

Pruebas de carga de puentes de hormigón de carretera

Load tests on concrete road bridges

Ramón del Cuvillo Jiménez. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Colegiado nº 728

Resumen: Este escrito contiene una serie de reflexiones sobre las pruebas de carga de los puentes de hormigón de carretera. Después de una breve introducción, se pone de manifiesto la confusa situación a la que conduce la normativa actual sobre las citadas pruebas. Se resume, a continuación, su historia y se razona sobre el riesgo que supone su realización. Por otra parte, las Instrucciones sobre las estructuras de hormigón, no estiman necesarias dichas pruebas, dado el nivel alcanzado en la tecnología actual, en contraposición con el posible riesgo de que se produzcan daños imprevisibles por su ejecución. Se propone, por último, que dejen de ser obligatorias dichas pruebas salvo casos excepcionales, además de por lo citado en la normativa propia del hormigón, por otras citas extranjeras y por las contrarias actuaciones en la mayoría de los países. A cambio, mientras no pueda evitarse el citado riesgo de daño, se debe prescribir un mayor control en la ejecución de las estructuras y en la previsión de su conservación.

Palabras Clave: Pruebas de carga, Puentes, Hormigón, Carreteras, Normativa

Abstract: This article considers load tests on concrete road bridges. After a brief introduction, the article reflects on the confusing situation which has led to the current standards on the tests. The author goes on to summarize the background behind these standards and the risks entailed in the same. Furthermore, concrete structure codes do not consider these tests to be necessary on account of the high level of technology today, and do not contemplate the possible risk that unforeseen damage occur as a result of construction. The article concludes by proposing that these tests only be carried out in exceptional cases and in accordance with that indicated in the concrete standards, other European codes and the varying actions carried out in the majority of countries. As long as the said risk of damage prevails it is necessary to ensure greater control in the construction of these structures and the established maintenance of the same.

Keywords: Load tests, Bridges, Concrete, Roads, Standards

Introducción

La normativa conocida de las pruebas de carga de puentes de carretera comienza con un Pliego de Condiciones dedicado a los puentes colgados (1843). Este Pliego prescribe la realización de una prueba de carga anterior a la puesta en servicio del puente. Contiene también una importante prescripción sobre la conservación de estas obras. Este tema, que se olvida más tarde en la normativa, salvo algunas excepciones, no es objeto de este escrito, pero lo citamos para poner de relieve la antigüedad de esta preocupación.

Con el paso del tiempo, con la aparición de otros tipos de puentes y la de nuevos materiales constitutivos de los mismos, la normativa se ocupa y dedica a estas nuevas obras. El tema de las pruebas de carga se conserva y repite sin una razón muy clara. Mientras la normativa va dirigida a los puentes metálicos, las pruebas de carga siguen siendo obligatorias y pasan de los Pliegos a las Instrucciones del siglo XX.

La aparición de un nuevo material denominado hormigón y las realizaciones cada vez más numerosas de puentes de dicho material obligan a la redacción y publicación de una Instrucción dedicada al proyecto y ejecu-

ción de obras de este material. La tecnología de estas estructuras progresa y se redactan y aprueban unas Instrucciones cada vez más completas y complejas hasta llegar a nuestra normativa actual.

La realización de pruebas de carga, debido a las características del hormigón y, más en concreto, de los compuestos de hormigón, se convierte en un tema tratado de manera confusa. Las nuevas Instrucciones de acciones o cargas imponen la realización de las citadas pruebas pero las simultáneas Instrucciones de hormigón no exponen con claridad la obligatoriedad de la realización de las mismas.

Intentamos proponer una cierta supresión de la obligatoriedad de estas pruebas, apoyándonos en la misma normativa existente. Mientras no se avance en el conocimiento de este material y se aclaren y eliminen los riesgos actuales y posibles, que pueden traer consigo la realización de las pruebas de carga, parece conveniente una eliminación o, al menos, una reducción importante de las mismas. A la vez, parece necesario y conveniente un aumento real y considerable en el control tanto de los materiales como de la ejecución de las estructuras de los puentes de carretera.

En cuanto al contenido de este escrito, empezamos por exponer la situación de nuestra vigente normativa, así como el resultado a que nos conduce. Continuamos con un necesario relato del desarrollo histórico de la misma y de algunas referencias extranjeras sobre las pruebas de carga de estructuras de hormigón. En una tercera parte o capítulo, que denominamos Comentarios, resumimos algunas ideas sobre el desarrollo de la normativa, sobre el comportamiento de las estructuras de hormigón y sobre las pruebas de carga. Por último, hacemos una breve referencia a la evaluación de la capacidad portante de las citadas estructuras.

