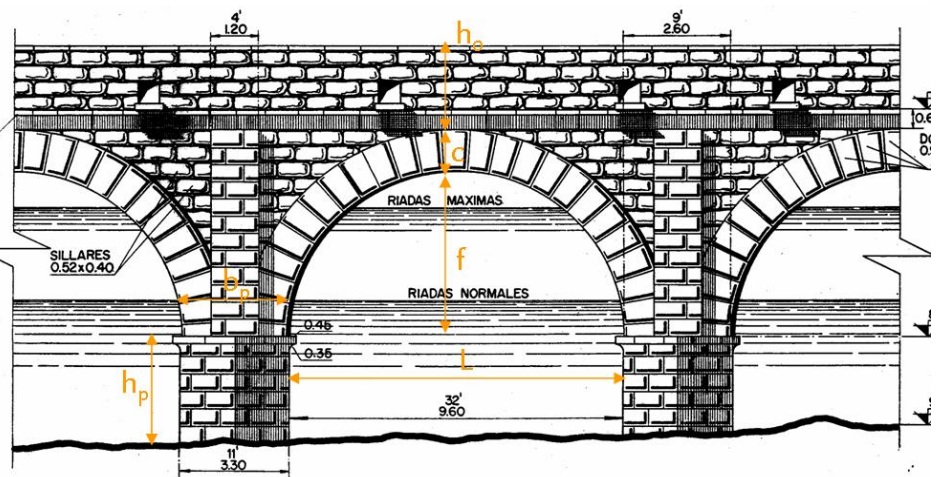


Reflexiones en torno a la inspección de puentes

Javier León González



## RESUMEN

Tras situar la actividad de la inspección de puentes en el contexto general de la gestión del patrimonio de obras de paso, en esta ponencia se presentan algunas reflexiones acerca de la importancia de esta actividad, los agentes que intervienen, la necesidad de que sea efectuada por personal cualificado y cómo pueden producirse importantes ahorros si se utilizan criterios de valoración que, aunque subjetivos porque estarán formulados por un técnico cualificado, permiten priorizar las actuaciones y dotar de más garantías los diagnósticos y, consiguientemente, los proyectos de reparación y refuerzo. Se destaca asimismo la necesidad de contar con catálogos de daños que sistematicen las identificaciones de los daños y su importancia.

### 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

La importancia social y profesional que se concede a la tarea de inspeccionar puentes es escasa. A pesar de ser injusta, esta situación no debe resultar extraña y puede ser incluso lógica porque los ingenieros no nos hemos ocupado de desmentirlo. Pero quien esto escribe necesita expresar que esa labor está plenamente justificada y que, aunque ingrata, tiene un valor real que la sociedad debe conocer. Por eso ha sido una magnífica idea, imprescindible, incluir una sesión dedicada a la gestión de infraestructuras porque en “la vida de los puentes”, tal actividad es la que ocupa más tiempo y, frecuentemente, sumados a lo largo de su peripetia vital, más recursos económicos que los desembolsados en el momento de su construcción.

El texto del prof. Corres en la presentación de estas Jornadas ya advertía que los puentes han descendido muchos puestos en el escalafón que la sociedad, tácitamente, establece entre los objetos y servicios que utiliza. Es cierto. Y eso que son conocidos los nombres de algunos ingenieros creadores (incluso más bien los de

## Reflexiones en torno a la inspección de puentes

algunos arquitectos), pero son ignorados los nombres de los ingenieros que los cuidan y prolongan su vida útil. Guste o no, es un hecho tan cierto como que al Ser creador se le ha llamado Dios y al médico que cura a su semejante se le ignora. Es más, se considera un don el de la creación y un derecho exigible el de la asistencia médica. Además, conseguido un derecho, paradójicamente, pierde valor; es como la salud: se valora cuando se carece de ella.

Sin embargo, referencias a la Providencia aparte, a quien se acude de veras ante un problema de “mantenimiento de salud” o, más frecuentemente, de falta de ella, es al médico, y no a cualquiera, sino preferentemente al mejor. De la misma manera que la sociedad valora la capacidad de los ingenieros aeronáuticos capaces de proyectar y construir aviones que se consideran “seguros”, esa “opinión pública” valora en igual medida el que los aviones pasen revisiones y controles exhaustivos. Eso tranquiliza a los usuarios y prolonga la vida de los aparatos. No es difícil detectar paralelismos lógicos en “la vida de los puentes”. Si se inspeccionan los vehículos, los aviones, hasta los edificios, cómo no va a suceder lo mismo con los puentes, los puertos, instalaciones industriales, los aeropuertos, etc. Debe pensarse, además, que los puentes son piezas que forman parte de una red viaria de cuya longitud total representan un 2% aproximadamente, pero de cuyo valor total suponen un 30% (datos medios europeos).

En esta ponencia se pretende reivindicar el extraordinario papel de los ingenieros dedicados a la conservación, recordar la importancia técnica y económica de esta actividad y relatar, modestamente, algunas experiencias relativas a esta cuestión.

## 2. EL CONTEXTO EN EL QUE SE DESARROLLA LA INSPECCIÓN DE PUENTES

Hace ya años que va calando en la opinión de los técnicos la sensación, evidente por lo demás, de que los puentes no son “eternos”, de vida ilimitada. Sufren achaques y deterioros cuyas causas hay que buscar en el uso y sobre-explotación, en su exposición a un entorno climáticamente hostil, a la acción de los cursos de agua, la presencia parasitaria de vegetaciones y, lamentablemente, a la no siempre certera actuación del ser humano.

Todo ello se traduce en problemas de servicio (movimientos, apertura de juntas, etc.) y de seguridad que van en progresivo aumento. Lo malo es que, mientras algunos daños aparecen de manera paulatina y advierten de su presencia, como las arrugas o la vista cansada del ser humano, denotando su envejecimiento, otros se manifiestan de manera oculta, clandestina y traidora, de

## Reflexiones en torno a la inspección de puentes

forma que el colapso puede sobrevenir de manera brusca, frágil, cuando todo aparentaba robustez y auguraba longevidad. Este tipo de fallos se asemejan al infarto, el derrame cerebral y otras sorpresas dramáticas.

Conscientes del problema, muchas administraciones de todo el mundo han venido poniendo en marcha un conjunto de medidas encaminadas a gestionar más eficazmente el patrimonio de puentes que tienen confiado. En España, el Ministerio de Fomento y otras administraciones, públicas y privadas, hace ya algunos años que están instaurando un sistema como el que se esquematiza en la figura 1, que representa las fases por las que atraviesa el proceso de gestión de estructuras en régimen de explotación. Se ha dibujado en paralelo con el ciclo de actividades que, desde un planteamiento clásico, se llevan a cabo en el ámbito de la Medicina y, por extensión, con las construcciones. El planteamiento es clásico (Pieper [1], 1982) y “humano”, fácilmente comprensible.

En principio, el esquema de actuación en el sistema de gestión es aplicable a cualquiera de los ámbitos en que desenvuelve su actividad el ingeniero, es decir, no se restringe al mundo de los puentes. En todo caso, la situación española es diversa, como puede deducirse de los contenidos de las otras ponencias pertenecientes a esta misma sesión.

### 2.1. EL INVENTARIO

Esta parte de la *anamnesis*, de la historia clínica, es de extraordinaria importancia. Constituye el punto de partida imprescindible para que un Sistema de Gestión pueda resultar útil, y se ha de alimentar de un inventario bien pensado, bien cumplimentado y bien mantenido.

