

## CODE 7.1

### **PRUEBAS DE CARGA EN PUENTE ANTIGUO DE HORMIGÓN DE LA CIUDAD DE CASANOVA REHABILITADO CON LIMITACIÓN DE CARGAS DE TRÁFICO**

**Aragón Torre, Ángel<sup>1</sup>; Martínez Martínez, José Antonio<sup>2</sup>;  
García Castillo, Luis María<sup>3</sup>; Aragón Torre, Guillermo<sup>4</sup>**

1: Departamento Ingeniería Civil  
Universidad de Burgos

e-mail: [aragont@ubu.es](mailto:aragont@ubu.es), web: <http://www.ubu.es>

2: Departamento Ingeniería Civil  
Universidad de Burgos

e-mail: [jamartinez@ubu.es](mailto:jamartinez@ubu.es), web: <http://www.ubu.es>

3: Departamento Construcciones Arquitectónicas  
Universidad de Burgos

e-mail: [imgcite@ubu.es](mailto:imgcite@ubu.es), web: <http://www.ubu.es>

4: Departamento Ingeniería Civil  
Universidad de Burgos

e-mail: [garagon@ubu.es](mailto:garagon@ubu.es), web: <http://www.ubu.es>

**PALABRAS CLAVE:** Acciones, puentes antiguos de hormigón, prueba de carga, rehabilitación, normativa.

#### **RESUMEN**

En este trabajo se analiza los condicionantes a tener en cuenta en la prueba de carga de un puente antiguo de hormigón armado rehabilitado, con limitación funcional de cargas por geometría, y por criterio de limitación de cargas de tráfico. Se trata de un puente antiguo de hormigón armado de aproximadamente 1950 compuesto por tres vanos isostáticos de unos 9 metros de luz cada uno. El ancho global está limitado a 5 metros, y acababa de ser rehabilitado, en lugar de demolido, con diversas técnicas de refuerzo, entre las que se encontraba las de fibras de carbono. Se realizan consideraciones sobre las normativas, antiguas y modernas, tanto de acciones a considerar en puentes de carretera como normativas sobre hormigón armado. De todo ese análisis se establece un protocolo de prueba de carga y se lleva a cabo. En la instrumentación se emplearon técnicas de LVDTs (Linear Variable Displacement Transducer) para medir los desplazamientos (flechas), y bandas extensométricas para medir deformaciones (hormigón y refuerzo), y los valores obtenidos se compararon con los valores teóricos. Durante todo el proceso de la prueba de carga se fueron validando los diferentes parámetros de control establecidos en el protocolo.

## 1. INTRODUCCIÓN

Nos encontramos con una estructura construida a mediados del siglo XX (Figura 01) en hormigón armado, con limitación funcional de cargas por geometría, y por criterio de limitación de cargas de tráfico, y que en el momento de su construcción fueron concebidas para soportar las cargas habituales de su época. La normativa actualmente vigente, a considerar en proyectos de nueva construcción, establece cargas bastante superiores a las de aquellas normas. En su estado actual este tipo de puentes pueden ser utilizados, sin problemas, salvo que presenten patologías claras, con algún tipo de restricción sobre las cargas máximas, totales o por ejes, de los vehículos para adecuarlas a la capacidad de cargas con que fueron concebidas. Sin embargo, cuando se hacen actuaciones de mejora de su capacidad funcional y geométrica (p.ej. ensanches), se intenta, si se puede, permitir que estén capacitados para las cargas habituales, liberando las restricciones.

Se trata de un puente antiguo de hormigón armado compuesto por tres vanos isostáticos de unos 9 metros de luz cada uno. El ancho global está limitado a 5 metros, y acababa de ser rehabilitado, en lugar de demolido, con diversas técnicas de refuerzo, entre las que se encontraba las de fibras de carbono.

Para garantizar el correcto funcionamiento del refuerzo diseñado, se procedió a la realización de una prueba de carga “in situ” basada en el paso de un vehículo pesado (camión). El proceso fue instrumentado con LVDTs (para medir los desplazamientos (flechas), y bandas extensométricas para medir deformaciones (hormigón y refuerzo).



