

# puentes de hormigón

## **NUEVOS DESAFÍOS PARA PUENTES ANTIGUOS LA AMPLIACIÓN DEL PUENTE ARCO DE ELCHE DE LA SIERRA**

**PETER TANNER**

*INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS*

*CESMA INGENIEROS & IETCC-CSIC; MADRID*



Fotografía: Paco Gómez

El puente sobre el río Segura en Elche de la Sierra (Albacete), de 40 metros de luz, fue construido en el año 1927 de acuerdo con la colección oficial de puentes arco redactada por el célebre ingeniero Eugenio Ribera (1864 - 1936). En el marco de la mejora de la carretera de Elche a Férez, llevada a cabo en 2001, fue necesario ampliar el ancho del tablero de 6 a 9 metros. Para esta ampliación se adoptó una solución con hormigón in situ, utilizando el tablero existente como encofrado durante su construcción. El hormigón nuevo se conectó al existente adoptando un conjunto de medidas —hidrodemolición de la superficie del tablero existente para obtener una rugosidad adecuada; aplicación de un puente de unión; utilización de un hormigón de baja retracción— que aseguran su trabajo solidario. Mediante un procedimiento de evaluación que incluye métodos probabilistas de cálculo se justificó la fiabilidad de la estructura para las nuevas condiciones de utilización sin necesidad de reforzarla.

## 1. Introducción

No es posible económicamente, ni está justificado técnicamente sustituir todos los puentes que hayan alcanzado el fin de su período de uso previsto, o aquellos en los que se hayan observado daños o anomalías. Por otro lado, el volumen y las cargas del tráfico que pasa por los puentes existentes evolucionan y suelen ser más elevados que en el momento de su construcción. También aumentan las exigencias relativas a la fiabilidad de las estructuras en general: las normas estructurales recientes aceptan cada vez menos la posibilidad de que las estructuras puedan sufrir daños; en otras palabras, cada vez se aceptan menos riesgos [1]. Por todo ello, la pregunta si las estructuras existentes tienen una fiabilidad adecuada para las condiciones actuales y futuras de uso, es de una importancia creciente para los organismos competentes.

Se estima que en los países con una infraestructura desarrollada, la mayoría de los ingenieros estructurales se tendrán que dedicar a la evaluación y al mantenimiento de las estructuras existentes [2]. Algunos de los motivos para llevar a cabo la evaluación de un puente existente son:

- anomalías observadas en una inspección periódica,
- fin del período de uso previsto,
- cambio de uso,
- detección de errores en el proyecto o en la ejecución,
- detección de daños,
- comportamiento no satisfactorio en servicio,
- incidentes (por ejemplo, choques de vehículos, sismo, socavación, etc.),

- nuevos conocimientos, por ejemplo en relación con materiales de construcción antiguos,
- cambio de la normativa.

La diferencia fundamental entre la evaluación de estructuras existentes y el proyecto de estructuras de nueva construcción reside en el estado de información. En el caso de una nueva construcción, los parámetros de los modelos de las cargas y de la resistencia de la estructura deben basarse en valores esperados, y se deben anticipar las imprecisiones relacionadas con la ejecución. Cuando la estructura analizada existe ya, son muchas las incertidumbres que se pueden reducir porque es posible afinar los modelos de cálculo para cada caso, aprovechando los resultados de inspecciones, ensayos y mediciones in situ. En estructuras existentes siempre es posible incrementar el nivel de precisión de los modelos de cálculo a través de la adquisición de más datos sobre la estructura analizada. Por este motivo, una evaluación se suele llevar a cabo según un procedimiento por fases en el que, partiendo de datos generales, se afinan los modelos de resistencia y de las acciones de una fase a otra, actualizando y mejorando la información disponible. En la mayoría de los casos, el coste de la actualización de la información se compensa con una reducción significativa del coste de la intervención o de otros costes, puesto que una evaluación demasiado conservadora puede conducir a limitaciones no justificadas de las cargas variables de uso, así como a refuerzos o demoliciones innecesarios de estructuras existentes.

El presente artículo trata el tema de la evaluación de la fiabilidad de los puentes existentes a través del análisis de un

# puentes de hormigón

Figura 1.- Caracterización geométrica del puente existente.

