

Ensayos a cortante y punzonamiento sobre un puente antiguo de hormigón armado sobre el río Anoia en Gelida

Punching and shear tests on an old reinforced concrete bridge over the Anoia river in Gelida

Antonio Marí Bernat^{*, a}, Pablo G. Fernández Sánchez^b, Eva Oller Ibars^c, Valentín

Aceña Ramos^d, Tomás García Vicente^e, Noemí Duarte Gómez^f

^a Ingeniero de Caminos, MSc, PhD. Catedrático. Universitat Politècnica de Catalunya. antonio.mari@upc.edu

^b Ingeniero de Caminos, MSc. Universitat Politècnica de Catalunya. Doctorando. pablo.gonzalo.fernandez@upc.edu

^c Ingeniero de Caminos, MSc, PhD. Profesor Agregado. Universitat Politècnica de Catalunya. eva.Oller@upc.edu

^d Ingeniero de Caminos, MSc. Director planificación infraestructuras. Diputació de Barcelona. ot.planifac@diiba.cat

^e Ingeniero de Organización industrial, MSc. Director laboratorio. Universitat Politècnica de Catalunya. tomas.garcia@upc.edu

^f Ingeniero de Caminos, MSc. Investigadora. Universitat Politècnica de Catalunya. noemi.duarte@upc.edu

RESUMEN

Se presentan los estudios llevados a cabo sobre el tablero de un puente de hormigón armado, construido en 1929 en Gelida (Barcelona) sobre el río Anoia, formado por 11 vanos isostáticos de 10,5 m de luz, con vigas sección en Π , armadas con barras lisas levantadas y cercos. Se han realizado ensayos de cortante sobre vigas en T y de punzonamiento en la losa superior, así como predicciones teóricas de los resultados experimentales. La estructura ha mostrado gran resistencia frente a sollicitaciones tangentes y gran rigidez, pese a la heterogeneidad del hormigón, del uso de barras lisas y de la presencia de corrosión local, satisfaciendo los requisitos de seguridad y aptitud al servicio establecidos en las normativas actuales

ABSTRACT

The studies carried out upon the deck of a reinforced concrete bridge, built in 1929 in Gelida (Barcelona), over the Anoia river, are presented. The bridge covers 11 spans, 10.5 m long each, with simply supported beams with Π cross-section, reinforced with smooth bars inclined near the supports and stirrups. Shear tests on T beams and punching tests on the top slab tests have been performed, as well as theoretical predictions of the experimental results. The structure has shown high strength and stiffness, despite the heterogeneity of the concrete, the use of smooth bars and the presence of local corrosion, satisfying the safety and serviceability requirements of current design codes.

PALABRAS CLAVE: Puentes antiguos, hormigón armado, ensayo, cortante, punzonamiento.

KEYWORDS: Old bridges, reinforced concrete, long scale tests, strength, shear, punching

1. Introducción

Con el paso del tiempo va creciendo y envejeciendo el parque de infraestructuras del transporte, de forma que actualmente existen en servicio numerosos puentes construidos en los inicios del hormigón armado, con materiales, técnicas constructivas y esquemas estructurales

muy diferentes a los actuales. Si bien muchos de estos puentes han mostrado escasos signos de deterioro o disfunción, no es bien conocida su resistencia frente a las cargas del tráfico actuales, ni si satisfacen los requisitos de seguridad y aptitud al servicio establecidos en las normativas

actuales. La evaluación estructural de los puentes existentes no debe hacerse con los mismos formatos de seguridad y métodos de cálculo utilizados para el proyecto de nuevas estructuras. Si así se hiciera, se considerarían obsoletos muchos puentes que realmente están en condiciones de seguir en servicio, con el injustificado e inmenso coste económico que ello supondría. Por ello, en la evaluación de puentes existentes, se debe tener en cuenta que es posible conocer, mediante inspecciones y ensayos sobre testigos, muchos parámetros que afectan a la respuesta estructural, tales como la geometría, la disposición aproximada de las armaduras, las características de los materiales o el estado de deterioro, entre otros. Todo ello puede llevar a reducir las incertidumbres y, por tanto, los coeficientes de seguridad a aplicar para obtener el índice de fiabilidad requerido. Por otra parte, recientemente se han desarrollado modelos teóricos, basados en la mecánica del hormigón armado, capaces de predecir con mejor aproximación que los métodos de diseño, la resistencia a cortante y punzonamiento de tales estructuras. Además, en algunos casos, es posible realizar pruebas de carga sobre elementos del puente, y análisis estructurales sofisticados para evaluar su resistencia y funcionalidad.

