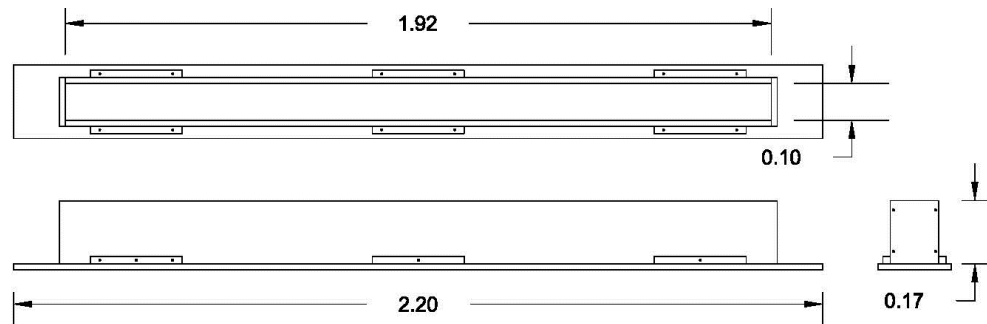


FILLER CALIZO

OBJETIVOS → ESTADO DEL ARTE → PROGRAMA EXPERIMENTAL → METODOLOGÍA

METODOLOGÍA. FABRICACIÓN DE LA VIGA

1.- Encofrado



2.- Armado. Doblado, corte y montaje de las armaduras.



OBJETIVOS → ESTADO DEL ARTE → PROGRAMA EXPERIMENTAL → METODOLOGÍA

METODOLOGÍA. FABRICACIÓN DE LA VIGA

3.- Realización de la amasada



- Cálculo de la humedad
- Corrección de la dosificación
- Pesaje de los materiales
- Realización del hormigón



4.- Verificación de la idoneidad de la amasada



Escurrimiento



Anillo Japonés



Embudo en "V"



