

**SISTEMAS DE GESTIÓN DE PUENTES.  
GRADOS DE IMPLANTACIÓN,  
RESULTADOS DE RECIENTES APLICACIONES.**

José M. **SIMÓN-TALERO MUÑOZ** <sup>1</sup>, Pedro P. **SÁNCHEZ MTEZ-FALERO** <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, TORROJA INGENIERÍA

<sup>2</sup> Ingeniero Técnico de Obras Públicas, TORROJA INGENIERÍA

## **RESUMEN**

Comienza este artículo con una exposición somera de los criterios generales que definen y soportan un sistema de gestión del mantenimiento de puentes y con un esbozo del estado actual de implantación de estos sistemas en países de nuestro entorno.

Se presentan a continuación un resumen de los resultados de la aplicación de un sistema de gestión de puentes recientemente implantado en España.

## **PALABRAS CLAVE**

Gestión. Inspecciones. Socavación

## **1. INTRODUCCIÓN**

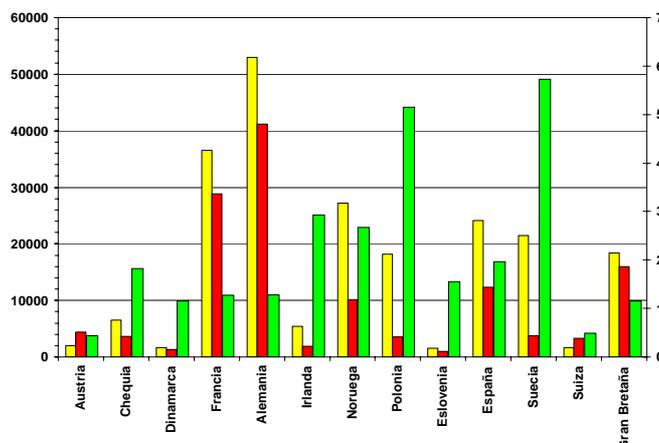
El hormigón armado es un material que se utiliza en construcción desde tiempos que se pueden considerar cercanos. La técnica del pretensado es, incluso, muy moderna comparada con otros materiales de construcción como puedan ser la piedra, la madera o el hierro.

Nos encontramos, por tanto, ante una “materia prima” relativamente nueva y de la que, en consecuencia, no se tienen muchos datos que nos permitan conocer su comportamiento a lo largo del tiempo.

No obstante, tanto el hormigón armado como el pretensado han sido empleados en gran cantidad de obras en estas últimas décadas.

Por otra parte, con el paso de los años, y en especial, en la última década, el parque español de puentes ha crecido considerablemente, seguro que en mayor medida que el del resto de nuestros vecinos europeos. Las figuras 1 y 2 muestran el número y edad aproximada de los puentes de la red de carreteras de algunos países de nuestro entorno.

En el futuro es de esperar que se siga acometiendo la realización de nuevas infraestructuras aumentando, por tanto, el número de nuevos puentes. Sin embargo, no podemos olvidar que, a la par, se deben cuidar los ya existentes y reparar, en su caso, los que así lo demanden.



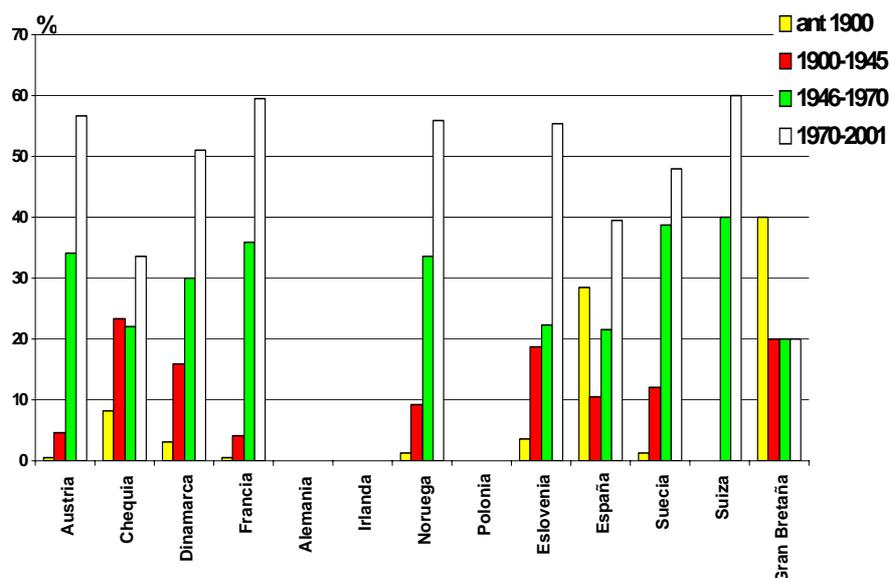
**Figura 1. Parque de puentes de algunas redes de carreteras**