El trabajo que aquí se presenta, está directamente relacionado con los aspectos anteriores y se enmarca en un proyecto de investigación recientemente finalizado titulado “Evaluación de la capacidad resistente frente a esfuerzos tangentes de estructuras de hormigón mediante modelos mecánicos, para la extensión de su vida útil” (HORVITAL).

En este contexto, se presentan en esta ponencia los estudios realizados sobre el puente construido en 1929 sobre el río Anoia, en la carretera BV-2249 de Gelida a Sant Llorenç d’Hortons (Barcelona), el cual ha sido rehabilitado por la Diputación de Barcelona para su adecuación geométrica y para que sea resistente al tráfico actual [1].



Figura 1. Vista general del puente estudiado.

Su tablero, que ha sido sustituido por uno nuevo, consistía en 11 vanos isostáticos de luces entre 10 y 10.5m, constituidos por una viga en “pi” de hormigón armado, de 5m de anchura, 1.08 m de canto, dos almas de 0.36 m de espesor con cartelas superiores, con una separación libre de 1.84 m y una losa superior de 0.16 m de espesor medio. La armadura está constituida por barras lisas, existiendo barras longitudinales levantadas 45° y armadura vertical para resistir el cortante, ver Figuras 2 y 3.

La construcción del puente se inició en mayo de 1926 y entró en servicio dos años más tarde, sin embargo, partes del puente fueron destruidas durante la guerra civil española y fue reconstruido entre los años 1941 y 1942. Dada su escasa anchura, el puente tenía restringido el servicio a un único carril de tráfico con el paso de vehículos regulado mediante semáforos.

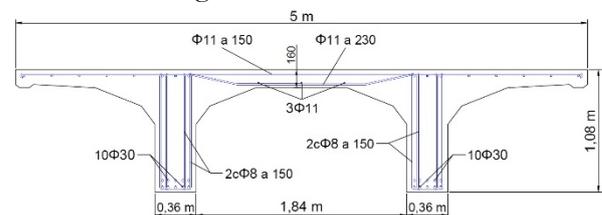


Figura 2. Geometría y armado sección transversal.

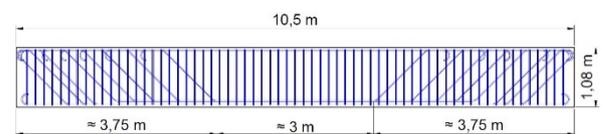


Figura 3. Geometría y armado sección longitudinal.

La Diputación de Barcelona (DIBA), propietaria de la infraestructura, estaba interesada en conocer la capacidad resistente del tablero, a fin de disponer de una referencia para otros puentes antiguos similares. A tal fin la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), en colaboración con DIBA, ha llevado a cabo una investigación teórica y experimental sobre partes del tablero, extraídas mediante corte longitudinal y transversal de las vigas en Pi.

Se ha caracterizado la geometría y armado de las piezas, las características mecánicas del hormigón y de las armaduras. Se ha llevado a cabo una campaña experimental de ensayos a cortante de vigas en T y de punzonamiento de la losa entre almas, obteniendo curvas carga - desplazamiento, patrones de fisuración y formas de rotura.

Previamente se han realizado predicciones de los resultados experimentales mediante cálculos basados en las formulaciones incluidas en normativas, en simulaciones numéricas y mediante el modelo de resistencia a cortante y a punzonamiento CCCM, adaptado al caso de armaduras inclinadas, especialmente adecuado para estructuras existente. Los ensayos permitieron conocer el comportamiento, estimar la resistencia de este tipo de estructuras y validar los modelos teóricos.