Aire ocluido

OBJETIVOS → ESTADO DEL ARTE → PROGRAMA EXPERIMENTAL → METODOLOGÍA

METODOLOGÍA. FABRICACIÓN DE LA VIGA

5.- Hormigonado de vigas y probetas



6.- Desmolde



7.- Curado en cámara húmeda

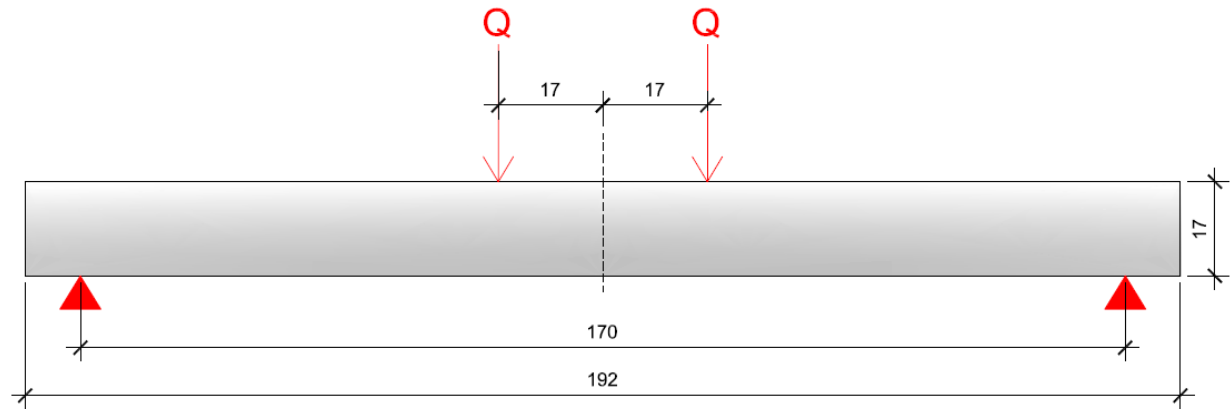


OBJETIVOS → ESTADO DEL ARTE → PROGRAMA EXPERIMENTAL → METODOLOGÍA

METODOLOGÍA. ENSAYO DE LA VIGAS

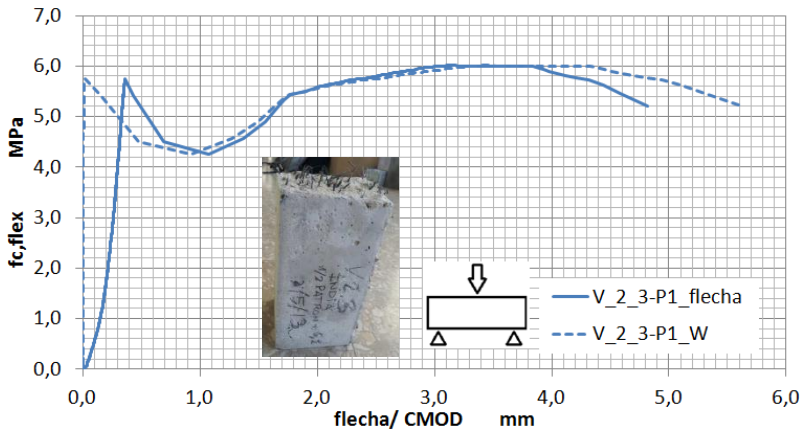
El ensayo de las vigas a flexión que hemos realizado consiste en:

- Una viga biapoyada, con una luz entre apoyos de 170cm.
- Dos cargas aplicadas, a 17cm. del eje de simetría de la viga cada carga.



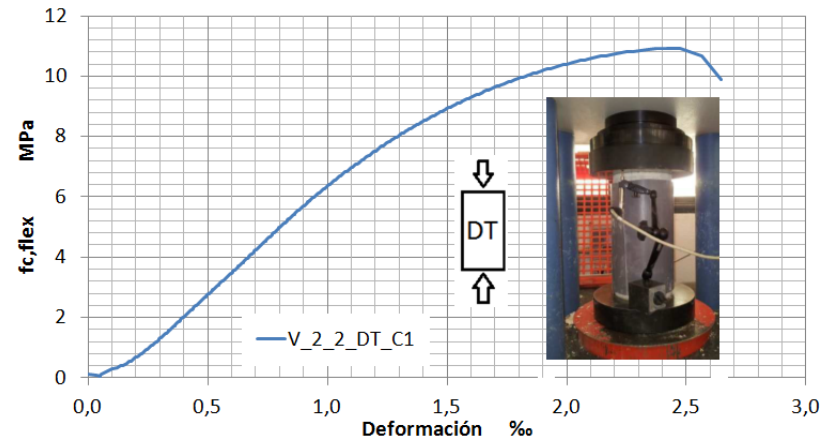
OBJETIVOS → ESTADO DEL ARTE → PROGRAMA EXPERIMENTAL → METODOLOGÍA

RESULTADOS. ENSAYO DE LAS PROBETAS



V_2_3-P1. Patrón + 6,2 kg/m³ T60

- Matriz cementante
- Fuerza máxima: 10,35 kN
- Tensión máxima: 5,75 MPa
- Def. max.: 0,365 mm
- Fibras
- Fuerza máxima: 10,8 kN
- Tensión máxima: 6 MPa
- Def. max.: 3,842 mm