Reconocemos nuestra presencia y actuaciones durante muchos años en la normativa y recomendaciones existentes. Asumimos algunas iniciativas y propuestas que hoy consideramos poco consistentes o desafortunadas. La tecnología avanza deprisa y solo el reposo y la reflexión nos muestran el necesario cambio en las ideas y seguidamente de la normativa sobre pruebas de carga.

Normativa vigente

Las denominadas pruebas de carga de las estructuras de hormigón de los puentes de carreteras, consisten en un ensayo por medio del cual se intenta conocer el comportamiento de dichas estructuras o de un elemento de las mismas al ser sometidas a determinadas cargas.

En la actualidad se utilizan o emplean estas pruebas fundamentalmente, en dos casos distintos, pero muy rela-

cionados entre sí. El primero se debe a la obligatoriedad de su realización impuesta por la normativa y el segundo se refiere a la posibilidad de que con su realización se pueda evaluar la capacidad portante de una estructura de hormigón. No vamos a entrar en otros posibles procesos de contenidos y objetivos distintos a los mencionados.

En cuanto al primer caso exponemos a continuación la situación actual de la normativa española, constituida por la Instrucción de acciones de 1998 y la Instrucción de hormigón EHE-98. Complemento y aclaración de la primera son las Recomendaciones sobre pruebas de carga publicadas por el Ministerio de Fomento (1999).

La Instrucción de acciones de 1972 y la actual vigente de 1998, que supone una actualización de la primera, prescriben la obligatoriedad de realizar una prueba de carga de la estructura del puente antes de la recepción del mismo. Lo primero que se nos ocurre es que no parece muy adecuado, que en un documento que trata de definir las acciones a tener en cuenta en el cálculo se incluyan las pruebas de carga. Una interpretación de este hecho que, quizá, debiera ocupar otro lugar en la normativa, es la de llamar la atención al proyectista para que prevea la realización de las pruebas con las mismas acciones que en el cálculo. Los artículos de ambas Instrucciones son breves, sin detalles en cuanto a ejecución y comprobaciones a realizar. En los comentarios al artículo de la Instrucción de 1972 se indica que el objeto de las pruebas de carga es "controlar la adecuada concepción y la buena ejecución de las obras mediante el examen de su comportamiento bajo las cargas de explotación". Aunque esta Instrucción de 1972 ha sido actualizada, puede considerarse como vigente la frase reproducida.

Parece suficiente, por tanto, que se limiten las cargas de las pruebas a las de explotación o sea a los trenes de carga definidos en la Instrucción de acciones, sin someter la estructura a otras acciones distintas de las consideradas en la citada Instrucción.

Con el fin de aclarar y facilitar la realización obligatoria de las citadas pruebas, el MOPU publica, en 1974 las primeras. Recomendaciones para el proyecto y ejecución de pruebas de carga en puentes de carretera, documento de 26 páginas, elaborado con la colaboración del Laboratorio Central del CEDEX. En este documento se dice "que la prueba de carga debe confirmar las teorías del proyecto (reparto de cargas, giro de los apoyos, flechas máximas, etc.). A estas Recomendaciones siguen las de 2001, que son las que en la actualidad suelen exigirse como obligatorias en los Pliegos de Prescripciones Técnicas (1999).

La Instrucción de acciones, denominada IAP-98, específica que es de aplicación a "las obras de paso que soportan cualquier tipo de vía definida en la Ley de ca-

rrerteras y en el Reglamento que la desarrolla, como de competencia estatal". A este párrafo se añade otro extendiendo dicha aplicación a las obras asimilables de la red de carreteras (pequeñas obras de paso, pasarelas, muros, etc.). Por último, en importante expresión, se dice que "en su aplicación estará unida al resto de la normativa que exista sobre puentes y sus materiales constituyentes". De este último párrafo se deduce que ha de cumplirse, como es lógico, la normativa vigente sobre el hormigón, como material de los puentes que estamos considerando o sea la Instrucción EHE-98, como ya indicamos anteriormente.

En el artículo 88.5 de esta Instrucción dedicado a las decisiones derivadas del control de resistencia del hormigón se especifica que en el caso de que la resistencia estimada sea menor en un 90 por ciento de la característica se podrá proceder a determinados estudios y ensayos. Entre estos últimos se citan las pruebas de carga. Todo ello tiene validez salvo especificación distinta que prescriba el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, condición que, junto a las decisiones del Director de la obra, se repite en cualquier punto del articulado. (Puede deberse a un error tipográfico la prescripción de que la carga de ensayo podrá exceder de la de cálculo.)