2. Campaña de Ensayos

2.1. Geometría de las piezas ensayadas

Por razones de limitación de la carga a manipular con el puente grúa del Laboratorio de Tecnología de Estructuras (100 kN), se decidió cortar las vigas en piezas de tres tipos: 1) segmentos con sección en pi de longitud limitada, obtenidos mediante corte transversal, para ensayos de punzonamiento, ver figura 4;

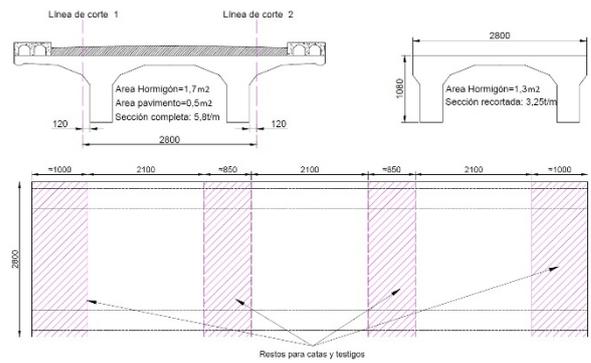


Figura 4. Cortes en la viga para obtener las piezas a ensayar a punzonamiento.

2) segmentos de viga con sección en T de longitud limitada, obtenidos mediante corte longitudinal y transversal, para ensayos de cortante, ver figura 5;

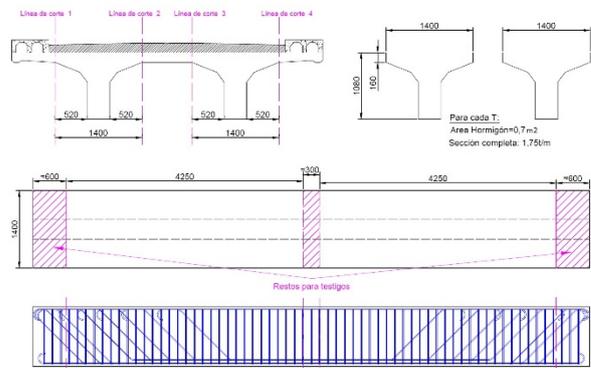


Figura 5. Cortes en la viga para obtener las piezas a ensayar a cortante.

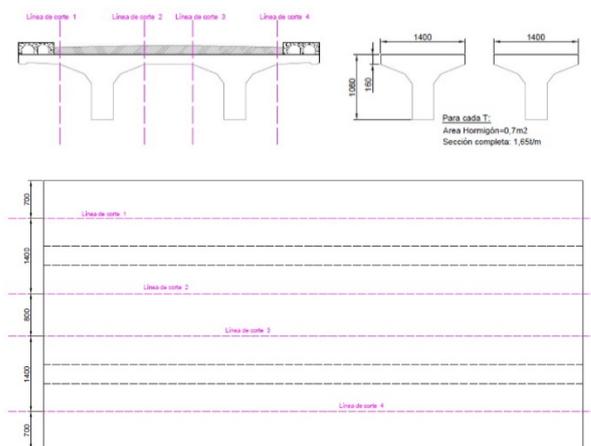


Figura 6. Cortes en la viga para obtener las vigas en T completas.

2.2. Caracterización de los materiales

De los restos resultantes de los cortes transversales, realizados, se extrajeron testigos para caracterizar el hormigón, tanto de la zona central como de la zona de los extremos, como puede verse en la figura 7. Para ello se realizó una cata longitudinal para dejar a la vista la armadura transversal y poder extraer testigos de hormigón que no tuvieran trozos de armadura.



Figura 7. Testigos extraídos de la zona central del vano destinado a las piezas T de longitud limitada.

