

“SISTEMA DE GESTIÓN DE CONSERVACIÓN DE PUENTES”



JOSE MARIA DE VILLAR

Profesor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
José A. Torroja, Oficina Técnica, S.A.
Madrid (España)

SUMARIO

La conservación de los puentes pertenecientes a una Administración debe abordarse con un planteamiento amplio y general que permita aplicar los recursos económicos disponibles, ordenadamente a las estructuras que, por su importancia y nivel comparativo de deterioro, sean prioritarias cara a su reparación.

En la presente ponencia se exponen los conceptos generales, objetivos y actividades de un Sistema de Gestión Integral de Conservación de Puentes, que es la "herramienta" adecuada para facilitar la dirección de la conservación.

Se abordan las actividades propias del sistema tales como: Inventario, Jerarquización de los puentes, Inspecciones Principales, Inspecciones Especiales, Evaluación del estado de deterioro de cada parte, ordenación técnica de las prioridades de reparación. Estimación de costes de reparación y Optimización de la utilización de los presupuestos disponibles.

Finalmente se introduce la problemática de la erosión y socavación como parte del sistema, definiendo las actuaciones a realizar para detectar los puentes con peligro potencial de sufrir a corto o medio plazo posibles socavaciones de sus cimentaciones.

1. INTRODUCCION

El objeto de mi comunicación, dentro de este seminario dedicado a la conservación, reparación y rehabilitación de puentes de hormigón, es exponer algunas reflexiones sobre los criterios aplicados para la Evaluación de los puentes en el contexto de los Sistemas de Gestión Integral, cuestión previa a cualquier tipo de actuación específica que deba acometerse.

Con el paso de los años, el número de puentes existentes en los países desarrollados y en vías de desarrollo 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 conservar los ya existentes y reparar, en su caso, los que así lo demanden.

Hoy día existe un creciente interés por temas como: la durabilidad de las estructuras, la diagnosis de sus deterioros o la técnica de sus reparaciones. Por otra parte, el desarrollo de nuevos criterios de diseño, de nuevas técnicas de inspección y de nuevos materiales permiten afrontar la mayoría de las reparaciones a efectuar con suficientes garantías. Es decir, hemos avanzado claramente en “como reparar” algo que se encuentre dañado.

La decisión de reparar un puente dañado no debe tomarse, en general, desde la perspectiva aislada de esa estructura, sino desde una concepción general de la conservación del conjunto de las estructuras que pertenecen a una red de carreteras o que son responsabilidad de una determinada Administración (Estatad, Local.....). Constituye una fase de un proceso mucho más amplio, cuyo objetivo es mantener un determinado nivel de servicio y de seguridad en todas las estructuras que integran la red, asegurando que el dinero empleado en dicha reparación está plenamente justificado y que su inversión proporciona la más alta rentabilidad cara al mantenimiento de la red en las mejores condiciones de utilización y seguridad.

Es entonces cuando surgen numerosas preguntas:

- ¿Cuántas obras existen sujetas a posibles reparaciones?
- ¿Cómo son esas obras?
- ¿Cuántas existen con algún grado de deterioro?
- ¿En cuanto se estima el coste de su reparación?
- ¿Cuál es el orden a seguir en las tareas de reparación?

que para ser respondidas necesitan de:

- Un **inventario** que permita conocer el número y características de los puentes a mantener.
- Un **programa de inspecciones** que aporte los datos sobre el estado de las estructuras.
- Una **evaluación objetiva** que permita conocer el estado de deterioro de cada puente.
- Una **determinación del orden de prioridad** en cuanto a la acometida de las reparaciones.
- Una **estimación de los costes** de las actuaciones a realizar.
- Una **optimización** de la aplicación de los recursos económicos disponibles.

El conjunto de todas estas preguntas y respuestas es lo que se engloba bajo el nombre de Sistema de Gestión de Mantenimiento de Puentes.

2. DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA

2.1. Objetivos

Los objetivos del Sistema de Gestión Integral de Conservación de Puentes son los siguientes:

- Poseer información objetiva, operativa, congruente y fácilmente accesible sobre las características y el estado de deterioro de todos los puentes.
- Evaluar la seguridad y el estado de conservación de las estructuras.
- Optimizar la utilización de unos presupuestos limitados.