Por otra parte, en el capítulo dedicado al Control de la Ejecución, el artículo 99 se divide en dos sub-artículos. Según el primer sub-artículo, no es necesario someter a prueba de carga los puentes de carretera si sus estructuras hubiesen sido proyectadas y construidas con arreglo a la Instrucción EHE-98, en las que los materiales y la ejecución hayan alcanzado la calidad prevista, salvo que por su propia normativa (IAP-98) fuese obligatoria la realización de las citadas pruebas, como es nuestro caso. Si siguiéramos a la Instrucción EHE-98 quedaría el caso en "que los materiales y la ejecución no hubiesen alcanzado la calidad prevista". Este es el caso que ya hemos citado en 88.5, artículo en el que se especifica la posibilidad de realizar una prueba de carga cuando la resistencia estimada no alcance un cierto valor. Pero, por otra parte, en el segundo sub-artículo titulado "Pruebas de carga", se advierte que no deben realizarse éstas pruebas antes de que el hormigón haya alcanzado la resistencia de proyecto. Nos encontramos pues que debido a la baja resistencia del hormigón no podría llevarse a cabo una prueba de carga.

Deducimos que la normativa vigente sobre la realización de pruebas de cargas es bastante confusa y, en casos, inaplicable si se trata de puentes de hormigón de carretera.

Al final del artículo de la EHE-98, se hace una corta referencia a la evaluación de la capacidad resistente de estructuras de hormigón por medio de pruebas de carga. Existe una relación indiscutible entre este tema y el consi-

derado de las pruebas de carga para la recepción de las obras, ambos temas los trataremos más adelante, después de resumir, en lo que se refieren a pruebas de carga, los Pliegos e Instrucciones ordenándolos según la fecha de aprobación o publicación.

Pliegos e Instrucciones

En el siglo XIX se aprueban y publican dos importantes documentos normativos, denominados Pliegos de Condiciones, que hacen referencia y obligan a realizar pruebas de carga. En ambos Pliegos se especifican indirectamente las sobrecargas que deben soportar las estructuras de los puentes de carretera. El Pliego más antiguo (1843) está dedicado a los puentes colgados, tipo de puente muy utilizado en aquella época. En este Pliego se pone de manifiesto lo restringido de su aplicación no solo por su título sino por sus especificaciones sobre la calidad de los materiales, tales como las de los cables o cadenas, madera y sillería; y porque, se fijan las tensiones máximas en los citados cables, cadenas y péndolas, así como la realización de un ensayo del sistema de suspensión. Con cierta extensión se describe la forma de realización de las pruebas de carga. La condición especificada para permitir "el paso del público" es la de que no se produzca por causa de esta prueba "alteración alguna perjudicial a la solidez" del puente. Se prescribe un reconocimiento y examen de todas las partes cada año e incluso que pueda ordenarse la repetición de la prueba de carga.

Con carácter anecdótico recordamos que a este Pliego de 1843 siguió una Circ. (1848) sobre "conservación y policía" de los puentes colgados. En este documento se recoge, por ejemplo, la curiosa y conocida observación sobre la forma en que la tropa debe pasar por estos puentes.

El segundo Pliego (1878) es, en realidad, un "modelo" de Pliego de Condiciones para los Puentes de Hierro, análogo en su aspecto formal a los que se redactan en la actualidad.

Este Pliego contiene más detalles y precisiones que el anterior. Por ejemplo, si fijan los valores y formas de resistencia del hierro fundido y del palastro de hierro forjado, tanto para tenerlo en cuenta en el proyecto como en las posibles modificaciones introducidas en el mismo. Respecto a la prueba de carga, idea recogida del anterior Pliego, al que cita, también es mucho más detallado y preciso, con una definición muy completa y real de las cargas a utilizar. Estas nuevas cargas sustituyen a las definidas en el Pliego de 1843. Es importante señalar que este Pliego impone que se redacte un Acta conteniendo los efectos que se hubiesen observado con motivo de las pruebas, no solo en la parte metálica sino incluso en todas las demás de la construcción. Solo después de unas

pruebas satisfactorias se permite el uso del puente y obliga a la repetición de las mismas si se hubiesen experimentado averías y se hubiesen notado "asientos y desagregaciones" en la parte de fábrica. Difiere este modelo de Pliego del de 1843, en que no se hace referencia alguna respecto a la conservación y vigilancia de los puentes.

