Los sistemas de gestión de puentes. Criterios generales y aplicaciones

JOSÉ M. SIMÓN-TALERO MUÑOZ

INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

JOSÉ A. TORROJA, OFICINA TÉCNICA, S.A.

PEDRO P. SÁNCHEZ MARTÍNEZ-FALERO

INGENIERO TÉCNICO DE OBRAS PÚBLICAS

JOSÉ A. TORROJA, OFICINA TÉCNICA, S.A.

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 resumen del estado actual de implantación de estos sistemas en países de nuestro entorno.

Se presentan a continuación las líneas básicas que han servido para el desarrollo realizado por el equipo de José A. Torroja, Oficina Técnica, S.A. durante la creación e instalación de diversos sistemas en estos últimos años. Se hace especial hincapié en la necesidad de caracterizar y cuantificar correctamente los deterioros y en la conveniencia de completar las aplicaciones informáticas con potentes instrumentos que permitan una adecuada consulta a la propia base de datos con vistas a una correcta explotación de los resultados. También se incide en la problemática de los cruces sobre cursos de agua, indicándose la necesidad de realizar también una inspección del cauce que trata de determinar el riesgo potencial de socavación de las obras de fábrica que salvan ríos o arroyos.

Finaliza este artículo con unas conclusiones, fruto de la experiencia de los autores, que tratan de mostrar las claves de lo que un sistema debe considerar para que resulte realmente útil para el responsable de la gestión de un grupo de obras de fábrica.

1. ¿Qué es un sistema de gestión de puentes?

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. 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.

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, hace falta contestar antes multitud de preguntas referentes a la obra en cuestión, tales como:

- ¿Qué elemento de la obra está deteriorado?
- ¿Aun estando afectado un elemento, sigue cumpliendo la estructura la función para la que fue concebida?
- ¿Qué factor de seguridad, o de riesgo, se dispone con el elemento dañado?
- ¿Hasta cuándo se puede demorar la reparación, manteniendo un determinado nivel de seguridad y de funcionalidad?

Si se quiere responder a estas preguntas es necesario poseer:

- Un programa de inspecciones que recoja la información necesaria para determinar el estado actual de la obra.
- Una clasificación objetiva de los posibles daños que pueda tener una obra, para poder cuantificar el nivel de funcionalidad y de seguridad que posee la estructura en un momento dado.
- Un modelo de prognosis del daño que posibilite conocer cuál es el tiempo límite en que se puede acometer la reparación sin comprometer ni función ni seguridad bajo unos niveles mínimos.

Aún así, la decisión de reparar una obra dañada debe estar contemplada no sólo desde la perspectiva aislada de esa estructura, sino desde la más general del conjunto de las obras a mantener, y es entonces cuando surgen otro sinfín de preguntas:

- ¿Cuántas obras existen sujetas a posibles reparaciones?
- ¿Cómo son esas obras?
- ¿Cuántas existen con algún grado de deterioro?
- ¿Cuánto cuesta su reparación?
- ¿Cuál es el orden a seguir en cuanto a su reparación?

que para ser respondidas necesitan de:

- Un inventario de obras que permita conocer cuáles son las obras a mantener y cuáles son sus características principales.
- Una caracterización precisa de los deterioros existentes.
- Una evaluación objetiva de los costes de reparación.
- Una determinación del orden de prioridad en cuanto a su reparación.
- Una adecuación de los fondos disponibles a las necesidades de reparación.

El conjunto de todas estas preguntas y los criterios a aplicar para responderlas es lo que se aglutina bajo el nombre de "Sistemas de Gestión de Mantenimiento de Puentes".

2. ¿Para qué sirve un sistema de gestión?

De lo expuesto anteriormente se colige que los objetivos prioritarios de un sistema de gestión de puentes consisten en:

- Poseer información sobre el estado de los puentes. Ésta debe ser objetiva, congruente, operativa y fiable.
- Evaluar la seguridad y el estado de conservación de las estructuras de la red.
- Valorar de forma aproximada el coste de las actuaciones de conservación que sean necesarias.
- Ordenar las obras en función de su necesidad o urgencia de reparación.
- Optimizar la utilización de los presupuestos destinados a conservación que son, en general, limitados y escasos.

Para conseguir estos fines las actividades básicas que debe contemplar un sistema de gestión son:

- La creación de una base de datos que contenga las características de todos los puentes.
- La definición de las tareas de mantenimiento ordinario o cotidiano.
- La sistematización de las tareas de inspección.
- La evaluación del estado de conservación de los puentes.
- La ordenación de las prioridades técnicas de reparación.
- La estimación de los costes de reparación.
- La definición y seguimiento de las actuaciones realizadas.
- La preparación de los programas de actuación y el ajuste de los fondos disponibles.

Expuesto esto se entiende que un sistema de gestión debería figurar como una herramienta indispensable para el técnico responsable de la gestión de la explotación de un cierto conjunto de obras de fábrica, independientemente del número de estructuras, de su variedad, localización o valor patrimonial. Sin embargo, se tiende a pensar que un "Sistema de Gestión de Puentes" es algo que cobra cierto sentido para el tratamiento de un parque de obras de fábrica numeroso y que, por el contrario, resulta una rémora para el caso de pocos puentes. Esto constituye, a nuestro juicio, una gran falacia. Lo que sí es cierto, y además tiende a producirse con cierta frecuencia, es que se intenten utilizar criterios, aplicaciones informáticas y procedimientos pensados para la gestión de un gran número de puentes a otros casos en que el parque a tratar es más reducido o es de una gran uniformidad. Y entonces, claro, el fracaso está asegurado. En otras ocasiones, la razón de este tipo de afirmaciones hay que buscarla en la ignorancia; se piensa que un sistema de gestión consiste solamente en una gran base de datos, cuya obtención supone la aplicación de grandes recursos y cuya consulta es poco menos que imposible.

Se presentan a continuación los criterios básicos que se deben aplicar para definir e implantar un sistema de gestión en diferentes tipos de "entes gestores" de un determinado conjunto de puentes. Estos "pensamientos" son el fruto de nuestra experiencia en los trabajos desarrollados en los últimos tiempos para organismos diferentes, a saber:

- Una Administración Pública propietaria y responsable de un patrimonio de obras de fábrica numeroso y variado en cuanto a sus materiales constitutivos, tipologías y dimensiones.
- Una sociedad Concesionaria de Autopistas de tamaño medio responsable de un número de puentes moderado con unas características bastante uniformes.
- Un Ente Privado con un parque de obras de fábrica muy reducido.

3. ¿Son todos los sistemas de gestión de puentes iguales?

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.

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 evalúa 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.

3.1. La Administración Central francesa

En general, la Administración Central francesa propone realizar cada 3 años una inspección visual detallada de cada una de sus cerca de 22.000 estructuras. Para ello se emplean unas "Guías Técnicas" editadas en 1996, que contienen 25 catálogos de deterioros. En estos documentos 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.

3.2. 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.

3.3. 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.

3.4. Los puentes de Estados Unidos

En los 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 se dan 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).

3.5. 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.

En los apartados que siguen se presentan las líneas básicas que han servido a los autores del artículo para desarrollar, definir e implantar diferentes sistemas de gestión hoy en día en uso en organismos tan dispares como la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento, una sociedad Concesionaria de Autopistas de tamaño medio-medio alto (aproximadamente 215 km de vía y 540 obras) y un Ente privado responsable de un patrimonio de obras de fábrica reducido.