Dentro de esta problemática se entiende el creciente interés que despiertan temas como la durabilidad de las estructuras, la diagnosis de sus deterioros o la técnica de sus reparaciones. Esta demanda de información se ha visto acompañada del desarrollo de nuevos criterios de diseño, de nuevas técnicas de inspección y de nuevos materiales que permiten afrontar muchas de las reparaciones a efectuar con, digamos, suficientes garantías. Es decir, mal que bien, hemos resuelto el “cómo reparar” algo que se encuentre dañado.

Ahora bien, para poder acometer una tarea correctiva como es la reparación de una estructura deteriorada es necesario conocer el grado de prioridad que tiene su rehabilitación en comparación con el resto de las obras integrantes de la red que se gestione. Para ello, es necesario disponer de un “Sistema” que nos ayude a “Gestionar” de manera correcta dichas prioridades.

## **2.- GRADOS DE IMPLANTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN**

La forma de gestionar el patrimonio constituido por las obras de fábrica de una cierta red depende de múltiples factores, tanto de índole natural como humana. Entre los primeros cabe citar la extensión de la red, el número de puentes, la climatología o la edad de las estructuras; de las segundas son de destacar los recursos disponibles, la cuantía y nivel técnico del personal dedicado a la conservación, el volumen del tráfico y, porque no, la tradición.



**Figura 2. Edad de los puentes de diferentes países**

Para corroborar lo antedicho, se presentan a continuación, a título divulgativo, las grandes líneas que caracterizan los sistemas de gestión que se emplean en tres países de nuestro entorno europeo [1] –Francia, Alemania e Inglaterra- y otros desarrollados en los Estados Unidos de América, amén de dar algunas características del modus operandi en España.

Para cada uno de los ejemplos que se presentan se comentan, primero los principios básicos que se emplean para realizar las inspecciones y la forma en que se evalúan el estado de conservación de cada puente. Se da después alguna indicación sobre el grado de implantación después del sistema y la forma en que se están utilizando los resultados generados por el sistema informático.

## 2.1.- La Administración Central de Francia

En general, la Administración Central francesa propone realizar una inspección visual detallada de cada una de sus cerca de 22.000 estructuras cada 3 años. Para ello se emplean unas “Guías Técnicas” editadas en 1996, que contienen 25 catálogos de deterioros. En estos documentos que se caracteriza cada uno de los daños más habituales en función de las causas que lo provocan, del origen del daño y de su intensidad. Para la determinación del estado de conservación de cada puente se consideran sólo los elementos más

significativos definiendo la “clase” de cada uno de estos elementos en función del defecto pésimo que aparece en él.

Como resultado de cada inspección se clasifican las obras en cinco “clases” en función de su estado de conservación y de las operaciones de mantenimiento y/o de reparación recomendadas. Así, las tres primeras clases corresponden a trabajos de mantenimiento superficial y las dos últimas clases se reservan a actuaciones de reparación, no urgente o perentoria, respectivamente.

## **2.2.- La Red Estatal Alemana**

Los aproximadamente 34.600 puentes pertenecientes a las Administraciones de los diferentes Estados alemanes vienen siendo inspeccionados cada 3 años empleando un catálogo detallado de deterioros presentados en las normas DIN y en algunos documentos específicos de los años 1998 y posteriores. Conforme a ellos se caracteriza la importancia de cada deterioro en función de su afección a la seguridad de los usuarios, a la resistencia de la estructura y a la durabilidad de sus elementos. Además se determina la extensión y el número de incidencias de cada deterioro.

A la vista de los daños observados se caracteriza el estado de conservación de cada puente en función del deterioro pésimo, obteniéndose un índice en el rango 0-4. Por debajo del índice 2, se catalogan los puentes que requieren mantenimiento superficial o que afectan a la durabilidad a largo plazo. Entre 2 y 3, se clasifican los puentes con la resistencia asegurada, aunque con importantes afecciones a la durabilidad. Entre 3 y 3,4 se ubican aquellos puentes con afecciones a la resistencia, en los que hay que actuar con urgencia, y, por último, los índices entre 3,5 y 4,0 se reservan a puentes en colapso.