Figura 01: Puente antiguo de Casanova al sur de la provincia de Burgos.

## 2. GEOMETRÍA

### 2.1 Alzado y Planta

El puente de acceso a la localidad de Casanova (Burgos) es un puente recto de hormigón armado, conformado por tres vanos isostáticos de aproximadamente 9 metros de luz cada uno, dos pilas centrales y estribos abiertos (Figura 02).

El ancho del puente es de 5 metros y la longitud total de 26,55 metros. La altura máxima del puente sobre el cauce del río Pilde es de 4 metros. Las pilas y estribos se encuentran revestidos con mampostería de piedra caliza. Las barandillas en su origen se encontraban en muy mal estado, con aceras mínimas de 50 cm de anchura.

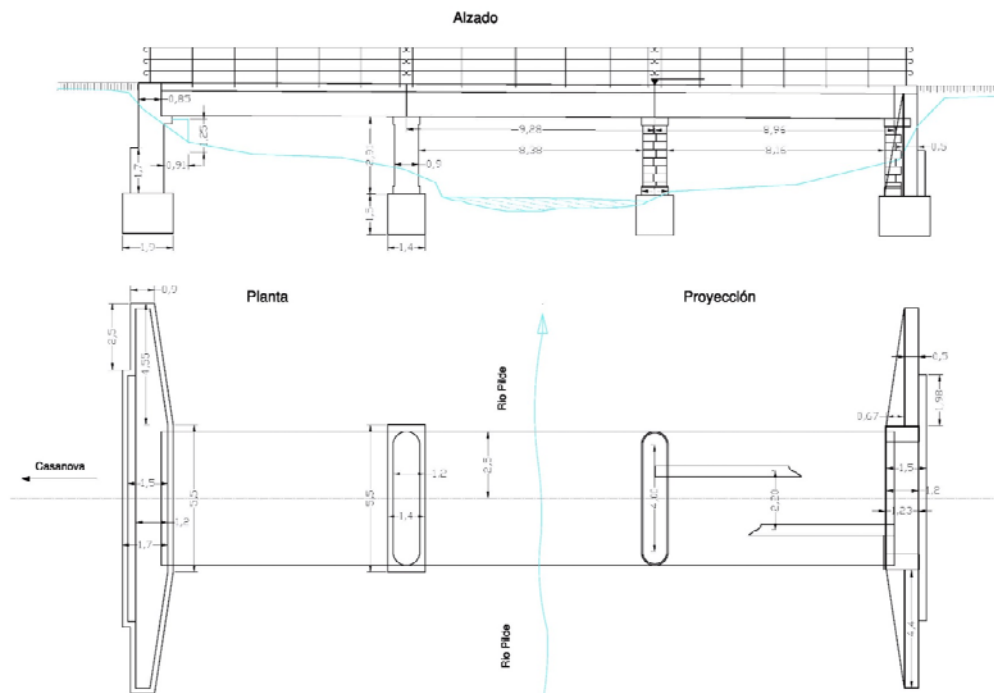


Figura 02: Alzado y Planta Puente de Casanova.

### 2.2 Sección Transversal

El tablero de cada uno de los tramos está constituido por una viga de hormigón armado con sección en PI (Figura 03) de un metro de canto, con dos almas separadas 2,17 metros a ejes de vigas. La losa de unión de las almas posee un espesor de 0,20 metros, y se extiende también a ambos lados de las vigas, en lo que equivaldría a las aceras, mediante dos voladizos de canto variable.