Al principio del siglo XX (1902) se aprueba y publica la primera Instrucción para la redacción del proyecto de puentes metálicos, tanto para ferrocarril como para carretera. A diferencia de los Pliegos anteriores, se definen primero las cargas y demás esfuerzos exteriores como base de los denominados "cálculos de resistencia" y posteriormente estas cargas y, a veces, las más similares y posibles, serán las utilizadas en las pruebas de carga. No siempre era posible realizar las pruebas con las cargas de cálculo por lo que había que hacerlas con las más parecidas existentes.

Se impone que se haga un reconocimiento previo de todas las partes del puente. En cuanto a las pruebas de carga se especifica la medición de deformaciones, como mínimo de flechas y esfuerzos y la realización de una nivelación precisa antes y después de las citadas pruebas. Para ello se proponen ciertos aparatos de medida. Se fija en un 25 por ciento la diferencia admisible entre el "esfuerzo" calculado y el medido por aparato comprobado. Por último, respecto a las pruebas de carga, se hace referencia y detallan las pruebas dinámicas.

En 1903 se aprueba un nuevo modelo de Pliego de Condiciones Facultativas que además de las publicadas por Real Decreto del mismo año deben regir en la ejecución de las obras del puente metálico considerado. En cuanto a las pruebas de carga se prescribe que el artículo a ellas dedicado debe ser redactado con arreglo a lo dispuestos en la Instrucción de 1902.

A la Instrucción de 1902 sucede la de 1925 que conserva el mismo título cambiándole la referencia de "puentes metálicos" por la de "tramos metálicos" detalle de cierta importancia porque limita la aplicación de la Instrucción de 1902. Esta Instrucción (1925) contiene mayor número de detalles y especifica también la obligatoriedad de las pruebas de carga. Se siguen prescribiendo pruebas estáticas y dinámicas, nivelaciones y mediciones de las deformaciones y oscilaciones generales y locales de la estructura.

Hay varios puntos de gran interés en esta Instrucción. Se indica por ejemplo, que no son preceptivas las pruebas en los nuevos tramos cuyas vigas principales, sean preparadas y montadas por completo en taller y se conduzcan en una sola pieza a la obra, excepto razones especiales. Se especifica también que el tramo puede ponerse en servicio si las deformaciones no exceden los valores fijados y los apoyos ofrecen toda clase de garantías.

Se indica también que deben repetirse todas las pruebas al transcurrir un año, realizar una revisión de todos los tramos cada dos años y repetir las pruebas estáticas y dinámicas cada diez años. Por último se admite una tolerancia del 25 por ciento en los "coeficientes de trabajo y deformación" sobre los fijados para los tramos de nueva construcción.

Siguiendo el orden histórico de la aprobación oficial y publicación de Instrucciones de aplicación en puentes, bien por el tipo de material o del material principal de su estructura, en 1939 se aprueba y publica la primera Instrucción de hormigón armado. Este documento tiene un cierto carácter de provisionalidad. En 1944 se aprueba definitivamente con pocas modificaciones. Respecto a las pruebas de carga de las estructuras consideradas o sea de las de hormigón armado, no se especifica su obligatoriedad, advirtiéndose que en "obras de gran importancia" se proceda a la medición de flechas y deformaciones. Se añaden algunas especificaciones que se harían clásicas en las futuras Instrucciones, tales como que las sobrecargas de prueba sean lo más aproximadas posibles a las de cálculo, que el hormigón tenga la resistencia prevista antes de ejecutar las pruebas y que la deformación remanente respecto a la total sea un porcentaje máximo determinado. En el caso de puentes de hormigón conviven y tendrían que utilizarse y cumplirse simultáneamente la Instrucción de 1925 y la de hormigón de 1944. Una posible hipótesis sobre lo que podría hacerse en esta época es que las pruebas de carga se considerasen obligatorias y se realizasen según la Instrucción de 1925 y en cuanto al material del puente se cumplieran las prescripciones propias de la Instrucción de hormigón de 1944.

En 1956 se aprueba y publica la "Instrucción para el cálculo de tramos metálicos y previsión de los efectos dinámicos de las sobrecargas en los de hormigón armado". Esta Instrucción es la última que reúne en un mismo documento oficial las prescripciones de los "tramos metálicos", la definición de los trenes de carga o sobrecargas y la obligatoriedad, con excepciones importantes, de las pruebas de carga de puentes de carretera. Respecto a las prescripciones sobre estas pruebas, son prácticamente las mismas que las de la Instrucción de 1925, aunque se especifican nuevos trenes de carga, se definen los efectos dinámicos o de choque en puentes de hormigón armado y se limita su aplicación a tramos de 100m de luz. Por último, prescribe una revisión del puente cada dos años y una realización de las pruebas de carga, tanto estáticas como dinámicas, cada diez años en el caso de los tramos metálicos.