La labor de crear y mantener un inventario es una tarea que requiere más especialización de la habitualmente imaginada. En España se dan algunas de las siguientes situaciones:

- Que la administración no disponga de él y sea necesario configurarlo, cumplimentarlo y mantenerlo. En ocasiones cabe la posibilidad de construir el inventario al mismo tiempo que se abordan campañas de inspección principal que sirvan de referencia del “estado o” en que se encuentran las estructuras de una determinada tipología, situación (cruce de ríos con pilas en el cauce, p.e.) o, mejor, itinerarios en función de la importancia estratégica, IMD, etc.

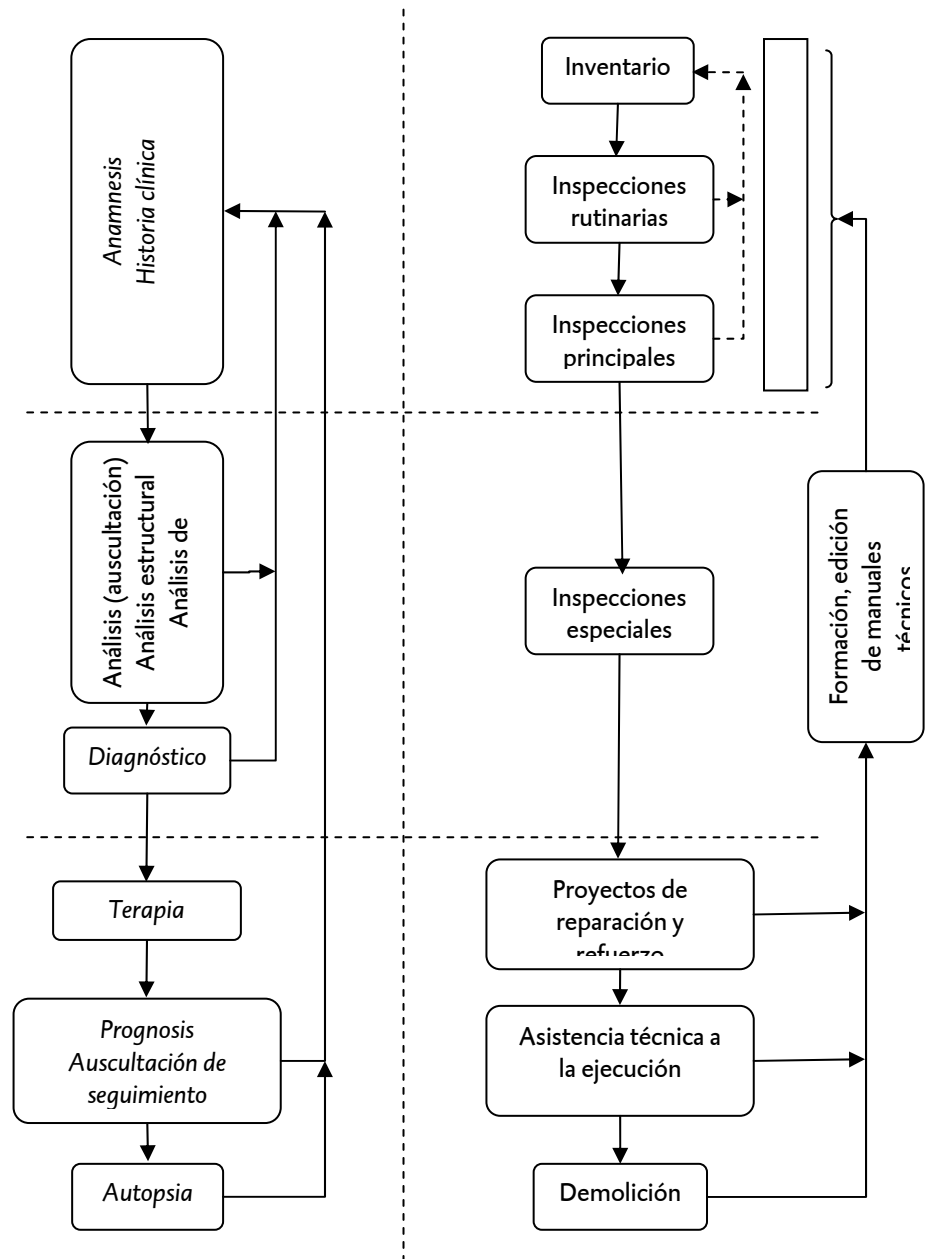
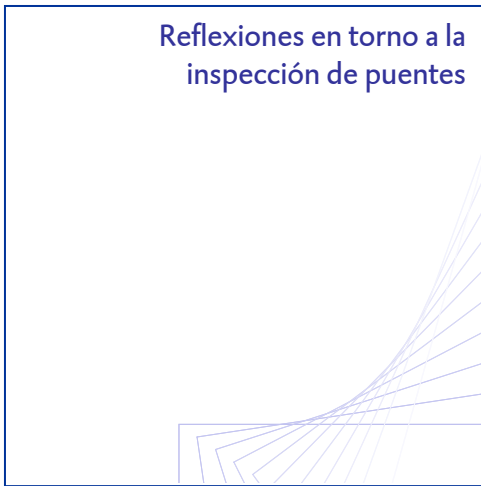


Figura 1. Fases del sistema de gestión de estructuras en régimen de explotación.

- Que la administración tenga un inventario más o menos actualizado conforme a una ficha que sea susceptible de mejora a partir de un estudio del inventario y de un conjunto de visitas de contraste.
- Que la administración lo tenga completo y sea preciso sólo actualizarlo y, eventualmente, mejorarlo al ritmo de las nuevas incorporaciones de datos y de la constante evolución y mejora de los medios informáticos.

## Reflexiones en torno a la inspección de puentes

### 2.2. LAS INSPECCIONES RUTINARIAS

La historia clínica se va enriqueciendo con las inspecciones rutinarias. Se realizan, con frecuencias distintas en diferentes administraciones, a cargo de personal no especializado, que suele pertenecer a la administración gestora o estar vinculado a ella a través de contratos de conservación integral de la carretera. La experiencia de algunas administraciones es que esta tarea se ve mejorada sensiblemente si se educa a dicho personal y si éste está dotado de catálogos de daños que permitan a los inspectores calificar la importancia de los mismos y dejar constancia de la situación en el correspondiente informe.

### 2.3. LAS INSPECCIONES PRINCIPALES

Se suelen realizar cada 5 años, aproximadamente, aunque esta frecuencia debería ser objeto de reconsideración precisamente tras cada inspección. El personal es ya especializado y, en general, procedente de una consultora. La experiencia demuestra que la calidad de los informes de inspección principal es muy desigual, resultando incluso de dudosa utilidad cuando han sido redactados por personal no suficientemente cualificado. Como dice la publicación “Inspecciones Principales de puentes de carretera” [2], en la que se deja ver la mano del maestro Ramón del Cuvillo, hay que “poder ver” (disponer de medios de acceso e inspección, lo que es obvio), “saber ver” (en alusión a la cualificación de los inspectores) y, por último, “saber lo que se quiere ver” (preparar la inspección, estudiar el proyecto y conocer la historia clínica de la estructura objeto de visita).