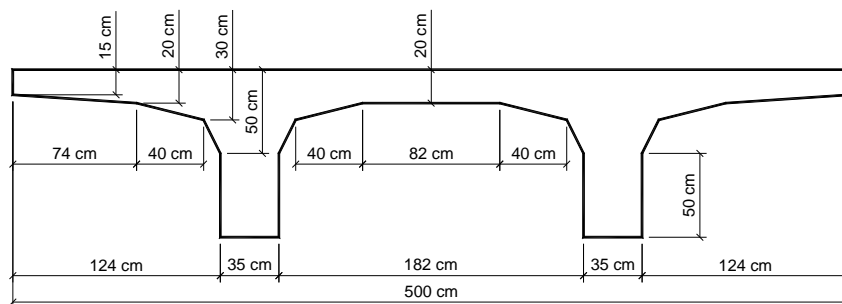


Figura 03: Sección transversal Puente de Casanova.

La transición de vigas a losa y voladizo tiene lugar mediante doble acartelamiento, como era frecuente en los puentes de la época (Figura 04).



Figura 04: Detalle acartelamiento sección transversal Puente de Casanova.

### 3. REFUERZO

El puente antiguo de hormigón armado de Casanova parte de una situación original muy precaria. Estudios previos realizados evalúan una resistencia del hormigón de solo 10 MPa, y la distribución de áridos en la masa es muy irregular y con áridos de canto rodado de gran tamaño. En cuanto a las armaduras en base a planos antiguos localizados, y catas en el material, se estima que existen 4 barras de acero liso de 32 mm de diámetro, por la parte inferior de cada uno de los dos nervios, de las cuales dos suben a 45° para resistir solicitaciones de cortante aproximadamente a cuartos de luz. La separación de la armadura transversal se ha estimado en 400 mm y su diámetro en 8 mm. Los aceros habituales en la fecha de construcción de los puentes eran de 240 MPa, por lo que se ha considerado ese valor.

Durante la labor de izado de vigas para sustitución de aparatos de apoyo, se comprobó que el estado de sus cabezas era mucho peor que el previsto, dañado especialmente por la escorrentía de aguas a través de las juntas. Igualmente, al descomprimirse algún cargadero de apoyo, en el izado, también se fisuró. Todo ello llevó a la necesidad de replantearse la actuación de rehabilitación y refuerzo.

Se regeneraron las secciones de vigas y cargaderos con un mortero a base de resinas de la casa Sika. Posteriormente se procedió a realizar un refuerzo con fibras de carbono a flexión y cortante. El tejido empleado fue el SikaWrap. En la zona de cortante, desde cabeza de pilas cumple una función de contención y mejora de contacto de las resinas incorporadas, y el material antiguo, y también de resistencia a cortante. Debido al acartelamiento, de las vigas, al aproximarse a la losa, no era posible anclar el tejido del alma en la parte superior de los nervios, por lo que se mejoró el anclaje colocando cordones de SikaWrap FSX-50 C. El refuerzo a cortante se colocó hasta aproximadamente el cuarto de luz (Figura 05).



Figura 05: Detalle refuerzo a cortante Puente de Casanova.

En cuanto al refuerzo a flexión se empleó también el tejido SikaWrap 300, por disminuir algo las tensiones de adherencia con la parte inferior de la viga del hormigón. Se colocaron varias capas, con el fin de ir cubriendo la envolvente de momentos flectores. En el puente de Casanova se colocaron 5 capas de tejido de refuerzo a flexión, de longitudes 6,5 m, 6 m, 5 m, 4 m, y 3 m (Figura 06).



Figura 06: Detalle refuerzo a flexión Puente de Casanova.

Con este refuerzo se ha estimado un incremento de momento flector resistente de entre 350 m·kN y 500 m·kN, dependiendo de la deformación a nivel de fibras de carbono, y su capacidad de dar respuesta tensional. Como la resistencia a flexión de las vigas actuales se ha estimado en 550 m·kN, tendríamos una capacidad total a flexión, mínima, en centro de vano de 900 m·kN.