En general el hormigón presentaba un buen aspecto, aunque heterogéneo, sobre todo debido a la presencia de áridos muy gruesos en algunos puntos. Por su parte, las armaduras mostraban una fina capa de corrosión en la interfaz en contacto con el hormigón, pero su interior se encontraba en buen estado. (ver figuras 8 y 9). Se extrajeron un total de 17 testigos cilíndricos de hormigón de dimensiones 75 x 150 mm. Se realizaron 5 ensayos de módulo de elasticidad, antes de romper todos los testigos a compresión. Los resultados obtenidos en los 5 ensayos de módulo fueron bastante similares, no siendo así en los ensayos de compresión, donde se obtuvieron valores bastante diferentes en función de la zona y la viga de la que habían sido extraídos.

Para la caracterización del acero, se tomaron únicamente muestras de la armadura transversal, ya que la armadura longitudinal era de un diámetro superior al máximo que se puede ensayar en el laboratorio de estructuras de la UPC. Para su extracción, se repicó el hormigón de una de las almas de una pieza ya ensayada a

punzonamiento, y una vez se dejó el acero a la vista, se procedió a su corte con una sierra radial. Los resultados medios obtenidos para ambos materiales se muestran en la Tabla 1.



Figura 8. Diferentes tamaños de árido presentes en el hormigón.

Tabla 1. Resultados de la caracterización del hormigón y el acero

Material	Tensión plastificación (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)
Hormigón	$f_c = 15,7$	$E_c = 24024$
Acero	$f_y = 249,2$	$E_s = 201054$



Figura 9. Estado de las armaduras en el interior del hormigón.

En el pliego de condiciones del proyecto original se especificaban las resistencias de proyecto de ambos materiales, siendo de 20 MPa en el caso del hormigón y de 240 MPa en el caso del acero.

2.3. Ensayos de punzonamiento de la losa

Las tres piezas a ensayar tenían 2,1 m de longitud y fueron sometidas a una carga puntual en el centro de la losa superior, utilizando una placa de carga de dimensiones 145x145x30 mm. La carga se introdujo mediante un gato hidráulico con control de desplazamiento, de 1000 kN de capacidad, utilizando el pórtico de carga anclado a la losa del LTE. Para estudiar la influencia de la coacción al giro de las almas, se dispusieron diferentes tipos de apoyo en cada una de las piezas.

En la primera pieza se dispuso bajo una de las almas, además de una banda elastomérica, otra de teflón, lo que permitió el deslizamiento horizontal hacia afuera y la rotación de las almas (ver figura 10). Se buscaba representar una zona muy poco coaccionada, como es el caso del centro de luz. Esta pieza rompió por flexión bajo una carga de 124,4 kN, dado que la armadura transversal era muy escasa y que, al no haber coacción en la base de las almas, no existía esfuerzo axial de compresión en la losa.



Figura 10. Apoyo de neopreno sobre teflón bajo una de las almas.

La figura 11 muestra la rotura de la pieza, donde se observa la fisura de flexión y el deslizamiento de la armadura lisa en la misma.



Figura 11. Vista inferior de la pieza 1 al final del ensayo.

La segunda pieza se apoyó solamente en una banda de neopreno, pero sin teflón, logrando así una coacción parcial al desplazamiento de la base de las almas y a la rotación de éstas. La reacción horizontal generada en la base produjo un empuje al vacío y salto del hormigón del recubrimiento. La rotura también se produjo por flexión, para una carga de 223,8 kN, si bien bajo una carga mayor, debido a la compresión axial y al momento negativo, en sentido transversal, generados en la losa por efecto de la reacción horizontal en la base. Este ensayo trataba de reproducir el efecto de una coacción parcial al giro de las almas, que podría tener lugar, por ejemplo, a cuartos de la luz. La figura 12 muestra la pieza rota por flexión y la fisura generada, menos abierta que en el caso 1.



Figura 12. Vista inferior de la pieza 2 al final del ensayo.

La tercera pieza se ensayó para representar el comportamiento de la zona próxima a los apoyos, donde la coacción a la rotación de las

almas es casi total. Para ello se dispusieron dos barras Dywidag de 40 mm de diámetro, uniendo ambas almas cerca de su base (Fig. 13). En este caso, la rotura se produjo por punzonamiento, dado que tanto el esfuerzo axial de compresión como el momento flector negativo introducido en la losa redujeron enormemente la flexión en la zona central y evitaron la rotura por flexión, es decir, actuaron como un pretensado exterior al tensarse para impedir el desplazamiento de la base de las almas.