## **2.3.- Las Autopistas Inglesas**

En Inglaterra se tiende a realizar una inspección general cada 2 años y una inspección llamada “principal” cada 6 años, conforme a lo que se expone en el “Manual de Inspecciones de Puentes”, cuya última versión data de 1994. En estos últimos tiempos se está tratando de implantar un nuevo sistema de gestión que cubra los 9.500 puentes englobados en la denominada “Red

Nacional de Carreteras”. Para ello se está verificando la fiabilidad de los resultados que se están obteniendo al emplear unos nuevos catálogos de deterioros.

La gravedad de cada deterioro se evalúa en función de la extensión en que aparece, la naturaleza del deterioro y la urgencia de su reparación.

## **2.4.- Los puentes en Estados Unidos**

En Estados Unidos de América existen unas 570.000 obras de fábrica que son gestionadas por las diferentes Administraciones estatales. Las inspecciones se realizan cada dos años siguiendo unas instrucciones editadas en 1990. En estos documentos se definen los elementos en que se debe descomponer cada tipo de puente y unas indicaciones sobre los deterioros característicos que pueden aparecer en cada uno de ellos.

En función del tipo, extensión, cantidad de apariciones y naturaleza de cada deterioro se califica el estado de cada elemento en términos de “bien, regular o mal”. En los manuales citados se describen también los criterios para pasar de la estimación cualitativa del grado de deterioro de cada elemento a un factor numérico que cuantifica su estado desde 1 (riesgo de colapso inmediato) hasta 9 (excelente estado de conservación).

## **2.5.- La situación en España**

A finales de 1964 ya existía un inventario de puentes, editado por la División de Planes y Tráfico de la antigua Dirección General de Carreteras y Caminos Vecinales, que cubría la práctica totalidad de la Red de Carreteras del Estado.

A mediados de los años 80 del pasado siglo, desde la Dirección General de Carreteras de la Administración Central se acometió la actualización y modernización de este inventario, iniciando su conversión a formato informático, definiendo criterios para la catalogación de los deterioros observados y caracterizando y cuantificando el estado de conservación de cada obra mediante el cálculo de un cierto “índice de estado”. Se puede decir que este trabajo, impulsado y dirigido en los inicios por D. Ramón del Cuvillo, constituye el germen del sistema que, a finales de 1996, la Dirección General de Carreteras comenzó a implantar para la gestión del mantenimiento de los

cerca de 15.000 puentes de la RIGE. Al hilo de este empuje innovador algunas Administraciones Autonómicas y ciertas Empresas Concesionarias de Autopistas de nuestro país, tienen entre sus herramientas de trabajo, algún “Sistema de Gestión” que les ayuda a conocer el estado de conservación de sus puentes.

### **3.- APLICACIÓN PRÁCTICA DEL SGP. ALGUNOS RESULTADOS**

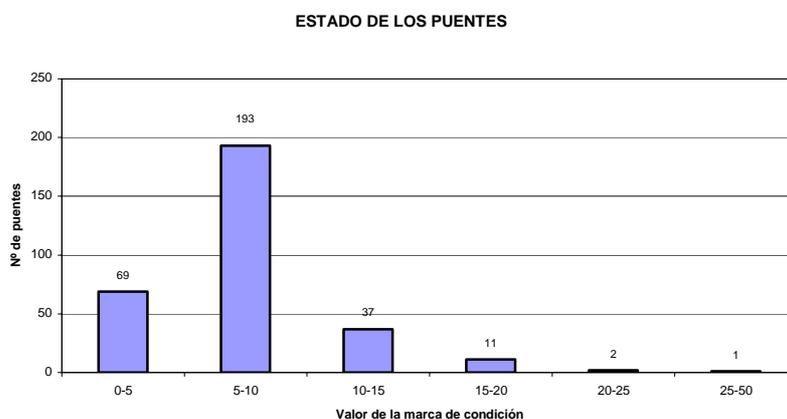
El Gestor de un Sistema de Gestión de Puentes debe conocer, como ya se ha comentado, el patrimonio de puentes que tiene bajo su jurisdicción y su estado de conservación, para poder efectuar una ordenación de prioridades de actuación sabiendo a priori de forma aproximada, cuanto cuesta su reparación. Estas cuatro incógnitas están resueltas, pero la eficacia de un buen Sistema de Gestión, dependerá amén de la fiabilidad de las inspecciones, de la versatilidad que tenga en el manejo y consulta de los datos, de manera que, en cada momento, el Gestor pueda conocer cualquier dato, en función del plan de inversiones previsto.