En los párrafos que siguen se trata de mostrar que es factible hacer un sistema de gestión útil para una "Gran Administración" y, también, hacer otro para una "pequeña concesionaria". Quizás la clave está en las palabras "uno" y "otro": las necesidades de ambos organismos son, seguro, diferentes y, por tanto, la herramienta que necesitan para satisfacer sus requisitos de explotación, mantenimiento y optimización de los recursos dedicados a la conservación de sus obras de fábrica son, también, diferentes.

4. ¿Cómo es un sistema de gestión de puentes?

Una Gestión eficiente requiere de la información precisa para alcanzar los objetivos ya expuestos. Por tanto, se necesita establecer un enfoque sistemático e integral tal, que se pueda disponer de la información en el momento preciso y con el detalle requerido, en función del nivel de decisión que se tome y en el ámbito de la estrategia de mantenimiento adoptada.

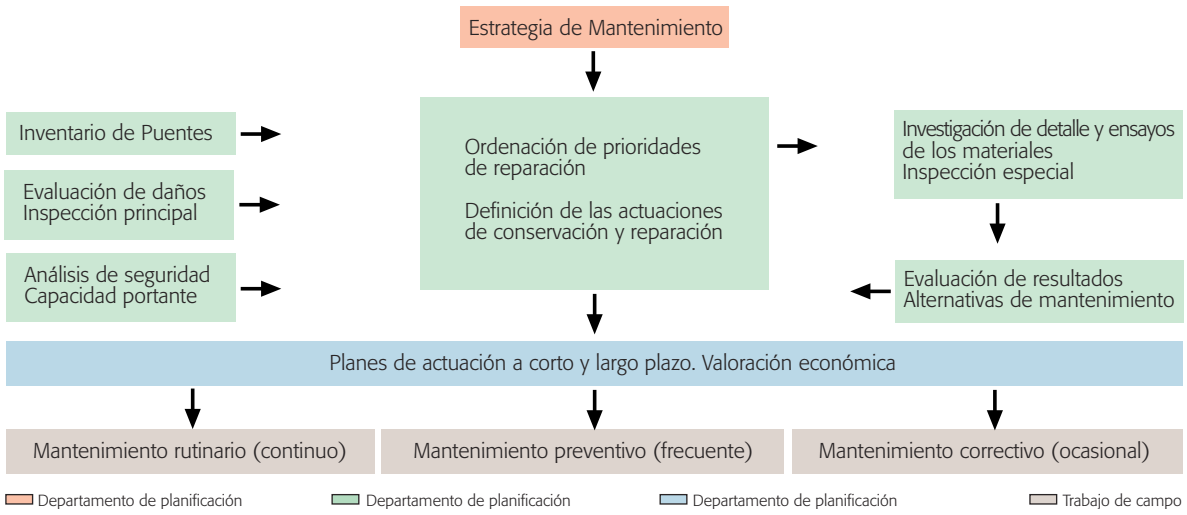
Conviene puntualizar que los Sistemas de Gestión de Puentes se enmarcan en el estadio del mantenimiento y conservación de las estructuras y puentes existentes, quedando, por tanto, fuera de este ámbito la construcción y planificación de obras de nueva implantación.

A la vista de lo expuesto, el desarrollo de un Sistema de Gestión de Puentes se vertebra a partir de un organigrama racional y sistematizado, de manera que permita al Gestor del mismo obtener la información deseada de manera ordenada, objetiva, congruente y fiable, conforme al esquema de la Figura 1.

4.1. La localización de los puentes. Su caracterización básica

El primer problema que se plantea suele ser el desconocimiento del objeto del sistema. Es decir, no se sabe ni cuántos puentes se deben tratar, ni dónde están, ni sus características morfológicas y constitutivas principales. Por eso, el primer paso de cualquier sistema a implantar pasa por la localización y caracterización genérica de todas las obras a tratar.

Figura 1.- Esquema de organización de un sistema de Gestión de Puentes.



Conocidos los itinerarios basta, para este trabajo, proceder a recorrerlos pausadamente y registrar la carretera y P.K. aproximado de ubicación, y las coordenadas XY de un punto característico del puente. Se deben recoger también datos referentes a la geometría (longitud y anchura aproximada, número de vanos y luz máxima, y altura máxima de pilas) y a la tipología y material constitutivo de pilas y tableros.

Esta definición básica se debe completar con la toma de fotografías generales del puente que permitan una posterior localización, sin posibilidad de error, por parte de los equipos de inventario.

Una vez efectuados todos estos trabajos se debe procesar la información obtenida con el fin de planificar las actuaciones posteriores, como es la toma de datos de inventario.

4.2. El inventario

El conocimiento detallado de las características geométricas y de los materiales constitutivos de cada uno de los elementos de un puente, así como de las limitaciones funcionales (de velocidad, de sobrecarga máxima, de gálibo...) y parámetros generales, en cuanto a localización geográfica, tipología estructural, carretera soportada u obstáculo salvado, proporciona al Sistema datos fiables de los puentes existentes. El conjunto de todos estos datos de caracterización de cada puente de una Red es lo que se conoce con el nombre de "inventario".

Cabe hacer una mención especial al registro de las características de las carreteras implicadas en el ámbito del puente inventariado. El registro de los gálibos y anchuras de plataforma de las vías que discurren bajo cada uno de los vanos y, por supuesto, de la carretera soportada, es realmente de gran utilidad, fundamentalmente a la hora de decidir itinerarios para transportes especiales. Recientemente hemos implantado estos registros, creemos que innovadores, en el Sistema de Gestión de Puentes de una autopista en el norte de España, con resultados muy satisfactorios.

4.3. El programa de inspecciones

Conocidos la ubicación y características de todos los puentes de una determinada Red, se debe proceder a su inspección, tratando de determinar su estado de conservación. Hasta no hace muchos años, las únicas inspecciones de los puentes y obras de paso eran las que, periódicamente, realizaba de manera rutinaria el personal encargado de la conservación de la carretera. Estas inspecciones, llevadas a cabo por personal no especializado, se circunscriben prácticamente al ámbito de la plataforma, esto es, a los elementos de vialidad y a los equipamientos. La estructura del puente se consideraba, sin duda, un elemento imperecedero. Afortunadamente, esta tendencia

ha variado sustancialmente hacia políticas de conservación preventiva.

De este nuevo enfoque surge la necesidad de realizar inspecciones sistemáticas, que permitan, periódicamente, conocer el estado funcional y resistente de cada uno de los puentes inventariados: Las Inspecciones Principales.

La Inspección Principal de una estructura se define como el conjunto de acciones técnicas realizadas de acuerdo con un plan previo, que facilitan los datos necesarios para conocer en un instante dado el estado de la estructura. Las Inspecciones Principales tienen como objeto la obtención, de una forma sistemática y ordenada, de los datos sobre los daños o deterioros existentes en los diferentes elementos que constituyen un puente.

La Inspección Principal trata de ser una "fotografía" del puente inspeccionado, debiendo reflejar exclusivamente los hechos que se observen en el momento de realizar la inspección. Evidentemente, el sistema más sencillo para aportar datos para el conocimiento del estado de una estructura es la simple observación visual de la misma. Para que de ella puedan extraerse datos útiles deben cumplirse tres condiciones básicas [2]:

- Poder ver: lo que significa tener accesibilidad a todos los elementos del puente, y en su caso con ayuda de algunos medios complementarios al ojo humano.
- Saber ver: para lo cual se necesita un Equipo de inspección cualificado y con suficiente experiencia que siga, además, un método de inspección prefijado.
- Saber lo que se quiere ver: es decir, hay que programar con antelación las inspecciones, analizando los datos del inventario y los informes obtenidos en anteriores inspecciones, si existen.