Figura 13. Barras Dywidag restringiendo el movimiento de las almas.

En la figura 14 se observa la rotura por punzonamiento de la losa, bajo una carga de 338,0 kN, superior a las dos anteriores



Figura 14. Vista inferior de la pieza 3 al final del ensayo.

La figura 15 muestra las curvas carga-desplazamiento de los tres ensayos, observándose claramente la diferencia en la ductilidad de las tres formas de rotura.

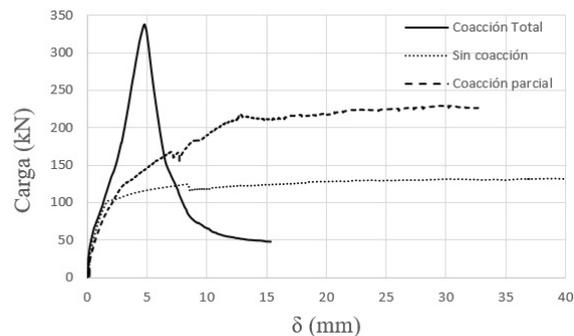


Figura 15. Curvas carga-desplazamiento de los 3 ensayos.

2.4. Ensayos de cortante sobre piezas cortas

Mediante corte longitudinal en la zona central de la sección en Pi se obtuvieron 2 vigas en T, de las que se extrajeron 4 piezas sensiblemente iguales de aproximadamente 4.20m de longitud, mediante cuatro cortes transversales. Dos cortes sirvieron para eliminar las zonas de los extremos de las vigas, que habían sido dañadas por los taladros realizados para los micropilotes de refuerzo de la cimentación. Los otros dos cortes transversales se realizaron simétricamente cerca del centro de la viga, dejando una zona central para extracción de testigos. Las piezas a ensayar tenían, por tanto, un extremo con barras levantadas más cercos y el otro solamente con cercos, como indica la figura 16.

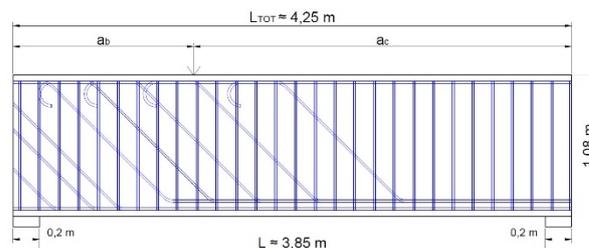


Figura 16. Geometría, armado y esquema de carga de las vigas T cortas.

Las limitaciones de peso, y por tanto de longitud de las piezas, dieron lugar a que en todos los casos la relación entre las luz de cortante y el canto útil, a/d , fuera menor que 2.5, lo que daba lugar a la generación de efecto arco. El canto útil de todas las vigas era de 985 mm, en la zona sin levantar barras. Para estudiar este

efecto en las zonas con y sin barras levantadas, se plantearon diversas posiciones de la carga, como indica la tabla 2, donde también consta la carga última y el tipo de rotura.

Tabla 2. Posición de la carga, carga última y tipo de rotura en los ensayos a cortante sobre piezas cortas.
B=Zona barras, C= Zona Cercos. Unidades mm y kN

Viga	L _{TOT}	L	a _b	a _c	a/d	P _{max}	V _u	Carga	Rotura
T1	4250	3880	1280	2600	1.30	1734	1162	B	Flexión
T2	4200	4000	1680	2320	1.70	1440	835	C	Flexión
T3	4220	4020	2530	1490	1.51	1270	799.2	C	Cortante
T4	4200	4000	2515	1485	1.51	1049	659.8	C	Cortante

Dado que la carga última estimada para estas vigas superaba la capacidad de carga del pórtico, se decidió introducir la carga puntual mediante barras Diwidag ancladas a la losa de carga, perfiles metálicos y utilizando cuatro gatos huecos de 600 kN de capacidad atravesados por las barras.