El acontecimiento más importante y profundo, relativo a la seguridad y comportamiento de las estructuras, se produce con la publicación de la "Instrucción h.a. 61 es-

pecial para estructuras de hormigón armado”, dentro de la colección de normas y manuales del “Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento”. Este documento, no oficial, pero origen de las Instrucciones y demás normativas siguientes relativas al hormigón, no prescribe explícitamente la obligatoriedad de realizar pruebas de carga antes de poner en servicio una estructura de hormigón armado. Sin embargo, el articulado y los Comentarios constituyen toda una lección sobre este tema, incluidos los de los puentes de carretera, y de cuya vigencia, en muchos aspectos, no es posible prescindir.

Las nuevas teorías elaboradas por Eduardo Torroja influyen y se reflejan en adelante en toda la posterior normativa sobre el hormigón. Lo demuestran, por ejemplo, las “Recomendaciones prácticas unificadas para el cálculo y ejecución de las obras de hormigón armado”, primera edición 1964, traducción del texto original francés, del Comité Europeo del Hormigón (CEB), dedicadas a la memoria de Eduardo Torroja. Por cierto que en el articulado de estas Recomendaciones se expresa que, salvo prescripciones particulares, “no ha lugar a someter a una prueba de carga una estructura calculada de acuerdo con las presentes recomendaciones y en la que se haya comprobado que el hormigón es de la calidad prevista, sea mediante ensayo de probetas hormigonadas separadamente y tomadas de los amasijos de ejecución, sea mediante ensayos no destructivos, sea mediante toma de muestras en la estructura ya realizada”.

A partir de la Instrucción h.a. 61, se redactan y publican varias Instrucciones oficiales sobre proyecto y ejecución de obras de hormigón, comenzando por la denominada abreviadamente EH-68. A partir de 1972 se aprueban y publican unas Instrucciones de acciones en puentes de carretera, que incluyen un artículo y su comentario sobre la realización de pruebas de carga sin distinción del tipo de material de su estructura resistente.

Paralelamente se publican una serie de Recomendaciones para el proyecto y ejecución de las citadas pruebas.

Las sucesivas Instrucciones para el proyecto y ejecución de obras de hormigón en masa o armado, desde la denominada EH-68 hasta la EH-91, contienen prescripciones bastante similares en lo que se refiere a pruebas de carga por lo que las resumimos a continuación.

En primer lugar y como prescripción de la mayor importancia, se especifica que salvo indicación contraria en el Pliego de Prescripciones Técnicas no es necesario someter a pruebas de carga las obras, proyectadas y construidas con arreglo a la Instrucción respectiva en las que el hormigón haya alcanzado la resistencia prevista en el cálculo.

En el articulado sobre el control de calidad del hormigón, si en un lote la resistencia estimada es inferior en



Fase prueba de carga (1).
Cortesía Geodisa.

cierta porcentaje (80-90 %) a la característica exigida en proyecto, puede ser aceptable la realización de una prueba de carga. En la Instrucción EH-88 en el caso anterior se sugiere la realización de estudios de seguridad considerando la escasa resistencia estimada o la obtenida en ensayos de información. La sobrecarga de prueba no debe exceder en ningún caso de la sobrecarga característica tenida en cuenta en el cálculo; incluso puede prescribirse que la citada sobrecarga sea inferior a la característica en cierta proporción. El resultado de la prueba puede considerarse satisfactorio si no se producen fisuras que comprometan la seguridad o la durabilidad de

Fase prueba de carga (2).
Cortesía Geodisa.



la obra, las flechas medidas no excedan de los valores establecidos en el proyecto y el valor de la flecha remanente cumpla un cierto requisito.

Respecto a las Instrucciones para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón pretensado, desde la denominada EP-77 hasta la EP-93, se repiten las prescripciones de las Instrucciones de hormigón en masa o armado en lo que respecta a pruebas de carga.

En algún caso, las Instrucciones de hormigón, posteriores a la Instrucción de acciones de 1972, se refieren a esta última cuando tratan de las pruebas de carga.

En 1979 la OCDE publica un documento elaborado por un grupo de trabajo internacional, al que pertenecemos, titulado "Evaluación de la capacidad portante de los puentes". De las 128 páginas de que consta esta publicación solo se dedica una a las pruebas de carga a escala natural. Exceptuando esta singular mención de un solo país, prevaleció la opinión, a nivel mundial de que no solo no se estimaba útil, sino quizá contrapropósito el realizar pruebas de carga en puentes de hormigón sin un objetivo preciso e ineludible.

