

Ensayos de caracterización de productos prefabricados de hormigón: Vano de construcción de prelosas armadas



Ángel Aragón¹



Mariano Crespo²



Guillermo Aragón³



Juan M. Manso⁴

RESUMEN

Con la entrada en vigor en España del Código Técnico de la Edificación (CTE), es necesario el marcado CE de los productos de construcción que se incorporen con carácter permanente a los edificios. Uno de los requisitos necesarios para que los prefabricadores obtengan el marcado CE de sus productos, es la realización de ensayos para garantizar las características resistentes que figuran en las fichas de autorización. Se han realizado ensayos de flexión y cortante sobre prelosas armadas para determinar los vanos de construcción durante la fase de montaje, y así establecer la distancia máxima entre apeos.

PALABRAS CLAVE

Prelosas armadas, Vano construcción, Apeos, Ensayos de caracterización, Hormigón, Prefabricados.

¹ Universidad de Burgos, Departamento de Ingeniería Civil, 09001 Burgos, España. aragont@ubu.es

² Universidad de Burgos, Departamento de Ingeniería Civil, 09001 Burgos, España. mcrespo@ubu.es

³ Universidad de Burgos, Departamento de Ingeniería Civil, 09001 Burgos, España. garagon@ubu.es

⁴ Universidad de Burgos, Departamento de Ingeniería Civil, 09001 Burgos, España. jmmanso@ubu.es

1. INTRODUCCIÓN

Con la entrada en vigor en España del Código Técnico de la Edificación (CTE) [1], es necesario el marcado CE de los productos de construcción que se incorporen con carácter permanente a los edificios. Uno de los requisitos necesarios para que los prefabricadores obtengan el marcado CE de sus productos, es la realización de ensayos para garantizar las características resistentes que figuran en las fichas de autorización.

A finales del siglo XX, aparece en el mercado un producto industrial que es la prelosa que aporta además de la calidad controlada en una fábrica, unas prestaciones técnicas que reducen los plazos de ejecución de obra aportando economía en el coste final y seguridad en la misma. La prelosa es una placa plana de hormigón armado o pretensado que sirve de encofrado resistente y colaborante para poder ejecutar la losa maciza o aligerada en obra.

Esta compuesta por una lámina de hormigón reforzado con acero corrugado que contribuye al funcionamiento mecánico del forjado, así como de celosía que forma la armadura del nervio y de bovedilla de poliestireno expandido. La prelosa, una vez colocada, servirá de encofrado perdido, lo que evita el entablado total de la planta. Posee una resistencia que da una total seguridad a la hora de desplazarse sobre ella. Su superficie vista es totalmente plana y lisa, que permite tener un buen acabado sin necesidad de falso techo. Se trata, además, de un producto fácil de manipular. Una vez colocado el mallazo de reparto y los negativos se procederá al hormigonado de la capa de compresión.

Los forjados unidireccionales de viguetas están cayendo en desuso. En cambio, los formados por prelosas han tenido un crecimiento moderado, sobre todo en edificios industriales y no residenciales. Hemos observado que a menudo se ha usado esta solución en plantas de aparcamiento. En esos espacios la solución de prelosas posee ventajas sobre la de viguetas, porque el acabado del forjado puede quedar a la vista, sin requerir ningún otro tipo de acabado.

El forjado de prelosa nervada y aligerada se adapta especialmente a edificios en los que se dan luces y/o cargas importantes, aligerando considerablemente el peso propio de la estructura y reduciendo la cuantía de hormigón vertido en la obra. Se trata de forjados aligerados con bovedillas de poliestireno, lo cual da como resultado un forjado ligero y con un alto grado de aislamiento térmico.

También existe la versión al fuego, con la que se obtiene para el forjado una Resistencia al Fuego Normalizada R 120 (EHE) [2] sin ningún tipo de revestimiento adicional.