La figura 17 muestra el estado de las piezas en el momento de la rotura, observándose que las piezas T1 y T2 (la primera con carga más cerca del apoyo con barras levantadas y la otra con carga centrada) rompieron por flexión justo después del punto donde se levantaban las barras longitudinales. Ello se explica al quedar menguada la cuantía de armadura longitudinal al levantar las barras y, además, se vio favorecido por la reducida relación luz de cortante/canto de la pieza, que favoreció el efecto arco-tirante. Las piezas T3 y T4, con la carga más próxima al apoyo con solo cercos, rompieron por cortante, quedando muy deteriorado el nudo del apoyo.



Figura 17. Fisuración en rotura en los 4 ensayos.

La figura 18 muestra las curvas carga-desplazamiento de las 4 roturas, donde se observa la gran ductilidad de las roturas de

flexión, quizás amplificada por el deslizamiento de las armaduras y muy superior a la rotura por cortante.

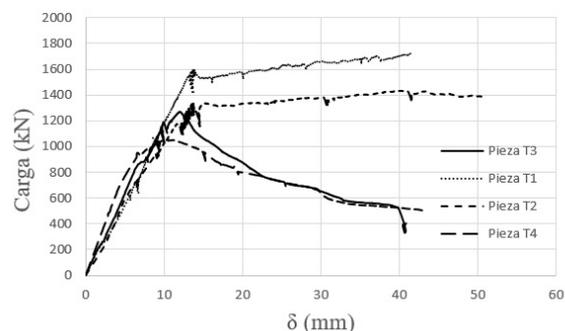


Figura 18. Curvas carga-desplazamiento de los 4 ensayos.

Durante el ensayo se observó claramente el deslizamiento de las barras longitudinales de flexión en la zona donde solo había cercos (Figura 19). Este hecho es debido a que, en el apoyo situado en la zona de cercos, la armadura longitudinal no tenía anclaje suficiente, lo que influyó en la resistencia de las piezas.



Figura 19. Deslizamiento de la armadura longitudinal.

2.5 Ensayos a cortante sobre vigas completas

Cortando longitudinalmente una viga en Pi se obtuvieron dos vigas en T de longitud total igual a la de un vano. Dichas vigas se trasladaron al LTE y pudieron moverse en su interior gracias al uso de una grúa externa y a un sistema de apoyo rodante, lo que permitió obviar las limitaciones de peso. Las vigas presentaban, como en los

casos anteriores, daños en sus extremos, por lo que de cara a su ensayo los ejes de los apoyos se dispusieron a una distancia del extremo de la viga que oscilaba entre 0.5 y 1,5 m.

Se plantearon 5 ensayos, cuatro de ellos a cortante, uno en cada extremo de las vigas, aplicando una carga puntual a una distancia del $a=2.5d$, aproximadamente, y un ensayo a flexión aplicando una carga puntual en el centro. Este quinto ensayo aún no realizado, tiene el objetivo de medir la rigidez y la fisuración bajo cargas de servicio.

La luz de cálculo, la distancia a/d ($d=0.985m$) y la carga última de los ensayos a cortante de las vigas completas realizados hasta el momento se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de los ensayos a cortante sobre vigas T largas.

Viga	Luz (m)	a/d	P_u (kN)
1	7.30	2.75	1050
2	7.30	2.10	1160

3. Predicciones teóricas

3.1. Simulaciones numéricas

De cara a dimensionar los elementos de carga y apoyo, se realizaron predicciones de la carga última y el desplazamiento máximo de cada ensayo mediante el método de los elementos finitos. Se utilizó para ello el programa ABAQUS, trabajando con elementos finitos sólidos y considerando el comportamiento no lineal de los materiales (fisuración, plastificación, carga y descarga, “softening” en compresión y en tracción), utilizando el “Damage Plasticity Model” [2] como ecuación constitutiva del hormigón en estado multiaxial de tensiones.

Se presentan aquí los resultados de dos de los tres ensayos sobre las piezas “Pi”, el ensayo con coacción parcial y el ensayo con coacción total (figura 20), que consideramos los más realistas.