La Inspección Principal debe consistir, por tanto, en una observación visual detallada de todos los elementos visibles del puente, que no precisen la utilización de medios auxiliares especiales. Los elementos que no se puedan inspeccionar no deben ser reflejados, por consiguiente, en los resultados de la inspección. Si se observase alguna deficiencia que pudiera haber sido inducida por estos elementos no inspeccionados es recomendable la realización de una "Inspección Especial" del elemento en cuestión.

El personal requerido para la realización de Inspecciones Principales deberá componerse, al menos, de un Ingeniero de Caminos o Ingeniero Técnico de Obras Públicas, con amplia experiencia en el campo de las estructuras y que haya superado las pruebas de aptitud de un Curso de Especialización para la Formación de Inspectores, y un auxiliar técnico de apoyo logístico. La experiencia aludida es un parámetro fundamental para poder asegurar la fiabilidad de las inspecciones; parece claro que cuanto mayor conocimiento se posea del comportamiento estructural de los puentes, mayor garantía se obtendrá en la posterior evaluación de los elementos. El mencionado curso es, por otro lado, de imprescindible necesidad pues en él se exponen los criterios metodológicos de las inspecciones, a fin de recabar los datos de manera homogénea y objetiva.

Como ya se ha comentado, este tipo de inspección no requiere de medios especiales de acceso. Tan sólo es necesario disponer de alguna herramienta de mano (navaja, piqueta, escalera de mano...), aparatos complementarios a la percepción humana (flexómetro, fisurómetro, espejo, termohigrómetro, binoculares, cámara fotográfica...), útiles de escritura y, por supuesto, equipos de seguridad, tanto de protección individual como de señalización y balizamiento portátiles.

La casuística de este tipo de inspección hace muy relevante la necesidad de ser escrupulosamente metódico a la hora de abordar la misma. Una metodología inadecuada puede evidenciar una carencia de registros o un trastorno en el traspaso de los mismos a la base de datos.

La definición del itinerario, así como los datos relativos a la ubicación de cada estructura deben ser facilitados por el Organismo gestor del sistema, antes del inicio de los trabajos de inspección. Asimismo, el Director del Sistema de Gestión debe entregar al equipo de inspección unas fichas con los datos que existan en el Inventario del Sistema de cada uno de los puentes. Entonces el equipo de inspección comprobará que:

- No existe ningún puente en el itinerario fuera de los relacionados en la lista de estructuras a inspeccionar que le ha sido facilitada.

- Los datos sobre la ubicación y las características principales de cada puente que figuran en el Inventario del Sistema coinciden con la realidad existente. De no ser así, se realizará un levantamiento geométrico de los parámetros no coincidentes, a fin de corregir el Inventario del Sistema.

En definitiva, los aspectos que se deben definir claramente para el buen funcionamiento del sistema son:

- La metodología para realizar las inspecciones.
- El catálogo de deterioros que muestra los daños que se pueden encontrar en todos los puentes a inspeccionar.
- La forma de evaluar cada deterioro detectado.

La definición clara y precisa de estos tres factores es, como se ha indicado, clave para asegurar la utilidad del sistema de gestión puesto que si no se fijan estos criterios de forma extremadamente precisa, la heterogeneidad de las propias obras a inspeccionar y de los propios inspectores llevará a la existencia de una gran cantidad de datos cuya interpretación será difícil o de escasa fiabilidad o difícilmente comparable.

En definitiva, se trata de que los resultados de todas las inspecciones presenten una información que sea:

- Objetiva, porque represente el estado actual de cada obra.
- Congruente, porque sea independiente del inspector que realizó la inspección.
- Comparable, para que se puedan extraer conclusiones referentes a la ordenación de prioridades de actuación.

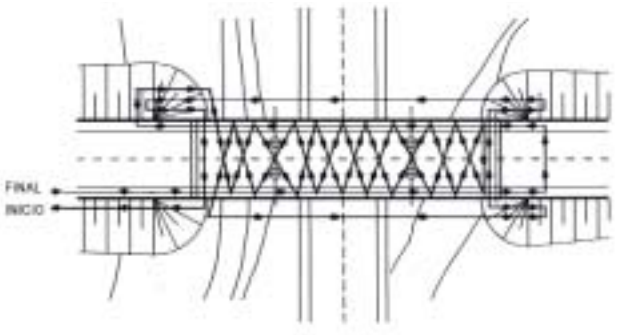
4.4. La realización de las inspecciones

Antes de comenzar la Inspección Principal del puente, y tras un somero recorrido por el mismo y su entorno, el jefe del equipo de inspección debe determinar los elementos en los que se descompone la estructura, a efectos de la inspección y de la posterior evaluación.

Para la definición de los elementos de un puente se adopta un criterio de gradación en niveles, en función del detalle con que se pretenda descomponer el conjunto del puente en sus diferentes elementos. Así, el nivel 1 está constituido por un único elemento, el Puente, mientras que en el nivel 2 se descompone aquél en 4 elementos o componentes: Subestructura, Superestructura, Accesos y Equipamientos. Los niveles 3 y 4 profundizan en esta descomposición, llegando a distinguir, a nivel 4 por ejemplo, elementos tales como vigas, losa, arco, fustes, aparatos de apoyo, pavimento, pretiles, juntas de calzada, etc, hasta completar una lista de 137 elementos diferenciados. La mencionada gradación en niveles plantea el problema de decidir cuál tomar como base para la realización de la Inspección Principal y de su posterior evaluación; niveles generales como el 1 o el 2, darían como resultado, seguramente, poca precisión en la evaluación y cuantificación de los deterioros, mientras que utilizar el nivel más detallado (nivel 5) supondría el manejo de un cuantioso volumen de datos, de una forma seguramente poco eficiente.

En este necesario compromiso entre la precisión de la estimación a realizar y la cantidad de datos a tratar, el nivel 4 es el que produce una mejor relación precisión-volumen de datos y, por tanto, es el que se propone en nuestros Sistemas de Gestión como básico a la hora de descomponer el puente en sus elementos constitutivos. No obstante, el nivel 5 se reserva para aquellas ocasiones en que se quiera descomponer en elementos constitutivos, no sólo referidos a su tipología sino también a su ubicación, bien porque las condiciones de deterioro varíen sustancialmente en un mismo elemento de nivel 4, bien porque un mismo elemento esté constituido por materiales diferentes, o bien porque el puente disponga de elementos de diferente material que el original, por reconstrucción, ampliación o cualquier otra causa.

Figura 2.- Recorrido de una inspección estándar.



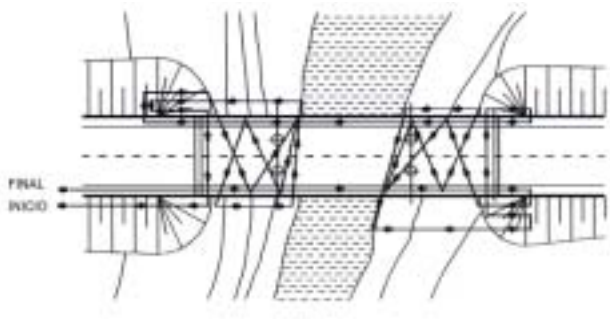
Una vez definidos los elementos constitutivos del puente, su Inspección Principal se realizará siguiendo estas tres fases consecutivas (ver Figura 2).