2. OBJETIVO Y ANTECEDENTES

2.1 Objetivo

El objetivo no es otro que la determinación de los vanos de construcción (distancia entre apeos) para las placas aligeradas o prelosas armadas, durante la fase de construcción. Se trata de optimizar el número de apeos a disponer en obra durante la fase de vertido del hormigón, mientras que la prelosa debe resistir su peso propio, el hormigón vertido y una sobrecarga de construcción de 1 kN/m^2 .

Los criterios para determinar los vanos de construcción han sido los siguientes:

- Resistencia última a flexión
- Resistencia última a cortante
- Rigidez a flexión o deformabilidad

Los ensayos se adaptan a la norma UNE-EN 13747:2006 [3] que rige cual debe ser la distancia entre puntales o soportes temporales del vano de construcción.

2.2 Antecedentes

Anteriormente a la ejecución de los ensayos, se realizó informe técnico con los estudios teóricos para determinar cual es la longitud del vano de construcción en función del tipo de prelosa. Estos análisis se elaboraron para obtener la resistencia última a flexión y cortante.

El procedimiento de cálculo en flexión positiva es determinar cual es la máxima compresión que soporta el redondo superior de la celosía. Se han seguido los criterios de la Norma Española EA-95 [4], que establece para el cálculo a pandeo de piezas sometidas a compresión centrada la siguiente expresión ‘Ec. (1)’:

$$\sigma_u \geq N \frac{\omega}{A} \quad (1)$$

donde:

σ_u , es la resistencia de cálculo del acero

N, es el esfuerzo normal de compresión

A, es el área de la sección bruta de la pieza

ω , es el coeficiente de pandeo, función de la esbeltez mecánica de la pieza “ λ ”, y del tipo de acero.

Para el cálculo del coeficiente de pandeo “ ω ”, la Norma EA-95 utiliza el Método de Dutheil que establece el fallo cuando se alcanza en la fibra más solicitada el límite elástico del material. Se denomina tensión crítica a aquella tensión media que provoca en algún punto de la sección que se alcance el límite elástico. A partir de datos experimentales puede suponerse una imperfección estadística media en forma de senoide que nos permite determinar la expresión del coeficiente de pandeo ‘Ec. (2)’:

$$\omega = 0.5 + 0.65 \left(\frac{\sigma_e}{\sigma_E} \right) + \sqrt{\left[0.5 + 0.65 \left(\frac{\sigma_e}{\sigma_E} \right) \right]^2 - \left(\frac{\sigma_e}{\sigma_E} \right)} \quad (2)$$

donde:

σ_e , es el límite elástico del acero

σ_E , es la Tensión de Euler, cuyo valor se puede calcular según ‘Ec. (3)’:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \quad (3)$$

donde:

E, Módulo de elasticidad del acero

λ , es la esbeltez mecánica de la pieza

Una vez determinado el axil máximo de compresión “N” que soporta el redondo superior, el momento máximo positivo que soporta la prelosa se obtiene directamente de multiplicar el axil máximo por la altura de la celosía.

La longitud de apeo o separación máxima entre sopandas se determina según establece la Norma EFHE [5] en su artículo 16º, teniendo en cuenta que durante el hormigonado en obra la acción característica sobre la prelosa es el peso propio total del forjado y una sobrecarga de ejecución no menor de 1 kN/m².

Los datos utilizados para el cálculo en flexión se recogen en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos cálculos a flexión.

β	Paso Celosía (cm)	Long. Pandeo (cm)	Ancho Prelosa (cm)	Nº Celosías	Límite Elástico (MPa)
1	20	20	120	3	500

Ensayos de caracterización de productos prefabricados de hormigón: Vano de construcción de prelosas armadas

En la Tabla 2 se recogen los datos calculados para flexión de las diferentes posibilidades de fabricación de las prelosas, teniendo en cuenta para calcular la longitud de apeo un coeficiente de mayoración de las cargas de 1.25.

Tabla 2. Resistencia teórica última a flexión.