2.2. Actividades del Sistema

Los objetivos anteriormente mencionados se consiguen a través de la ejecución de una serie de actividades, que se relacionan a continuación:

- Creación de una base de datos de todos los puentes (Inventario)
- Sistematización de las tareas de Inspección (Inspecciones Principales)
- Evaluación del estado de deterioro de cada puente
- Evaluación de la capacidad portante
- Realización de Inspecciones Especiales
- Ordenación de las prioridades técnicas de reparación
- Preparación de estrategias de reparación
- Estimación del coste de los trabajos de reparación
- Optimización de la utilización de los presupuestos disponibles
- Definición de las tareas de mantenimiento rutinario

Todas estas actividades se reflejan en el diagrama de flujos representado en la figura 1 que se muestra a continuación:

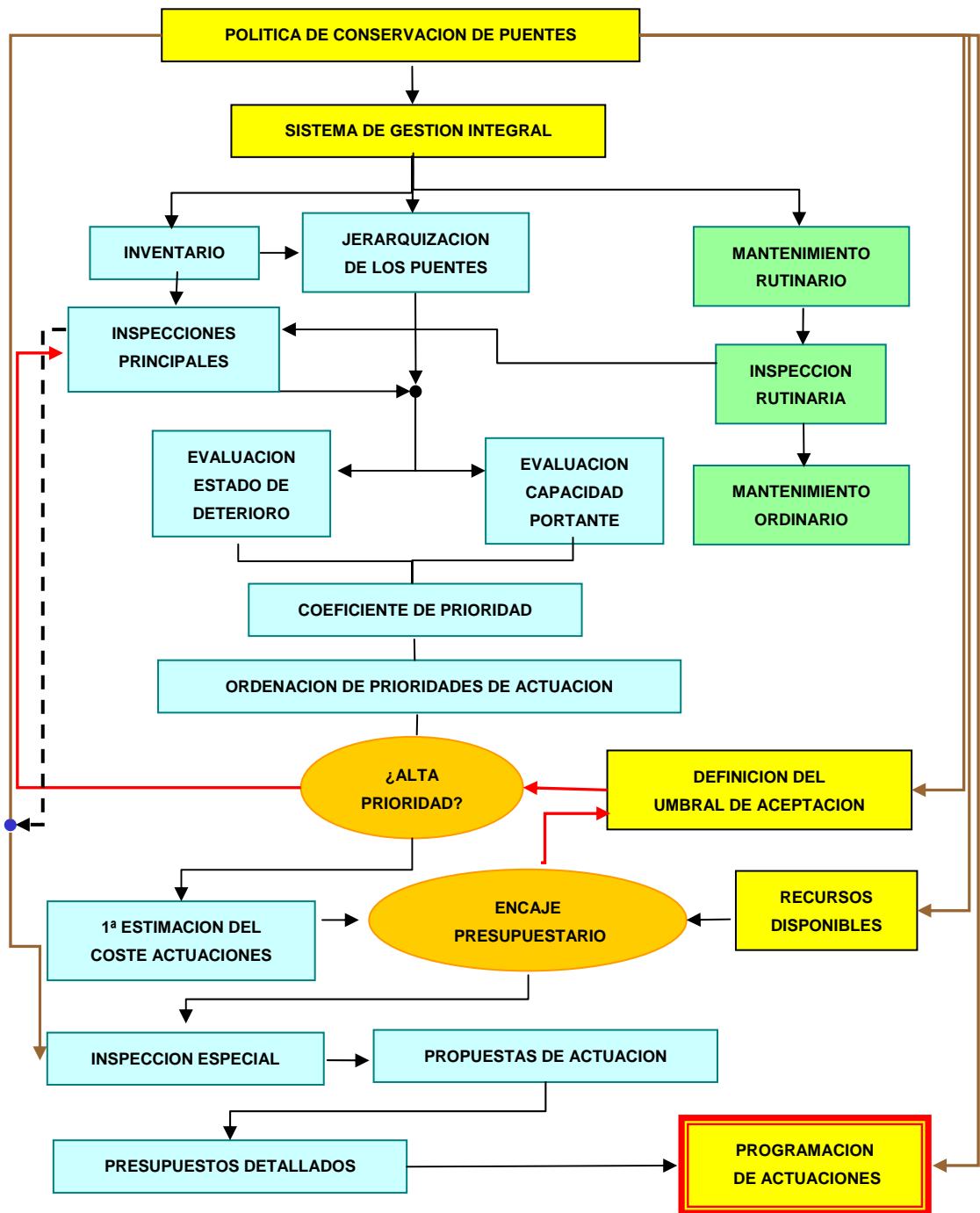


Figura 1. Diagrama de flujos

3.- INVENTARIO

El inventario de puentes de un sistema de gestión consiste en el almacenamiento de forma ordenada de las características que definen cada puente. Para poder acceder de forma eficiente a esta información se suelen emplear "bases de datos" en los que se pueden encontrar tres tipos de datos: alfanuméricos (fichas de inventario), planos y fotos.