- Inspección perimetral inferior de los paramentos verticales de estribos y de las caras laterales del tablero, arco o bóveda. Esta primera etapa consiste en una inspección a lo largo del contorno de la estructura, realizada desde "debajo" del tablero.
- Inspección en "zig-zag" desde debajo del tablero, arco o bóveda.
- Inspección perimetral de la plataforma.

En los casos en que la inspección de la cara inferior, pilas y estribos se vea interrumpida por la existencia de un obstáculo insalvable (río, vía férrea inaccesible, autovía con un elevado nivel de tráfico,...), entonces se llevarán a cabo las etapas 1 y 2 anteriores, desde el estribo hasta dicho obstáculo como si fuera un puente independiente. Después se realizará parcialmente la fase 3, luego otra vez las 1 y 2 de la zona restante desde el estribo hasta el obstáculo y por último la parte restante de la fase 3 (ver Figura 3).

Durante el desarrollo de la inspección el Inspector anotará todos y cada uno de los deterioros observados en cada elemento registrado, de acuerdo a un catálogo de deterioros preestablecido. Deberá registrar el tipo de deterioro percibido, la causa aparente por la que se ha producido, la extensión, en tanto por ciento, del deterioro en el elemento en estudio, si se ha visto alterada la funcionalidad de dicho elemento como consecuencia del deterioro registrado y, por último, la afección de ese deterioro a otros elementos o a la seguridad del usuario del puente. Además, deberá cuantificar el deterioro en unidades de medida, de acuerdo, igualmente, a criterios ya preestablecidos en el catálogo de deterioros.

Figura 3.- Recorrido de una inspección obstaculizada por un río.



En las Figuras 4 y 5 se muestran, a título indicativo, algunos deterioros con la caracterización de ellos que se deduce el catálogo desarrollado por José A. Torroja, Oficina Técnica, S.A., que incluye unos 12.500 casos diferentes.

4.5. La evaluación del estado de conservación

Una vez realizada la inspección del puente y redactadas las anotaciones correspondientes de los deterioros de cada elemento, se hace necesario cuantificar estos daños de una forma sistemática y objetiva. Es decir, hace falta evaluar el estado de cada elemento. Esto se hace empleando la llamada "Marca de Condición" del elemento. La sistemática utilizada para realizar la evaluación de los elementos es la desarrollada y propuesta por José A. Torroja, Oficina Técnica, S.A., con aplicación directa a más de 9.000 Inspecciones Principales.

La marca de Condición es un número, entre 0 y 5, que refleja la naturaleza, grado y extensión de los daños, la aptitud del elemento para cumplir su función y las afecciones perjudiciales del daño en otros elementos. Cada uno de estos índices toma un valor 0 ó 1. La asignación de la Marca de Condición es una tarea se debe realizar en el lugar de la inspección e inmediatamente después de haber concluido la observación visual del puente; así no se olvidarán detalles de lo inspeccionado y se podrán resolver las posibles dudas de apreciación que pudieran surgir. Así, la Marca de Condición se calcula como suma de los siguientes parámetros:

Figuras 4 y 5.- Ejemplos de deterioro.



- Marca de Daño (naturaleza + grado + extensión).
- Marca de Función.
- Marca de Afección.

Las características de los daños se asignan durante la inspección visual. La Marca de Daño se calcula para cada elemento y para cada deterioro. La naturaleza del daño se refiere a la gravedad intrínseca y causal del deterioro. Se rige por la relación unívoca del binomio tipo-causa que figura en el mencionado catálogo de deterioros. El grado del daño expresa cualitativamente la importancia del deterioro, y la extensión del daño refleja cuantitativamente la afección de la zona dañada. La funcionalidad del elemento evalúa la aptitud actual de un elemento para realizar la función para la que fue diseñado.

Por último, la afección evalúa si los deterioros del elemento han causado algún daño en otros elementos de igual nivel o de nivel superior, o en la seguridad de los usuarios.

La Marca de Condición de un elemento vendrá dada por la peor de las registradas para cada uno de los deterioros que padece dicho elemento.

4.6. La ordenación de prioridades

El establecimiento de prioridades de reparación se obtiene a partir de la marca de condición, ponderando ésta mediante factores que tienen en cuenta la importancia del elemento dañado en la estructura; los llamados "pesos de los elementos". Es obvio que un daño en un elemento resistente no debe computar de la misma manera que un daño en un elemento de vialidad accesorio de los equipamientos.

Además, existen otros factores de ponderación que tienen en cuenta la importancia de la carretera dentro de la red, la IMD, el valor patrimonial del puente evaluado o la importancia estratégica de la obra de fábrica en cuestión. Mediante un algoritmo de cálculo se obtiene, finalmente, el índice de estado del puente. La relación ordenada de los índices de estado permite realizar un programa de actuaciones, de forma que, aquellos puentes que hayan superado un determinado umbral de aceptación requerirán una actuación perentoria, y los que no lo hayan superado serán encajados en los planes de conservación plurianuales, en función de la magnitud de los daños, las circunstancias de accesibilidad para la reparación y los programas presupuestarios.

5. Los puentes sobre cursos de agua

5.1. Algunas consideraciones sobre la problemática de los pasos sobre cauces

La función primordial de un puente es la de dar continuidad a la carretera, salvando los obstáculos naturales o artificiales que se encuentren en su trazado. Esta obviedad cobra especial relevancia si el obstáculo a salvar es un cauce fluvial. El equilibrio dinámico de los cursos de agua se ve afectado no sólo por la interacción del hombre con acciones directas —construcción de presas, extracción de áridos, invasión del cauce, etc.— sino también de manera indirecta por los cambios en el balance hidrológico de la cuenca de aportación, fundamentalmente debidos a la variación en los usos del suelo.

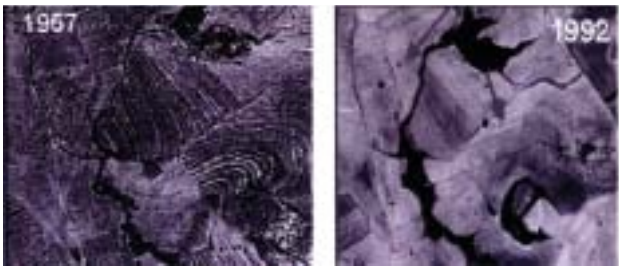
La respuesta del cauce para recobrar su equilibrio, gobernada bajo la ley de Simons o de la balanza, consiste en adquirir una pendiente de equilibrio que le proporcione la energía mínima necesaria para transportar la carga. Este fenómeno natural se consigue mediante la erosión, el transporte y la sedimentación.

En el escenario de los puentes el proceso de erosión es un aspecto relevante, en tanto en cuanto el reestablecimiento del equilibrio dinámico del cauce puede ser un factor de vulnerabilidad para el puente, asociado fundamentalmente a fenómenos de socavación de sus cimentaciones.

Como dato curioso, en una estadística de 1976 [4] sobre las causas de colapso en 143 puentes de todo el mundo, se llegó a la siguiente conclusión:

Bajo estas consideraciones parece lógico pensar que la evaluación de la seguridad de un puente no sólo depende de sus condiciones estructurales sino que existe cierto grado de vulnerabilidad en el cauce que salva. La cuestión es ¿cómo se puede estimar el riesgo en la interacción cauce-puente? La pri-

Figura 6.- Fotografías aéreas de un cauce en dos edades diferentes.



mera respuesta inmediata se traduce en realizar una inspección del cauce que permita registrar las variables que pueden hacer vulnerable el puente en relación al cauce. Para ello se hace necesario estimar objetivamente el riesgo potencial del puente frente a una avenida extraordinaria, atendiendo a la hidráulica fluvial, basándose en parámetros geomorfológicos del cauce y en la propia hidráulica del puente. Indudablemente los grados de libertad y las incertidumbres que pueden recogerse de estos parámetros son elevadas, por cuanto la propia dinámica del cauce no permite, como en el caso del puente, establecer criterios sistemáticos que otorguen exactitud en la inspección. Esto nos lleva a considerar, en la evaluación del cauce, un riesgo potencial y no un riesgo certero, gobernado por las relaciones cualitativas y cuantitativas entre estas variables.