Por ejemplo, podría resultar útil saber el número de metros lineales de junta de calzada que se debe sustituir en el parque de puentes, y su estimación presupuestaria, en el ámbito de la conservación ordinaria. En este mismo escenario, resultaría igualmente útil saber que puentes tienen, por ejemplo, los desagües de calzada atorados.

En definitiva, la capacidad de consulta y ordenación de los datos registrados es la herramienta que todo Gestor necesita para controlar eficazmente su patrimonio de puentes. No basta con almacenar muchos datos en un buen sistema informático sino que éste debe ser capaz de mostrarlos de forma que su explotación pueda ser eficiente. Por eso, TORROJA INGENIERÍA ha desarrollado un módulo de consultas “ad hoc” que permite, al usuario del sistema, el filtrado y agrupado de los datos contenidos en la base de datos de forma que esta consulta sea realizada de modo muy versátil.

A continuación, y a modo de ejemplo, se presentan algunas consultas extraídas de un grupo de obras de fábrica pertenecientes a uno de los Sistemas de Gestión de Puentes implantado por los autores de este artículo [2]. Sirven,

además, las líneas que siguen para mostrar cuales son los deterioros más frecuentemente encontrados y las marcas de condición que resultan en un caso que puede tomarse como referencia bastante representada del estado de conservación de los puentes de hormigón en España.



**Figura 3. Índice de estado de un grupo representativo de puentes**

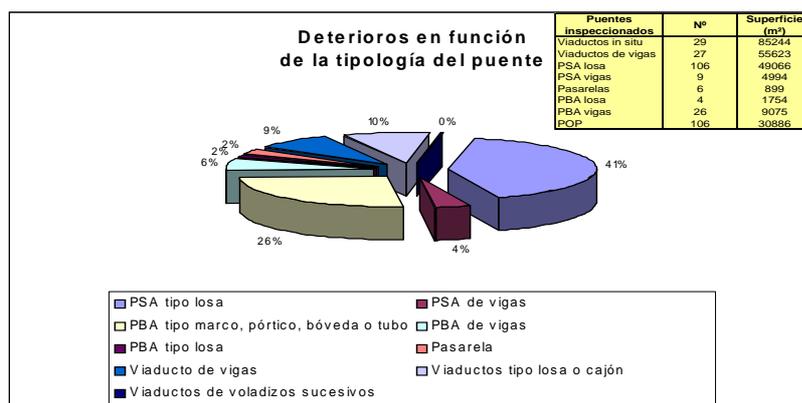
En la figura 3 se muestra el índice de estado resultante de un grupo de 313 puentes de hormigón de un determinado itinerario. La mayor parte de los puentes tienen un índice igual o inferior a 10. Se trata de puentes cuyo estado de conservación es aceptable. Se deben volver a inspeccionar en un tiempo prudencial, marcado por los plazos que se definan como intervalo tipo hasta la próxima Inspección Principal. Puede que sea conveniente efectuar alguna pequeña reparación de algún elemento en el que se ha detectado algún deterioro que, sin embargo, no tiene excesiva influencia ni en la capacidad portante global de la estructura, ni en la durabilidad, ni afecta excesivamente a la funcionalidad ni a la vialidad.

Los puentes con índice de condición entre 10 y 15 son obras en las que se ha detectado algún deterioro de cierta importancia en algún elemento con un “peso” reducido o algún deterioro moderado en un elemento de cierta importancia. En estos casos se debe proceder, en general, a la reparación de los deterioros que han generado la marca de condición del puente o a un seguimiento periódico minucioso de la evolución de estos daños.

Por último, los puentes con índice de estado superior a 16, menos del 5%, son estructuras cuyo estado de conservación es inaceptable, porque existe algún deterioro que compromete la capacidad portante de algún elemento, o de la

globalidad de la estructura. Esto es así, porque se ha detectado algún daño que compromete seriamente la funcionalidad de algún elemento o la seguridad de los usuarios o, porque aparece un daño que pueda afectar en breve espacio de tiempo a la durabilidad de algún elemento o del conjunto de la estructura. En los puentes en que se da esta casuística es obligado realizar un estudio de detalle de las patologías detectadas, con vistas a repararlas o, en algunos casos, hay que proceder a acometer algunas reparaciones de forma inmediata, o incluso con carácter de urgencia.