Las fichas de inventario deben recoger todos los datos que definen cada obra de fábrica agrupados por conceptos afines. Así, para cada puente se definirán los siguientes datos:

- Administrativos.
- De identificación o localización: carretera, Km, provincia....
- Tipológicos y de materiales constitutivos de sus principales elementos.
- Geométricos: número de vanos, longitud, anchura de plataforma, luz máxima, altura de pilas...
- Funcionales: número de carriles, existencia de aceras.
- De limitaciones de explotación: Existencia de limitación de gálibo horizontal o vertical, de carga o de velocidad.

Además de todos estos datos la definición de cada puente debe contener un plano informatizado que refleje al menos, la planta, el alzado y la sección tipo de la obra de fábrica en cuestión.

Por último se debe completar la base de datos con el almacenamiento de fotografías del puente, existiendo al menos una vista lateral y otra de la plataforma.

4.- JERARQUIZACION DE LOS PUENTES

El Objeto de esta actividad es determinar la importancia de cada puente o grupo de puentes, en el conjunto de la red, independientemente de su estado de conservación

El método seguido se basa en el análisis multicriterio (SETRA 1990)-

$$J = J1 + J2 + J3 + J4 + J5$$

J1 - IMPORTANCIA DE LA CARRETERA O ITINERARIO

(Tipo de vía, IMD, % Pesados, etc).....de 1 a 3

J2 - POSIBILIDAD DE DESVIOS DEL TRAFICO

- . Desvíos imposibles ó L > 50 Km.....3
- . Desvíos posibles L > 10 Km sin limitaciones.....2
- L < 10 Km con limitaciones.....2

. Desvíos posibles	L < 10 Km sin limitaciones.....	1
J3 - INCIDENCIA DE TRAFICO PEATONAL		
. Importante.....		3
. Media		2
. Débil o nula		1
J4 - DAÑOS A TERCEROS EN CASO DE ROTURA		
. Importantes		3
. Medios		2
. Débiles o nulos		1
J5 - VALOR DE LA PROPIA ESTRUCTURA		
. Coste de implantación		
. Carácter del puente		de 1 a 3
. Valor histórico		

$$\gamma_1 = \text{COEFICIENTE DE IMPORTANCIA} = \frac{J \text{ DEL PUENTE}}{J \text{ MINIMO}} \quad (\text{valor entre 1 y 3})$$

5.- INSPECCIONES PRINCIPALES

5.1.- Definición

La Inspección Principal tiene como fin la obtención de los datos que sirvan como base para la evaluación del estado de un puente.

La Inspección Principal debe ser una "fotografía" del puente en estudio. Debe reflejar, por tanto, exclusivamente los hechos que se observan en el momento de realizarse la citada inspección.

La Inspección Principal consiste en una observación visual detallada de todos los elementos visibles que constituyen el puente. Los que no se puedan inspeccionar no se reflejarán, por tanto, en los resultados de la inspección, a no ser que se observe alguna deficiencia inducida por estos elementos no visibles. En este caso se recomendará la realización de una Inspección Especial del elemento en cuestión.

La información sobre el estado de los puentes que se obtenga de las Inspecciones Principales debe ser homogénea y congruente. Para ello se ha tratado de sistematizar la realización de éstas, definiéndose de forma muy concisa:

- Los elementos de que consta una estructura.
- La forma en que se deben inspeccionar los puentes.

- Los posibles deterioros que pueden afectar a un puente, en función del elemento dañado y del material constituyente.

Se pasa revista a continuación a los criterios generales propuestos para llevar a cabo la susodicha sistematización.

5.2.- Los elementos de los puentes

Cada una de las partes que integran un puente y sus accesos que puede ser tomada como un único conjunto a efectos de la caracterización de sus deterioros, se denomina ELEMENTO.

Para la definición de los elementos de un puente se ha adoptado un criterio de gradación en niveles, en función del detalle con que se pretenda descomponer el conjunto del puente en sus diferentes elementos, definiéndose así 5 niveles, desde el NIVEL 1 (muy general) al NIVEL 5 (muy detallado).

Así, por ejemplo, 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, mientras que 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. Por ejemplo, en el caso en que se quiera tratar separadamente el fuste de una pila del resto de los fustes de las pilas existentes.

Se muestra a continuación una posible gradación de los elementos.

NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	NIVEL 4
1.- PUENTE	2.1.- SUBESTRUCTURA	314 ESTRIBOS	4141 MURO FRONTAL 4142 ALETAS Etc...
		315 PILAS Etc...	
	2.2.- SUPERESTRUCTURA	321 TABLERO	4211 VIGAS 4212 FORJADO Etc...
		322 JUNTAS	

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 5 supondría el manejo de un cuantioso volumen de datos.

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. Por ello, el NIVEL 4 es el que se propone como básico a la hora de descomponer el puente en sus elementos constitutivos.