#### 4. NORMATIVA

Nos encontramos con una estructura construida en 1931, y que en el momento de su construcción fueron concebidas para soportar las cargas habituales de su época. La normativa actualmente vigente, a considerar en proyectos de nueva construcción, establece cargas bastante superiores a las de aquellas normas. En su estado actual este tipo de puentes pueden ser utilizados, sin problemas, salvo que presenten patologías claras, con algún tipo de restricción sobre las cargas máximas, totales o por ejes, de los vehículos para adecuarlas a la capacidad de cargas con que fueron concebidas. Sin embargo, cuando se hacen actuaciones de mejora de su capacidad funcional y geométrica (p.ej. ensanches), se intenta, si se puede, permitir que estén capacitados para las cargas habituales, liberando las restricciones.

Una estimación de las acciones estimadas en el puente de Casanova las podemos obtener en la referencia del Tomo IV del libro de “Puentes de Hormigón Armado” de José Eugenio Ribera[1]. Este libro, a su vez, está referido a la Gaceta de Madrid de 1925 en la que se dicta la instrucción para puentes. Los puentes para carreteras deberán hallarse en condiciones de soportar además de su propio peso, las sobrecargas que se indican a continuación:

- En aceras y pasos una sobrecarga uniforme de 450 kg/m<sup>2</sup> en todo su ancho y en la longitud que se produzca efectos más desfavorables.
- En el ancho del afirmado una sobrecarga uniformemente extendida a razón de 450 kg/m<sup>2</sup>.
- Sobrecargas móviles: se divide en dos tipos de trenes
  - Tren tipo 1: apisonadora de 20 toneladas
  - Tren tipo 2: tres tranvías de cuatro ejes cada uno, con una carga por eje de 6156 kg y una separación de 1,20 metros entre ejes del mismo carretón y de 7,10 metros entre los ejes

contiguos de los dos carretones del mismo coche. Longitud total de un tranvía: 15'50 metros. Separación entre coches: 0'5 metros. Ancho vía: 1'45 metros. Ancho total: 2 metros.

Como se ha comentado, en el caso de puentes de nueva construcción, o de renovación de la capacidad funcional (ampliación funcional) las acciones a aplicar serían las de la vigente instrucción IAP-11[2]. Sin embargo, si se mantiene la capacidad funcional para que fue construido, su normativa de aplicación será la indicada en la Gaceta de Madrid de 1925 que ya se ha comentado. El objeto de la rehabilitación era al menos mantener la capacidad funcional, o incluso, mejorarla.

## 5. ESTIMACIÓN DE SOLICITACIONES Y DESPLAZAMIENTOS

En primer lugar, se ha realizado un modelo sencillo de elementos finitos unidimensionales tipo viga para determinar las solicitaciones al paso de un camión rígido de 4 ejes. Se ha considerado una carga máxima por eje de 80 kN, con una distancia entre los ejes traseros de 1,35 m. La distancia al eje delantero es de 2,80 m desde el eje trasero más cercano, y la distancia entre los ejes delanteros es de 1,70 m. De esta manera, se ha considerado una carga total de 320 kN (32 toneladas). A continuación, se incluyen las imágenes (Figuras 07 a 09) de las envolventes de solicitaciones para el caso de una viga isostática de 9,00 m de luz entre apoyos y el paso de un camión de 4 ejes

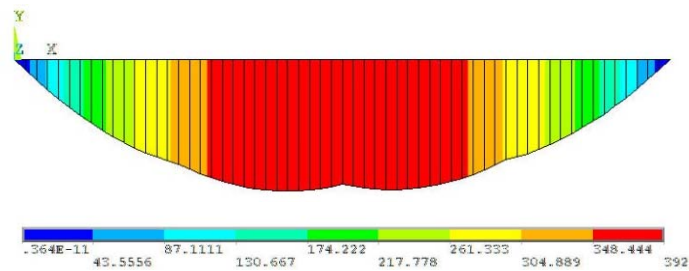


Figura 07: Envolvente del momento flector positivo Puente de Casanova.