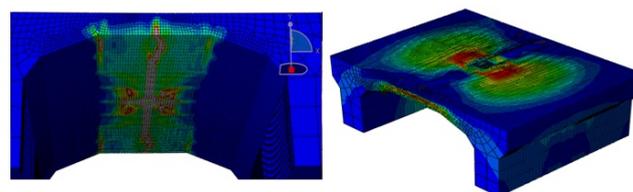


Figura 20. Simulación mediante elementos finitos de los ensayos de punzonamiento.

De la misma manera se ha simulado la rotura por cortante correspondiente a las piezas T3 y T4 (figura 21). Las tablas 4.a y 4.b muestran los valores de carga y cortante últimos obtenidos en las simulaciones y mediante modelos simplificados.

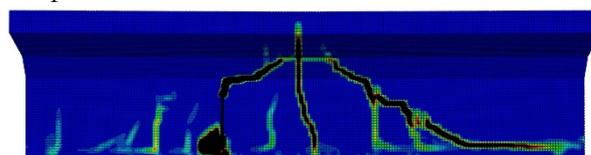


Fig. 21 Ensayos de cortante simulados por elementos finitos

Tabla 4. Comparación de los resultados obtenidos en laboratorio y con modelos simplificados y numéricos. a) Punzonamiento. b) Cortante

a)			
Modelo	P_u (kN)	P_u lab. (kN)	ΔP_u (%)
EHE-08	333,7	338,0	1,3
EC-2	214,5	338,0	36,5
CCCM	340,0	338,0	0,6
FEM	330,4	338,0	2,2
b)			
Modelo	V_u (kN)	V_u lab* (kN)	ΔV_u (%)
EHE-08	647,1	729,5	11,3
EC-2	377,4	729,5	48,2
CCCM	713,9	729,5	2,1
FEM	704,2	729,5	3,5

*Media de los ensayos T3 y T4

3.2. Predicciones teóricas mediante modelos simplificados

Se han realizado predicciones de los ensayos con los modelos simplificados de resistencia a cortante y punzonamiento de la Instrucción Española EHE-08, [3], el Eurocódigo EC-2 [4] y el modelo CCCM [5], [6], cuyos resultados se muestran en la tabla 4.

Se observa que el modelo simplificado que más se aproxima al resultado experimental es la

CCCM, seguido del adoptado por la Instrucción EHE. El Eurocódigo resulta muy conservador en el caso del cortante porque desprecia la contribución del hormigón y en el caso de punzonamiento también, porque la tensión resistente resulta ser menor que la mínima, y ese valor en el EC2 es menor que en la EHE-08.

Por otra parte, los modelos numéricos predicen bien la carga última de rotura y el patrón de fisuración, pero presentan problemas a la hora de reproducir el desplazamiento último.

4. Conclusiones y perspectivas

De los estudios realizados se pueden extraer las siguientes conclusiones fundamentales:

El estado del hormigón observado es, en general, bueno aunque muy heterogéneo en cuanto al tamaño de árido utilizado. La presencia de áridos muy grandes ($d_{\max} \approx 100$ mm) y la densidad de armadura dificultó la extracción de testigos del tamaño adecuado para su correcta caracterización. Las armaduras se encuentran en bastante buen estado, presentando una fina capa de corrosión en la superficie en contacto con el hormigón, pero que no penetra hacia el interior de las mismas.

Para que se produzca la rotura por punzonamiento de la losa entre almas, es necesaria una coacción casi total del movimiento de las mismas, por lo que este tipo de rotura solo es esperable en las zonas cercanas a los apoyos. En cualquier caso, dada la carga de rotura obtenida, y la superficie sobre la que se aplicó, no es esperable este tipo de rotura por la carga puntual correspondiente a la rueda del vehículo pesado de la IAP-11.