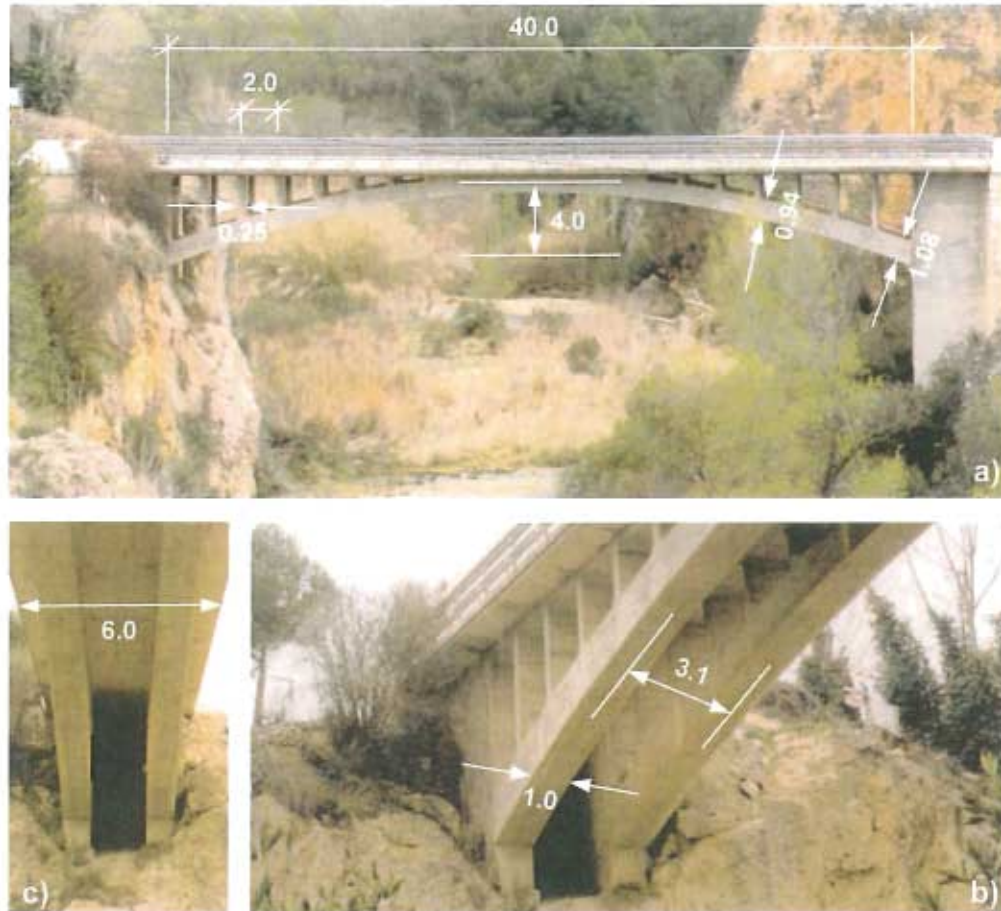


Figura 2.- Construcción del puente original con cimbras autoportantes (Fotografías atribuidas a Luis Escobar).



caso real, un puente arco de más de 70 años de edad cuyo tablero se quería ampliar. Existían dos motivos para llevar a cabo una evaluación. Por un lado, la ampliación del tablero equivale a un cambio de uso y, por otro lado, las exigencias que están detrás de las normas actuales son superiores a las exigencias de las normas que estaban en vigor en el momento de la construcción del puente original. El reto consistía en la justificación de la fiabilidad de la estructura existente para las nuevas condiciones de utilización sin necesidad de reforzarla.

## 2. El puente

El puente arco en Elche de la Sierra (Provincia de Albacete) tiene 40 m de luz y fue construido en el año 1927 siguiendo las ideas y directrices del célebre ingeniero Eugenio Ribera (1864 - 1936) que se plasmaron en una colección oficial de puentes arco. El río Segura se salva con un doble arco de 1,0 m de ancho, canto variable con 1,08 m en el empotramiento y 0,94 m en la sección de riñones, directriz en parábola de segundo grado y con una relación flecha/luz de 1/10 (Figura 1). La separación entre los dos arcos es de 3,1 m. Los montantes están formados por tabiques verticales, del mismo ancho que el arco, 0,25 m de espesor y con una separación de 2,0 m entre sus ejes. El tablero es de hormigón armado con una losa maciza binervada, unida monolíticamente con los arcos en el centro del vano. Los estribos están formados por unos muros que resisten los empujes transmitidos por los arcos.

La armadura de los arcos está formada por perfiles laminados por lo que estos puentes se pueden considerar como precursores de la construcción mixta. Durante la construcción los perfiles laminados constituían una cimbra autoportante (Figura 2). Esta técnica, desarrollada por Ribera, presentaba una doble ventaja. Por un lado permitía eliminar las complejas cimbras tradicionales y, por otro lado, contribuía a atenuar los riesgos inherentes a las crecidas de los ríos.

De acuerdo con la colección oficial para los puentes de carreteras de tercer orden, el puente original tenía un ancho total de la plataforma de 6,0 m, con un ancho de calzada de 4,50 m y dos aceras de 0,75 m. Las dos aceras habían sido eliminadas en fechas desconocidas, de manera que antes de

la intervención la calzada ocupaba el ancho total de la plataforma. En el marco de la mejora de la carretera de Elche a Férrez, llevada a cabo en el año 2001, fue necesario ampliar el ancho del tablero de 6,0 m a 9,0 m.

## 3. Solución estructural

Debido a que las condiciones futuras de uso implican una ampliación del tablero, la evaluación de la fiabilidad del puente existente requiere la adopción previa de una solución conceptual. Al igual que en el caso de las estructuras de nueva construcción, partiendo de una idea estructural, la concepción consiste en el desarrollo de la solución en términos de dibujos esquemáticos que incluyan los detalles estructurales. La viabilidad se debe demostrar mediante cálculos simplificados. El resultado de este paso debe incluir la definición de las dimensiones de los elementos estructurales para la solución adoptada.

La solución propuesta para la ampliación de este puente arco se basa en la construcción de un tablero nuevo mediante hormigón in situ. En esta solución, el tablero existente tiene una doble función. Por un lado se utiliza durante la construcción como encofrado de la parte central del tablero nuevo; por otro lado, a través de una adecuada conexión, debe trabajar solidariamente con el hormigón nuevo, integrándolo en el mecanismo resistente del puente ampliado (Figura 3). El espesor mínimo de la capa de hormigón nuevo se determina de forma que los esfuerzos cortantes en la sección de transición entre el voladizo nuevo y la parte recrecida del tablero existente se puedan transmitir sin tener que disponer una conexión mecánica a estos efectos.

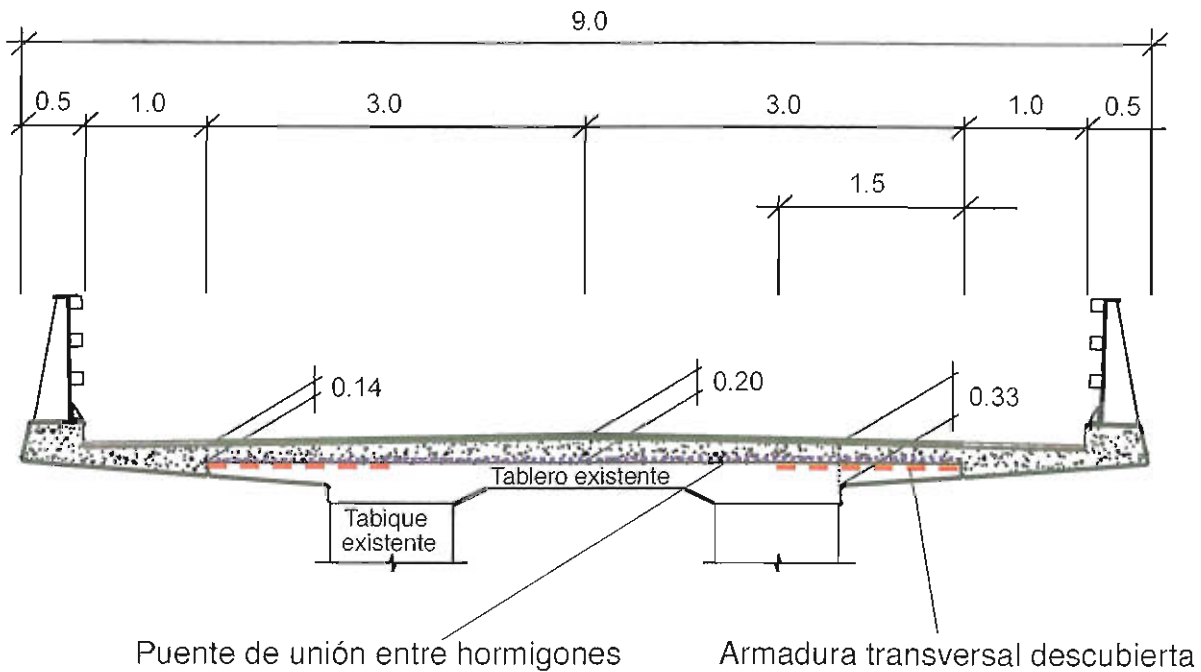
Para establecer la conexión mencionada entre los hormigones existente y nuevo del tablero ampliado, y para asegurar un adecuado comportamiento en servicio —particularmente para atenuar la fisuración del hormigón nuevo vertido sobre el tablero existente— se adopta un conjunto de medidas:

- En unas franjas de 1,5 m de ancho a ambos lados del tablero se descubren las armaduras transversales existentes, obteniendo una conexión mecánica de los dos hormigones (Figuras 3 y 4).



# puentes de hormigón

Figura 3.- Sección transversal de la solución estructural.



- En la superficie de contacto de los dos hormigones se establece un puente de unión.
- Para la ampliación del tablero se emplea un hormigón de baja retracción.
- Colocación de la armadura necesaria a efectos del control de la fisuración.

En cuanto a la estructura existente, la idea estructural consiste en no reforzarla y en no alterar ni los arcos ni los tabiques ni las cimentaciones. Para justificar su adecuada fiabilidad para las nuevas condiciones de uso es necesario llevar a cabo una evaluación estructural.

## 4. Procedimiento de evaluación

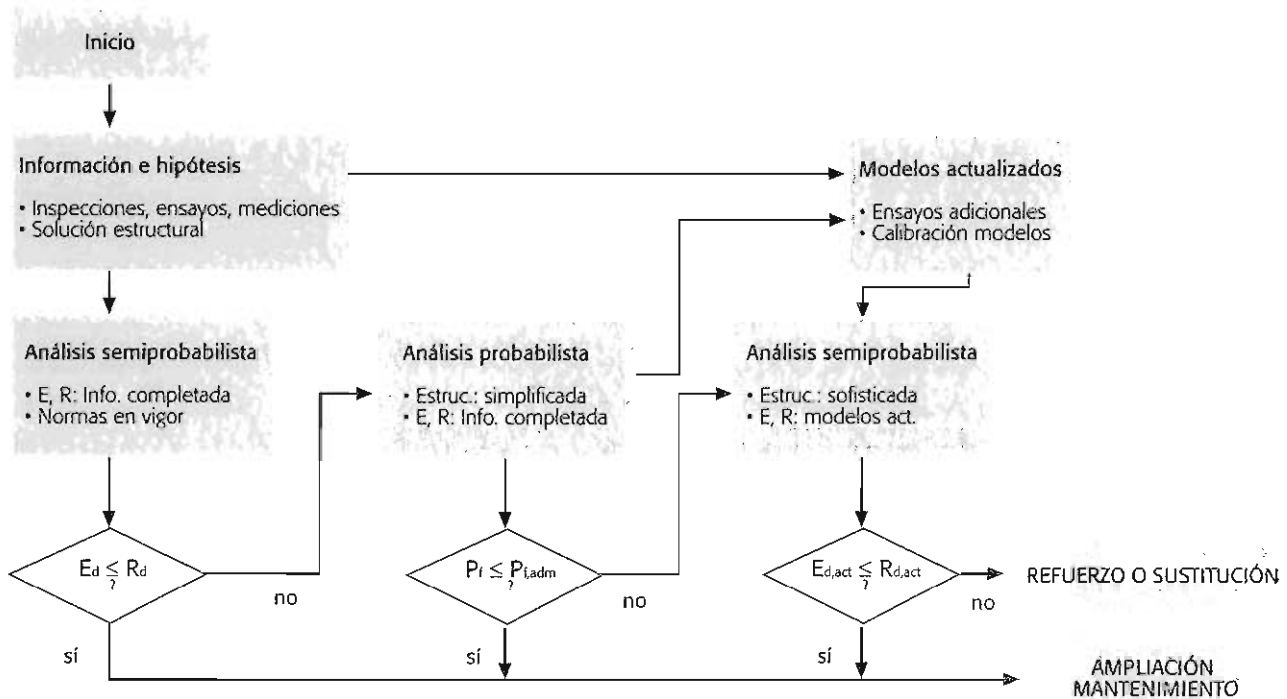
### 4.1. Evaluación por fases

La Figura 5 muestra el concepto del procedimiento de evaluación por fases llevado a cabo, así como su relación con la actualización de la información. Antes de proceder a la primera fase de la evaluación se debe recopilar toda la información disponible sobre la estructura. La validez de esta información se debe confirmar mediante una inspección visual. Dependiendo de la información disponible, también puede resultar necesario completar los datos previos mediante mediciones o incluso mediante ensayos para poder efectuar una evaluación. En el presente caso, la realización de la evaluación estructural para las condiciones futuras de uso exige también

Figura 4.- Armadura transversal existente descubierta en la franja lateral.



Figura 5.- Evaluación por fases y su relación con la actualización de la información.



la adopción de una hipótesis sobre una posible solución estructural puesto que está ligada al ensanche del tablero.

En la primera fase de la evaluación se lleva a cabo un análisis semiprobabilista, utilizando los criterios de verificación de la seguridad estructural según un conjunto consistente de normas para el dimensionado de puentes de carretera que estén en vigor, por ejemplo las instrucciones españolas de acciones en puentes de carretera y de estructuras de hormigón ([3], [4]). A estos efectos, los modelos de cálculo para las acciones y para la resistencia se basan en la información completada sobre la estructura, así como en las hipótesis adoptadas para la ampliación del tablero. En caso de que la seguridad quede verificada para todos los elementos estructurales según los criterios mencionados, no es necesario proceder a la siguiente fase de la evaluación: el tablero puede ser ampliado sin necesidad de reforzar la estructura existente.