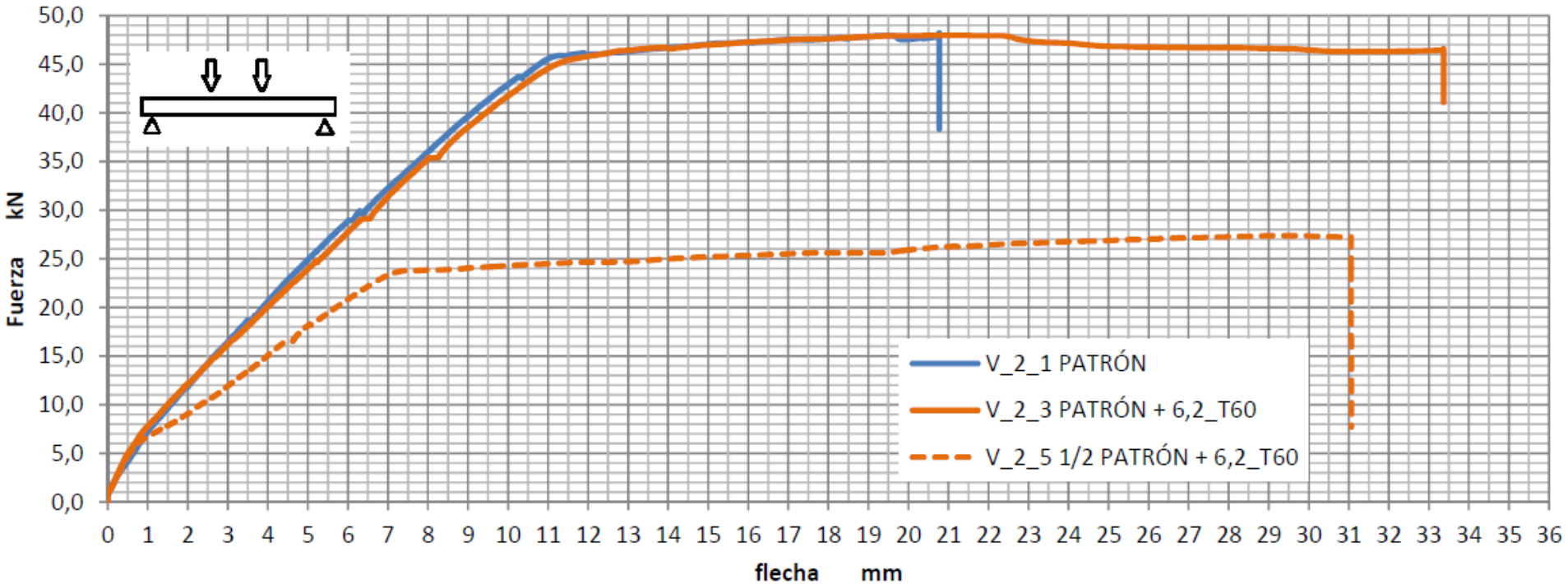


V_2_3_C1_DT. Patrón + 6,2 kg/m³ T60

- Tensión máxima: 10,93 MPa
- Def. max.: 0,742 mm
- Módulo de Young: 30308,67 MPa

OBJETIVOS → ESTADO DEL ARTE → PROGRAMA EXPERIMENTAL → METODOLOGÍA → RESULTADOS

ANÁLISIS DE RESULTADOS. ENSAYO DE LAS VIGAS



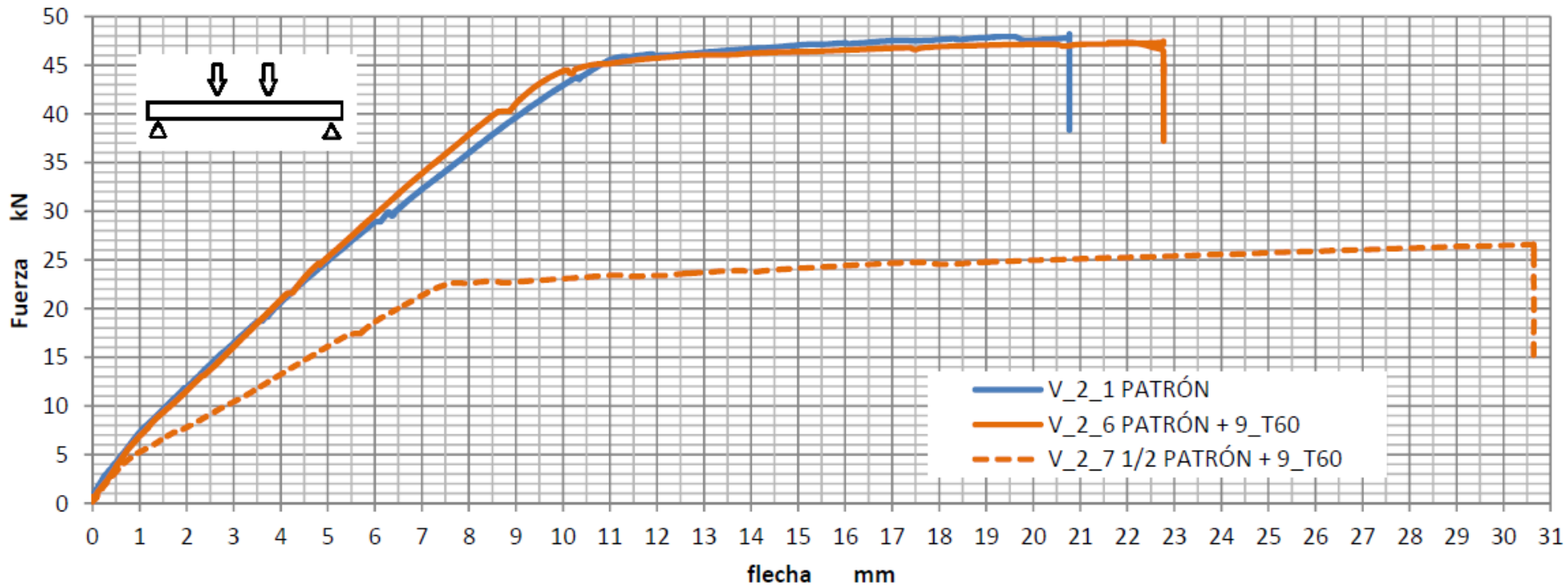
VIGAS	GRÁFICAS FUERZA/DEFORMACIÓN		
	RESILIENCIA (A)	ENDURECIMIENTO (B)	TENACIDAD (A+B)
V_2_1	59,3824	95,9856	155,368
V_2_3	98,145	359,955	458,1
V_2_5	51,7532	307,628	359,3812