En la figura 4 se refleja el porcentaje de deterioros detectados en los puentes, en función de su tipología. Las obras menos afectadas son los viaductos ejecutados in situ con un índice de deterioros por metro cuadrado de estructura de 0.87%. A continuación aparecen los viaductos de vigas prefabricadas con un índice de deterioros del 1.2%. Los pasos superiores e inferiores tienen un ratio semejante, en torno al 5-6% de deterioros por metro cuadrado de estructura.



**Figura 4. Estadística de deterioros en función de la tipología**

Sorprende, sin embargo, que el mayor índice de deterioros se refleja en las pasarelas con un valor de referencia del 20%. Éstos índices no son casuales y atienden a un razonamiento que pudiera esgrimirse en función de la mayor precisión y cuidado tanto en la redacción de los proyectos como en la ejecución de los viaductos, generalmente más controlados durante la fase de construcción, que en el resto de obras de paso. Por otra parte el alto índice que se refleja en las pasarelas puede responder a dos causas: por una parte, no se tiene en cuenta la repercusión mayor de los elementos de la subestructura con relación a la superficie de tablero (menor ésta, que en un paso para vehículos) y por otra, la mayor parte de las pasarelas son de acero estructural, en las que,

generalmente, siempre se suelen detectar diferentes zonas con picaduras, corrosión o soldaduras dañadas.

La figura 5 muestra los registros correspondientes a los deterioros más representativos. Se observa que el deterioro registrado con mayor frecuencia es “fisuras”, que veremos con más detalle en las siguientes figuras. Como dato interesante cabría mencionar que se registraron 13 “descalces” en cimientos, dato éste útil para tener en cuenta en los potenciales de socavación.

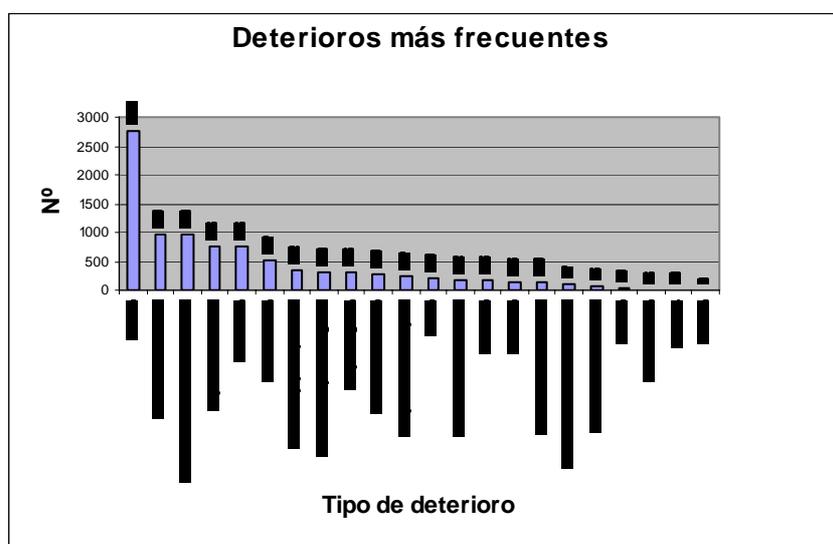


Figura 5. Registro de deterioros más frecuentemente detectados.

Para analizar un poco más en detalle el registro de las fisuras, se presentan seguidamente dos gráficos estadísticos correspondientes por un lado a la incidencia en función de los elementos en que se han detectado y, por otro, a la frecuencia de las causas a que se deben dichas fisuras.