En caso contrario, se podría decidir el refuerzo de la estructura existente o, lo que es más razonable, se procede a la segunda fase de la evaluación. A estos efectos se establece un modelo simplificado para la estructura o para el elemento

estructural más crítico identificado en la primera fase, que permita un análisis de la fiabilidad de la estructura. Para este análisis se utilizan modelos probabilistas para las acciones y para la resistencia de la estructura. En la obtención de estos modelos se tiene nuevamente en cuenta la información completada sobre la estructura real. Si la estructura no cumple el criterio de la verificación de la seguridad estructural, es recomendable proceder a la siguiente fase de la evaluación, basada en un incremento de la precisión de los modelos de cálculo.

La mejora de los modelos es posible a través de la recopilación de más información específica sobre la estructura y sobre las acciones. El análisis probabilista de la segunda fase de la evaluación aporta datos muy útiles para la planificación de las inspecciones, mediciones y ensayos adicionales: de los resultados es posible deducir para cuales de los diferentes parámetros la actualización resulta más eficaz [5]. La información así mejorada se puede emplear para calibrar modelos deterministas actualizados para las acciones y para la resistencia [6].

En la tercera fase de la evaluación se lleva a cabo un análisis semiprobabilista de la fiabilidad de la estructura utilizando

# puentes de hormigón

los modelos actualizados de las acciones y de la resistencia. A estos efectos se puede emplear, además, un modelo estructural más sofisticado que el empleado en las fases anteriores, incrementando aún más la precisión de la evaluación.

Si la fiabilidad de la estructura no puede ser verificada en esta tercera fase de la evaluación, existen diferentes posibilidades para la continuación: se podría seguir con la evaluación, incrementando aún más la precisión de los modelos a través de la adquisición de más datos sobre la estructura y sobre las acciones; alternatively se podría llevar a cabo una verificación probabilista con los modelos actualizados de las acciones y de la resistencia y utilizando un modelo estructural sofisticado. Sin embargo, si una reducción adicional de las incertidumbres relacionadas con las acciones y con la resistencia previsiblemente no lleva a ningún beneficio tangible, se debería decidir el refuerzo o la sustitución de la estructura existente.

En el caso de que la fiabilidad del puente quede verificada en alguna de las fases de la evaluación, se puede proceder a la ampliación de su tablero sin necesidad de reforzar la estructura existente. Al igual que para los puentes de nueva construcción, también se deben planificar y poner en práctica unas medidas de mantenimiento adaptadas a las características del puente ampliado. Finalmente, se deben establecer las inspecciones necesarias y los plazos de realización de las mismas con el fin de asegurar que la estructura se encuentre en un estado aceptable para cumplir su función durante el período de uso futuro.

## 4.2. Actualización de la información

### 4.2.1. Generalidades

La calidad de la evaluación de una estructura existente no puede ser mejor que la calidad de la información en la que se basa. Por este motivo, la recopilación y la actualización de la información disponible constituyen, probablemente, los pasos más importantes en la evaluación de la fiabilidad de una estructura existente. En muchos casos, debido a la falta de información, resulta necesario completar, mediante inspecciones y ensayos, los datos disponibles antes de proceder al análisis semiprobabilista de la primera fase de la evaluación (Figura 5). La definición del programa de inspecciones, ensayos y mediciones incluye la selección de los parámetros que

se quieran actualizar, la definición de los métodos de observación, la selección de probetas y testigos, las condiciones y disposiciones para los ensayos, el número de ensayos y los métodos de evaluación [6 y 7].

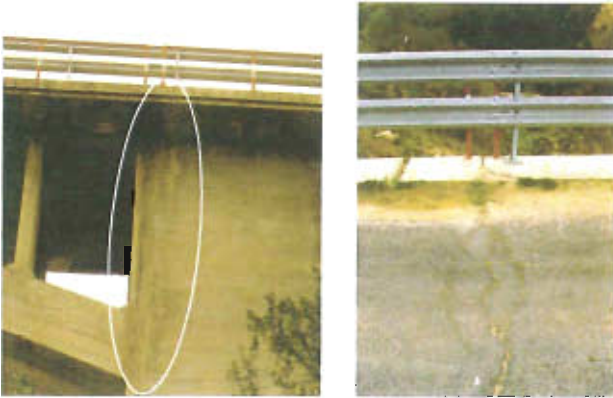
Si en el marco de la actualización de la información se efectúan ensayos, la muestra debe ser representativa proporcionando un número suficiente de resultados para la determinación de la variación estadística de los parámetros actualizados. Por motivos económicos, sin embargo, en la práctica diaria normalmente solo se puede efectuar un número limitado de ensayos, lo que constituye una fuente adicional de incertidumbre y conduce a errores de estimación. La desviación típica que representa la variación de los resultados, determinada para una muestra limitada, subestima normalmente la desviación típica de toda la población. Por este motivo, en la fase de la planificación de la adquisición de datos, puede ser conveniente analizar la influencia del número de ensayos y del método de evaluación sobre los resultados.

Si el número de ensayos es limitado, la evaluación de los resultados según métodos clásicos del cálculo estadístico puede conducir a valores característicos extremadamente conservadores para las variables actualizadas [7]. En caso de existir conocimientos previos, éstos pueden contribuir a reducir los errores de estimación mencionados, lo que conduce a resultados menos conservadores. Por ello, la evaluación de los resultados experimentales debería llevarse a cabo de acuerdo con modelos estadísticos que permitan la introducción de los conocimientos previos: basado en el conocimiento previo de la distribución (distribución a priori) de la variable analizada se puede deducir una distribución a posteriori, incorporando los resultados obtenidos en un número limitado de ensayos.

### 4.2.2. Información disponible

En el presente caso, la información disponible resulta relativamente extensa. Tanto la mencionada colección oficial de puentes arco de Ribera, como algunos estudios recientes sobre un número limitado de estos puentes que todavía están en servicio [8], contienen datos de gran utilidad. Además, la recopilación de información sobre el puente de Elche de la Sierra ha permitido localizar algunos documentos correspondientes al proyecto original tales como la memoria y los planos.