Gráfica Fuerza/Deformación

Unidades medidas en kN/mm²

OBJETIVOS → ESTADO DEL ARTE → PROGRAMA EXPERIMENTAL → METODOLOGÍA → RESULTADOS → ANÁLISIS DE RESULTADOS

ANÁLISIS DE RESULTADOS. ENSAYO DE LAS VIGAS



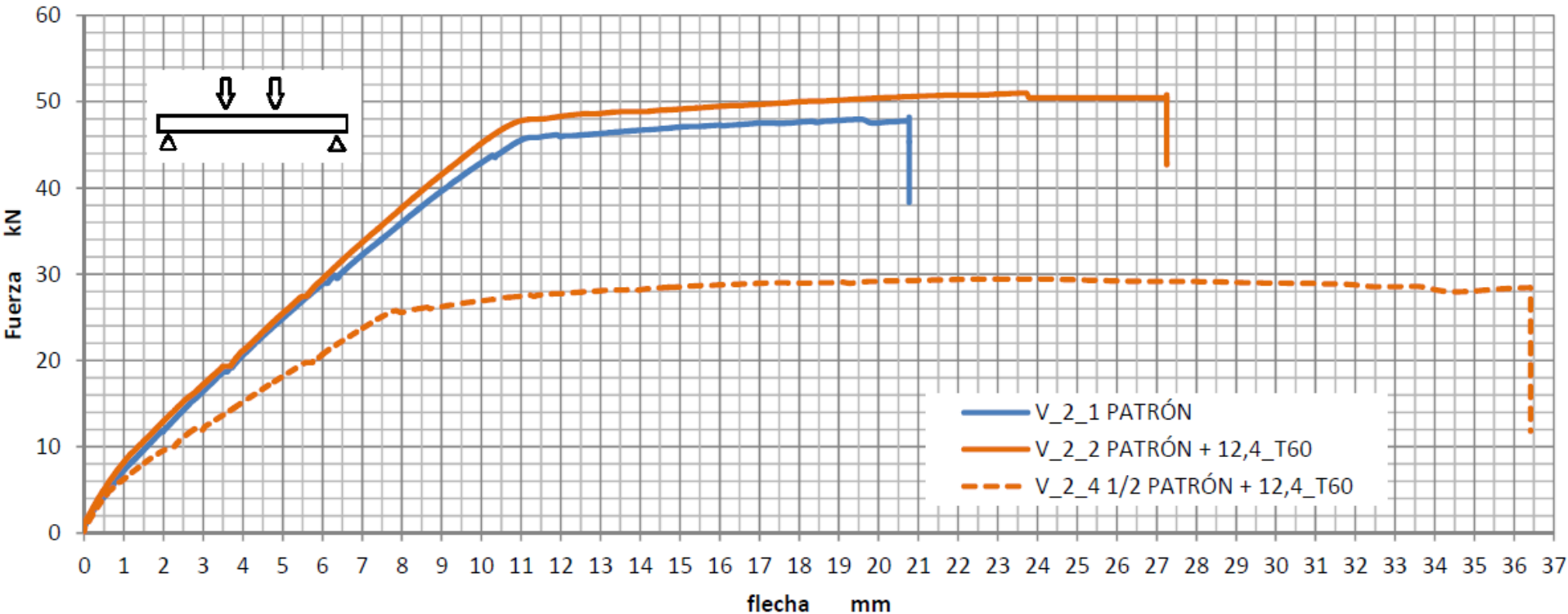
VIGAS	GRÁFICAS FUERZA/DEFORMACIÓN		
	RESILIENCIA (A)	ENDURECIMIENTO (B)	TENACIDAD (A+B)
V_2_1	59,3824	95,9856	155,368
V_2_6	54,0127	128,8671	182,8798
V_2_7	48,8788	285,0087	333,8875