<i>Forjado (cm)</i>	<i>Peso P. (kN/m²)</i>	<i>H Cel (cm)</i>	$\phi_s = 7 \text{ mm}$		$\phi_s = 8 \text{ mm}$	
			$M_u \text{ (kN}\cdot\text{m)}$	$L_{\text{Apeo}} \text{ (m)}$	$M_u \text{ (kN}\cdot\text{m)}$	$L_{\text{Apeo}} \text{ (m)}$
16+5	3.28	15	1.98	1.57	3.30	2.03
19+5	3.49	18	2.38	1.68	3.96	2.17
21+5	3.64	20	2.64	1.74	4.40	2.25
24+5	3.85	23	3.04	1.83	5.06	2.36
26+5	4.00	25	3.30	1.88	5.50	2.42
29+5	4.21	28	3.70	1.95	6.16	2.51
31+5	4.36	28	3.70	1.92	6.16	2.48
35+5	4.64	28	3.70	1.87	6.16	2.41

La metodología seguida para el cortante es similar, considerando en este caso el coeficiente de esbeltez $\beta = 0.7$, al considerar que la diagonal de la celosía esta empotrada en la prelosa de hormigón y articulada en el nudo superior. En la Tabla 3 se recogen los datos calculados para cortante de las diferentes posibilidades de fabricación.

Tabla 3. Resistencia teórica última a cortante.

<i>Forjado (cm)</i>	<i>Peso P. (kN/m²)</i>	<i>H Cel (cm)</i>	$\phi_s = 4 \text{ mm}$		$\phi_s = 5 \text{ mm}$	
			$V_u \text{ (kN)}$	$L_{\text{Apeo}} \text{ (m)}$	$V_u \text{ (kN)}$	$L_{\text{Apeo}} \text{ (m)}$
16+5	3.28	15	8.38	2.61	19.33	6.02
19+5	3.49	18	6.29	1.87	14.82	4.40
21+5	3.64	20	5.27	1.51	12.52	3.60
24+5	3.85	23	4.13	1.13	9.88	2.72
26+5	4.00	25	3.55	0.95	8.54	2.28
29+5	4.21	28	2.89	0.74	6.97	1.78
31+5	4.36	28	2.89	0.72	6.97	1.73
35+5	4.64	28	2.89	0.68	6.97	1.65

3. MODELO Y MEDIOS DE ENSAYO

3.1 Modelo de Ensayo adoptado

Las placas objeto de ensayo son las denominadas por la empresa como tipo PL-2. Están formadas por una prelosa de hormigón de 5,5 cm de espesor y una anchura de 120 cm. La longitud es variable según las necesidades de la obra. Para determinar la resistencia última a flexión se fabricaron dos piezas de 4,20 m de longitud, y para determinar la resistencia última a cortante se fabricaron otras dos piezas de 2,20 m de longitud.

La tipología PL-2 está compuesta de tres nervios, armados con 3 celosías longitudinales (una por nervio) de 19 cm de altura y 20 cm de paso, más 1 redondo longitudinal de 10 mm de diámetro dispuesto en cada nervio.

El hormigón que se emplea para la fabricación de las prelosas es HA-35. El acero corrugado longitudinal de refuerzo es B500SD, y el correspondiente a la armadura básica electrosoldada en celosía es B500T.

En la Figura 1 se pueden ver todas las características geométricas y las armaduras dispuestas.