Figura 6.- Resultados de la inspección visual: Fisuras y filtraciones en la zona de los estribos, grietas en la capa de rodadura en la misma zona.



### 4.2.3. Inspecciones y ensayos

A la vista de la información disponible se ha establecido un programa de adquisición de datos muy reducido. Los objetivos han sido dos. Por un lado se trataba de confirmar la validez de los datos recopilados previamente y, por otro lado, de completarlos donde todavía existían lagunas. Con estos fines se ha efectuado un control estadístico de la geometría de los elementos principales, así como de las características de los hormigones empleados en estos elementos. También se ha efectuado una inspección visual para detectar los posibles daños y desperfectos tales como fisuras, filtraciones o huellas de corrosión. Finalmente, se ha estimado necesario efectuar un estudio geotécnico, tanto para confirmar las condiciones de la cimentación de los arcos como para determinar las características geotécnicas de los rellenos entre los muros en las zonas de acceso a la estructura propiamente dicha.

En términos generales, la información disponible sobre la estructura se ha revelado como fiable y se ha encontrado una estructura en un estado aceptable, a pesar de la aparente falta de mantenimiento. En particular, no se ha encontrado ningún desprendimiento del recubrimiento de hormigón de los perfiles metálicos de los arcos. Únicamente se han descubierto algunas fisuras y filtraciones de agua en la zona de los estribos y, debido a la falta de una junta de dilatación, la

capa de rodadura se encontraba agrietada en la misma zona (Figura 6).

Teniendo en cuenta la información previa disponible, los datos actualizados sobre las dimensiones geométricas y las características de los materiales, así como los resultados de la inspección visual, la evaluación se efectúa para el puente con el tablero ampliado. A pesar de la ausencia de desprendimientos del recubrimiento de hormigón, éstos no se pueden excluir para estados avanzados de carga (Estado Límite Último). Una hipótesis conservadora consiste por ello en determinar la resistencia y la estabilidad de los arcos sin contar con la contribución del recubrimiento.

### 4.3. Análisis

#### 4.3.1. Preámbulo

A efectos de la evaluación de la fiabilidad de la estructura existente se emplea el procedimiento reflejado en la Figura 5. La descripción detallada de las distintas fases de la evaluación está fuera del alcance del presente texto. Las técnicas empleadas y las decisiones a adoptar son análogas a las que se han presentado en relación con la evaluación y la rehabilitación de otros puentes, por ejemplo en [5] y [6]. Además, en [9] se describe el método empleado para la verificación de la seguridad frente a los posibles fenómenos de inestabilidad del puente arco en Elche de la Sierra. En el presente apartado se dan únicamente algunas indicaciones relativas a la influencia de la actualización de la información sobre una estructura en un análisis probabilista y semiprobabilista, respectivamente.

#### 4.3.2. Análisis

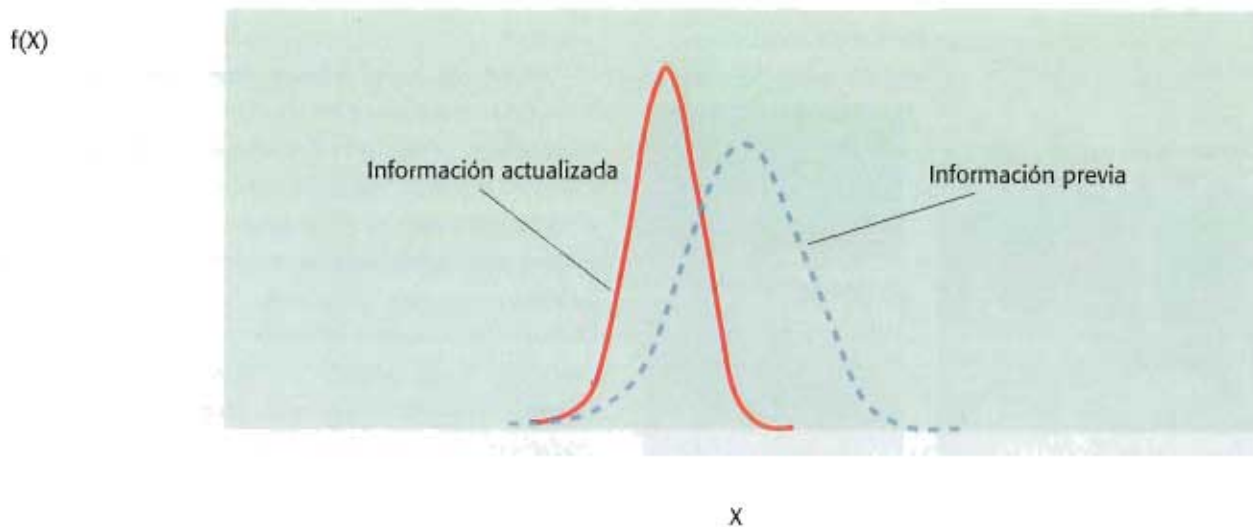
Las variables básicas que intervienen en un análisis estructural son aleatorias y están asociadas con incertidumbres. Por ello, la seguridad de una estructura puede cuantificarse en términos de su fiabilidad que tiene en cuenta estas incertidumbres y que se representa a través de una probabilidad de fallo.

La seguridad de una estructura se expresa a través de una Función Límite (FL) en la que intervienen las variables básicas.



# puentes de hormigón

Figura 7.- Actualización de la información para un análisis probabilista.



La FL más sencilla define la seguridad como el requisito de que la resistencia, expresada a través de la variable aleatoria  $R$ , tiene que ser mayor o igual que los correspondientes efectos de las acciones, representados por la variable  $E$ :

$$G = R - E \geq 0 \quad (1)$$

$P_f$  corresponde a la probabilidad de que  $E$  sea mayor que  $R$ :

$$P_f = P \{ (R - E) < 0 \} \quad (2)$$

La estructura, o el elemento estructural analizado, tiene una fiabilidad suficiente si su probabilidad de fallo,  $P_f$ , no supera la probabilidad de fallo admisible,  $P_{f,adm}$ :

$$P_f \leq P_{f,adm} \quad (3)$$

El problema reside en saber qué probabilidad de fallo se puede aceptar para poder considerar que un elemento estructural, o una estructura, sea fiable. Para abordar este tema existen diferentes enfoques [10] que no se pueden tratar en el marco del presente texto. A efectos del ejemplo estudiado se supone que la probabilidad de fallo admisible sea conocida.