En la figura 2 se muestran algunos elementos de nivel 4 de un puente típico.



Figura 2. Elementos del puente

5.3.- La realización de las Inspecciones Principales

5.3.1.- Equipos y medios auxiliares necesarios

El equipo de inspección debe estar compuesto por dos personas: un Ingeniero Superior o Medio con experiencia en el campo de la patología, inspección y reparación de estructuras y un auxiliar de apoyo logístico.

Para realizar estas inspecciones se necesita una serie de medios auxiliares generales de inspección (prismáticos, escalera de mano, cinta métrica, fisurómetro, cámara fotográfica...) y otros de protección (chaleco reflectante, conos de señalización, casco de protección, botiquín de primeros auxilios...).

5.3.2.- Metodología de la Inspección

La Inspección Principal debe realizarse de una forma sistemática, para que no se produzcan ni errores ni omisiones. Para ello, una vez definidos los elementos constitutivos del puente, su Inspección Principal se realizará siguiendo estas tres fases consecutivas:

- Inspección perimetral inferior de los paramentos verticales de estribos y de las caras laterales del tablero, arco o bóveda.

Consiste en la inspección de aletas, estribos, terraplenes y caras laterales del tablero, como se refleja gráficamente en la figura 3.

- Inspección en "zig-zag" desde debajo del tablero, arco o bóveda.

Estas dos primeras etapas consisten en una inspección a lo largo de la estructura, realizada desde "debajo" del tablero.

Esta inspección debe ser realizada con detalle, es decir, a escasa distancia del elemento que se esté estudiando, y no se debe pasar al elemento siguiente sin haber completado totalmente el actual.

A medida que se va realizando la inspección se debe ir apuntando en un cuaderno todos los defectos, importantes o no, que se observen.

- Inspección perimetral de la plataforma

Acabada la inspección desde la zona inferior se asciende a la plataforma y se realiza una observación perimetral de ésta comenzando en la esquina superior de la Aleta E1 Izquierda y siguiendo este recorrido (ver figura 3).

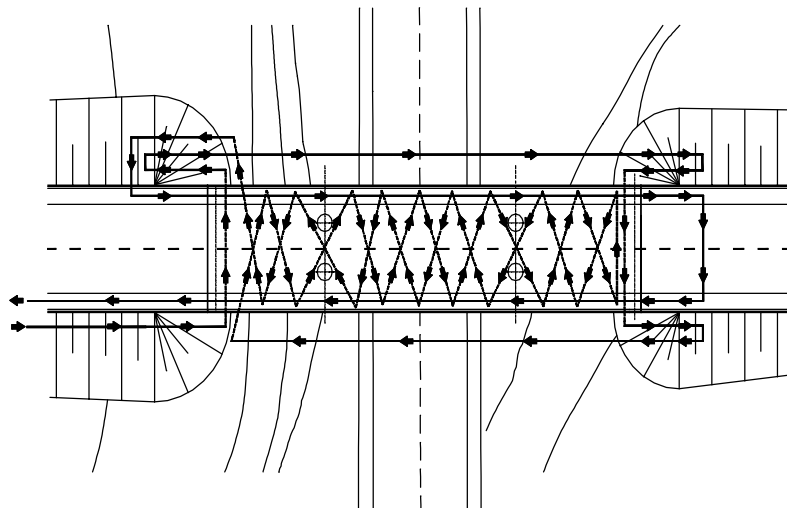


Figura 3. Itinerarios de Inspección

5.4.- Resultados de la inspección. Fichas tipo

Al finalizar la Inspección Principal y antes de abandonar el emplazamiento del puente, el Inspector deberá anotar todos los defectos y anomalías observados en los elementos que constituyen la estructura. El nivel de descomposición en elementos a adoptar es, como se ha indicado, el nivel 4. En particular, el Inspector deberá rellenar, al menos, las siguientes fichas:

- Ficha de datos generales del puente.
- Ficha de corrección de datos del inventario en caso de ser la 1ª inspección realizada al puente en cuestión.
- Ficha de daños o deterioros de los elementos.
- Ficha de evaluación de los elementos.
- Ficha de Actuaciones Complementarias.

Estas fichas deben ser completadas siguiendo los procedimientos que marque el correspondiente Manual del Sistema de Gestión, redactado al efecto.

5.5.- Caracterización de los daños. El catálogo de deterioros

Una vez realizada la inspección del puente y redactadas en el cuaderno de campo las anotaciones pertinentes, relativas a los deterioros detectados en cada elemento, se hace necesario calificar y cuantificar estos daños de forma:

- Objetiva, para que no dependa del Equipo de Inspección que ha realizado el trabajo.
- Homogénea, para que el proceso de datos sea adecuado y se minimicen los errores de transcripción de resultados.
- Comparable, para que se pueda realizar una Ordenación de Prioridades técnicas de actuación.
- Fiable, para que se tenga la seguridad de que se han detectado todos los errores que se consideren representativos.