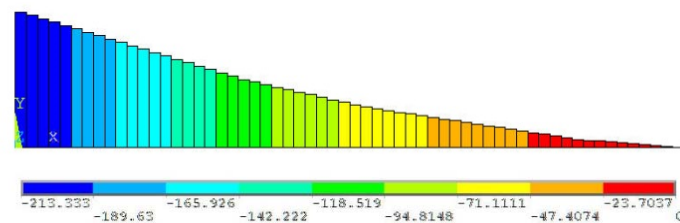


Figura 08: Envolvente del esfuerzo cortante negativo Puente de Casanova.

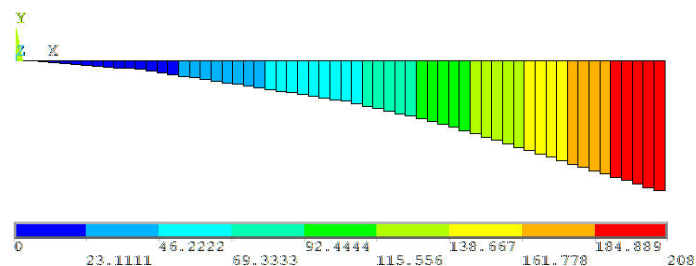


Figura 09: Envolvente del esfuerzo cortante positivo Puente de Casanova.

En segundo lugar, se realiza un modelo de cálculo más completo por elementos finitos tridimensionales, que nos permita obtener deformaciones esperadas en los puntos donde se han colocado las bandas extensométricas, así como las flechas en apoyo y centro de luz. A continuación, se incluyen una serie de imágenes correspondientes al modelo de elementos finitos empleado para el cálculo (Figuras 10 y 11)

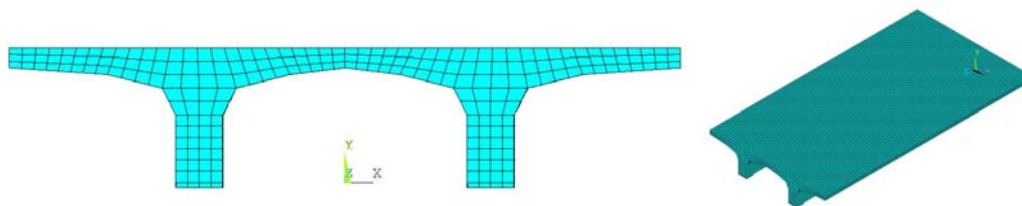


Figura 10: Mallado sección transversal y modelo 3D Puente de Casanova.

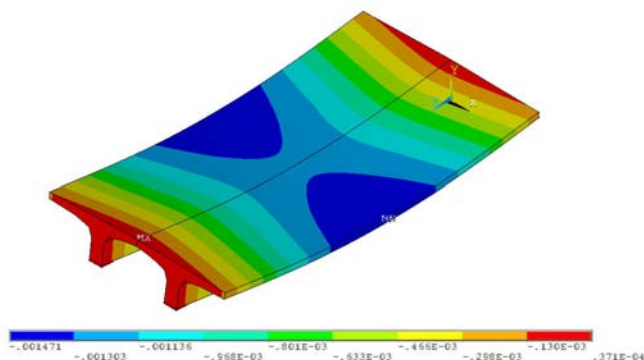


Figura 11: Desplazamientos verticales (m) camión centrado vano Puente de Casanova.

## 6. PROTOCOLO PRUEBA DE CARGA

Se realizan cuatro estados de carga para introducir sobre la estructura los máximos esfuerzos de forma progresiva en el primer vano del puente. Seguidamente se repite la última posición en los otros dos vanos. Los seis estados de carga corresponden a las siguientes posiciones del camión:

1. Primer eje delantero del camión a 1 metro del apoyo (Figura 12 a).
2. Segundo eje delantero del camión a 1 metro del apoyo.
3. Tercer eje del camión a 1 metro del apoyo.
4. Cuarto eje del camión a 1 metro del apoyo (Figura 12 b: Posición pésima a Cortante y a Flector).
5. Cuarto eje del camión a 1 metro del apoyo sobre el vano central (Figura 12 c).
6. Cuarto eje del camión a 1 metro del apoyo sobre el tercer vano del puente (Figura 12 d).