La adquisición de datos sobre la estructura analizada, bien en relación con su resistencia bien en relación con las acciones

a las que está expuesta, tienen por objeto reducir las incertidumbres asociadas con las variables correspondientes. Este cambio en el estado de la información relativa a una variable,  $X$ , se traduce en una Función de Densidad de Probabilidad (FDP) actualizada (Figura 7). En un análisis probabilista, la FDP actualizada, o las FDP actualizadas en caso de una adquisición de datos que abarque varias variables, se introduce directamente en los cálculos obteniendo un valor actualizado de la probabilidad de fallo,  $P_{f,act}$ . Este valor se compara a continuación con la probabilidad de fallo admisible, siendo la fiabilidad de la estructura suficiente en caso de cumplir:

$$P_{f,act} \leq P_{f,adm} \quad (4)$$

En otras palabras, mediante un análisis probabilista el cambio de información se puede tener explícitamente en cuenta.

## 4.3.2. Análisis semiprobabilista con modelos actualizados

El objetivo de una evaluación semiprobabilista de la seguridad estructural consiste en verificar si se cumple la condición (1), utilizando valores característicos o nominales de las variables y coeficientes parciales para las acciones y para la resistencia, de forma que los valores de cálculo de las variables correspondan a los valores que tendrían en un análisis proba-

bilista. La relación entre los métodos probabilista y semiprobabilista queda establecida por el denominado punto de dimensionado que, de todos los posibles puntos de fallo de una estructura que forman la superficie correspondiente a un estado límite, es el más probable [6]. La relación entre el punto de dimensionado, el coeficiente parcial y el valor nominal de una variable está dada por la ecuación:

$$X^* = \gamma_x \cdot X_{nom} \quad (5)$$

donde:

- $X^*$  = valor de la variable en el punto de dimensionado, obtenido en un análisis probabilista.
- $\gamma_x$  = coeficiente parcial empleado en un análisis semiprobabilista.
- $X_{nom}$  = valor nominal de la variable empleado en un análisis semiprobabilista.

La Función Límite es la misma en ambos métodos, el probabilista y el semiprobabilista, siendo la única diferencia la representación de las variables. A las variables de una FL se les atribuyen individualmente los coeficientes parciales a tener en cuenta en un análisis semiprobabilista. Estos coeficientes varían en función del nivel existente de incertidumbre así como en función de la importancia relativa de la variable en la FL.

En un análisis semiprobabilista de la seguridad de una estructura existente los coeficientes parciales para las acciones,  $\gamma_{E,eval}$  y para la resistencia,  $\gamma_{R,eval}$ , se emplean conjuntamente con los valores nominales actualizados de las acciones,  $E_{eval,nom}$  y de la resistencia,  $R_{eval,nom}$ . En analogía con las normas para el dimensionado de estructuras nuevas ([3], [4]), el formato semiprobabilista para la verificación de la seguridad estructural se obtiene reescribiendo el requisito (1):

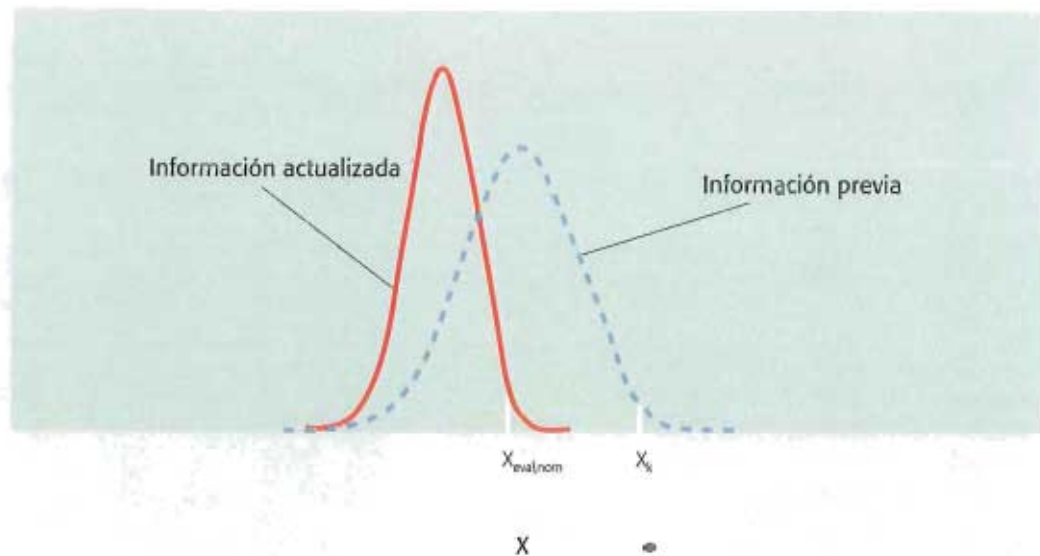
$$\gamma_{E,eval} \cdot E_{eval,nom} \leq \frac{R_{eval,nom}}{\gamma_{R,eval}} \quad (6)$$

La actualización de la información relativa a una variable mediante la colección de datos específicos, cuyo objetivo consiste en la reducción de las incertidumbres asociadas con esta variable, influye tanto en su valor característico o nominal como en el coeficiente parcial. La influencia de este cambio de la información en el valor característico o nominal se puede deducir evaluando los resultados experimentales según métodos estadísticos, teniendo en cuenta los conocimientos previos disponibles. De esta manera se puede deducir el valor característico o nominal actualizado de la variable,  $X_{eval,nom}$  (Figura 8).

