

# Auscultación de puentes de ferrocarril

M. GARZO FERNÁNDEZ (\*)

**RESUMEN** Se presentan en este artículo los métodos y técnicas empleados en la inspección, auscultación y pruebas de carga de puentes de ferrocarril, tanto metálicos como de hormigón o de fábrica. Se analizan los motivos que hacen necesarias estas actuaciones y se exponen los sistemas más apropiados para la realización de cada una de ellas, así como el tratamiento y análisis de los resultados obtenidos.

## AUSCULTATION OF RAILWAY BRIDGES

**ABSTRACT** *This paper presents the methods and techniques used for inspection, auscultation and load tests in metallic, concrete or stone railway bridges. The reasons that make these actions necessary are also analysed, as well as the most appropriate systems for the realisation of everyone of them, and the treatment and analysis of the obtained results.*

**Palabras clave:** Auscultación; Inspección; Prueba de carga; Comportamiento estructural de puentes de ferrocarril.



Puente sobre el río Guadalquivir.  
Línea Alcázar-Sevilla.

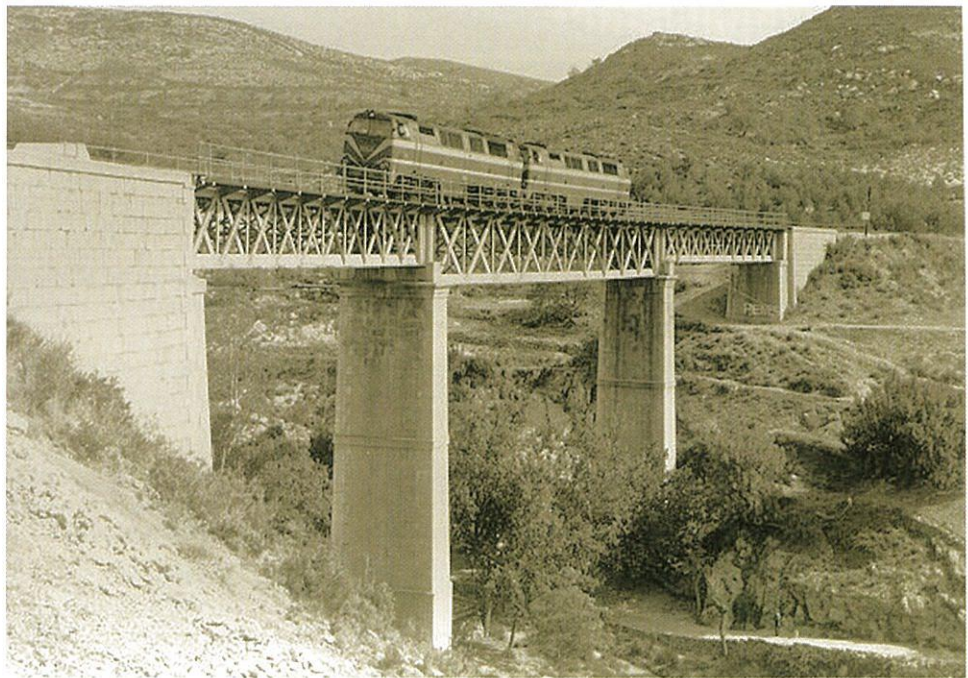
## INTRODUCCIÓN

El Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del CEDEX ha realizado para RENFE y para FEVE un elevado número de auscultaciones y pruebas de carga de puentes de ferrocarril, tanto metálicos como de hormigón o de fábrica. Estas actuaciones se realizaron, en la mayoría de los casos, efectuando campañas de inspección encaminadas a dar cumplimiento a lo reglamentado en la "Instrucción relativa a las

acciones a considerar en el proyecto de puentes de ferrocarril", que impone la obligación de efectuar inspecciones periódicas de los mismos. En el caso de los puentes metálicos la Instrucción impone la obligatoriedad de realizar, al menos cada 15 años, pruebas de carga en condiciones análogas a las pruebas de recepción de obra nueva, sin perjuicio de su realización cuando así lo aconsejen los resultados de una inspección principal. En otros casos las actuaciones se realizaron con motivo de comprobar la capacidad portante del puente o sus aptitudes para soportar el paso de determinados convoyes, estudiando, en su caso, las necesarias reparaciones y refuerzos.