La inspección principal ha de culminar en la cuantificación de un “índice de daño” cuyo valor, en teoría, permite activar la fase siguiente del proceso (inspección especial) o, por el contrario, dejar constancia de lo observado para cotejarlo con las siguientes inspecciones rutinarias y principales. En este aspecto, se ha puesto en evidencia la inexistencia de criterios adecuados y, en principio, parece que lo conveniente es actuar de manera prudente y progresiva de manera que, sin crear más problemas de los necesarios, se pueda ir implantando el sistema paulatinamente.

### 2.4. LAS INSPECCIONES ESPECIALES

Se suelen realizar cuando los informes de inspección principal lo prescriben o cuando lo estime conveniente la Administración responsable (tras un accidente, socavación o, simplemente, cuando la evidencia de un daño lo aconseje). Tras la realización de una campaña de ensayos así como de unos análisis estructurales o de durabilidad —pensado y dirigido todo ello, inexcusablemente, por personas expertas— se formula un diagnóstico que precise la causa o causas de los daños observados, y su afección al nivel de

## Reflexiones en torno a la inspección de puentes

seguridad. Esta fase cierra lo que los médicos llaman de “analítica y diagnóstico”. La experiencia demuestra también que esta operación requiere el concurso multidisciplinar de especialistas que, bajo la dirección de la persona responsable de la administración (o el consultor principal), permita identificar todas las caras del problema de tal forma que la fase siguiente, la de la propuesta terapéutica, se oriente con las mejores garantías.

### 2.5. ANTEPROYECTOS Y PROYECTOS DE REPARACIÓN Y REFUERZO

En general, se trata de trabajos relativamente sencillos *a priori* —si se comparan con grandes proyectos de obra nueva—. El éxito de los proyectos pasa por la calidad del diagnóstico (inspección especial) y por la inteligencia con que se planteen las posibles soluciones. Como en todo tipo de proyecto, requieren asimismo de un profundo conocimiento de las condiciones de contorno (fundamentalmente, la necesidad de mantener el tráfico, pero también de las geometrías de la sección transversal, sistemas de contención de vehículos, valor patrimonial, etc.), de grandes dosis de buen juicio, alejado de dogmatismo, en un ámbito en el que la ausencia de normativa deja el campo mucho más abierto que en la obra nueva y, finalmente, de los medios disponibles (dispositivos hidráulicos, cimbras, andamios, materiales, etc.). Un aspecto de gran importancia es el del valor patrimonial del puente, que requiere de la máxima sensibilidad de todos los agentes implicados.

### 2.6. ASISTENCIA TÉCNICA A LA EJECUCIÓN

Se trata de una importante laguna en el tratamiento administrativo de esta vital fase de la actuación. No salen contratos de ese tipo con ese formato específico, confiándose, en el mejor de los casos, a actuaciones generalistas de “control y vigilancia” encuadradas en una intervención más amplia como, por ejemplo, un refuerzo de firmes, adecuación del sistema de contención de vehículos, sustitución o eliminación de juntas, etc. No es difícil entender lo importante que es que la reparación y el refuerzo cuenten con una asistencia técnica por parte del proyectista, que debe hacerse responsable de su actuación. Además, debe tenerse presente que, con mucha frecuencia, estas actuaciones son en sí mismas un prototipo, que no hay dos iguales, que no se han tenido todos los datos y que, durante la ejecución, pueden presentarse sorpresas a las que debe darse respuesta. Merece destacarse muy positivamente la política de la Unidad de Negocio de Mantenimiento de Infraestructura Ferroviaria, que hace prever en el proyecto una partida que oscila entre el 5 y el 9% del PEM destinada a ese fin.

## Reflexiones en torno a la inspección de puentes

Esta fase es equiparable, en primera instancia, a la de la aplicación de la terapia propuesta en el proyecto, que requiere, naturalmente, de cirujanos competentes. Pero es también equiparable a la fase de “post-operatorio” y convalecencia, cuando es preciso seguir la evolución del paciente con la oportuna auscultación y el puntual seguimiento de la bondad del diagnóstico, de la medida terapéutica elegida y de cómo se ejecutó ésta. Tradicionalmente, esta fase ha venido siendo ignorada y, sin embargo, es fácil entender que debería verse incardinada en el sistema general de gestión.

### 2.7. DEMOLICIÓN O “DESCONSTRUCCIÓN”

Cuando se ha producido un colapso (raro, por fortuna) o cuando el destino impone, tras un bien sopesado análisis, que el puente ha de ser demolido o “desconstruido”, fases, evidentemente “terminales”, cabe introducir aspectos tan importantes como los del aprendizaje (la “autopsia” para aprender) o los de la reutilización, en sintonía con lo sostenible. Se trata de situaciones extraordinariamente didácticas de las que se pueden extraer enseñanzas tanto en lo técnico como en lo relativo precisamente al sistema de gestión.

Configurado un inventario y, parafraseando a De Sitter y su “regla” de los 5 aplicada al diseño preventivo en materia de durabilidad, puede decirse que 1 € invertido en realizar inspecciones principales es tan eficaz como 5 € invertidos en realizar inspecciones especiales cuando la situación se ha hecho ya insostenible, o que 25 € invertidos en proyectos de reparación realizados “a ciegas”, sin datos concluyentes y sin priorización sistematizada. Naturalmente, no se trata de si la regla es de los 5 o de los 3, porque no hay datos, pero es indiscutible que es la forma más inteligente de proceder.

## 3. CASUÍSTICA

El parque de puentes españoles presenta una distribución muy variable en cuanto a sus materiales constitutivos. De hecho, es frecuente que haya tramos rectos de hormigón o metálicos sobre pilas o estribos de fábrica y este es un detalle que debe mejorarse en los inventarios existentes. *Grosso modo*, para tener una idea, los puentes de fábrica representan entre el 20 y el 45% del total, según se trate de la red general del Estado o de otras administraciones, incluidos los ferrocarriles (figura 2). Este porcentaje tan elevado requiere de un comentario. Como se ha dicho, los inspectores deben ser personas expertas, preferentemente ingenieros superiores. Sucede, sin embargo, que hace unos 60 años que desaparecieron de los planes de estudios las disciplinas relacionadas con las obras de fábrica, lo que representa un serio inconveniente en la especialización.

Reflexiones en torno a la inspección de puentes

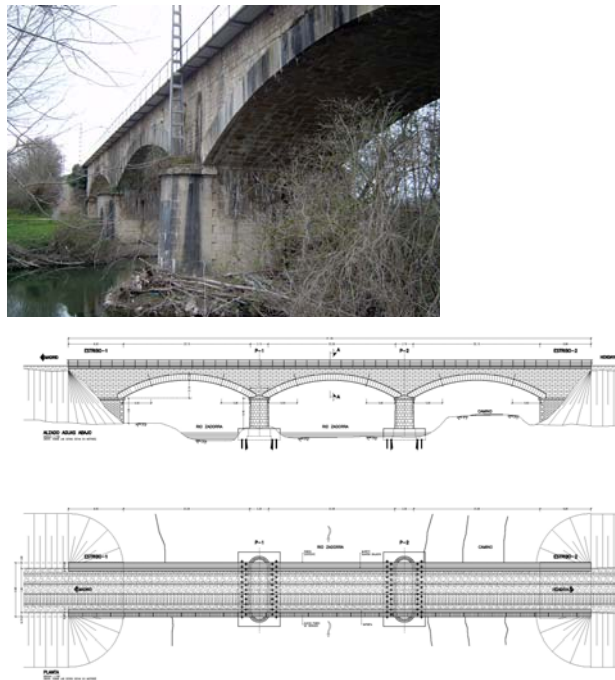


Figura 2. Puente ferroviario sobre el río Zadorra, construido hacia 1880. Luces de 22 m.