Comentarios

Las pruebas de carga son citadas en la normativa de los puentes de carretera desde el principio de la misma. Comentamos a continuación la historia resumida en el apartado anterior, desde su origen hasta la anterior a la actualmente vigente. Esta normativa tiene un origen antiguo por lo que parece conveniente recordar cómo ha evolucionado la técnica y el conocimiento de los materiales utilizados en cada época.

El primer Pliego de Condiciones, de 1843 se refiere a una tipología determinada. Los puentes colgados tenían por su propia constitución un comportamiento muy desigual. Eran estructuras de dudosa durabilidad y origen de muchos accidentes. Estos antecedentes hicieron que se tomaran medidas, como el citado Pliego. Con ello se trataba de que se cumpliesen dos objetivos fundamentales: resistencia mínima inicial y conservación y mantenimiento de las obras. La primera medida puede considerarse como el origen de las pruebas de carga. El Pliego insiste, también, en la conservación de los citados puentes

El segundo Pliego del siglo XIX se refiere igualmente a un tipo de estructuras no solo de los puentes de carretera sino también de los de ferrocarril construidos en gran número dentro y fuera de nuestras fronteras.

Este Pliego y las Instrucciones siguientes hasta la de 1956 se refieren a puentes metálicos y transmiten la idea y la prescripción de realizar pruebas de carga antes de su puesta en servicio según prescribía el Pliego de los puentes colgados o colgantes. A propósito de la denominación de "colgado" creemos que es más correcta la

del adjetivo "colgante", según se deduce del Diccionario de la R. A. E. Sin embargo, conservamos en este escrito la denominación antigua; De todas formas, el colgado o colgante no es el puente sino, en todo caso, el tablero.

En las citadas Instrucciones de puentes metálicos se repite la obligatoriedad de las pruebas de carga. Existen sin embargo, excepciones de esa obligatoriedad, por ejemplo, en puentes de ferrocarril de luz menor a 7 m o cuando las vigas principales de los tramos metálicos fuesen construidas totalmente en taller. Creemos, por las advertencias y obligadas inspecciones durante la ejecución de dichas vigas, que se quiere expresar que, si los materiales y la ejecución son los adecuados y el proyecto se realiza conforme a la Instrucción, no es necesaria la prueba de carga. Hasta aquí, puentes colgados y tramos metálicos.

En cuanto a las estructuras de hormigón, comprobamos que la primera, tardía y provisional Instrucción de 1939 no impone de manera clara y contundente la obligatoriedad de la prueba de carga. La inclusión de un artículo sobre la citada prueba es más bien una reminiscencia de la normativa vigente de los puentes metálicos. A partir de la Instrucción de 1944, de acuerdo con la Instrucción ha. 61, con las recomendaciones del CEB y las resoluciones de la OCDE y de otros ejemplos fiables, la prueba de carga deja de ser obligatoria. Conviene recordar que las Instrucciones prohíben la ejecución de estas pruebas si no se ha alcanzado la resistencia prevista. Se llega a la conclusión de que si la resistencia estimada no alcanza un valor relativo respecto de la exigida en proyecto tampoco puede realizarse una prueba de carga; Si se quisiera conocer, entonces, el valor límite de la carga admisible se estaría planteando el problema de la evaluación de la capacidad portante de la estructura. En la Instrucción EH-88 se advierte en los comentarios que en general de una prueba de carga no se puede deducir que el margen de seguridad de la estructura en servicio es suficiente salvo en el caso en que la prueba se lleve hasta rotura, advertencia verdaderamente acertada. Se nos ocurre, además, que se presentan otros casos no de baja resistencia del hormigón, sino de los que se plantean a veces por otras deficiencias estructurales más importantes y de mayor influencia que la considerada de la insuficiente resistencia del hormigón.

Continuamos con un comentario sobre las estructuras de hormigón. Nos referimos, si queremos ser precisos, a los compuestos de hormigón tales como el hormigón armado o el armado-pretensado. Se admite con toda generalidad que en este tipo de estructuras se ha llegado a un conocimiento suficiente del comportamiento a flexión simple. Cuando se trata de otro tipo de comportamiento el problema es distinto. Bastaría que tratásemos de fenómenos y/o esfuerzos como el cortante, la fisuración, las



Puente de Rande. Cortesía Cedex.

distintas y posibles deformaciones, la retracción y la fluencia, etc., para dudar de la precisión de nuestras formulaciones y sus resultados. A pesar de los enormes avances en el conocimiento del comportamiento de las estructuras de compuestos del hormigón no podemos afirmar haber llegado a una solución y formulación precisa de los citados fenómenos, incluida la existencia aislada de cada uno de ellos, prueba de lo cual es la variabilidad de la exposición y de las fórmulas que presentan las Instrucciones, no solo las nuestras, sino hasta las más confiables y "seguras" del extranjero. Ignoramos, incluso, si con nuestra más moderna normativa (acciones, combinaciones, coeficientes parciales de seguridad, etc.) se ha disminuido o aumentado la seguridad.