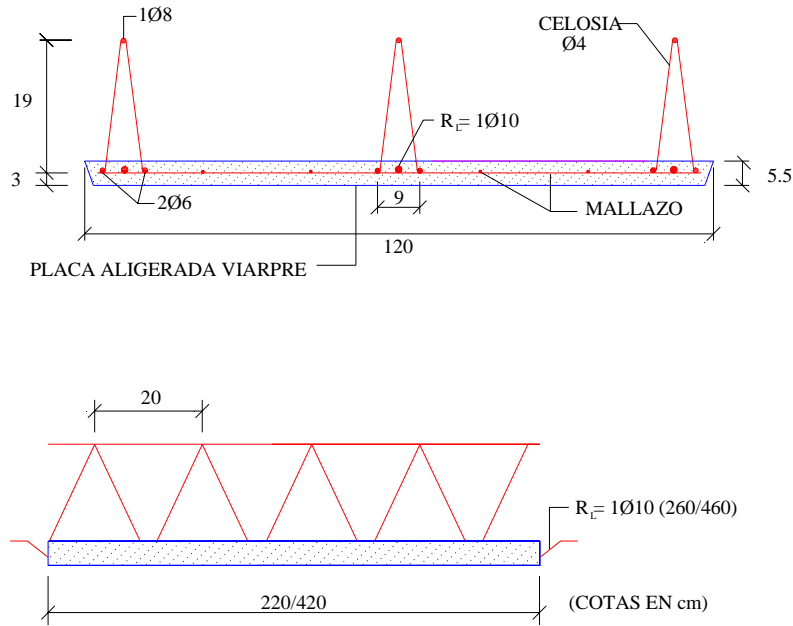


Figura 1. Prelasa tipo PL-2.

El método de ensayo empleado ha sido el de flexión en cuatro puntos, tanto para determinar la resistencia última a flexión como a cortante. El ensayo consiste en apoyar la prelosa en dos apoyos extremos y aplicar dos cargas iguales y equidistantes.

Para determinar la resistencia última a flexión se utilizan piezas largas y se aplican las cargas centradas, lo cual genera una flexión importante con cargas bajas según se muestra en la Figura 2. Se colocan relojes comparadores para poder determinar la rigidez de la pieza.

Para determinar la resistencia última a cortante se utilizan piezas cortas y se aplican las cargas cerca de los apoyos, lo cual genera un cortante importante con flexión baja según se muestra en la Figura 2.

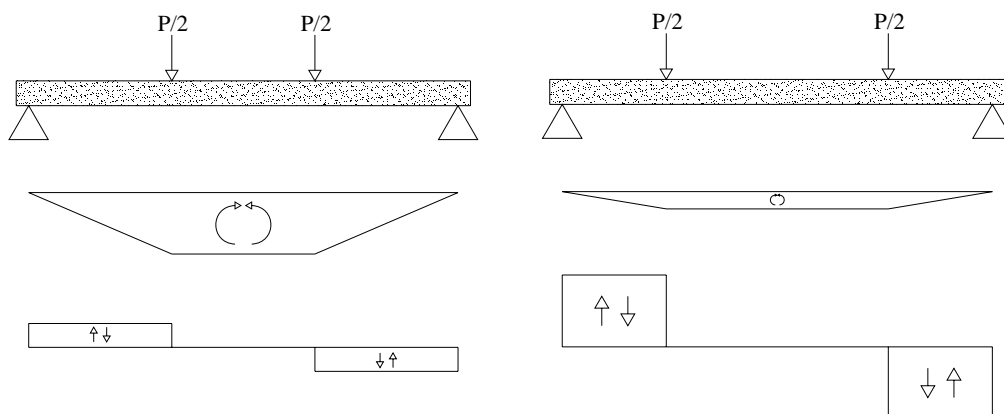


Figura 2. Modelo de ensayo a flexión y cortante.

3.2 Medios Empleados

Los ensayos han sido realizados en el Laboratorio de Grandes Estructuras de Ingeniería Civil ubicado en la Escuela Politécnica Superior “Campus Milanera” de la Universidad de Burgos, situado en la C/ Villadiego s/n 09001 de Burgos.

Ensayos de caracterización de productos prefabricados de hormigón: Vano de construcción de prelosas armadas

A continuación se detallan los equipos y medios utilizados para la realización de los ensayos:

Bloque de servicio hidráulico de la marca MTS, modelo 505.180; con 2 bombas de 100 litros minutos cada una, ampliable hasta 6 bombas y presión variable entre 1 y 21 MPa.