Entre un 70 y un 80% de los puentes sería de hormigón estructural (masa, armado o pretensado), material supuestamente conocido por los técnicos que salen de nuestras escuelas. Sin embargo, se les enseña a proyectar obras nuevas, pero no se les educa en mecanismos de deterioro y técnicas de reparación y refuerzo, o procedimientos de evaluación estructural de estructuras existentes. A título de curiosidad, impartimos en la Escuela de Madrid dos asignaturas de doctorado que están entre las de mayor “audiencia”, y que tratan del estudio del hormigón y de las fábricas. Queremos pensar que eso prueba el interés técnico que tiene la cuestión. No es menos cierto además que, como afirma el prof. Corres, en la Escuela se dota a los alumnos de una formación básica, pero el oficio, la praxis, se aprende ejerciendo, en particular, especialidades como ésta.

Los puentes metálicos representan sólo un 5% aproximadamente de los casos y son los que menor vida útil han tenido. Los puentes mixtos, por desgracia, no han tenido feliz definición en los sistemas de inventario, y su número es de difícil cuantificación.

En cuanto a las tipos estructurales, la casuística es igualmente variada: pasos inferiores, pasos superiores, viaductos, marcos, cubrimientos, túneles, muros (figura 3). Estas últimas cosas no son puentes, pero es frecuente que las inspecciones también los incluyan.



Reflexiones en torno a la inspección de puentes

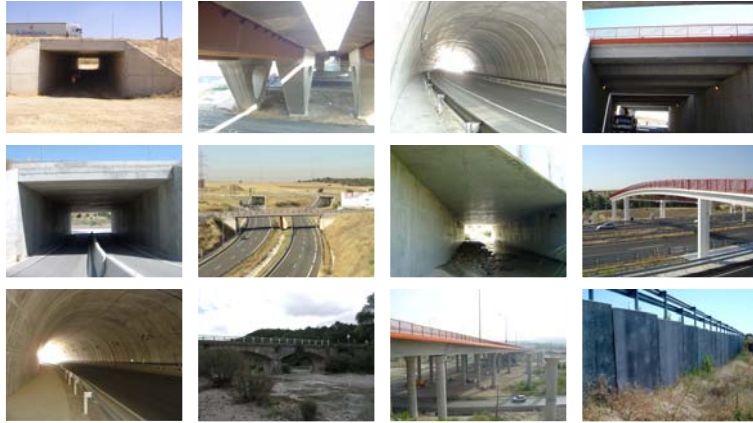


Figura 3. Tipos estructurales variados detectados

La figura 4 representa un caso no tan infrecuente como puede pensarse: puentes originales, posteriormente ensanchados y ampliados. No es preciso explicar lo difícil que resulta inventariar ese tipo de casos y lo complejo que resulta establecer protocolos de inspección como los que proponía el Ministerio de Fomento en la citada referencia [2].



Figura 4. Puente complejo de inventariar y de inspeccionar.

#### 4. ALGUNAS EXPERIENCIAS

Tanto la referencia [2] como las [3, 4] hacen hincapié en la necesidad de establecer unos protocolos de inspección que permitan seguir un proceso ordenado de revisión de los diferentes elementos. Eso permite reducir los riesgos de que algún elemento, detalle, ángulo visual quede sin cubrir. Naturalmente, es frecuente que, debido a la disponibilidad de medios, las condiciones topográficas, de tráfico u otras, resulte imposible seguir un orden determinado en la visita o dejar reflejadas todas las posibles incidencias o estados de las cosas.

Como la valoración final del estado del puente que debe hacerse tras la inspección debe discriminar, como se comenta luego, los diferentes elementos constitutivos, se ha seguido ese mismo orden en la exposición.

Reflexiones en torno a la inspección de puentes

### 4.1. CIMENTACIÓN

Es el elemento más difícil de inspeccionar porque, como es natural, está enterrado o bajo el agua. En la fase de inspección principal deben observarse los eventuales síntomas asociados a problemas de cimentación (asientos, giros, desplomes, etc.). En la fase de inspección especial es frecuente efectuar sondeos coincidiendo con la pila y, si hay riesgos de socavación general o local, inspecciones subacuáticas a cargo de especialistas. Por desgracia, algunas inspecciones *post-mortem* (figura 5) han puesto de manifiesto la necesidad de no descuidar estos aspectos.

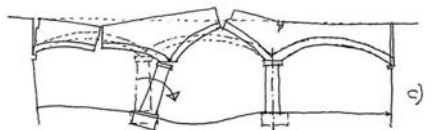
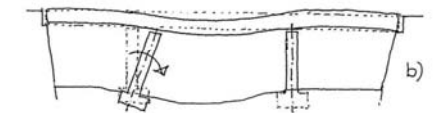
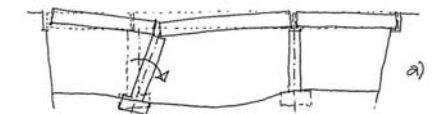
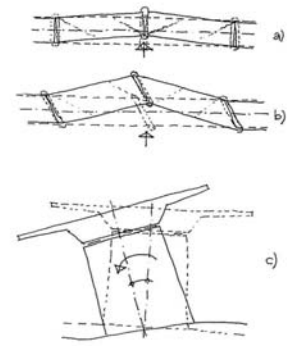


Figura 5. En la parte superior izquierda, giro de eje longitudinal en un puente de tramo recto; en la parte inferior izquierda, colapso de un puente de bóvedas de hormigón en masa como consecuencia del giro inducido en una pila al producirse la socavación durante una avenida. A la derecha, explicación cualitativa de la diferente importancia que tiene un giro de la cimentación en tramos rectos, isostáticos e hiperestáticos, y de bóvedas (casos a y b c) respectivamente.

Dado que ésta es la causa más importante de “mortandad” de puentes, nuestra experiencia indica que la inspección de la cimentación, incluyendo, en el caso de cauces, la inspección subacuática, no debe en absoluto desdeñarse, y debe realizarse por un equipo experto. La figura 6 muestra una vista de una

Reflexiones en torno a la inspección de puentes

inspección subacuática que puso de manifiesto la necesidad de reparar la cimentación.

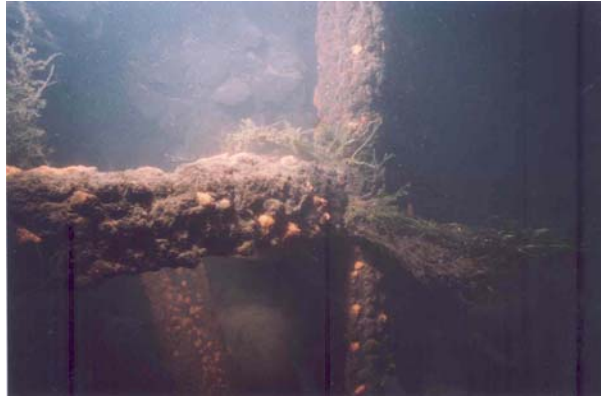


Figura 6. Oquedad detectada en la cimentación de la pila de fábrica de un puente de tramo recto metálico durante la inspección subacuática.