(\*) CEDEX. Laboratorio Central de Estructuras y Materiales.





Puente Arroyo Tejerías.  
Línea Utiel-Valencia.



Puente La Canterá.  
Línea Córdoba-Málaga.

Las auscultaciones y pruebas de carga de puentes metálicos de ferrocarril se inician por el Laboratorio Central en los años 60, teniendo, a partir de 1972 el carácter de campañas periódicas, habiéndose ensayado hasta la actualidad unos 150 puentes de la Red pertenecientes, entre otras, a las líneas Madrid-Cádiz, Córdoba-Málaga, Madrid-Hendaya, Castejón-Bilbao, Madrid-Badajoz, Madrid-Barcelona, León-Gijón, Palencia-Coruña y Barcelona-Mataró. En 1988 se inician una serie de campañas de auscultación de puentes de hormigón y fábrica, habiéndose realizado la inspección de

unos 200 puentes de este tipo, correspondientes a las líneas Venta de Baños-Santander, Zafra-Huelva, Madrid-Barcelona, La Encina-Valencia, La Plana-Roda de Bará, Madrid-Hendaya y Valencia-Tarragona.

El estudio de cada puente se inicia con una inspección visual en la cual se procede a un análisis exhaustivo del mismo, examinando la patología que presentan las distintas partes de la estructura, pilas, estribos, aparatos de apoyo superestructura de vía, etc. Cuando es posible se examina también el estado de la cimentación, bien directamente o



por los indicios que, debidos a su mal funcionamiento, pudieran detectarse en otros elementos de la infraestructura. En cualquier caso se sigue una metodología tratando de determinar las causas y los mecanismos de degradación, de forma que se pueda disponer de los criterios necesarios para decidir cuales deben ser las actuaciones concretas en orden a efectuar una correcta reparación. Dichas actividades son:

- a) **Documentación previa**, en donde se recopilan todos los datos disponibles sobre el puente en estudio para, a partir de los mismos, programar la inspección de la estructura, definiendo en lo posible cuales pueden ser los puntos conflictivos. Asimismo se tendrá constancia de las posibles reparaciones anteriores. Esta actividad se realiza, fundamentalmente, consultando el Archivo General de la Administración y los Archivos Generales de Renfe.
- b) **Inspección Técnica**, consistente en una inspección visual de todos los elementos del puente, y en donde se definirá:
  - Su situación geográfica.
  - La descripción tipológica de todos sus elementos.
  - La descripción de la patología que presenta.

Esta parte del trabajo se realiza en primer lugar sobre el mismo puente, tomándose todos los datos necesarios para cumplir el contenido de los tres puntos anteriores para, posteriormente, contrastar en gabinete toda la información recopilada, entre sí y con la obtenida en la Documentación previa.