Sin embargo, la influencia del cambio de la información en el coeficiente parcial no se puede tener en cuenta explícitamente mediante un análisis semiprobabilista. Para ello es

Figura 8.- Influencia de la actualización de la información sobre una variable en su valor característico.

f(X)



## puentes de hormigón

necesario aplicar métodos probabilistas de cálculo. Por este motivo, los modelos semiprobabilistas para las acciones y para la resistencia requieren una calibración basada en un análisis probabilista de las acciones y de la resistencia. En [11] se propone un procedimiento de calibración para los modelos semiprobabilistas para la evaluación de las estructuras existentes de edificación. Los mismos principios son aplicables a las estructuras de puentes existentes, tal y como se presenta en los estudios de casos reales [5] y [6]. La idea consiste en determinar coeficientes parciales actualizados, que se emplean conjuntamente con el valor característico o nominal actualizado de la variable, de forma que el valor de cálculo actualizado de la variable corresponda al valor que tendría en un análisis probabilista, en caso de que la probabilidad de fallo fuera exactamente el valor admisible,  $P_{f,adm}$ . En analogía con la relación (5) se puede escribir:

$$X^*(P_{f,adm}) = \gamma_{s,eval} \cdot X_{eval,nom} \quad (7)$$

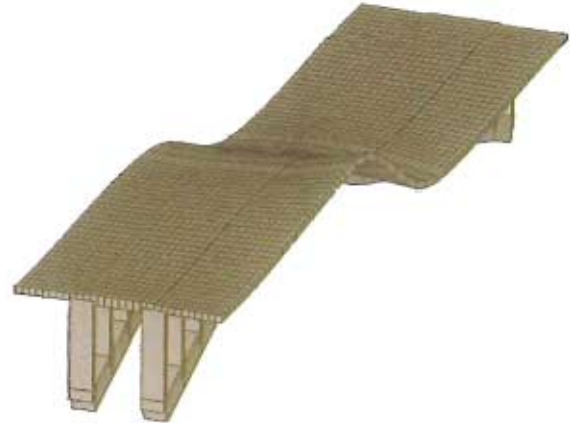
donde:

$X^*(P_{f,adm})$  = valor de la variable X en el punto de dimensionado para  $P_{f,adm}$ .

$\gamma_{s,eval}$  = coeficiente parcial actualizado para la variable X.

$X_{eval,nom}$  = valor característico o nominal actualizado de la variable X.

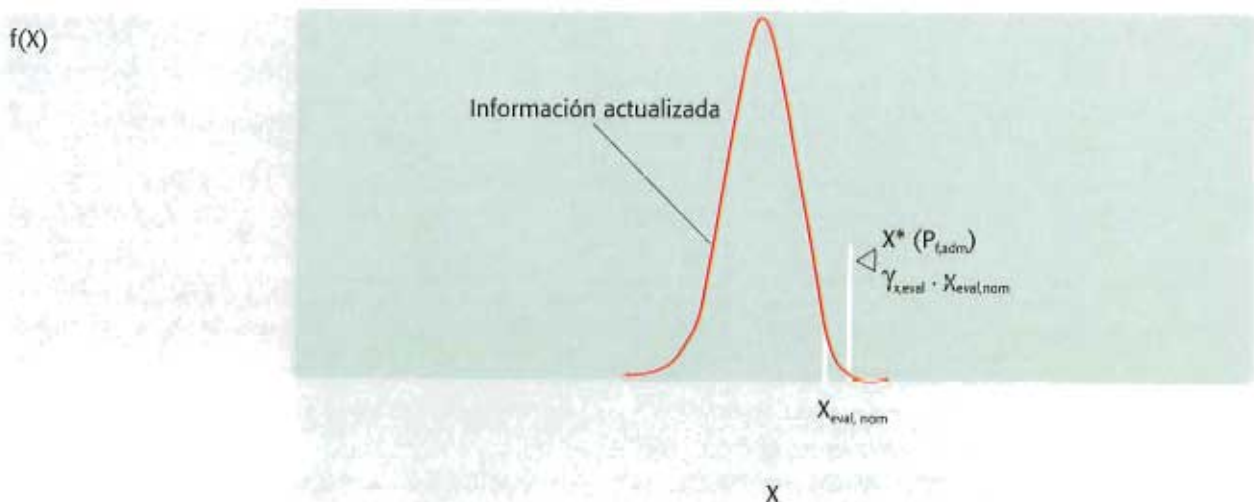
Figura 10.- Pandeo asimétrico del sistema.



Esta relación está reflejada gráficamente en la Figura 9.

Los modelos semiprobabilistas actualizados son de gran utilidad para efectuar un análisis estructural mediante modelos estructurales complejos. En el presente caso, por ejemplo, pueden ser empleados a efectos del cálculo de la inestabilidad (Figura 10) o para realizar cálculos no lineales. Estos modelos tienen en cuenta la influencia de los cambios en las incertidumbres asociadas con las variables sin necesidad de efectuar un análisis probabilista. Por este motivo, la evaluación

Figura 9.- Relación entre el punto de dimensionado, el coeficiente parcial actualizado y el valor característico o nominal actualizado de la variable X.





## puentes de hormigón

de una estructura existente con modelos semiprobabilistas actualizadas es análoga al dimensionado de estructuras nuevas según la mayoría de las normas en vigor.

### 5. Intervención

El proceso constructivo adoptado para la realización de la solución estructural adoptada resulta sencillo. Después de la demolición de la capa de rodadura y de las impostas del puente existente (Figura 11), se procede a la ejecución de unas rozas en la superficie del hormigón hasta descubrir las armaduras transversales, de manera que contribuyan a la conexión entre los hormigones nuevo y existente. Estas rozas se ejecutan mediante hidrodemolición (Figura 12), con el fin de no dañar la estructura existente o que en caso de que se produzcan daños éstos sean los menores posibles.

Figura 11.- Demoliciones de la capa de rodadura y de las impostas.



Figura 12.- Ejecución de rozas mediante hidrodemolición.



## puentes de hormigón

Figura 13.- Carro de encofrado para los voladizos.