En alusión al aserto de que hay que preparar bien la inspección, está el caso de la figura 7, que muestra el caso de una cimentación de apariencia alarmante pero que no es sino el encepado descubierto. Sucede también que hay que programar las inspecciones preferentemente en época de buen tiempo, no sólo porque es más agradable, sino porque se pueden ver mejor las cimentaciones, como se muestra en las zapatas de la figura 8, correspondientes a un puente sobre un embalse. El inspector debe tener criterio para interpretar juiciosamente lo que ve y, en todo caso, contrastarlo con los planos y documentos disponibles. En último extremo, deberá acudir a la inspección especial.



Figura 7. Vista, en principio alarmante, del encepado de los fustes de un paso sobre el ferrocarril.



Figura 8. Deterioro de la cimentación de un puente sobre un embalse, detectado a finales del verano, con el embalse en cotas bajas.

Reflexiones en torno a la inspección de puentes

## 4.2. ESTRIBOS, MUROS Y ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

Las incidencias registradas en estos elementos deben tratar de entenderse o interpretarse, como en otros elementos, *in situ*. No se trata aquí de entrar en la casuística de daños, pero sí debe decirse, como se explica más tarde, que resulta extraordinariamente útil llevar consigo un catálogo de daños, propio a poder ser, suficientemente contrastado. La figura 9 muestra algunas deficiencias, típicas por lo demás.



Figura 9. Algunos daños típicos en muros y estribos.

También los elementos de protección de terraplenes deben ser objeto de inspección, en tanto en cuanto pueden verse afectados por unas deficientes condiciones de drenaje de la estructura (figura 10).



Figura 10. Estado del encachado de protección de un terraplén de viaducto.

## 4.3. PILAS

La figura 11 muestra un ejemplo de fisuras que el inspector debe interpretar cuidadosamente. Se trata de unas fisuras horizontales (también pueden ser verticales) debidas al asentamiento plástico del hormigón en las primeras horas, producido en la pieza prefabricada, ejecutada en posición horizontal y luego izada. Se trata de un ejemplo trivial, pero pretende mostrar hasta qué punto es imprescindible contar con inspectores formados y con buen juicio.

Reflexiones en torno a la inspección de puentes



Figura 11. Fisuras horizontales o verticales en pilas, pero debidas a asentamiento plástico.

La figura 12 muestra un curioso pero no infrecuente ejemplo de armaduras corroídas. Se presenta en aristas de pilas, estribos, vigas, arcos. Se trata de armaduras vistas que quedaron así muy tempranamente, al desencofrar, y, sin embargo, no ha progresado más la corrosión, a pesar de que las clases de exposición no son favorables. Sucede especialmente en los casos de armaduras antiguas, lisas, hasta los años 60 del siglo XX. Los especialistas afirman que, en efecto, en aquellos aceros, de composición diferente a la de los aceros más modernos, se generaba una película autoprotectora de óxido de mayor adherencia y, por consiguientemente, que no se ha desprendido. Esta circunstancia es un ejemplo más de que el inspector debe estar atento a muchas pistas.



Figura 12. Armadura a la vista, ligeramente oxidada, expuesta al ambiente desde el momento del desencofrado.

#### 4.4. DINTELES

El inspector debe estar atento a la presencia de daños y calibrar, por el origen de los mismos, su trascendencia, es decir, si son el resultado de un defecto de ejecución (figura 13), de un funcionamiento normal en servicio (fisuras de abertura moderada, figura 14) o son el síntoma de situaciones no previstas (figura 15).

Reflexiones en torno a la inspección de puentes

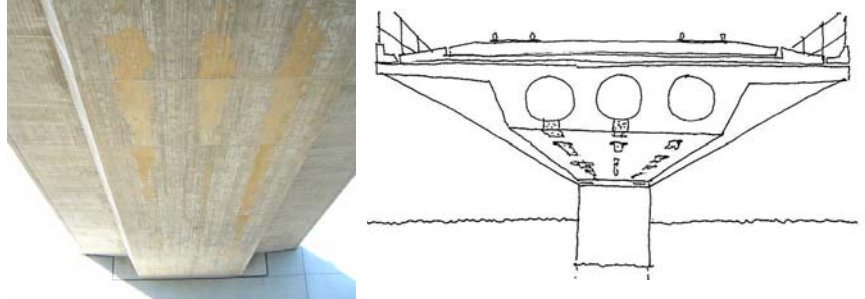


Figura 13. Defectos de ejecución en un puente losa por acumulación de barro y suciedad bajo los aligeramientos, que han impedido un correcto hormigonado.



Figura 14. A la izquierda, fisura de cortante en almas de piezas artesas. De abertura moderada, estas fisuras se han encontrado con gran frecuencia en estructuras construidas en la última década. A la derecha, fisuración que pone de manifiesto la existencia de una biela comprimida en la riostra de apoyo de un puente losa, buscando el neopreno.



Figura 15. Compresiones no previstas en la cabeza inferior de dinteles.

Hay casos en los que un inspector acostumbrado a la docencia se encuentra con los daños descritos en los libros y, entonces, experimenta una inefable sensación de reafirmación: las cosas que uno enseña son ciertas, es decir, suceden de verdad. Es el caso de los daños de cortante ya descritos, pero es también el caso del misterioso rasante y de la antipática torsión. La figura 16 muestra un ejemplo de fisuras de rasante. No es infrecuente encontrar informes de inspección que afirma erróneamente que las fisuras de rasante son las que discurren paralelas a la directriz del tablero, en el encuentro de ala y alma.

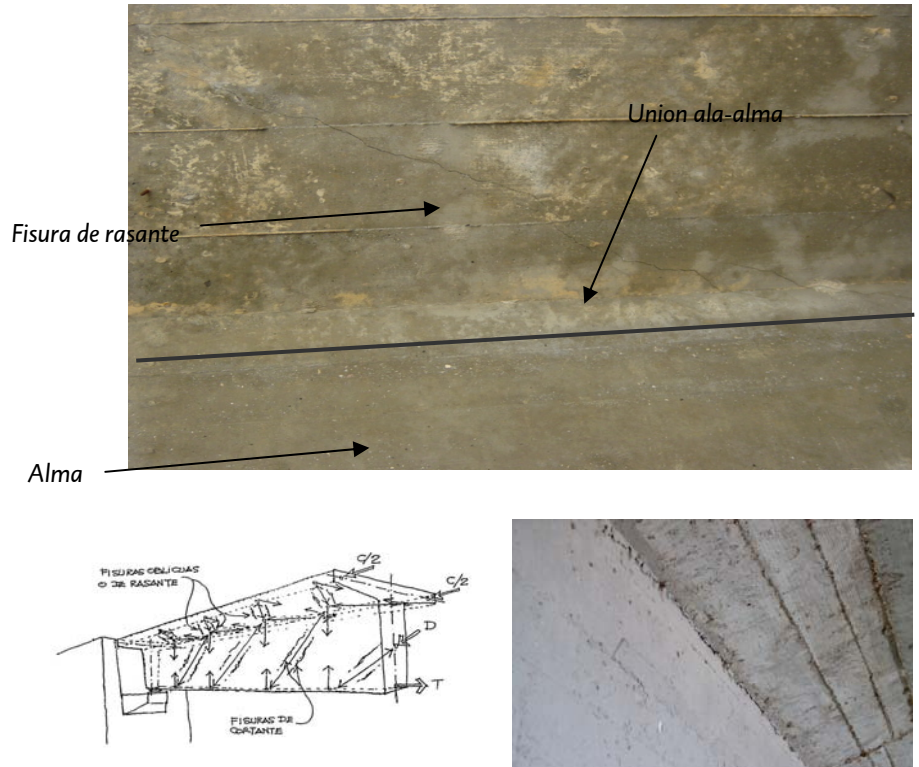


Figura 16. Fisura de rasante en el ala de una losa de un paso superior y modelo que lo explica. A la derecha, fisura de asiento plástico diagnosticada erróneamente como de rasante.