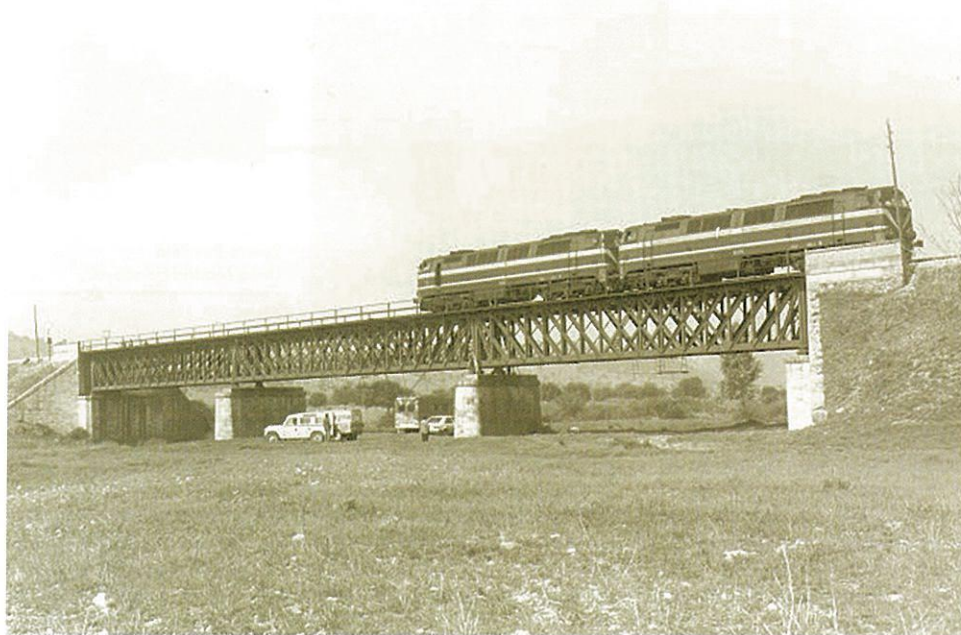
- c) **Valoración y dictamen final**, donde se indican, según el criterio del equipo técnico que realiza la inspección, cuales son las causas más probables que han producido la patología del puente, así como la importancia de ésta tanto en lo relativo a su comportamiento estructural

como respecto a la durabilidad. Finalmente se indican las posibles medidas a tomar para solventar dichos problemas, dando una serie de recomendaciones sobre cuales deben ser las actuaciones que se deben llevar a cabo en el puente, así como el plazo en que se deben realizar. Se acompaña todo esto con un reportaje fotográfico y una ficha técnica en que se resume la patología del puente.

En la mayoría de los casos la inspección visual nos permitirá conocer con cierta precisión el estado general del puente, su grado de conservación y mantenimiento y la necesidad de reparaciones en zonas dañadas o envejecidas. Esto permitirá una evaluación a priori de su funcionalidad y capacidad portante frente a las cargas de servicio, pudiendo llegarse a aconsejar la sustitución de la estructura o de algunos de sus elementos cuando así lo aconseje el análisis de su estado o la gravedad de los daños que presenta. Se efectúa, al tiempo que la inspección, una medida o comprobación de los distintos elementos de la estructura, útil para confeccionar un modelo teórico de la misma, y, cuando se considera necesario, la toma de muestras de los materiales estructurales para la determinación en el Laboratorio de las características mecánicas y resistentes de los mismos.

Cuando de las condiciones del puente deducidas de la inspección visual se deduzca la necesidad de realización de una prueba de carga, o bien ésta deba realizarse en cumplimiento de la normativa vigente, se efectúa un análisis crítico de las condiciones a tener en cuenta para su realización: se estudia la accesibilidad de los puntos de medida, necesidad de medios auxiliares, métodos más adecuados a emplear para la medición de las magnitudes objeto de ensayo, etc.

Para la realización de la prueba de carga de un puente es necesario un conocimiento previo del mismo, de su tipología, de su estructura, del estado de su sustentación, del estado de la plataforma, etc., de forma que sea posible prever su com-



Puente sobre el río Alcudia.  
Línea Madrid-Badajoz.





Puente Rvilleja.  
Línea Madrid-Hendaya.