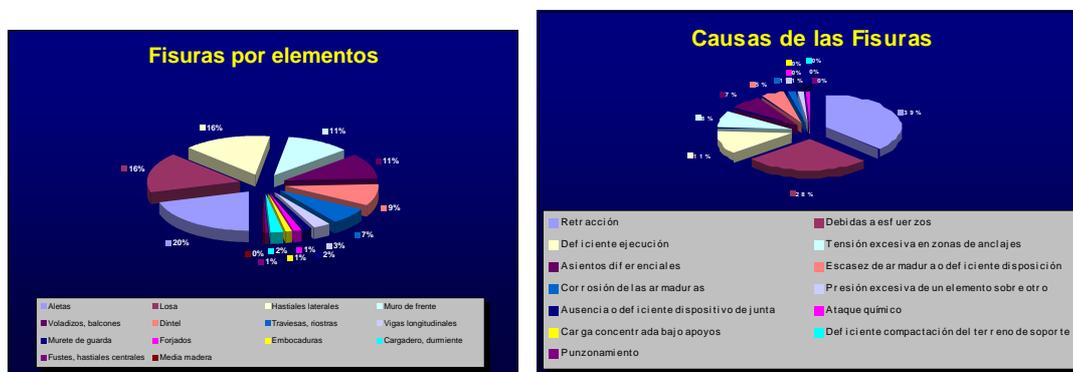


Figura 6. Estadística de fisuras en función de los elementos y de sus orígenes

Como se puede observar, el porcentaje mayoritario corresponde a fisuras inherentes al material, es decir a causas reológicas (retracción hidráulica). Estas fisuras no tienen importancia estructural, aunque hay que tenerlas en cuenta ya que afectan directamente a la durabilidad del elemento afectado, máxime si su amplitud es suficiente para permitir la entrada de agentes contaminantes que dañen la armadura o la propia masa del hormigón. La cuarta parte de las fisuras detectadas son debidas a esfuerzos, es decir, fisuras de trabajo, que no necesariamente denotan insuficiencia portante ya que puede ser que se siga verificando el estado límite de fisuración. En cualquier caso hay que tenerlas muy en cuenta ya que cualquier daño que se produzca en la armadura que atraviesa las fisuras podría provocar problemas estructurales a largo plazo.

Un 11% de fisuras registradas corresponden a deficiente ejecución, entendiéndose por tales aquéllas que han aparecido durante la construcción o posteriormente por deficiente curado o retracción plástica.

#### **4.- CONCLUSIONES Y COMENTARIOS**

De las experiencias adquiridas por el Equipo de Torroja Ingeniería y de expuesto en las líneas precedentes podemos concluir que:

- En ciertos países de nuestro entorno, y en otros con gran tradición en el proyecto y ejecución de obras civiles, están apareciendo problemas en la aplicación de algunos sistemas de gestión del mantenimiento de puentes. Casi siempre estas incidencias han venido provocadas por una falta de fiabilidad de los resultados obtenidos que, a su vez, parece que SIEMPRE se ha debido a:
  - La ausencia de un catálogo de deterioros DETALLADO que guíe al Inspector y que caracterice y cuantifique de forma inequívoca casi todos los daños que se puedan encontrar en la mayoría de los elementos constitutivos de los puentes más habituales.
  - La deficiencia de conocimientos de los inspectores motivada por una escasa formación o por una falta de capacitación profesional.
- Un sistema de gestión constituye una herramienta recomendable y, seguramente imprescindible a día de hoy, para que el responsable del

mantenimiento de un determinado conjunto de puentes pueda realizar su trabajo de forma adecuada, optimizando los recursos que, a menudo, son escasos. Sin embargo, este “útil de trabajo” debe ser desarrollado ex profeso para cada caso, ya que tanto las circunstancias particulares de cada administración y sus necesidades como las características naturales, físicas, de tráfico y de explotación de cada red son específicas para cada una de las diferentes entes gestores.

- De nada vale crear una gran base de datos que contenga multitud de registros que definan de forma precisa el estado de conservación de cada puente si no se desarrolla paralelamente una aplicación informática que permita una fácil consulta de todos esos datos. Es decir, es imprescindible que los datos sean fácilmente accesibles para el usuario en un formato que sea operativo para su posterior explotación. Desde este punto de vista hoy en día están empezando a ser desarrollados “sistemas de información geográfica” (SIG’s) que permiten visualizar en mapas algunas consultas efectuadas a las bases de datos.

En otro orden de cosas, una gran parte de los colapsos habidos en puentes en estos últimos tiempos han sido debidos a fallos en cimentaciones de puentes ubicados en cursos de agua producidos por erosiones locales o socavaciones. Por otra parte, es difícil conocer el estado de dichas cimentaciones ya que suelen ser inaccesibles o, cuando menos, difícilmente visibles.

Resulta, por tanto, imprescindible que las inspecciones de puentes sobre cauces se completen con un estudio de éstos tendentes a conocer el riesgo potencial de socavación existente. La cuantificación de este riesgo se debe hacer basándose en las observaciones del estado del propio puente y en las condiciones y características geométricas, físicas y evolutivas del propio cauce en la zona en que se ubica la obra de fábrica.

#### **4. BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Woodward, R.J. et al. “Programa BRIME. Final Report.” Marzo 2001
- [2] José A. Torroja Oficina Técnica S.A. “Inspección y evaluación de puentes y obras de fábrica” AUDASA. Enero 2003.