#### 4.5. ARCOS Y BÓVEDAS

Como se ha dicho más arriba, esta tipología, en desuso a pesar de su belleza, entraña mayores “novedades” para el inspector, como rellenos y tímpanos, en obras de piedra o ladrillo, desconocidas para una gran parte de los técnicos, como prueba el gran número de puentes en los que se ha construido un puente nuevo sobre el puente de fábrica, ignorando, en todos los sentidos, la vieja construcción, de eficacia probada. Un caso paradigmático es el de la figura 17. La inspección debe servir también, si hay dudas de que los datos disponibles no permitan deducir la capacidad resistente del puente, para caracterizar adecuadamente la geometría resistente. En la figura 18 se muestran los datos más importantes. En el caso de puentes multi-arco, sobre todo rebajados y con pilas más bien esbeltas, el inspector debe prestar atención a la eventual generación de mecanismos multi-arco de poca ductilidad y, consiguientemente, escasa capacidad de aviso. En ese sentido, nuestra experiencia es que debe prestarse especial atención a la imposta, en la medida en que ésta puede denunciar defectos de cimentación y eventuales riesgos en bóvedas de fábrica u hormigón en masa (figura 19).

Reflexiones en torno a la inspección de puentes



Figura 17. Ejemplo de intervención desafortunada en un puente histórico, fruto de la ignorancia de las posibilidades de un puente existente y de la insensibilidad.

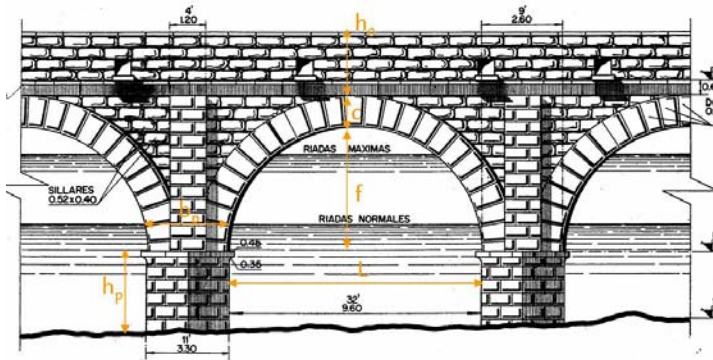


Figura 18. Parámetros más significativos de un puente de bóvedas de fábrica.



Figura 19. Vista de la imposta de un puente de fábrica: si no es horizontal, como en la foto, síntoma probable de movimiento de cimentación y desórdenes en las bóvedas.

En el caso de arcos de hormigón, es frecuente detectar problemas de durabilidad de las autocimbras utilizadas en su día (sistema Melan, 1892) (figura 20).



## Reflexiones en torno a la inspección de puentes



Figura 20. Vista de un puente arco de hormigón con daños debidos a corrosión de los cuchillos de autocimbra.

Las bóvedas presentan una casuística particular de daños que hemos tenido que estudiar con detalle. Se ha hablado mucho últimamente de la durabilidad de las estructuras de hormigón, pero no debe olvidarse que tampoco el ladrillo o la piedra son eternos, sino víctima de procesos naturales de degradación y de otros inducidos por la intervención humana (aplicación de morteros de cemento Pórtland, por ejemplo). En la figura 21 se muestran diversos ejemplos de estas situaciones, tanto cuando los deterioros afectan solamente a la apariencia como cuando afectan también a la integridad estructural. De todo ello debe dejar constancia una inspección.

### 4.6. APOYOS

Los aparatos de apoyo surgieron de la necesidad de transferir controlada y eficazmente las cargas de la superestructura a los elementos que la soportan. En los puentes de fábrica, que son falsamente monolíticos porque las piezas que los integran son de tamaño reducido y, por tanto, los tendeles y llagas son juntas, lo cierto es que no hay problemas de este estilo a no ser que la fábrica conviva con aparatos de apoyo de tableros de hormigón o, más frecuentemente, metálicos. Las estructuras metálicas y de hormigón, por el contrario, han requerido de tales aparatos de apoyo que suelen ser fuente de muchos problemas de funcionamiento y de inspección, dado que están en lugares casi siempre inaccesibles al inspector. La figura 22 muestra algunos ejemplos de lo descrito, a cuya interpretación debe estar el inspector muy atento, con el fin de diagnosticar el origen del daño y su incidencia estructural.

Reflexiones en torno a la inspección de puentes

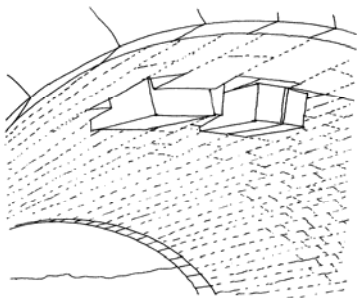
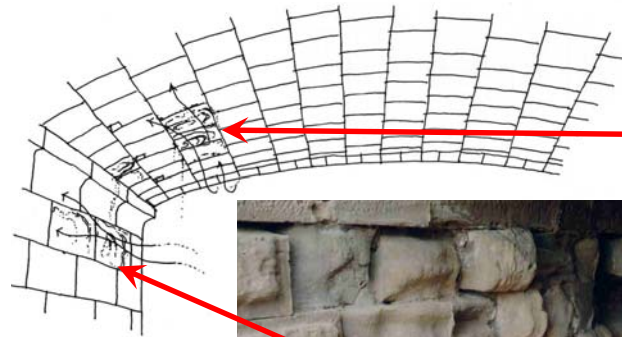
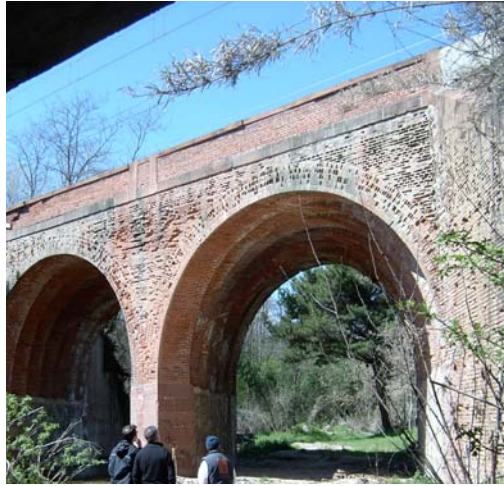


Figura 21. Daños de durabilidad en puentes de fábrica.

Reflexiones en torno a la inspección de puentes



Figura 22. Ejemplo de daños en aparatos de apoyo y zonas aledañas.