Para conseguir estos propósitos se debe adoptar una codificación y normalización dada por un "Catálogo de Deterioros" redactado con tal fin. En este catálogo se deben reflejar los daños que más frecuentemente se detectan, en función del elemento en que pueden aparecer y de su material constitutivo.

Así, para cada elemento se deben dar, debidamente codificados, el tipo y causa de los deterioros tipo. Además, para evaluar correctamente cada deterioro, como se expondrá más adelante, es necesario

conocer la gravedad del daño. El Catálogo de Deterioros debe indicar, por tanto, los límites que separan los diferentes niveles de gravedad de cada deterioro.

Por último, el Catálogo de Deterioros debe indicar la unidad de medida a emplear para la medición de cada deterioro, con vistas a cuantificar de forma normalizada la extensión de cada daño y permitir una estimación del coste de reparación.

En la figura 4 se presentan algunos de los deterioros tipo definidos para el elemento "tablero" de hormigón.

DETERIORO				EVALUACION				Ficha			
Cód	Tipo	Cód.	Causa	Ud. Medición	Naturaleza	Grado 0	Grado 1				
2	Abombamiento	39	Deficiente ejecución	m ³	1	< 4cm en 2 m	> 4 cm en 2 m	12			
10	Armadura aislada vista con corrosión	52	Escasez de recubrimiento	m	1	Cualquiera	Cualquiera				
		78	Meteorización del recubrimiento								
		25	Corrientes erráticas								
		72	Golpe, impacto								
		14	Ataque químico								
		54	Escorrentía superficial								
11	Armaduras expuestas o superficiales	52	Escasez de recubrimiento	m ²	0	Daños superficiales	Daños profundos o Armaduras vistas				
		21	Ciclos hielo-deshielo								
12	Asentamiento excesivo	36	Deficiente compactación del terreno de soporte	m ²	1	< L/500	> L/500				
		34	Deficiente caracterización de parámetros geotécnicos								
16	Avisperos o nidos de grava	39	Deficiente ejecución	m ²	0	Daños superficiales	Daños profundos o Armaduras vistas				
		89	Presencia de un curso de agua								
21	Cabeceo	106	Subestimación de empujes	m ²		< 10 mm/m	> 10 mm/m	9-13			
		3	Aflojamiento de anclajes								
		71	Giro de cimentaciones								
22	Carbonatación	14	Ataque químico	m ²	1	Daños superficiales	Daños profundos o Armaduras vistas				
26	Circulación o presencia de agua	18	Ausencia o deficiente dispositivo de junta	m ²		Daños superficiales	Daños profundos o Armaduras vistas				
		54	Escorrentía superficial								
		98	Rotura de conducciones de servicio								
28	Coqueras	39	Deficiente ejecución	m ²	1	Daños superficiales	Daños profundos o Armaduras vistas				
		37	Deficiente concepción								
37	Desagregación	50	Erosión superficial	m ²	1	Daños superficiales	Daños profundos o Armaduras vistas				
		88	Presencia de agentes agresivos								
		89	Presencia de un curso de agua								
41	Desconchón	72	Golpe, impacto	m ²	0	Daños superficiales	Daños profundos o Armaduras vistas	16-17-22			
43	Deslizamiento	106	Subestimación de empujes	m ³	1	< 5 cm	> 5 cm	10			
		34	Deficiente caracterización de parámetros geotécnicos								
49	Desplazamiento de la posición teórica	41	Deficiente replanteo	m ³	1	< 10 cm	> 10 cm				
52	Eflorescencias	14	Ataque químico	m ²	0	Daños superficiales	Fisuras o Armaduras vistas	18			
55	Entramado de armadura vista con corrosión	52	Escasez de recubrimiento	m ²	1	Cualquiera	Cualquiera				
		78	Meteorización del recubrimiento								
		25	Corrientes erráticas								
		72	Golpe, impacto								
		14	Ataque químico								
		54	Escorrentía superficial								
56	Erosión	89	Presencia de un curso de agua	m ²	0	Daños superficiales	Daños profundos o Armaduras vistas				
		14	Ataque químico								
			Arrastre de material								
64	Falta de continuidad (en juntas de construcción)	18	Ausencia o deficiente dispositivo de junta	m	0	Daños superficiales	Fisuras o Armaduras vistas				
		75	Juntas deterioradas								
66	Fisuras	95	Retracción	m	0	< 0.4 mm	> 0.4 mm	19			
		39	Deficiente ejecución								
		51	Escasez de armadura o deficiente disposición								
		1	27		Corrosión de las armaduras			1	< 0.4 mm	> 0.4 mm	15
			32		Debidas a esfuerzos						
			20		Carga concentrada bajo apoyos						
			11		Asientos diferenciales						
91	Presión excesiva de un elemento sobre otro										
67	Fisuras en mapa	95	Retracción	m ²	0	< 0.4 mm	> 0.4 mm				
		39	Deficiente ejecución								
		21	Ciclos hielo-deshielo								