Todo esto parece muy prometedor, pero, ¿es técnicamente fiable? Evidentemente en el problema de movilidad del lecho de un curso de agua es de interés validar y contrastar los resultados de la inspección con un ajuste del análisis de resultados basado en un análisis estereoscópico del cauce, en que se tengan en cuenta las características del sistema fluvial desde una visión de conjunto en el tiempo y en el espacio (ver Figura 6).

5.2. Evaluación de la condición de riesgo

La primera tarea que se debe realizar para estudiar la vulnerabilidad del puente frente al cauce que salva es desarrollar una minuciosa inspección de éste en el entorno más inmediato del puente. Basándose en nuestra experiencia, es razonablemente válido un alcance de cuatro veces la longitud del puente, hacia aguas arriba y hacia aguas abajo.

La evaluación del riesgo potencial frente a una avenida se desarrolla en base a dos descriptores: vulnerabilidad del puente y geomorfología del cauce. Estos dos descriptores engloban gran cantidad de registros que, bajo un algoritmo de cálculo, permite establecer la condición de riesgo en forma numérica.

5.3. Vulnerabilidad del puente

La vulnerabilidad del puente viene determinada por los efectos de socavación local de la subestructura. Los parámetros que se enmarcan en este descriptor son exclusivamente relativos a la implantación del puente y a las características de su cimentación. El riesgo potencial se manifiesta en forma de

Figura 7.- Contracción de un cauce de rambla.

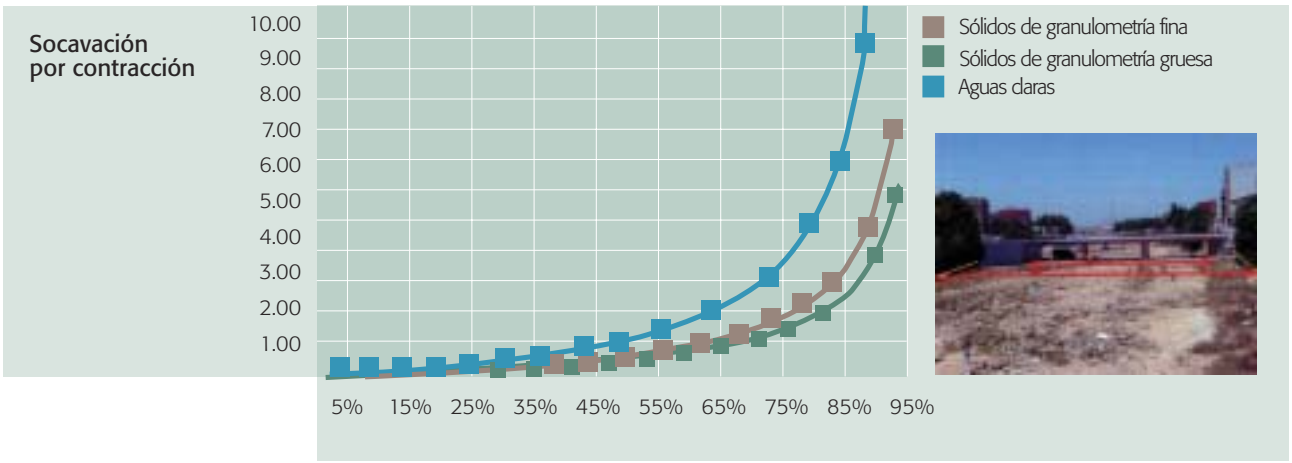
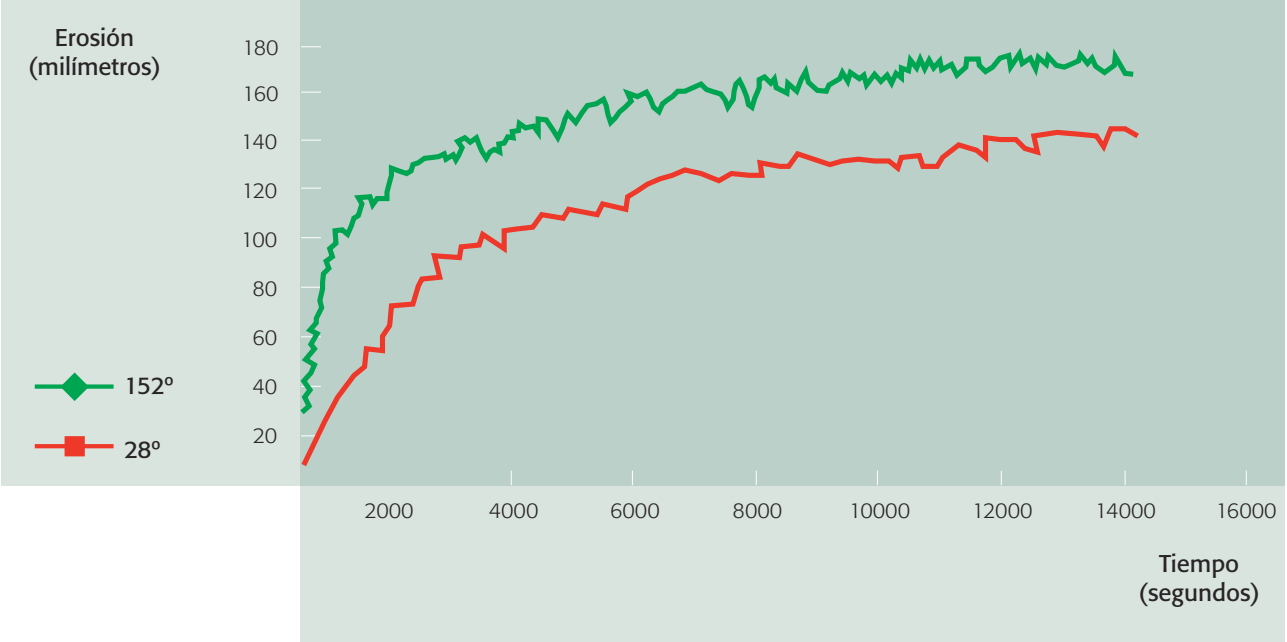


Figura 8.- Profundidad de socavación en estribos en función del ángulo de ataque.



socavación, bien sea local, al pie de estribos y pilas, o bien en toda la sección transversal, debido a la contracción del cauce por interposición de la estructura.