Hard Line. Línea de distribución hidráulica con tubo continuo sin soldaduras.

Manifold. Bloque de servicio hidráulico de la marca MTS, modelo 293.11^a con conexión a dos de servicio y una presión variable entre 1 y 21 MPa. Además dispone de acumuladores para mantener constantes las fluctuaciones de flujo hidráulico.

Actuador de 50 kN de la marca MTS, modelo 244.20; con recorrido del cilindro de 150mm, con control sobre este mediante LVDT interno. Célula de carga de 50 kN. Bases giratorias y con rotula para un mejor ajuste de las piezas.

Software de Control FlextestGT. Se utiliza para el control de los equipos de MTS. Contiene varios programas pero los más importantes son:

Basic TestWare. Es una aplicación de ensayos básicos, tanto estáticos como dinámicos y la adquisición de datos (carga y desplazamiento del actuador).

MultiPurpose TestWare. Una sofisticada aplicación de diseño de procedimientos ensayos, definiendo acciones enlazadas y interrupciones que relacionan actividades entre si.

Para la realización de estos ensayos se ha desarrollado, por parte del equipo investigador, un pórtico de reacción para alojar el actuador de 50 kN 'Fig. 3', así como sendas borriquetas regulables en altura para materializar los apoyos de las prelosas.

Además se han utilizado relojes comparadores para medir la flecha en el punto medio de la prelosa, y una videocámara para grabar los ensayos y poder visualizarlos para su análisis.



Figura 3. Pórtico de reacción, actuador de 50 kN y Borriquetas regulables.

4. DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Se han realizado cuatro ensayos sobre las prelosas tipo PL-2 (19 + 5), dos correspondientes a la resistencia última a flexión y otros dos para cortante. Durante la realización de los ensayos de flexión, también se determinó la rigidez de la prelosa mediante la medición de la flecha en el punto medio con relojes comparadores.

El día 22 / 08 / 2007 se realizaron los dos ensayos correspondientes a la determinación de la resistencia última a cortante, con los siguientes parámetros de ensayo 'Fig. 4':

Ensayo 1º: Distancia entre apoyos 180 cm

Aplicación de las cargas a 70 cm de los apoyos (70 + 40 + 70 cm)

Ensayo 2º: Distancia entre apoyos 180 cm

Aplicación de las cargas a 30 cm de los apoyos (30 + 120 + 30 cm)

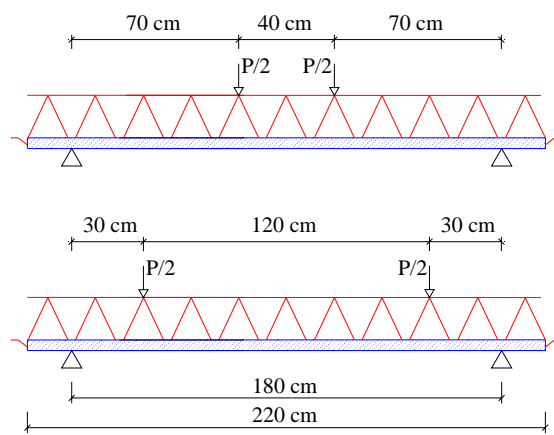


Figura 4. Descripción ensayos a cortante 1º y 2º.

El día 24 / 08 / 2007 se realizaron los dos ensayos correspondientes a la determinación de la resistencia última a flexión así como la rigidez o deformabilidad, con los siguientes parámetros de ensayo 'Fig. 5':

Ensayo 3º: Distancia entre apoyos 380 cm

Aplicación de las cargas a 150 cm de los apoyos (150 + 80 + 150 cm)

Ensayo 4º: Distancia entre apoyos 380 cm

Aplicación de las cargas a 130 cm de los apoyos (130 + 120 + 130 cm)