Gráfica Fuerza/Deformación

Unidades medidas en kN/mm²

OBJETIVOS → ESTADO DEL ARTE → PROGRAMA EXPERIMENTAL → METODOLOGÍA → RESULTADOS → ANÁLISIS DE RESULTADOS

ANÁLISIS DE RESULTADOS. ENSAYO DE LAS VIGAS



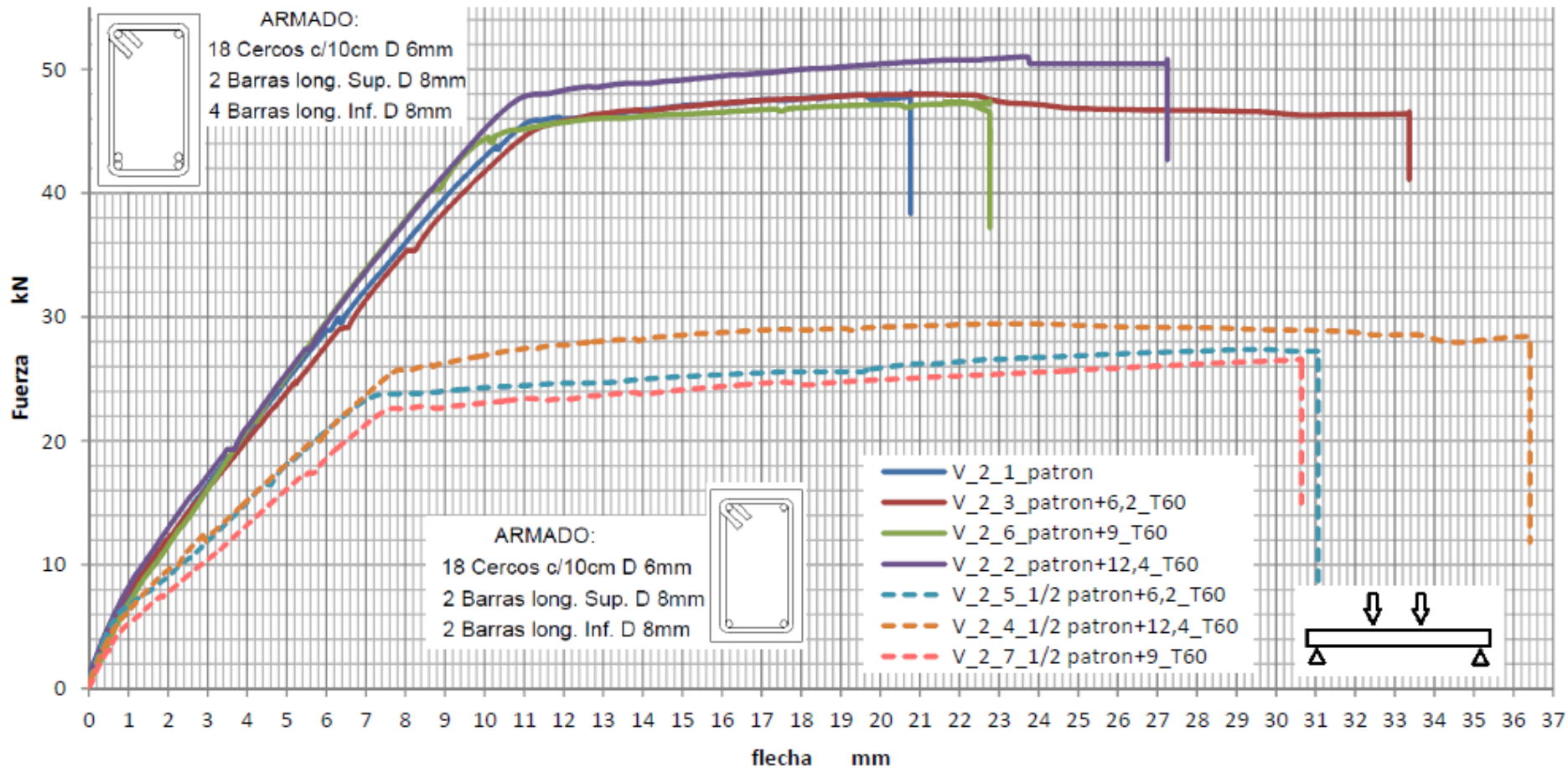
VIGAS	GRÁFICAS FUERZA/DEFORMACIÓN		
	RESILIENCIA (A)	ENDURECIMIENTO (B)	TENACIDAD (A+B)
V_2_1	59,3824	95,9856	155,368
V_2_3	98,145	359,955	458,1
V_2_4	71,1893	508,9832	580,1725