Podemos comentar, ahora, en qué consisten las pruebas de carga de puentes de hormigón de carretera que normalmente se realizan. Exceptuando las obras importantes, tanto estructural como económicamente, o en aquellas elegidas por su singularidad ó en las que se llevan a cabo ensayos especiales, las pruebas de carga consisten en la realización de un número determinado de mediciones, normalmente flechas y la comparación con los valores de cálculo. También es bastante normal, realizar un ensayo dinámico simple.

Es menos dudosa la medición en la obra que un cálculo de flechas a pesar de que hay una gran diferencia entre las condiciones en que se miden las flechas y la forma en que normalmente se desarrollan los cálculos, debido al nivel de conocimiento en que se fundamentan dichos cálculos. No nos referimos, por supuesto, a aquellos casos notorios de deficiente ejecución y/o de insuficiencias y claros errores de proyecto.

Si se tratase de realizar otras mediciones, por ejemplo, en ensayos dinámicos, bien por imposición del Pliego de Prescripciones Técnicas, porque fuese una estructuras importante o por formar parte de una investigación, el problema, seguramente, sería distinto.

Repetimos que nos estamos refiriendo a obras normales y no a ensayos de laboratorio, en los que el número y precisión de los datos e hipótesis de partida son conocidos más exactamente y las mediciones pueden ser muy precisas.

El desconocimiento más o menos importante del comportamiento de las estructuras de hormigón ante las cargas de la prueba nos obliga a admitir la posibilidad de que se produzca algún tipo de daño. Para evitarlo se propone entonces disminuir la carga, "imaginando la curva hasta la rotura", con lo que no obtenemos ni podemos deducir con seguridad la respuesta de la estructura, objeto de la prueba.

Una de las razones por las que se propone disminuir las cargas a utilizar en las pruebas es la creencia frecuente de que las sollicitaciones producidas por las cargas reales debidas al "tráfico" son muy inferiores a las calculadas a partir de las cargas de la normativa actual. Al presentar y aprobar en 1972 el tren de cargas, prácticamente vigente en cuanto a sobrecargas de "tráfico", ya se nos advirtió de lo expuesto. Sin embargo, más de una vez ha habido que fijar las distancias a que debían situarse los camiones en la prueba, para evitar que se pudiera afectar algún elemento estructural si se disponían a menor distancia, como es, por ejemplo, lo ocurrido en el puente de Rande, donde para no pasar del esfuerzo de cálculo de los tirantes, hubo que distanciar los camiones utilizados en la prueba de carga estática.

Hay que recordar también, que el Código de Circulación define y limita las cargas de los vehículos que circulan por carretera, lo que no sucede en la mayoría de las

estructuras, en las cuales las sobrecargas de cálculo no están limitadas en la práctica tan claramente.

A la vista de los comentarios y razonamientos anteriores, de lo dispuesto en gran parte de nuestra normativa y de la suficiente y disponible tecnología actual, deberíamos disminuir o suprimir cautelarmente las pruebas de carga en puentes de hormigón de carretera. Es preciso, mientras no se tenga un completo conocimiento del comportamiento de estas estructuras, según la opinión expuesta, evitar la posible producción de daños irreparables en la estructura incluidos los menos evidentes y visibles, como los que influyen negativamente en la tan "insistida" durabilidad. Debe haber, sin embargo, excepciones debidamente autorizadas y en casos singulares, tomando toda clase de precauciones y habiendo realizado estudios y ensayos no destructivos de los que se dispone en la actualidad.

Debemos insistir en la disposición de los medios técnicos y económicos necesarios para que las obras se ejecuten y controlen según lo especificado en la normativa y exige el buen arte de la construcción de obras tan importantes como son los puentes.

En cuanto a la evaluación de la capacidad portante de puentes de hormigón por medio de pruebas de

carga, no es un medio seguro ni satisfactorio, a no ser que se admita como resultado suficiente una carga sensiblemente inferior a la realmente admisible.