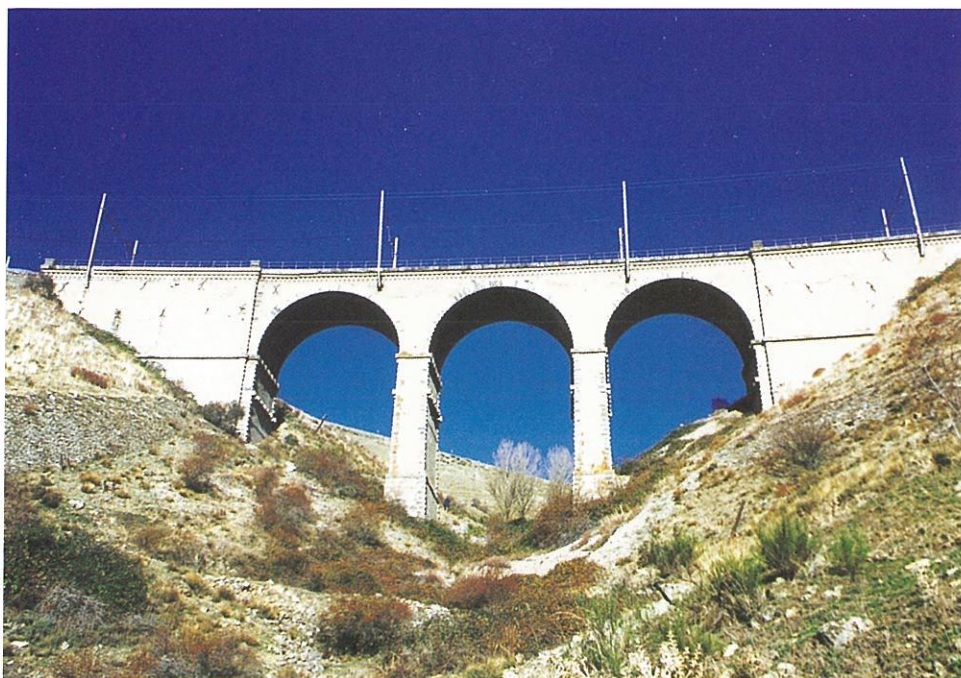


Puente Rvilleja.  
Línea Madrid-Hendaya.

portamiento y estudiar las distintas hipótesis de carga a que debe ser sometido. Este conocimiento previo interesa que sea lo más completo posible, pues esto nos permitirá situar con mayor precisión los puntos de medida en los elementos de la estructura más representativos evitando que su número se haga excesivamente elevado, lo cual sucede inevitablemente cuando se desconoce la forma de trabajo de gran número de elementos y su funcionamiento conjunto. Lo dicho para la fijación de los puntos de medida vale también para el estudio de las hipótesis de carga que es preciso considerar.

Es decir, el conocimiento de la estructura nos permitirá realizar un análisis más completo de la misma con menos puntos de medida y, previsiblemente, con menos hipótesis de carga, aunque lógicamente todo ello dependerá siempre del grado de complejidad de la estructura, de la posibilidad de efectuar simplificaciones teniendo en cuenta simetrías o duplicaciones, y del fin u objetivo que se pretenda conseguir, que siempre condicionará lo más o menos exhaustiva que deba ser la prueba. En cualquier caso, si no se tienen en cuenta criterios objetivos para la realización del proyecto de





Puente Valdespino.  
Línea Madrid-Hendaya.



Puente Valdespino.  
Línea Madrid-Hendaya.

la prueba, su realización puede resultar inviable, tanto en el aspecto material como en el económico.

Para la realización de cualquier ensayo sobre una estructura es necesario, aparte de disponer de los medios materiales necesarios, contar con un equipo adecuado de personal especializado, tanto en el replanteo y colocación de los instrumentos de medida como en la rápida y correcta lectura de los mismos. El Ingeniero que esté al frente de las pruebas deberá poder interpretar en tiempo real las medidas de las magnitudes más características, a fin de corregir, si es preciso la mar-

cha del ensayo, ordenar cuando sea preciso la realización de pruebas complementarias y graduar las distintas fases de los ensayos para evitar posibles daños a la estructura.

Con los datos obtenidos o comprobados de las mediciones y los valores de los trenes de carga disponibles se redacta el proyecto de la prueba de carga, en el que se especifican las distintas fases e hipótesis de carga que se van a considerar, siempre dentro de los límites de seguridad, realizando los cálculos correspondientes de la estructura (utilizando normalmente programas de ordenador basados en técnicas ma-



Puente Río Gaia.  
Línea La Plana-Roda de Bará  
(Tarragona).



Puente Río Gaia.  
Línea La Plana-Roda de Bará  
(Tarragona).

triciales). De esta forma se comprueban los valores obtenidos en las pruebas, lo que permitirá evaluar correctamente el estado de la estructura.

Las hipótesis de carga a que se somete a una estructura durante su prueba de carga pueden ser estáticas o dinámicas. Las pruebas estáticas se realizan colocando los trenes de carga en aquellas posiciones en que se haga trabajar a los elementos más representativos de la estructura, considerando las distintas variables que puedan incidir en su comportamiento.