Unidades medidas en kN/mm²

Gráfica Fuerza/Deformación

OBJETIVOS → ESTADO DEL ARTE → PROGRAMA EXPERIMENTAL → METODOLOGÍA → RESULTADOS → ANÁLISIS DE RESULTADOS

ANÁLISIS DE RESULTADOS. ENSAYO DE LAS VIGAS



Gráfica Fuerza/Deformación de todas las vigas realizadas

OBJETIVOS → ESTADO DEL ARTE → PROGRAMA EXPERIMENTAL → METODOLOGÍA → RESULTADOS → ANÁLISIS DE RESULTADOS

ANÁLISIS DE RESULTADOS. ANÁLISIS PRESUPUESTARIO

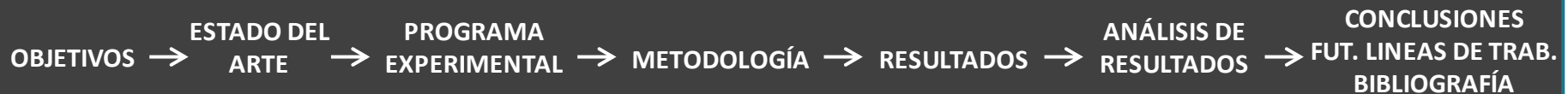
	V.2.1. PATRÓN	V.2.2 PATRÓN + 6,2 kg/m ³	V.2.3 PATRÓN + 12,4 kg/m ³	V.2.4 1/2 PATRÓN + 6,2 kg/m ³	V.2.5 1/2 PATRÓN + 12,4 kg/m ³	V.2.6 PATRÓN + 9 kg/m ³	V.2.7 1/2 PATRÓN + 9 kg/m ³
€/m	85,06	85,60	86,20	84,49	85,08	85,88	84,76

- Árido 12,5mm 18,87 €/Tn (dato obtenido de la base de datos del IVE 2013)
 - Arena 0/2mm 8,09 €/Tn (dato obtenido de la base de datos del IVE 2013)
 - Arena 0/4mm 8,45 €/Tn (dato obtenido de la base de datos del IVE 2013)
 - Filler calizo 76,66 €/Tn (dato obtenido de la base de datos del IVE 2013)
 - Agua 0,01 €/L (dato obtenido de la base de datos del IVE 2013)
 - Encofrado de madera aglomerada cubierta con melanina, tablero de 2100x400x19 mm 6€
 - Barra de acero corrugado de diámetro 6mm 0,85 €/kg. (dato obtenido de la base de datos del IVE 2013)
 - Barra de acero corrugado de diámetro 8mm 0,84 €/kg. (dato obtenido de la base de datos del IVE 2013)
 - Cemento CEMENTVAL CEMII/B-M (S-L) 42,5R 90 €/Tn (precio de suministro de central)
 - Aditivo SIKA VISCONCRETE 3425 0,75 €/kg. (precio de suministro)
 - Fibras poliméricas SIKAFIBBER T60 5 €/kg. (precio de suministro)
- El precio del agua es orientativo y la amortización que se la va a dar a los tableros de madera son de tres y cuatro veces.

OBJETIVOS → ESTADO DEL ARTE → PROGRAMA EXPERIMENTAL → METODOLOGÍA → RESULTADOS → ANÁLISIS DE RESULTADOS

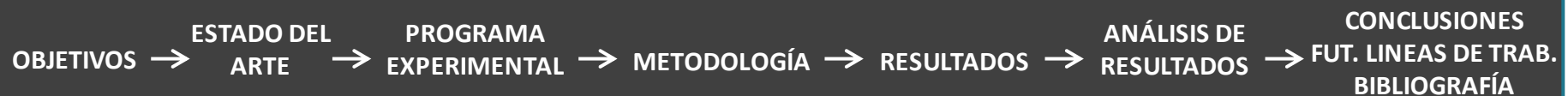
CONCLUSIONES.