5.6.- Intervalos entre Inspecciones Principales

El intervalo entre la realización de dos Inspecciones Principales depende de la Política de Mantenimiento que se siga y, también, del estado del propio puente. El intervalo es, por tanto, variable pero se recomienda, en situaciones normales, una inspección cada 3, 4 ó 5 años.

6.- 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 con la ayuda de la llamada "**Marca de Condición**" del elemento.

6.1.- Cálculo de la marca de condición de elementos de nivel 4

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.

La Marca de Condición se calcula como suma de los siguientes parámetros:

- Marca de daño (Naturaleza + Grado + Extensión).
- Marca de función.
- Marca de afección.

Todos estos parámetros (marcas) se determinan "in situ" por el Inspector de acuerdo con las siguientes reglas:

I. La **Marca de Daño** se calcula para cada elemento y para cada deterioro de la siguiente manera:

- a) Se evalúa la Naturaleza del daño:
 - Si inofensivo, entonces 0
 - Si perjudicial, entonces 1

- b) Se evalúa el Grado de deterioro:
 - Si ligero, entonces 0
 - Si importante, entonces 1

- c) Se evalúa la Extensión del daño:
 - Si es < 50% de la zona total que puede ser afectada por el deterioro (*), entonces 0
 - Si es ≥ 50% de la zona total (*), entonces 1

- (*) La zona total que puede ser afectada por el deterioro depende del tipo de daño y de su causa; así por ejemplo, las fisuras de cortante sólo pueden aparecer en áreas muy limitadas, mientras que las de retracción pueden aparecer en toda la superficie del elemento de hormigón considerado.

En el "*Catálogo de Deterioros*", se especifican los valores (0 ó 1) que deben considerarse a la hora de calificar la naturaleza y el grado de los diferentes deterioros más usuales que se presentan habitualmente, para, así conseguir la deseada objetividad y homogeneidad en la caracterización de la naturaleza y el grado de los daños observados.

II. La **Marca de Función**. Se calcula de acuerdo con el siguiente criterio:

- Si el elemento puede todavía cumplir su función de forma completa, entonces 0
- Si al menos uno de los requerimientos funcionales no se verifica, entonces..... 1

III. La **Marca de Afección** evalúa si los deterioros del elemento han causado algún daño en otros elementos de igual nivel o de nivel superior o en los usuarios. Se fija de acuerdo con el siguiente criterio:

- Si no se afecta a otros elementos, entonces 0
- Si se afecta a otros elementos, entonces 1

IV. **Marca de Condición**

**La marca de Condición es la suma de
I + II + III
El rango total es, por tanto, de 0 a 5**

La Marca de Condición de un elemento viene dada por la peor de las registradas para cada uno de los deterioros que padece dicho elemento, según el siguiente criterio:

- La condición del deterioro es peor cuanto mayor valor alcance.
- Si dos deterioros tienen igual marca de condición, será predominante aquella cuya marca de daño (naturaleza+grado) sea peor.
- Si dos deterioros tienen igual marca de condición y de daño, será predominante aquella cuya marca de función sea peor.
- Si dos deterioros tienen igual marca de condición, de daño y de función, será predominante aquella cuya marca de afección sea peor.

6.2. Asignación de la marca de condición de elementos del nivel superior 1, 2 y 3

Una vez evaluados todos los elementos inspeccionados hace falta realizar la asignación de la Marca de Condición de los elementos de nivel superior (por ejemplo de los estribos en función de sus muros de frente y aletas). Este proceso se realiza con los siguientes criterios:

- La marca de naturaleza y la marca de grado siempre se transmiten de un elemento a su correspondiente de nivel superior.
- La marca de extensión sólo se transmite como 1 (extensión > 50%) al nivel superior si la extensión del daño afecta, también, a más del 50% del elemento del nivel superior.

Así por ejemplo, si existen fisuras de retracción en más del 50% del muro de frente de un estribo (marca de extensión del elemento igual a 1) puede ser que la marca de extensión del elemento superior "Estribos" sea 0, porque la superficie afectada es menor del 50% de la total entre ambos estribos.

- La marca de función sólo se transmite como 1 (no funcionalidad) al nivel superior si el elemento superior tampoco cumple su función por efecto del deterioro.