De los ensayos de cortante realizados sobre las vigas T cortas, se puede concluir que, en general, dado el valor pequeño de la relación a/d (menor de 2), predomina el efecto arco-tirante. Esto provoca que cuando se carga cerca del apoyo con barras levantadas, la rotura se produzca por flexión en una sección en la que se produce el levantamiento de alguna barra, ya que

la variación de la tracción en las armaduras es menor a lo largo de la pieza, y la pérdida de capacidad a flexión por reducción de la armadura longitudinal provoca la rotura. Sin embargo, cuando se carga cerca del apoyo que solo tiene cercos, la resistencia a cortante es menor y se cuenta con el total de la capacidad a flexión, por lo que, a pesar del efecto arco, se consigue la rotura por cortante.

En cuanto a los ensayos sobre vigas completas, debido al levantamiento de parte de la armadura longitudinal cerca de los apoyos, la flexión es el fenómeno que domina la rotura cuando están sometidas a cargas puntuales cercanas a los mismos para $2 \leq a/d \leq 3$, ya que el levantamiento de las barras aumenta significativamente la resistencia a cortante, a la vez que disminuye la resistencia a flexión.

En general los resultados obtenidos con el Eurocódigo y con la Instrucción EHE-08 están del lado de la seguridad respecto a las cargas de rotura obtenidas en el laboratorio. Las razones fundamentales en el caso de cortante son la no consideración de la contribución del hormigón (V_c) a la resistencia a cortante (EC2) en piezas con armadura transversal ni la contribución de las alas comprimidas en secciones en T (EC2 y EHE-08) En cuanto al punzonamiento, EHE-08 predice con mucha aproximación la carga de rotura, mientras que EC-2, da valores muy del lado de la seguridad porque la tensión resistente resulta menor que la mínima y ésta es mucho menor en EC2 que en la Instrucción EHE-08

Está en fase de realización el análisis de la seguridad del puente frente a las cargas de tráfico establecidas en las normativas actuales y un análisis detallado de los resultados de los ensayos especialmente, las formas de rotura, la influencia de la existencia de barras lisas y barras levantadas en la carga última, en la fisuración y en la forma de rotura, y el análisis de los ensayos en servicio.

Agradecimientos.

Este trabajo se ha desarrollado en el contexto del proyecto BIA2015-64672-C4-1-R, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España. La Diputación de Barcelona, ha facilitado las vigas ensayadas, así como su corte, manipulación en obra y transporte al laboratorio. El equipo de la UPC agradece enormemente la colaboración de la ingeniera de la Diputación de Barcelona, Maria Josep Palau, de los ingenieros de la empresa constructora Pasquina y de la Dirección de Obra, Sergi Font y José Escudero, entre otros, por su inmensa ayuda, así como a los técnicos del Laboratorio de Tecnología de Estructuras y Materiales de la UPC, Carlos Hurtado, Jordi Cabrerizo y Robert McAloon, por su dedicación y entrega. Finalmente, se agradece a los estudiantes Felipe Baba, Alberto Sarmiento y Raúl Salinas quienes han desarrollado su tesis de Máster en el contexto de este proyecto.

Referencias

- [1] Archivo Histórico, Diputación de Barcelona. (2019) Proyecto del puente sobre el rio Noya en el camino vecinal de Gelida a San Lorenzo de Hortóns. www.diba.cat/es/web/arxiu.
- [2] Lubliner, J., Oliver, J., Oller, J., & Oñate, E. (1989). A plastic-damage Model for Concrete. *Int'l. Journal Solids & Struct.* 25(3), 299-326.
- [3] Comisión Permanente del Hormigón. “Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08”, Ministerio de Fomento de España, 2008.
- [4] European Committee for Standardization. (2002). Eurocode 2: Design of concrete structures: Part1: General rules and rules for buildings.
- [5] Cladera, A., Marí, A., Bairán, JM., Oller, E., Duarte, N. (2016) “The compression chord capacity model for the shear design and assessment for reinforced and prestressed concrete beams” *Structural Concrete (fib)*, Wiley, 18-2, pp1017-1032, ISSN 1464-4177
- [6] Marí, A., Cladera, A., Oller, E., Bairán, J.M. (2018) “A punching shear mechanical model for Reinforced Concrete flat slabs with and without shear reinforcement”, *Engineering Structures.* 166, pp. 413-426.