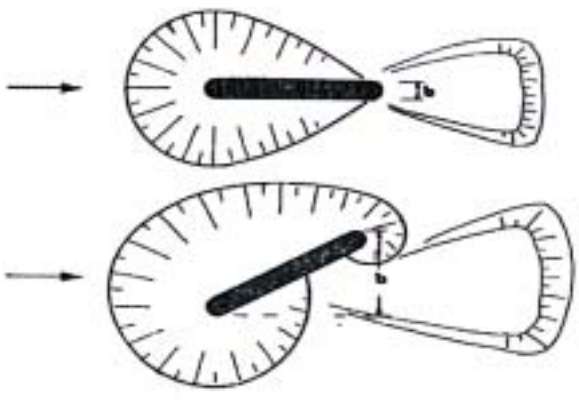
Si los estribos están implantados dentro del cauce, se produce una reducción de la sección que produce una concentración de flujo provocando un fenómeno de erosión por contracción. Este efecto se puede estimar con la ley de Laursen [3]. Su cálculo no es objeto ni de este artículo ni de la inspección de cauce que proponemos, aunque a título informativo se presenta un gráfico en la Figura 7 que representa la variación de la profundidad de socavación en función del porcentaje de sección contraída.

Por otra parte, la orientación de pilas y estribos en relación al flujo, la forma del frente de ataque y el número de fustes, único o múltiple, son parámetros que influyen notablemente en las condiciones de vulnerabilidad frente a riesgos de socavación local al pie de la subestructura. En la Figura 8 se puede observar la incidencia en la erosión de la orientación de los estribos en relación al flujo, según un estudio experimental [5] en régimen uniforme y bajo las mismas condiciones hidráulicas.

La Figura 9 muestra de forma cualitativa la forma de las fosas de socavación generadas en una pila orientada en la misma dirección que el flujo, y en otra con un determinado ángulo de ataque.

El tipo de cimentación, profunda o directa, así como el material del substrato competente, son, igualmente, parámetros a tener en cuenta. Un puente con cimentaciones pilotadas

Figura 9.- Influencia del ángulo de ataque en la socavación de pilas.



pude haber sufrido un descalce por socavación y no resultar potencialmente peligroso, si en el proyecto se tuvieron en cuenta estas condiciones (ver Figura 10). Este efecto puede resultar demoledor, sin embargo, en cimentaciones directas o con pilotes de escasa longitud, o con un substrato poco competente tipo aluvial o similar. Especial atención merece el hecho de que durante una avenida extraordinaria la fosa de socavación alcanza su máximo exponente, pero una vez rees-

Figura 10.- Socavación con cimentación profunda.

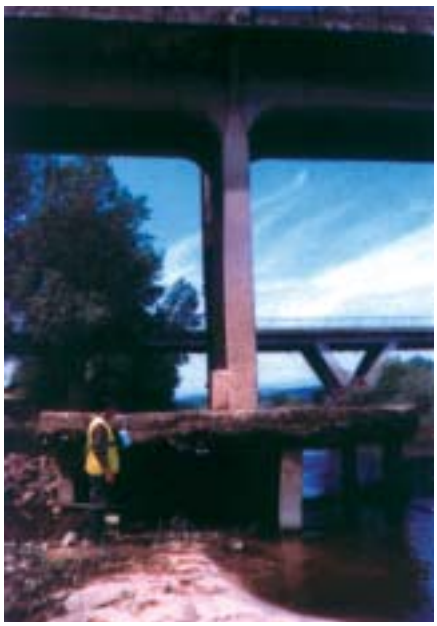


Figura 12.- Barra intermedia vegetada.



tablecido el régimen uniforme del río, esta fosa puede acumular sedimentos y enmascarar parcialmente la profundidad real de la socavación.

Existen otros parámetros influyentes en la socavación de la subestructura, pero difícilmente cuantificables en una inspección cualitativa. Unos dependen de las propiedades del fluido, densidad, viscosidad, etc.; otros de las características del flujo, velocidad (Figura 11), calado y otros de las propiedades del lecho, tales como pendiente y granulometría del sedimento. Ninguno de estos parámetros se registra en el escenario de las inspecciones propuestas, pero es necesario que el inspector conozca todos los factores influyentes.

Figura 11.- Influencia de la velocidad del flujo y de la granulometría del sedimento en la profundidad de socavación.

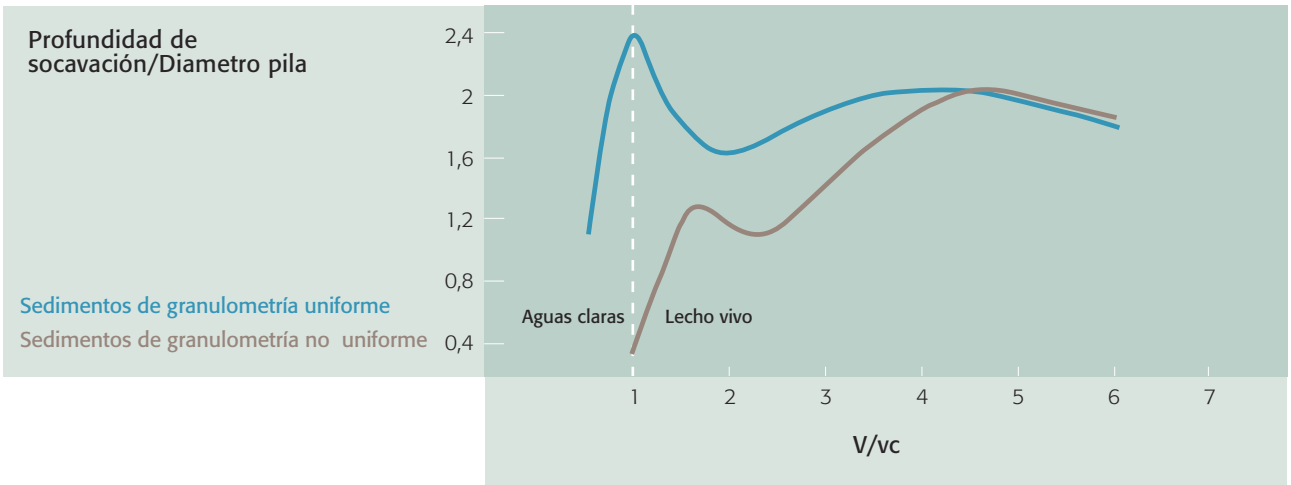


Figura 13.- Acarreos en pilas.



Figura 14.- Cauce meándrico.



Figura 15.- Erosión de la margen.



5.4. Geomorfología del cauce

Este descriptor evalúa realmente el estado de equilibrio del cauce merced a parámetros geomorfológicos. La existencia de barras o islas (Figura 12), obstrucciones o acumulaciones de acarreos (Figura 13) dan indicios del comportamiento del río en régimen de avenida. El tipo de cauce (Figura 14), rectilíneo, trenzado, anastomosado, meándrico, torrencial..., el

Figura 16.- Protección en la margen.



material del lecho y de las márgenes (Figura 15), nos indican el grado de estabilidad del cauce. Las protecciones (Figura 16) y su estado de conservación nos permiten discriminar ciertos riesgos de erosión, y la existencia de afluentes o confluencias permiten tener en cuenta el aumento de caudal y la sobreelevación de la lámina de flujo en un régimen extraordinario. Todos ellos son datos registrables según una nomenclatura determinada, que permite realizar el postproceso de cálculo.

5.5. Índice de riesgo

Como en el caso de la Inspección Principal del puente, el fin de la inspección del cauce es obtener un índice que represente y, que en la medida de lo posible, cuantifique el riesgo potencial del puente frente a fenómenos de socavación. Este índice permitirá realizar una priorización de las actuaciones a acometer, en este caso, orientadas a tareas de protección para reducir la capacidad erosiva del cauce. Esta evaluación, novedosa en España, se ha incluido en el Sistema de Gestión de Puentes del Ministerio de Fomento, que ha desarrollado José A. Torroja, Oficina Técnica, S.A. . La calibración del método es una tarea compleja que en la actualidad está siendo llevada a cabo en función de los resultados de las inspecciones ya realizadas en unos 1.500 puentes sobre cauces.