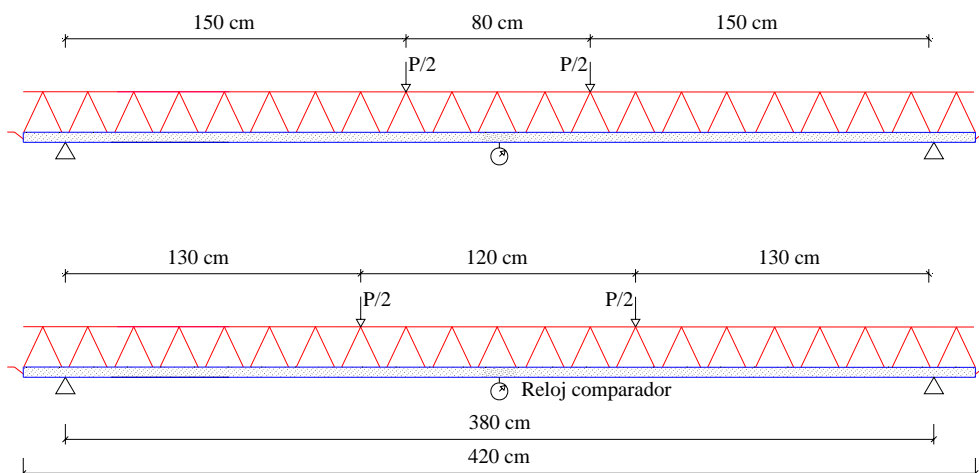


Figura 5. Descripción ensayos a flexión 3º y 4º

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 Datos esperados en los ensayos

Teniendo en cuenta los valores de los ensayos de tracción de las armaduras empleadas en los modelos y la rotura a compresión de las probetas cilíndricas de hormigón (Tabla 4), se han vuelto a calcular los valores esperados para el momento y el cortante a resistir por la pieza.

Tabla 4. Resistencia a tracción de las barras y compresión del hormigón.

	$\varnothing 8 \text{ mm}$	$\varnothing 4 \text{ mm}$	Hormigón
Probeta 1	498.8	752.1	35.2
Probeta 2	498.0	762.2	36.3
Probeta 3	508.3	782.3	34.7
Valor Medio (MPa)	501.7	765.6	35.4

Para el caso del momento flector, el límite elástico del redondo superior de 8 mm prácticamente coincide con el estimado de 500 MPa y el valor esperado será de 3.96 kN·m, según se puede ver en la Tabla 2 para un Forjado de 19 + 5.

Sin embargo, el límite elástico del redondo de las diagonales de 4 mm arroja un valor muy superior de los 500 MPa estimados. El valor del cortante último esperado considerando un límite elástico de 765.6 MPa, aumenta ligeramente hasta 6,4 kN.

5.2 Resultados de los ensayos

En los dos primeros ensayos a cortante se produce el pandeo de las celosías extremas ‘Fig. 6’ para los valores de 25.4 y 26.2 kN de carga aplicada por el actuador. El valor del cortante último resistido por la prelosa tipo PL-2 sera de $V_u = (25.4 + 26.2) / 4 = 12.9 \text{ kN}$, muy superior al esperado de 6.4 kN.



Figura 6. Pandeo diagonales extremas de la celosía en el ensayo a cortante.

En la Figura 6 se puede apreciar como el pandeo de la celosía corresponde más con un modelo biempotrado en la prelosa de hormigón y en el nudo superior con la armadura longitudinal. Será más correcto considerar el coeficiente de esbeltez $\beta = 0.5$, lo que aumenta el valor del cortante último esperado hasta 12.09 kN muy similar al obtenido en los ensayos.

En la Figura 7 se representan las curvas correspondientes a la Fuerza (kN) y el Desplazamiento (mm) realizados por el actuador durante el 2º ensayo. El pico en la curva de Fuerza representa el pandeo de las diagonales de la celosía.