Así por ejemplo, una marca de función igual a 1 del elemento "Junta de calzada", asignada porque el mal estado de la junta impida la dilatación del tablero no supone una marca de función 1 del elemento superior "Plataforma", puesto que éste puede conservar su función de servir de soporte al tráfico, aunque las juntas estén deterioradas.

- La marca de afección sólo se transmite como 1 (afección a otro elemento) si el deterioro supone una afección del elemento de nivel superior a otro de su mismo nivel.

Así por ejemplo, si la existencia de fisuras en el pavimento ha generado la entrada de agua en el tablero y la correspondiente corrosión de alguna armadura de éste, entonces la marca de afección del elemento "Pavimento", será 1. Sin embargo la marca de afección del elemento de nivel superior "Superestructura" será 0 porque el deterioro no afecta a la subestructura.

6.3.- Obtención del Índice de Condición del puente

Una vez conocida la marca de condición de todos los elementos del puente que presentan algún deterioro, para obtener el **Índice de Condición, P_c** , de cada puente se sigue la siguiente secuencia:

- Obtención de la **Marca de Condición transformada, M_i** .

Es un hecho evidente que, tal y como se ha definido y graduado la Marca de Condición, un cambio de ésta de 3 a 4 (condiciones preocupantes de deterioro) debe ser más crítico que un cambio de 0 a 1 (paso de no existencia de daños a aparición de algún pequeño daño poco importante). Por este motivo en el proceso de Ordenación de Prioridades no se utiliza la Marca de Condición de cada elemento directamente sino que se efectúa una transformación de la Marca de Condición con el criterio:

$$M_i = 2^{M_{c,i}}$$

M_i = Marca de condición transformada

$M_{c,i}$ = Marca de condición

- Asignación de un **Peso de Condición**, $\gamma_{c,i}$ a cada elemento del puente.

Puesto que no todos los elementos influyen con el mismo peso en el conjunto del puente, hace falta ponderar aquellos en función de la importancia que tienen. Esto se efectúa asignando a cada elemento un "**Peso de Condición**", $\gamma_{c,i}$.

El rango de $\gamma_{c,i}$ se sitúa entre 0,5 y 2,0.

- Cálculo del índice de Condición del puente.

El **Índice de Condición**, P_c , de cada puente es un único número que representa el estado de deterioro del puente en cuestión, obtenido como el valor máximo de los productos de la Marca de Condición transformada por el Peso de la Condición del Elemento.

$$P_c = \text{Máx. valor } [\gamma_{c,i} \cdot M_i]$$

calculados para cada elemento.

7.- MODELO DE ORDENACIÓN DE PRIORIDADES

La ordenación final de las estructuras en orden a su necesidad técnica de reparación o de investigación adicional viene dada por un único valor para cada puente llamado "**Índice de Prioridad**", P_R .

Esta gradación de los puentes se debe basar, lógicamente, en los Índices de Condición y de Capacidad Portante ya descritos. Además la ordenación final de las estructuras puede ser más influenciada por la condición (deterioro, mal funcionamiento, pérdida de estética) o por la Capacidad Portante (seguridad). Esto se puede tener en cuenta con unos pesos, γ_c y γ_b que afecten independientemente a la condición (γ_c) y a la Capacidad Portante (γ_b).

Finalmente es evidente que no todos los puentes de una red tiene la misma importancia dentro de ella. Por eso se utiliza para la ordenación de prioridades un "**Coefficiente de importancia del puente** γ_i " obtenido de acuerdo con lo expuesto en el apartado 4. Este coeficiente debe ponderar el "**Índice de Prioridad** P_R " de aquellas estructuras donde una reparación o un trabajo de sustitución de algún elemento pueda causar graves problemas al usuario, incluso, realizar el Índice de Ordenación de aquellas estructuras en que se prevea un elevado incremento del tráfico en el futuro.

El Índice de Prioridad final, P_R , se calcula como:

$$P_R = \gamma_i (\gamma_c \times P_c + \gamma_b \times P_b)$$

Los puentes con valor más alto de P_R son aquellos con necesidad de reparación o investigación especial prioritaria.

La Ordenación de Prioridades se puede calcular para el instante actual o estimar cuál puede ser en el futuro. Para predecir el Índice de Ordenación de Prioridades el sistema estima cuál será la Marca de Condición de cada elemento en función de los siguientes datos:

- Vida útil remanente del elemento.
- Curva de desarrollo del deterioro de cada elemento.
- Año en el que se quiere estimar la ordenación de prioridades.

Los dos primeros datos se tiene de la realización de las Inspecciones Principales.