Figura 12: Estados de carga 1 (a), 4 (b), 5 (c) y 6 (d) del Puente de Casanova.

## 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se muestra en la Figura 13, el registro de los desplazamientos del primer vano en apoyo (LVDT\_1) y en centro de luz (LVDT\_2). Los cuatro escalones del desplazamiento se corresponden con los cuatro primeros estados de carga del protocolo. El registro del desplazamiento en centro de luz del segundo vano (LVDT\_3) y tercer vano (LVDT\_4)

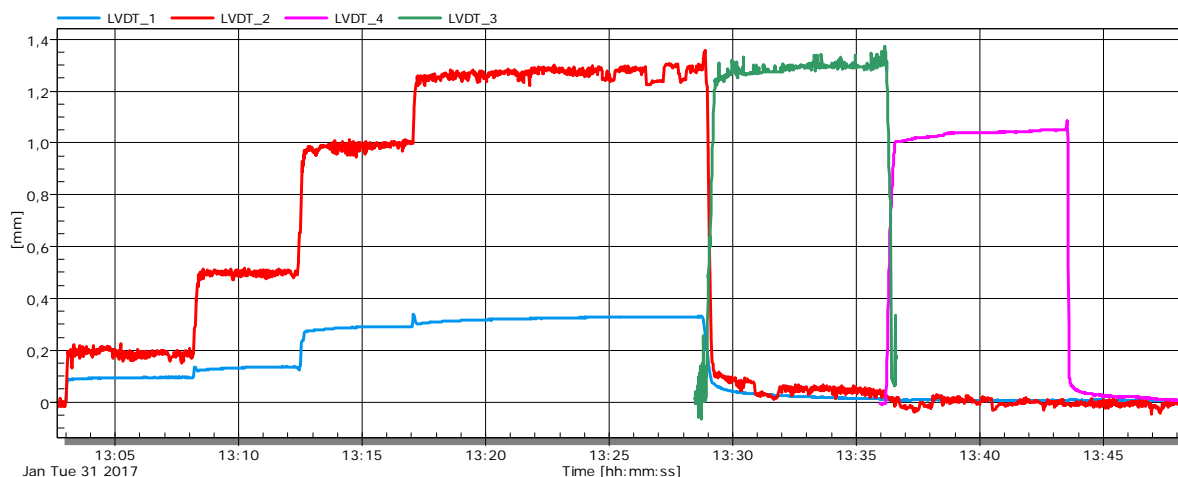


Figura 13: Desplazamientos en apoyo del primer vano y centro de luz del Puente de Casanova.

Como resumen, se indica en la Tabla 01 los datos estimados y los obtenidos en la prueba de carga del puente de Casanova.

Tabla 01: Desplazamientos estimados y obtenidos prueba de carga puente Casanova

Flecha [mm]	Vano		
	1	2	3
Estimada	1,259	1,259	1,259
Prueba de Carga	0,97	0,98	0,72

## 8. CONCLUSIONES

- 1- La prueba de carga arroja resultados suficientes y satisfactorios para la puesta en uso del puente de Casanova, con una limitación de carga de 30 toneladas. De esta manera, se mejora la capacidad de carga con respecto a la situación previa a la rehabilitación (20 toneladas), permitiendo el paso de la práctica totalidad de los vehículos que habitualmente atraviesan el puente.
- 2- Por otro lado, la realización de la prueba de carga nos ha permitido evaluar el correcto funcionamiento del refuerzo a base de fibras de carbono. Mejorando la capacidad resistente de la sección y reduciendo las deformaciones.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ribera, J. E. Puentes de fábrica y hormigón armado. Tomo IV, Puentes de hormigón armado. Obras especiales, 1932.
- [2] De Fomento, M. Orden FOM/2842/2011, de 29 de septiembre. Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera (IAP-11), BOE núm. 254, de 21 de octubre de 2011, p. páginas 110164 a 110225, 2011.