En estos tiempos en que el paradigma de las inversiones es el desarrollo sostenible, la estrategia de estos trabajos cobra mayor relevancia en el escenario de la Gestión de Puentes, para la preservación del patrimonio. Nos parece, no sólo interesante, sino imprescindible, que la inspección de un

puente lleve asociada la inspección del cauce que salva, para que la gestión se pueda calificar de integral.

6. Aplicación práctica del sistema de gestión de puentes. 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, en el ámbito de la conservación ordinaria 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 este mismo escenario, resultaría igualmente útil saber qué 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, José A. Torroja, Oficina Técnica, S.A. 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 [6]. 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.

En la Figura 17 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 dete-

Figura 17.- Índice de estado de un grupo representativo de puentes.

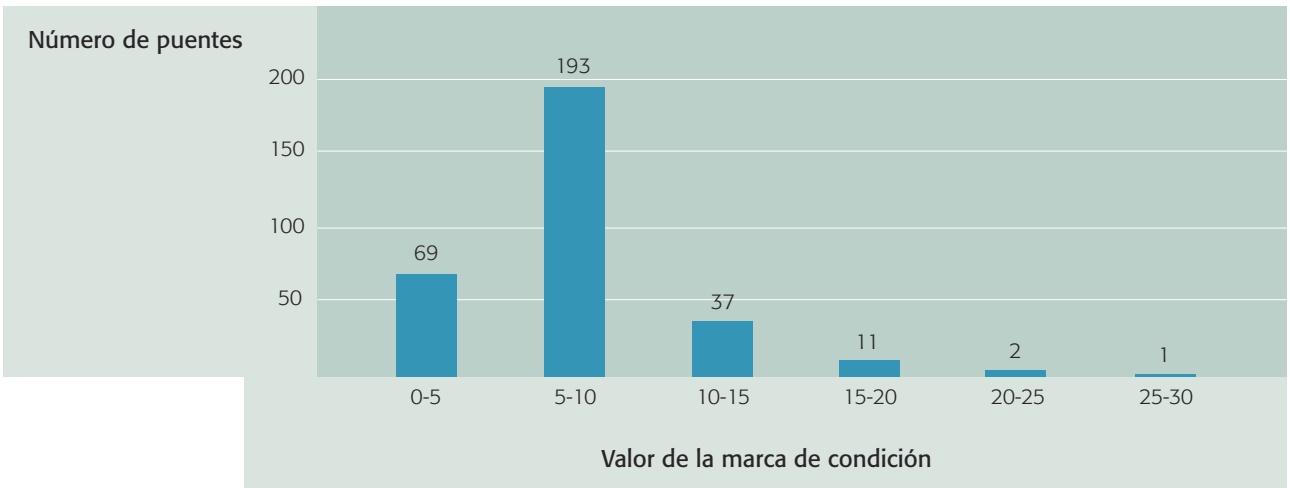
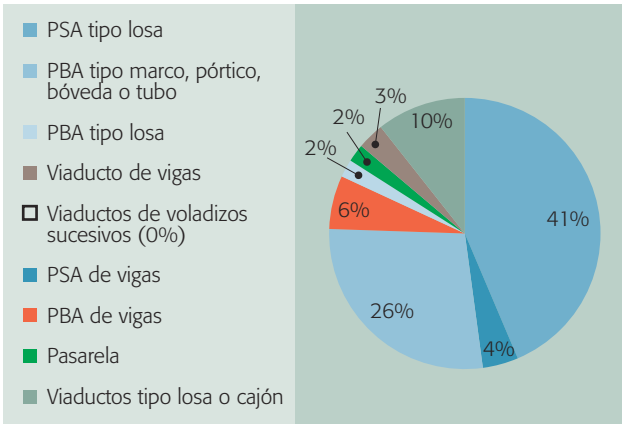


Figura 18.- Estadística de deterioros en función de la tipología.

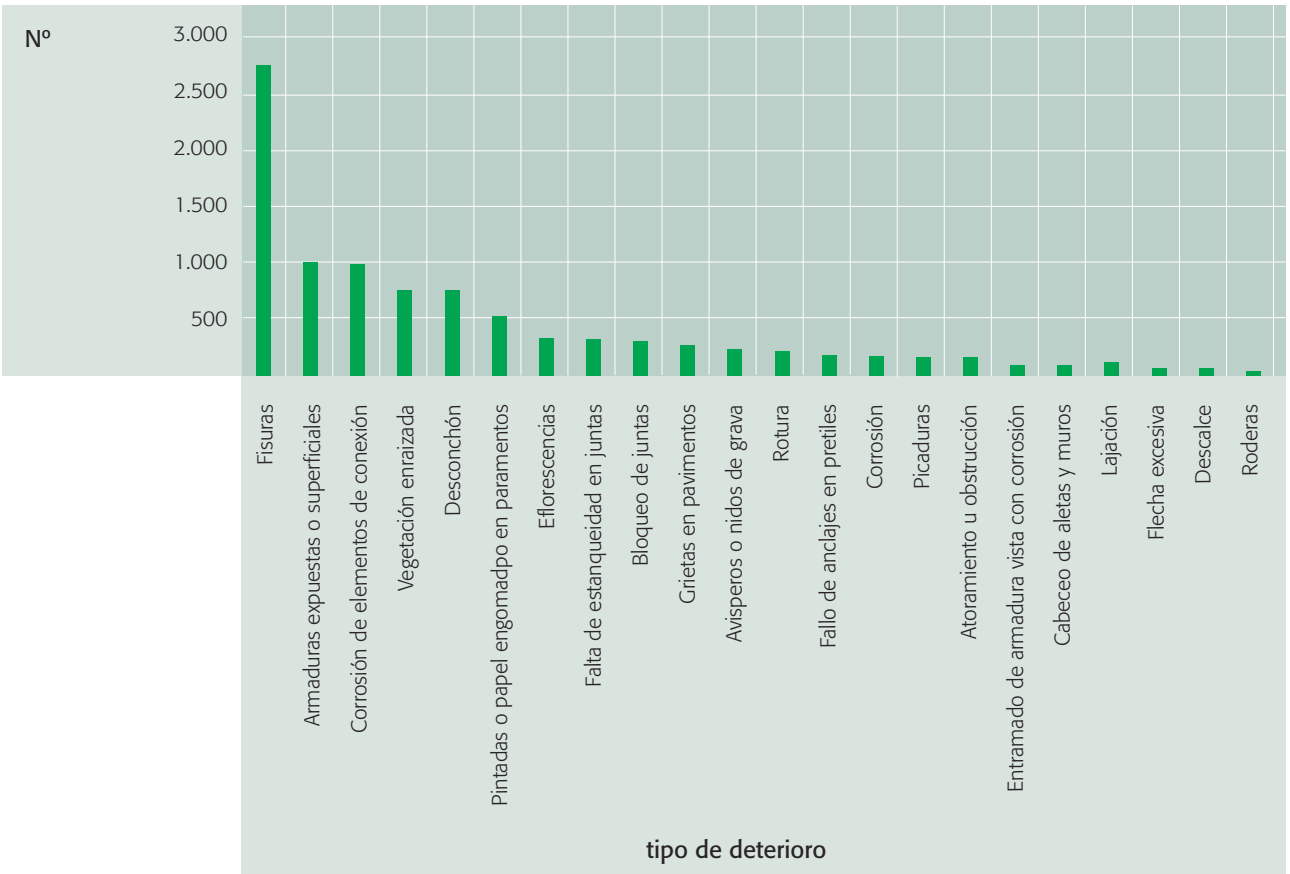


rioro, que sin embargo no tiene excesiva influencia ni en la capacidad portante global de la estructura, ni en la durabilidad, ni afecta excesivamente a la funcionalidad ni a la vialidad.