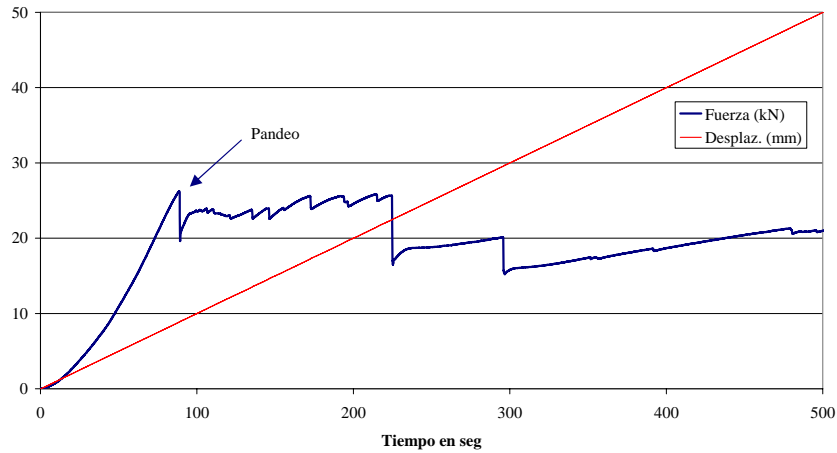


Figura 7. Gráfica 2º ensayo. Resistencia última a cortante.

En los dos últimos ensayos a flexión se produce el pandeo del redondo superior de la celosía extremas 'Fig. 8' para los valores de 5.7 y 6.8 kN de carga aplicada por el actuador. El valor del momento último resistido por la prelosa tipo PL-2 será de $M_u = 0.5 \times 5.7 \text{ kN} \times 1.5 \text{ m} = 4.3 \text{ kN}\cdot\text{m}$ y $M_u = 0.5 \times 6.8 \text{ kN} \times 1.3 \text{ m} = 4.4 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 'Fig. 5', muy similares al esperado de $3.96 \text{ kN}\cdot\text{m}$.

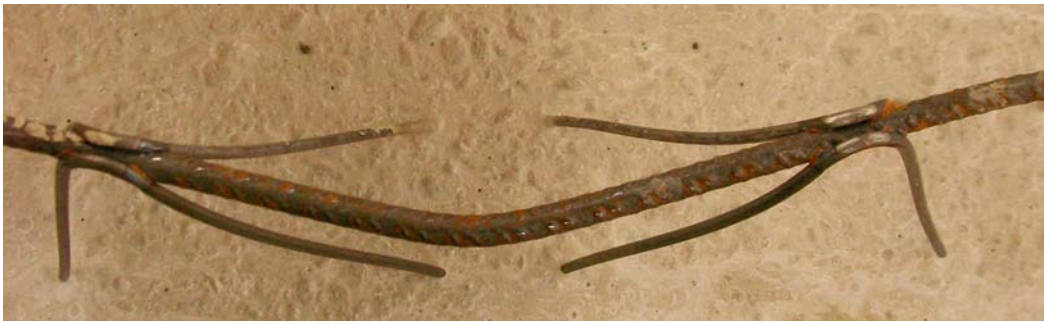


Figura 8. Pandeo redondo superior de la celosía en el ensayo a flexión.

En la Figura 9 se representan las curvas correspondientes a la Fuerza (kN) y el Desplazamiento (mm) realizados por el actuador durante el 4º ensayo. El primer pico de la curva de Fuerza representa la fisuración del hormigón de la prelosa, y el segundo pico el pandeo del redondo superior de la celosía.