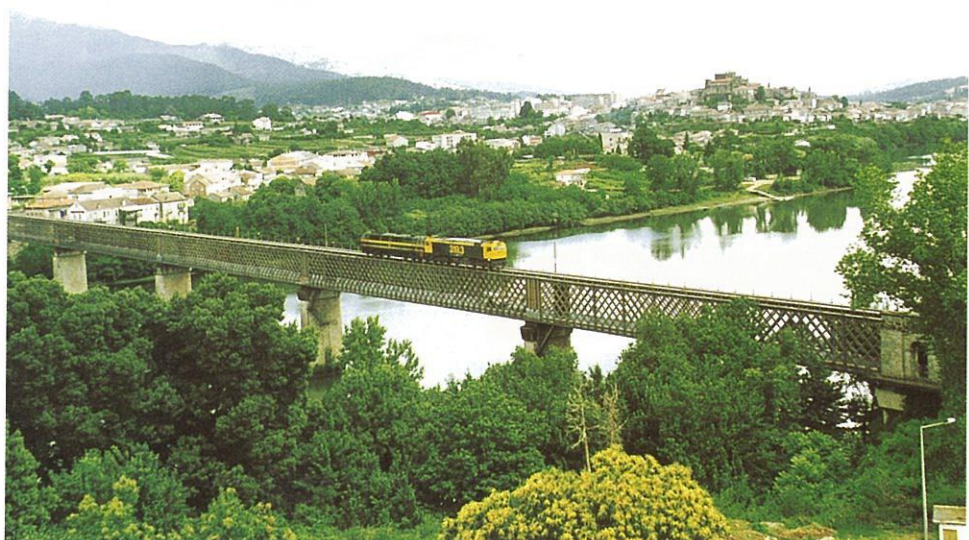
En las pruebas dinámicas se hacen pasar los trenes de carga a distintas velocidades, a fin de obtener la mayoración de las distintas magnitudes a medir. Suelen consistir en dinámicas lentas, a velocidades comprendidas entre 5 y 20 Km/h; dinámicas rápidas, a velocidades del orden de 70 a 140 Km/h, según el tipo de puente y las condiciones de la vía; pruebas de aceleración y pruebas de frenado, también a velocidades lentas y rápidas.

Las magnitudes que son objeto de medida son, generalmente, los o desplazamientos verticales u horizontales de





Puente Río Miño.  
Tuy (Pontevedra).



Puente Río Miño.  
Tuy (Pontevedra).

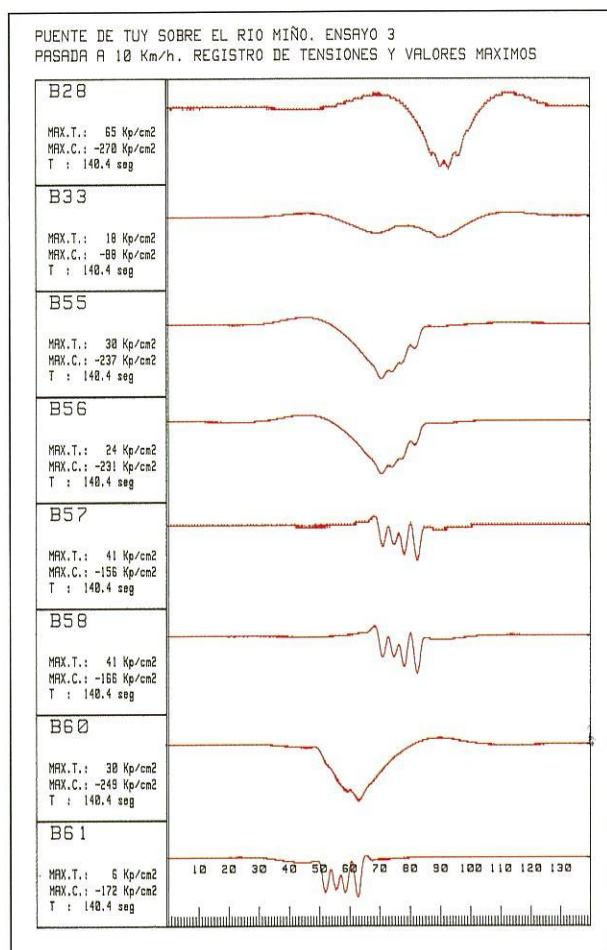
distintos elementos, giros absolutos o relativos y deformaciones. En las pruebas dinámicas se miden también las frecuencias de los distintos modos de vibración, el amortiguamiento y otros parámetros dinámicos.