#### 4.7. JUNTAS

Las juntas, como los aparatos de apoyo, empezaron a disponerse para evitar la lucha contra lo que parecía imposible impedir: los movimientos de la superestructura en los tableros metálicos y de hormigón. La idea es, sin duda, expresión de inteligencia ingenieril, pero los responsables del mantenimiento y conservación saben, como los usuarios, que las juntas son elementos de rápido deterioro, de incomodidad en la rodadura, de suciedad y de problemas de durabilidad (figura 23). Naturalmente, las juntas siguen siendo necesarias y oportunas, pero en los puentes ya existentes, en los que se han consumido ya las deformaciones reológicas diferidas y el conjunto se ha acomodado a su ser, es también inteligente pensar en eliminar, al menos una parte de ellas, sin alterar el esquema estático.

Reflexiones en torno a la inspección de puentes



Figura 23. Daños en juntas, muchas veces inevitables, pero fuente de problemas.

Para poder tomar, en todo caso, una decisión, es imprescindible que la inspección de juntas y apoyos permita reunir los datos reales necesarios.

#### 4.8. SISTEMA DE CONTENCIÓN Y OTROS DISPOSITIVOS

Ha ido creciendo la necesidad de velar por la seguridad del usuario de las carreteras, de las que forman parte los puentes. Sin embargo, es un hecho que no siempre se han conciliado satisfactoriamente las necesidades y deseos de garantizar la seguridad (eficacia del sistema), viabilidad técnica de la solución (especialmente en puentes existentes) y estética del conjunto, tanto en puentes de carretera como de ferrocarril. Es previsible, por tanto, que esta cuestión de lugar a un importante debate en los próximos años. La figura 24 muestra diversas situaciones de pretilas que expresan por sí mismas la muy diversa casuística existente. Finalmente, se llama la atención de que en el informe de inspección se reflejen situaciones como las recogidas en la figura 25, en la que se muestran detalles de cómo farolas o postes de señalización no bien anclados podrían dar lugar a accidentes de graves consecuencias.



Figura 24. Situaciones diversas de los sistemas de contención de vehículos en puentes.

## Reflexiones en torno a la inspección de puentes



Figura 25. Situación de ciertas sujeciones de luminarias y de postes de señalización.

## 5. ÍNDICES DE VALORACIÓN

Conocer el estado de un puente, es decir, de todos los elementos constitutivos relatados, es bueno, obviamente, porque permite tomar decisiones como, en su caso, ordenar una inspección especial o esperar tranquilamente hasta que toque hacer la siguiente. Pero la administración gestora tiene muchos puentes y, por tanto, necesita priorizar sus actuaciones. Por eso, desde hace ya algunos años (muchos en EE.UU., Reino Unido o Alemania, y pocos en otros países como España), se ha puesto en marcha, en el marco del Sistema de Gestión, un procedimiento que permite atribuir a cada estructura inspeccionada un “índice de gravedad”, un escalár, graduado de bueno a malo.

Ya se ha señalado que la inspección principal de una estructura debe concluir en una cuantificación del estado del puente. La finalidad de la inspección es otorgar una calificación, un índice de daño que sirva para caracterizar la gravedad de la estructura y, consiguientemente, la urgencia y alcance de la inspección especial consiguiente, en su caso. A partir de ahí, la administración gestora decide. Así, la referencia [3] contiene una interesante síntesis de los procedimientos utilizados por diferentes administraciones para gestionar los recursos económicos disponibles en cada anualidad, atendiendo en primer lugar a los puentes que peor índice han obtenido.

Los índices de gravedad son, hoy por hoy, bastante subjetivos. Baste considerar lo que recoge el Pliego elaborado por la Consejería de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes de la Comunidad de Madrid (una de las pioneras de España), que establece la escala que se resumen en la tabla 1.

Reflexiones en torno a la inspección de puentes

Tabla 1. Índices de gravedad según el Pliego de la Comunidad de Madrid

Índice	Situación
1	Defectos “a priori” sin consecuencia importante
2	Defectos que indican que la estructura pudiera correr el riesgo de tener una evolución patológica
3	Defectos que indican el comienzo de una evolución patológica
4	Defectos que indican que se está produciendo una evolución patológica
5	Defectos que se pueden traducir en una modificación del comportamiento de la estructura o una parte de ella
6	Defectos que se traducen en la proximidad del estado límite de servicio de toda la estructura o parte de ella necesitando una restricción en el uso, o su puesta fuera de servicio

Nuestra experiencia es que, dado ese paso, es posible discriminar un poco más, en la línea de lo que propone el documento “D2 Review of current practice for assessing the condition of bridges and classification of defects (WP1)” de la citada referencia [3], porque no es lo mismo que se esté produciendo, por ejemplo, una “evolución patológica” (índice 4) en las marcas viales que en las pilas. Esta diferencia de importancia estructural no quedaría reflejada si la valoración se limitara simplemente a asignar un índice general para toda la estructura. En el documento citado se expone la gran variedad de planteamientos, clasificaciones, índices, algoritmos y categorías que se utilizan en Europa y Norteamérica para deducir el índice de gravedad. Para tener una idea, baste decir que la propuesta británica o la alemana hacen depender el índice de cosas tan lógicas, pero de no tan fácil consideración en España, como la IMD, la clase de exposición, la tipología estructural, la existencia de rutas alternativas y otras. Creemos que hacia ahí debe dirigirse la evaluación del índice de gravedad. Entretanto, se ha propuesto la siguiente forma de proceder:

1. Descomponer la calificación en un conjunto de calificaciones parciales, correspondientes a elementos estructurales o de equipamiento claramente diferenciados.
2. Atribuir un peso a cada uno de los grupos anteriores, en función de la importancia (nula, reducida, media o alta) que tenga esa valoración. Esa atribución es también, en última instancia, subjetiva, pero resulta discriminante y positiva, según nuestra experiencia. Los pesos propuestos son los que se muestran en la tabla 2. como puede apreciarse, el peso va creciendo de manera potencial a medida que crece la importancia.

Reflexiones en torno a la inspección de puentes

Tabla 2. Pesos imputables a la calificación de los elementos inspeccionados en función de su importancia.

Importancia	Peso
nula	0
reducida	1
media	5
alta	15

3. Efectuar una calificación ponderada final de la estructura, de forma que el índice global de gravedad viene dado por

$$\text{Índice global} = \frac{\sum w_i I_{\text{parcial}}}{\sum w_i}$$

donde  $w_i$  es el peso que depende de la importancia (tabla 2) e  $I_{\text{parcial}}$  es el índice parcial correspondiente a cada conjunto de elementos considerado. Un ejemplo es el que se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Ejemplo de obtención del índice global de gravedad de una determinada estructura.

Elemento	Índice parcial	Peso	Índice ponderado
Cimentación estribos	2	0	0
Estribos y muros	3	0	0
Cimentación pilas	2	0	0
Pilas	4	5	20
Dinteles	6	15	90
Bóvedas	0	0	0
Apoyos	5	15	75
Juntas	2	1	2
Pretilos	2	1	2
Índice global de gravedad			5.11
Acción propuesta	<b>Realizar Inspección Especial</b>		

En función del valor que alcance el índice global se propone la acción a emprender, que puede ser el de no realizar inspección principal hasta pasados 6 años, cuando el índice es menor o igual que 2, realizar la inspección principal siguiente al cabo de 3 años, si el índice es mayor que 2 pero menor que 5 y, por último, emprender una inspección especial si el índice es mayor o igual que 5.