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

Figura 19.- Registro de deterioros más frecuentemente detectados.



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.

Figura 20.- Estadística de fisuras en función de los elementos en que se han detectado.

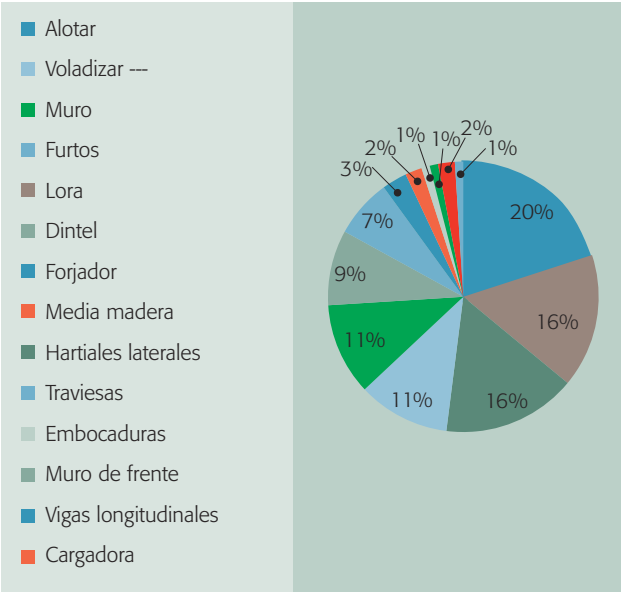
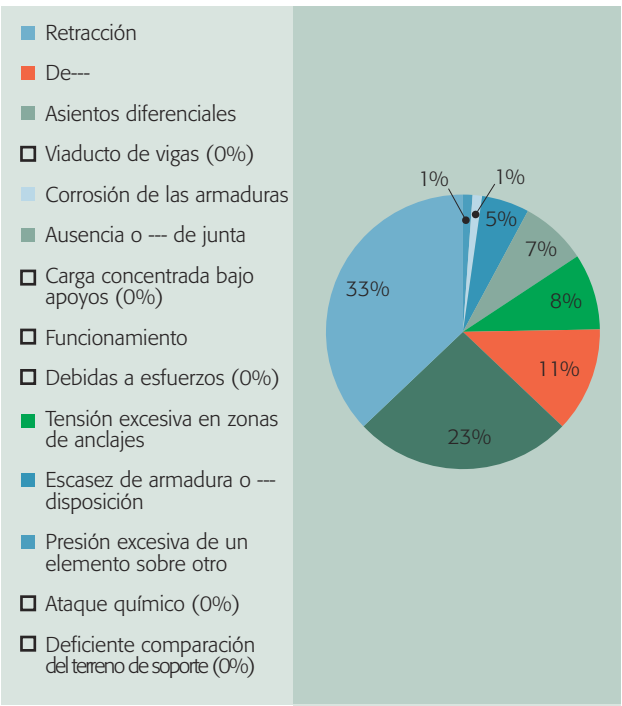


Figura 21.- Causas de las fisuras.



En la Figura 18 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. 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 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 19 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 útil para tener en cuenta en los potenciales de socavación.

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 (Figura 20) y, por otro, a la frecuencia de las causas a que se deben dichas fisuras (Figura 21).

Como se puede observar, el porcentaje mayoritario corresponde a fisuras inherentes al material, es decir, a cau-

sas 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 las fisuras registradas corresponden a una deficiente ejecución, entendiéndose por tales aquéllas que han aparecido durante la construcción o posteriormente por deficiente curado o retracción plástica.

Un tipo relevante de fisuras son las debidas a la tensión en zonas de anclaje de pretensado, que requieren un armado especial debido a la transferencia de tensión que se produce desde el anclaje, con unas isostáticas de compresión en "abanico o botella" que hacen aparecer tracciones en dirección perpendicular a la compresión del pretensado. Puesto que hay un buen número de estructuras postensadas es relativamente comprensible que aparezca este deterioro con una incidencia del 8 %.

7. Conclusiones

En los párrafos anteriores se ha expuesto de manera extremadamente somera las líneas básicas y el estado de implantación de algunos sistemas de gestión del mantenimiento de puentes en diferentes países de nuestro entorno. Asimismo, se han presentado algunas ideas generales que han servido a los autores de este Artículo para el desarrollo e implantación de diferentes sistemas en diversos entes gestores de un cierto parque de obras de fábrica.

De las experiencias adquiridas por el Equipo de José A. Torroja, Oficina Técnica, S.A. y de los conocimientos adquiridos por los firmantes de este "pequeño tratado", como integrantes de diferentes comisiones y grupos de trabajo internacionales, 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 uno de los 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.

- 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 tendente 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.



[1] Woodward, R.J. y otros. Programa BRIME. Final Report. Marzo 2001.

[2] ATEP. Recomendaciones para la conservación de puentes pretensados. H.P.7-92.

[3] MOPT. Control de la erosión fluvial en puentes.

[4] Smith, D.W. Proceedings Institution of Civil Engineers. Bridge Failures. 1976

[5] Roca, M.; Bateman, A.; Bounamons, F. y Pérez, C. ETSECCPB. Sistemas de sensores de ultrasonidos para la medida del fondo. Aplicaciones a procesos de erosión local en estribos.

[6] José A. Torroja, Oficina Técnica S.A. Inspección y evaluación de puentes y obras de fábrica. AUDASA. Informe enero 2003.

[7] José A. Torroja, Oficina Técnica S.A. Realización de Inspecciones Principales y Evaluación de los Deterioros. Manual IP-3 del Curso para la formación de Inspectores. Ministerio de Fomento. Madrid 2000.

[8] Simón-Talero, J.M. José A. Torroja, Oficina Técnica S.A. II Congreso de ACHE. Puentes y estructuras de edificación. Los Sistemas de Gestión de Puentes. Madrid, noviembre 2002.

[9] Simón-Talero, J.M. José A. Torroja, Oficina Técnica S.A. Jornadas sobre auscultación y toma de datos para la planificación y gestión de carreteras. El SGP, un Sistema de Gestión de Puentes para el Ministerio de Fomento. Cáceres, diciembre 1999.

[10] De Villar, J.M. José A. Torroja, Oficina Técnica S.A. Curso sobre conservación, reparación y rehabilitación de puentes de hormigón. Evaluación de los puentes.

[11] Casas, J.R.; Frangopol, D.M.; Nowak, A.S. CIMNE. Bridge, maintenance and management. (Barcelona).

[12] Fernández, J.; Vallés, F.J.; Moreno, A. Dpto. Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. UPV. Estudio de la vulnerabilidad hidráulica frente a avenidas de los puentes de la RIGE.

[13] Characteristics of Bridge Management Systems. Transportation Research. Number 423. April 1994.

[14] José A. Torroja, Oficina Técnica S.A. Definición de elementos. Manual IP-1 del Curso para la formación de Inspectores. Ministerio de Fomento. Madrid 2000.

[15] José A. Torroja, Oficina Técnica S.A. Catálogo de deterioros. Manual IP-2 del Curso para la formación de Inspectores. Ministerio de Fomento. Madrid 2000.

[16] MOPT. Inspecciones Principales de Puentes de Carretera.