Para la medida de desplazamientos se utilizan distintos aparatos mecánicos, ópticos o electrónicos. Los más utilizados son los flexímetros o relojes comparadores, que aprecian las centésimas de milímetro y pueden tener indicadores de máxima y mínima. Pueden utilizarse directamente o suspendidos mediante barras rígidas o cables ten-

sos. Su precisión está siempre en función inversa del campo de lectura del aparato. Su inconveniente es que necesitan siempre un apoyo fijo para cada punto cuya flecha se desea medir, lo cual les hace difíciles de utilizar en caso de puentes de gran altura o en los casos en que el suelo inferior sea inaccesible o esté ocupado por una corriente de agua.

Se utiliza también el método de nivelación, consistente en situar un nivel de precisión en un punto fijo exterior al puente y mediante regletas calibradas, sujetas rigidamente





Registro de tensiones.

a los puntos de medida y orientadas convenientemente, observar el movimiento vertical de la estructura. La precisión conseguida en estas medidas depende mucho de la distancia a que se sitúa el nivel, que, en condiciones normales, no debe ser superior a 50 m para apreciar la décima de milímetro. Los puntos de estación deben elegirse de forma que permitan abarcar el mayor número de puntos cuyas flechas se desean medir.

Los aparatos anteriores no son los adecuados para medidas en pruebas dinámicas. Cuando se desee obtener el registro continuo de la flecha al paso del tren de carga deberán utilizarse registradores dinámicos, unidos a flexímetros que, por algún método, permitan un registro continuo de la señal. Para este fin los más usados los son de tipo inductivo (LVDT). La señal se almacena analógicamente o digitalmente su posterior estudio y análisis en gabinete.

Para la medida de giros se utilizan inclinómetros, generalmente de burbuja, que permiten apreciar la diezmilésima de radian.

Las deformaciones, que son la base para calcular las tensiones existentes, suelen medirse mediante galgas extensométricas, procedimiento electrónico basado en la teoría del puente de Wheatstone. Para conocer el estado tensional de un punto de la superficie se usan las rosetas, que permiten medir las deformaciones en tres direcciones independientes. Los puntos de medida deben tratarse cuidadosamente antes

de la colocación de la galga o de la roseta para conseguir un buen pegado. Asimismo debe procurarse una protección adecuada para mantener su resistencia frente a los fenómenos térmicos o higrométricos.

Para medidas dinámicas se utilizan, de modo similar a lo comentado en el caso de las flechas, registradores que permiten la grabación continua de la señal al paso del tren de carga. En las primeras épocas se utilizaron galvanómetros de espejo sobre los que incide un rayo de luz ultravioleta que impresiona el papel fotosensible que se desliza por el tambor. Otros utilizan el sistema de impresión directa mediante fibra óptica en el papel del tambor. Es importante, en estos casos, fijar la velocidad adecuada del papel y la escala de amplitudes para conseguir un registro lo más idóneo posible. Los sistemas más avanzados realizan una grabación de los resultados en cinta magnética o en disco, para luego poder tratarla, procesarla y reproducirla en gabinete. Cada sistema tiene sus ventajas e inconvenientes, según el tipo de ensayo de que se trate.

Es siempre importante, al fijar la situación de los puntos de medida, tener en cuenta el acceso a los mismos y la mayor o menor dificultad que puede tener la colocación en ellos del aparato de medida empleado. En caso de puntos análogos deben elegirse aquellos cuya colocación sea más factible y cómoda.