Reflexiones en torno a la inspección de puentes

En todo este proceso resulta indispensable que los inspectores sean personas experimentadas y con formación en el ámbito de las estructuras (de todas las tipologías y todos los materiales), de la durabilidad de los materiales y de los equipamientos de los puentes, de carretera o de ferrocarril. Aun así, es decir, aun contando con expertos, resulta inevitable que las opiniones sean subjetivas y la importancia atribuible a los daños sea también diferente. En ese punto resulta imprescindible contar con fichas o catálogos de daños que permitan, por una parte, establecer un criterio general de identificación de los defectos y, por otra, de valoración de su importancia.

Nuestra participación en la redacción de catálogos y manuales (especialmente para puentes de fábrica y de hormigón) ha sido muy interesante, en la medida en que se ha tenido que hacer un esfuerzo sistematizador que ayuda a “saber ver” y a “saber lo que se quiere ver”, como reza la referencia [2]. Además, los catálogos permiten hacer uniformes tanto el criterio de caracterización como la importancia que se ha de conceder a cada tipo de daño. A ese respecto, las figuras 26 y 27 muestran el formato tipo de estas fichas.

14 FISURACIÓN LONGITUDINAL ENTRE BOQUILLA Y BÓVEDA

Código: E1BFB

IDENTIFICACIÓN DEL DAÑO

**Localización habitual**  
Se localiza en la unión de la boquilla con la bóveda. Suele producirse en puentes peraltados con rellenos granulares saturados. Además la circulación de los vehículos se produce en las proximidades de los tímpanos.  
**Daños eventualmente concomitantes**  
Abombamiento de tímpanos (ETA)  
Deslizamiento de tímpanos (E1TD)  
Vuelco de tímpanos (E1TV)

ACCIONES

**Durante la inspección**  
Replanteo de las vías en la planta de la estructura  
Estimación del estado de los elementos de drenaje de las bóvedas  
Croquis o foto del aparejo empleado en la unión de boquilla-bóveda  
Estimación del sobreespesor del relleno en clave  
**A posteriori**  
Estimación del empuje horizontal del relleno sobre los tímpanos  
Establecimiento de un plan de control de la fisuración

ANÁLISIS

**Causa**  
Empujes horizontales del relleno sobre los tímpanos  
Empuje del agua presente en el relleno (mal funcionamiento del sistema de drenaje)  
Deterioro de la unión entre boquilla y tímpanos  
Empuje horizontal de las cargas de circulación debido a la ubicación de las vías en las proximidades de los tímpanos  
Todos estos efectos conllevan la separación por tracción de la boquilla y la bóveda

Incidencia estructural

Daño tipo 1, afecta a la integridad del puente a corto plazo si no está estabilizado.

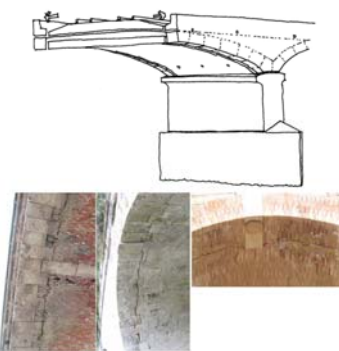


Figura 26. Ficha tipo de un catálogo de daños de puentes de fábrica.

1 ARRASTRE Y PÉRDIDA DE ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

Código: CI 2 AEP

IDENTIFICACIÓN DEL DAÑO

**Localización habitual**  
Rodeando a los elementos de cimentación situados en el cauce. Su tamaño y cota de colocación dependen del régimen del río. Los daños pueden afectar también a los elementos de protección de los taludes.  
**Daños eventualmente concomitantes**  
Arrastre de gravas y aridos en elementos de cimentación (CIAGA).  
Socavación local en pilas y estribos (SOIFL y SOIEST).  
Socavación general (SOIGEN).  
Abrasión y erosión (ME > ABR y ME > ERO).

ACCIONES

**Durante la inspección**  
Inspección visual pormenorizada de la cimentación.  
Estimación de la tipología y de las dimensiones del elemento cimentación y de los elementos de protección en pilas y estribos (enlosados incluidos).  
Estimación aproximada del tipo de terreno.  
Estimación del perfil longitudinal del cauce del río.  
Estimación de la sección transversal.  
Determinación del grado de limpieza del cauce y replanteo de los elementos de arrastre en el mismo.  
**A posteriori**  
Estimación del régimen del cauce y estudio del aprovechamiento del río.  
Cálculo del tamaño y cota de colocación apropiada de los elementos de protección.

ANÁLISIS

**Causa**  
Aumento de la velocidad hidráulica por disminución de la sección del cauce o cambios en el perfil longitudinal. Erroreo dimensionamiento de los elementos de protección o defectuosa ejecución.  
**Incidencia estructural**  
Daño clase 2, no afecta a la integridad del puente a corto plazo.  
Anuncia problemas de interacción con el agua del cauce que podría ser el aviso de problemas de socavación más graves (clase 1).

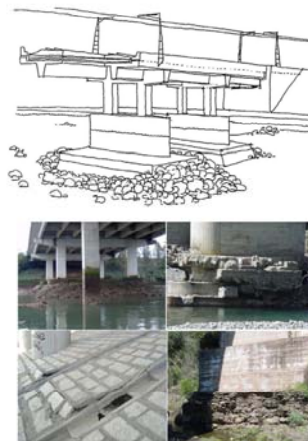


Figura 27. Ficha tipo de un catálogo de daños de puentes de hormigón.



## Reflexiones en torno a la inspección de puentes

### 5. CONCLUSIONES

Es de justicia reconocer la gran importancia técnica, económica y cultural que tiene la actividad de gestión del patrimonio de puentes, en cuyo contexto es necesario destacar el papel fundamental de un buen sistema de inspección de puentes, realizado por personal verdaderamente experto y en un contexto de periodicidad y tratamiento adecuados.

Foros como éste deben contribuir a la puesta en común de experiencias entre administraciones, concesionarios, consultores, etc. Se plantea la necesidad de configurar un “corpus” doctrinal común y consensuado. En esa línea se ha empezado a trabajar ya en Europa y se está a tiempo de tomar el tren.

Se hace necesario contar con un equipo de expertos que es preciso formar en tipologías estructurales, funcionamiento resistente, mecanismos de deterioro, elementos funcionales. Es preciso contemplar el problema, a un tiempo, desde un punto de vista global y desde un punto de vista especializado.

Herramienta fundamental en la inspección y valoración de los puentes es la existencia de catálogos de daños, cuya difusión y sistematización debería promocionarse. Es también preciso contar con un sistema de valoración del estado del puente que sea uniforme.

### 6. REFERENCIAS

1. PIEPER PIEPER, K. Sicherung historischer Bauwerke Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn. Berlin-München, 1983.
2. Ministerio de Obras Públicas y Transporte. “Inspecciones Principales de puentes de carretera”. Dirección General de Carreteras. Servicio de Puentes y Estructuras. 1988.
3. BRIME. BRIdge Management in Europe. European Comisión DG VII. 4<sup>th</sup> Framework Programme. [www.trl.co.uk/brime/index.htm](http://www.trl.co.uk/brime/index.htm)
4. JOSÉ M<sup>a</sup> SIMÓN-TALERO. Los sistemas de gestión de puentes. Criterios generales, grado de implantación y ejemplos de aplicación. Seminario S-10 Evaluación de estructuras existentes. CEMCO 2004.
5. GEHO-CEB. Durabilidad de estructuras de hormigón. Guía CEB. Madrid, 1992.