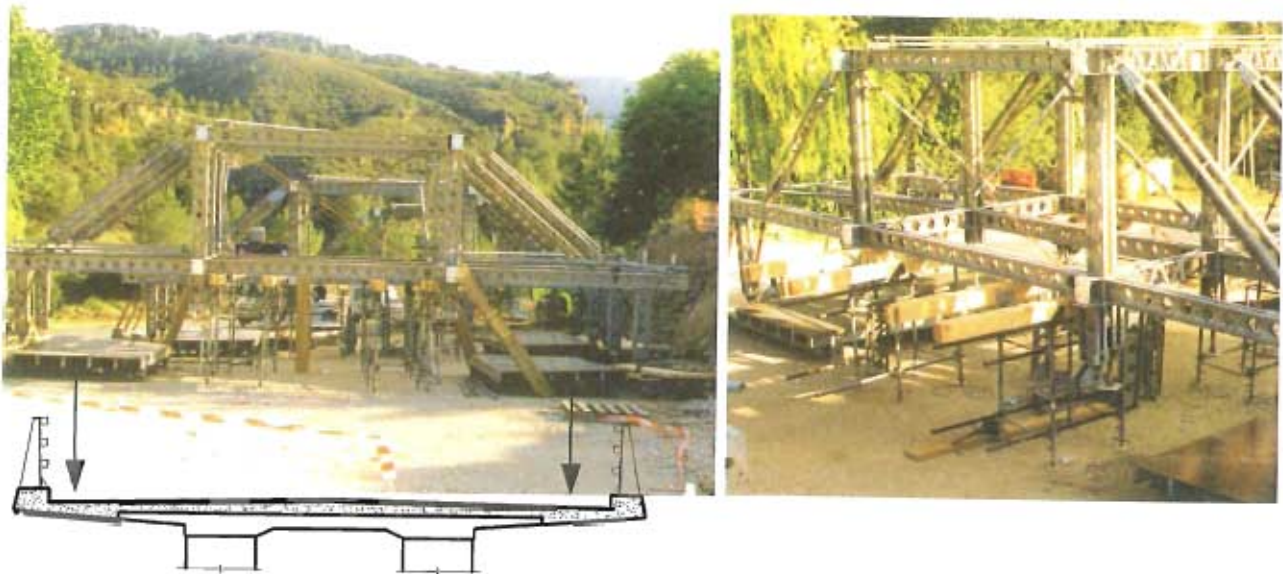


Figura 14.- Puente sobre el río Segura en Elche de la Sierra después de la intervención (Fotografías: Paco Gómez).



Para el vertido del hormigón de baja retracción —que se une con el hormigón existente mediante un puente de unión— se emplea un carro para el encofrado de los voladizos del tablero (Figura 13). Después de los trabajos de acabados, se procede a una prueba de carga.

La sencillez de la solución estructural adoptada y del proceso constructivo permitió terminar los trabajos de ampliación en la fecha prevista. La justificación de la fiabilidad de la estructura para las nuevas condiciones de utilización sin nece-

sidad de reforzarla resultó fundamental para el cumplimiento de los plazos. El puente ampliado (Figura 14) se abrió al tráfico en verano del año 2001.

### 6. Comentarios finales

La presente contribución introduce un procedimiento por fases para la evaluación de puentes existentes, con referencias a un caso real. Partiendo de datos generales, se afinan



más los modelos de resistencia y de las acciones de una fase a otra, mejorando las hipótesis de cálculo mediante inspecciones, ensayos y mediciones in situ. El procedimiento propuesto conlleva beneficios importantes ya que el empleo de normas de dimensionado para la evaluación conduce a una subestimación de la seguridad estructural. El ejemplo también pone de manifiesto que una evaluación más detallada contribuye a una reducción del tiempo y de los costes de la intervención.

Finalmente cabe recordar que la actualización de los datos disponibles sobre una estructura conduce a una reducción de las incertidumbres asociadas con las variables. Por este motivo, el método más adecuado para la evaluación de una estructura existente consiste en un análisis probabilista utilizando los datos actualizados.

## Agradecimientos

El autor desea expresar su agradecimiento a la Consejería de Obras Públicas de la Junta de Castilla – La Mancha (D. Antoliano Hernández García), propietaria del puente de Elche de la Sierra, así como a la empresa Vías y Construcciones (D. Manuel Martín Abella), adjudicataria de los trabajos de mejora de la carretera de Elche a Férez, que han posibilitado y apoyado el estudio presentado.



[1] SCHNEIDER, J. Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen – Grundwissen für Bauingenieure. Verlag der Fachvereine AG, Zürich, und Teubner Verlag, Stuttgart, 1994. ISBN 3-519-0504-4 (Teubner).

[2] BRÜHWILER, E. From design to "examineering". Structural Engineering International, Zürich, Vol. 5, nº 2, 1995, p. 69.

[3] IAP: Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera. Ministerio de Fomento, Madrid, 1998. ISBN 84-498-0348-9.

[4] EHE: Instrucción de Hormigón Estructural. Ministerio de Fomento, Madrid, 1998. ISBN 84-498-0390-X.

[5] TANNER, P.: Interaction between planning, execution and evaluation of tests. In: Evaluation of existing steel and composite bridges, IABSE Report nº 76, Zürich, 1997. ISBN 3-85748-091-2.

[6] TANNER, P. y ORTEGA, L.: Rehabilitación de puentes del pasado. Una tarea del futuro. Hormigón y Acero, Madrid, nº 216, 2000, ISBN 0439-5689, pp. 127-137.

[7] van STRAALEN, I., VROUWENVELDER, T. Comparison of statistical evaluation models. Proceedings, IABSE – Colloquium "Basis of Design and Actions on Structures. Background and application of Eurocode 1", Delft, March 27-29, 1996.

[8] MILLANES, F.: Inspección, evaluación estructural y rehabilitación de varios puentes arco de la colección de D. J. Eugenio Ribera. En: Técnicas Avanzadas de Evaluación Estructural, Rehabilitación y Refuerzo de Estructuras (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, IECA Levante, Ed.), Valencia, 2000. ISBN 84-931137-0-0, pp. 327-341.

[9] TANNER, P. y BELLOD, J.L.: Ampliar sin reforzar. El puente arco sobre el río Segura en Elche de la Sierra. En: 2º Congreso de Puentes y Estructuras de Edificación de ACHE, Comunicaciones, vol. 2 (Asociación Científico-técnica de Hormigón Estructural, ACHE, Ed.) Madrid, 2002. ISBN 84-89670-37-4. pp. 1161-1173.

[10] SCHNEIDER, J. Some thoughts on the reliability assessment of existing structures. Structural Engineering International, Zürich, Volume 2, Nº 1, 1992, pp. 13-18.

[11] TANNER, P. Reliability-based evaluation concept for everyday use. In: Saving buildings in Central and Eastern Europe, IABSE Report nº 77, Zürich, 1998. ISBN 3-85748-094-8.