De los datos que se obtienen durante la prueba de carga, aquellos que son más característicos y que van a proporcionar más información sobre el comportamiento de la estructura deben observarse y contrastarse durante la misma para detectar posibles errores y proceder a su revisión, además de efectuar el seguimiento del comportamiento de la estructura durante las distintas fases.

En las pruebas estáticas deben tomarse valores iniciales en descarga, valores de carga inicial y valores a intervalos fijos de tiempo, observando la estabilización de los mismos con el tiempo. Una vez retirada la carga, o cuando ésta ha pasado a una posición distinta, se toman lecturas iniciales en descarga y periódicas a intervalos fijos de tiempo hasta la estabilización de las lecturas. En general, salvo que se trate de hipótesis análogas a otras ya comprobadas, es recomendable repetir las pruebas al menos una vez para obtener una garantía en los valores de los resultados.

Suelen efectuarse simplificaciones cuando existan simetrías, pero siempre deben instrumentarse los puntos más característicos y comprobar que ésta se cumple. La concordancia de resultados en puntos simétricos frente a solicitaciones simétricas entre sí es una comprobación importante del correcto funcionamiento de la estructura.

También se suelen simplificar las pruebas, tanto en el número de puntos a instrumentar como en el número de fases y ciclos a realizar, cuando se trate de puentes de varios vanos análogos entre sí, o bien cuando se trate de puentes gemelos, aunque independientes. En los vanos análogos o similares a otros en los cuales se haya hecho la prueba completa pueden efectuarse pruebas reducidas, aunque tomando siempre las medidas más significativas y comprobando el funcionamiento de los elementos fundamentales. Si los resultados no son concordantes con los de sus similares sería preciso replantearse las pruebas a realizar.

Durante los ensayos se realiza un control continuo de la temperatura para proceder, en caso necesario, a las oportunas correcciones de los valores obtenidos.

Los valores obtenidos en la prueba de carga, unidos a los obtenidos en la inspección, que se completa y culmina du-



rante la prueba, y a los proporcionados por el cálculo permiten realizar un análisis del funcionamiento de la estructura y de su seguridad frente a las cargas de servicio. Con todos estos datos será posible aconsejar las medidas a tomar en cada caso para ponerla, si procede, en condiciones óptimas de funcionalidad.

En los trabajos realizados por el Laboratorio Central del CEDEX de pruebas de carga de puentes de ferrocarril, el estudio de cada uno de ellos dio lugar al correspondiente Informe en el que, además de los datos del puente, se describía la situación de todos los puntos de medida, los trenes de carga utilizados y las distintas pruebas realizadas, estáticas y dinámicas, incluyendo en estas últimas el sentido y la velocidad de paso del tren de carga. Se daban, a continuación, los valores de la respuesta obtenidos en las distintas prue-

bas. Se comparaban los resultados experimentales con los teóricos y se obtenían las conclusiones correspondientes, completando el informe con las recomendaciones a seguir sobre el mantenimiento, reparación o refuerzo de la estructura del puente, así como la urgencia y los plazos relativos a cada una de las actuaciones.

Otro factor importante es la explotación de los resultados, consistente en el tratamiento informático de la información recopilada en las inspecciones y pruebas realizadas en los distintos tipos de puentes, lo cual permite un análisis global de las patologías y del comportamiento de los mismos en función de los distintos factores, permitiendo programar actuaciones generales sobre los mismos y obtener conclusiones útiles para el diseño de los puentes de cada una de las tipologías.



# INOCSA

INOCSA INGENIERIA, S.L.

## **INOCSA PARTICIPA EN LA REDACCIÓN DEL PROYECTO Y CONTROL Y VIGILANCIA DE LAS OBRAS EN LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTIERA FRANCESA**

Tramo: MADRID-ZARAGOZA

- Subtramo XII-a.
- Salida de Madrid y Conexión con la Línea de Alta Velocidad Madrid-Sevilla.

Tramo: ZARAGOZA-LLEIDA

- Subtramos III y VI.

Tramo: LLEIDA-MARTORELL

- Subtramos IV-a y IV-b.