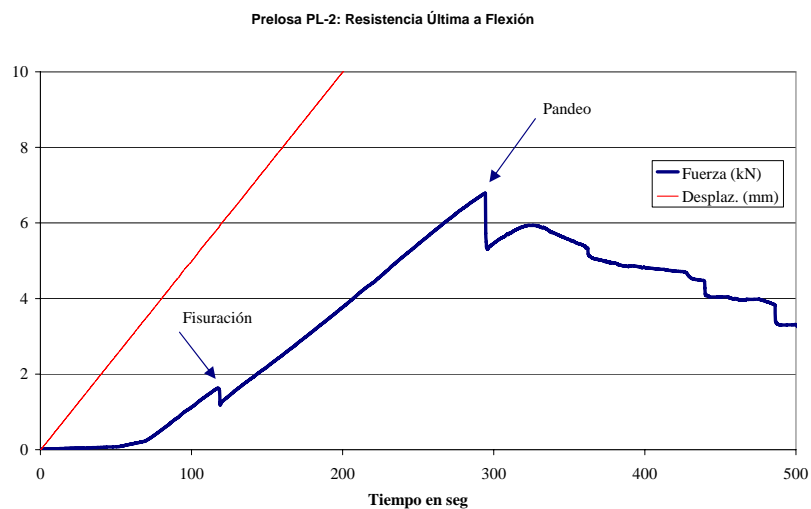


Figura 9. Gráfica 4º ensayo. Resistencia última a flexión.

6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos para la resistencia última a flexión son muy similares y algo superiores a los teóricos esperados, pudiendo dar por buenos dichos valores. El coeficiente de esbeltez adoptado ($\beta = 1$) se corresponde con la forma de pandeo de las barras superiores observada en los ensayos de flexión 'Fig. 8'.

Los resultados obtenidos para la resistencia última a cortante son bastante superiores a los teóricos esperados, del orden de dos veces, pudiendo reajustar dichos valores con un coeficiente de esbeltez " β " más pequeño. La forma de pandeo observada en los ensayos de cortante se aproxima más al caso biempotrado con coeficiente $\beta = 0.5$, cuyos valores corregidos se recogen en la Tabla 5.

Tabla 5. Resistencia teórica última a cortante con $\beta = 0.5$.

<i>Forjado</i> (cm)	<i>Peso P.</i> (kN/m ²)	<i>H Cel</i> (cm)	$\phi_s = 4 \text{ mm}$		$\phi_s = 5 \text{ mm}$	
			V_u (kN)	L_{Apeo} (m)	V_u (kN)	L_{Apeo} (m)
16+5	3.28	15	15.91	4.96	35.66	11.11
19+5	3.49	18	12.07	3.59	28.00	8.31
21+5	3.64	20	10.16	2.92	23.87	6.86
24+5	3.85	23	8.00	2.20	19.01	5.23
26+5	4.00	25	6.90	1.84	16.48	4.40
29+5	4.21	28	5.62	1.44	13.50	3.45
31+5	4.36	28	5.62	1.40	13.50	3.36
35+5	4.64	28	5.62	1.33	13.50	3.19

AGRADECIMIENTOS

Las piezas ensayadas, fueron fabricadas por la empresa Forjados VIARPRE de Burgos, bajo la supervisión de D. Eladio Gómez Hurtado, que además colaboró en el diseño y transporte de las mismas. Nuestro agradecimiento a su desinteresada colaboración y personal de la empresa. También agradecer la colaboración de los miembros del Grupo de Investigación en Tecnología del Hormigón Estructural (GITHE) de la Universidad de Burgos.

REFERENCIAS

- [1] CTE "Código Técnico de la Edificación". Ministerio de Vivienda, 2006.
- [2] EHE "Instrucción de Hormigón Estructural". Ministerio de Fomento, 1998.
- [3] UNE-EN 13747:2006 "Ensayo para determinar los vanos de construcción".
- [4] EA-95 "Estructuras de acero en edificación" – Parte 3.2 Piezas de directriz recta sometidas a compresión. Ministerio de Fomento. Dirección General de la Vivienda y el Urbanismo, 1996, 133 p.
- [5] EFHE " Instrucción para el proyecto y la ejecución de forjados unidireccionales de hormigón estructural realizados con elementos prefabricados " - Artículo 16.1 Condiciones de apuntalado y sopandado. Ministerio de Fomento, 2003, 49 p.