1. La cantidad de armadura de **acero** es importante, puesto que ésta trabaja **muy bien a tracción**. Este dato hace que la viga adquiriera una **mayor capacidad de carga en régimen elástico**.
2. Al añadirle **fibras** al hormigón, en los ensayos de las probetas y las vigas, al calcular la **energía que absorbe el material hasta la rotura**, podemos concluir que a **mayor** contenido de fibras en el hormigón la energía absorbida es mayor.
3. Como material y su puesta en obra, creemos que el hecho de que sea un hormigón **autocompactante**, es una ventaja para los hormigones reforzados con fibras poliméricas, puesto que con **el alto contenido de fibras en el hormigón rebajan la trabajabilidad de éste**.
4. Cuando se ejecutan las vigas con la mitad de armadura, la carga máxima y la **rigidez del conjunto** se reduce aproximadamente a la mitad que las vigas realizadas con la misma cantidad de armadura que la viga patrón.
5. También se puede concluir que el hecho de añadirle **fibras** al hormigón, éstas le confieren una **mayor deformación post-rotura**, lo cual una vez rompe el material deforma mucho hasta la rotura total de la viga.
6. Desde el punto de vista económico, el precio de las fibras es algo elevado, observamos que **al añadirle fibras se puede reducir la cantidad de armadura**, con lo que conseguimos un **ahorro económico**.



FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.

- Ensayo del mismo modelo de viga y hormigón con fibras menos utilizadas a día de hoy como: fibras de carbono, fibras metálicas...
- Ensayo de nuestro hormigón HACRF-P aligerado, ya sea mediante árido ligero, aire, poliestireno expandido, etc.
- Ensayo del mismo modelo de viga, introducir mas cemento para conferirle más cohesión y resistencia, en lugar de utilizar los finos.
- Investigar otras formas y longitud de diseño de las fibras poliméricas que consigan coser mejor la matriz cementante entre sí. Una vez diseñadas, fabricarlas y ensayarlas para comparar resultados con las estudiadas en este proyecto.
- Ensayar las mismas vigas de forma que se asemeje a un sismo. Y de esta forma corroborar que la tenacidad que conseguimos alcanzar con las fibras poliméricas es válida también a este tipo de esfuerzos.
- Estudio de otras curvas granulométricas y aditivos a fin de lograr un grado de fluidez mayor y comprobar que es compatible con las fibras.



BIBLIOGRAFÍA.

- GARCIA, T., AGULLÓ, L., AGUADO, A, CANALS, G, Evaluación de la tenacidad en el hormigón proyectado reforzado con fibras poliméricas de alto módulo, artículo en boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio.
- CANOVAS, M.F. Hormigones con fibras: tecnología y propiedades generales. Hormigón y Acero, No. 228-229, pp.167-176, 2003.
- American Concrete Institute. Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete, ACI 544.2R-98. ACI Fannington Hilis, MI, 1999.
- American Concrete Institute. State of art Report on Fiber Reinforced. Concrete, ACI 544.1R-96. ACI Fannington Hilis, MI, 1996.
- PUJADES ALVAREZ, Pablo, Durabilidad del hormigón con fibras de polipropileno, Publicaciones del Departamento de la Ingeniería de la construcción, E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 2009. Tutores: AGUADO DE CEA, Antonio, VANDEWALLE, Marc.
- Norma ACI 544.2R
- CANOVAS, M.F. Hormigón. Colección Escuelas.
- DÍAZ HEREDIA, ELENA. Influencia de diferentes variables en el comportamiento a flexión de secciones de hormigón armado.
- DELIBES LINIERS, ADOLFO Tecnología y propiedades mecánicas del hormigón.
- CEMEX. Piel de hormigón: aspectos técnicos y estéticos del hormigón autocompactante.
- PARKER, HARRY. Diseño simplificado de concreto reforzado
- INTEMAC. Flexión simple en hormigón armado [Vídeo-DVD].
- NORMAS UNE
- NORMATIVA EHE-08
- VVAA, Hormigón proyectado reforzado con fibras poliméricas de alto módulo, Escola Técnica Superior d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya.