En estructuras dañadas se debe suponer, como motivo a tener en cuenta, que el defecto puede ser debido no solo al proyecto, a la ejecución y a la ausencia de la debida conservación de la obra sino incluso a deficiencias u omisiones de la normativa correspondiente. Esta última causa de daños y "desarreglos" estructurales no debe extrañarnos. Hemos insistido en este escrito en el grado de conocimiento del comportamiento de las estructuras de hormigón, lo que se demuestra por los cambios en la normativa, en la continua y necesaria ampliación de su articulado y/o en los nuevos métodos y principios en que se fundamentan los cálculos. La valoración del daño y de su influencia en el estudio, previo a cualquier evaluación, resulta indispensable para obtener una primera valoración de la carga admisible.

Resumimos que las pruebas de carga en puentes de hormigón de carretera no son, en el momento actual, una solución aceptable, ni responde a los interrogantes, ni resuelve los problemas planteados. Sobre todo, la normativa española vigente así lo confirma. ♦

Referencias:

-Condiciones generales y particulares para la construcción de puentes colgados R. O. 25 Diciembre 1843.
 -Conservación y policía de los puentes colgados. Circ 12 Mayo 1846.
 -Puentes de hierro. Modelo de pliego de condiciones, aprobado por R. O. 16 julio 1878.
 -Interpretación que debe darse al art. 17 del pliego de condiciones para la construcción de los puentes de hierro, aprobado por Real orden de 16 de Julio de 1878. O. 17 Agosto 1885.
 -Adiciones a la R. O. de 16 de Julio de 1878. Dictamen de 23 de Abril de 1893.
 -Instrucción para redactar los proyectos de puentes metálicos. (Con las modificaciones propuestas por el Consejo de Obras Públicas). R. O. 25 de Mayo de 1902. M. de Agricultura.
 -Modelo de Pliego de condiciones facultativas que, además de las generales aprobadas por Real decreto de 13 de Marzo 1903, deberán regir en la ejecución de las obras del puente metálico del R. D. 2 de Abril de 1903. M. de Agricultura.
 -Pliego general de condiciones para las obras de caminos vecinales R. D. 22 de Diciembre de 1911. (Incluye condiciones de materiales, hormigón, hierro, etc. y ejecución de obras de fábrica, de hormigón armado, etc.). Fomento.
 -Instrucción para la redacción de proyectos de tramos metálicos R. O. 24 de septiembre de 1925.

-Instrucción para el Proyecto y Ejecución de obras de hormigón. O. M. 3 de Febrero 1939. M. O. P.
 -Instrucción para el Proyecto y Ejecución de obras de hormigón. O. M. 20 de Marzo de 1944. M. O. P.
 -Instrucción para el cálculo de tramos metálicos y previsión de los efectos dinámicos de las sobrecargas en las de hormigón armado. Orden 17 de Julio de 1956. M. O. P.
 -Instrucción h.a. 61 especial para estructuras de hormigón armado. I. E. T. C. C. 1961.
 -Recomendaciones prácticas unificadas para el cálculo y ejecución de las obras de hormigón armado. 1964. Traducción del texto original francés. 1ª Edición. CEB.
 -Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado EH-68. M. O. P.
 -Instrucción relativa a las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de Carreteras. Orden de 28 de Febrero de 1972. M. O. P.
 -Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado EH-73. M. O. P.
 -Recomendaciones para el proyecto y ejecución de pruebas de carga en puentes de carretera. 1974. M. O. P.
 -Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón pretensado EP-77. M. O. P.
 -Evaluation of load carrying capacity of bridges. 1979. OCDE
 -Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón pretensado EP-80. M. O. P.

-Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado. EH-80. M. O. P.
 -Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado. EH-82. M. O. P.
 -Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón pretensado. EP-86. M. O. P.
 -Pruebas de carga. Colección de Puentes Losa (1984). Mayo 1986. M. O. P. U.
 -Pruebas de carga. Colección de Puentes de vigas pretensadas (1984). Diciembre 1986. M. O. P. U.
 -Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado. EH-88. M. O. P. U.
 -Pruebas de carga en puentes de carretera. Marzo. 1988. M. O. P. U.
 -Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado EH-91. M. O. P. T.
 -Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón pretensado. EP-93. M. O. P. T.
 -Instrucción sobre las acciones a considerar en el Proyecto de Puentes de carretera. Orden de 12 de Febrero de 1998. M. de Fomento.
 -Instrucción de hormigón estructural. EHE-98. M. de Fomento.
 -Recomendaciones para la realización de pruebas de carga de recepción de puentes de carretera. 1999.