Una vez obtenida la Marca de Condición futura de cada elemento se opera, en la forma ya mencionada, hasta obtener la Ordenación de Prioridades para el año de cálculo.

8.- ESTIMACIÓN DEL COSTE DE LAS ACTUACIONES. PROGRAMACIÓN

Parelelamente a la obtención del índice de Prioridad de cada puente, se realiza una estimación del coste económico que representa la actuación correctora propuesta.

Esta estimación no es un presupuesto ajustado sino, como su nombre indica, una idea aproximada del dinero que sería necesario prever para llevar a cabo dicha actuación. Se obtiene aplicando a la medición del deterioro realizada durante la Inspección Principal, con los criterios establecidos en el "Catálogo de Deterioros", el correspondiente precio unitario que figura en la base de datos del Sistema.

Los técnicos de la Administración, encargados de la gestión de la conservación, disponen a través del Sistema de una relación ordenada, en función de la importancia del deterioro, de los puentes cuyo índice de prioridad sobrepasa un valor, previamente establecido, denominado "Umbral de Aceptación". En esta relación figura además el coste estimado de la actuación correctora prevista en cada puente, por lo que disponen de la información necesaria para realizar los encajes presupuestarios, de acuerdo con los recursos disponibles asignados por la Administración, y, en consecuencia, pueden plantear la PROGRAMACIÓN DE LAS ACTUACIONES a desarrollar, que es uno de los objetivos de mayor importancia del Sistema de Gestión.

APÉNDICE

Introducción al Sistema de los riesgos de erosión y socavación. Puentes sobre cauces

A-1.- Introducción

Los colapsos de puentes producidos últimamente en diversos países, debidos, en gran medida, a fenómenos de erosión fluvial han puesto en alerta la vulnerabilidad de los mismos frente a riesgos puramente hidráulicos. Consideramos por tanto necesario que el sistema de gestión contemple estos riesgos y que los programas de Inspección incluyan una parte dedicada a los cauces, tanto en su geomorfología como en sus características hidráulicas.

Como ya se sabe la erosión fluvial es un fenómeno natural originado por el cambio morfológico del flujo de agua en los ríos y eventualmente asociado a la actividad humana, bien a través de construcciones de diversa índole: puentes, presas, canales, etc., bien a través de otras actuaciones tales como invasión del cauce, extracción de áridos, etc. En el primer caso se produce de manera natural una erosión general del cauce que permite reducir la energía del flujo originando cauces meándricos. En el segundo caso, la interposición de una estructura en el flujo natural produce además una erosión local motivada por turbulencias originadas en contracciones del cauce que pueden provocar, bajo régimen de avenida, descalces de los cimientos de las estructuras.

A.2.- Evaluación del riesgo potencial en el cauce

La evaluación de riesgos en un cauce se determina como consecuencia de tres actuaciones:

- Inspección Principal del cauce, en el entorno del puente.
- Análisis estereográfico del cauce.
- Evaluación del riesgo potencial frente a la socavación.

A.2.1.- Inspección principal del cauce

La singularidad de los cauces hace necesaria una toma de datos muy exhaustiva de todos los condicionantes que pueden influir en la caracterización de los mismos. Así, y a modo de resumen se establecen los siguientes campos de registro:

1. Datos observados desde la carretera.

Estos datos reflejan la posición del puente respecto al cauce, con registros como ángulos de aproximación, perfiles del cauce o si el puente se encuentra situado en la llanura de inundación del río.



2. Datos observados desde debajo del puente:

En este campo se registran datos que afectan al régimen hidráulico del río, tales como el material del lecho (arcillas, arenas, gravas, roca, hormigón...) o como la ubicación y magnitud de barras vegetadas o no, obstrucciones en el cauce o simplemente acumulación de acarreos o materiales en suspensión.

3. Datos observados en pilas:

Se registran datos sobre la geometría y material constitutivo de las pilas así como la forma hidrodinámica de sus frentes y orientación respecto a la línea de aproximación del cauce. Igualmente se registran los parámetros indicativos de la vulnerabilidad tales como morfología del lecho, la cuantificación de acarreos depositados en las pilas, nivel máximo de flujo alcanzado en régimen de avenida y condiciones de socavación emergente, si las hubiere.



4. Datos observados en los estribos:

De la misma manera que en las pilas, en los aledaños de los estribos se recogen datos relativos a tipología y material constitutivo, condiciones morfológicas del lecho, condiciones de socavación y ángulo de ataque respecto al cauce.

5. Material del lecho en la subestructura:

En este campo se registra el tipo de material constitutivo del lecho en los aledaños de la subestructura.

Esta información es de gran utilidad para conocer valores de la profundidad de socavación y del índice de bloqueo por materiales en suspensión o arrastre.



6. *Protección de la subestructura:*

Se registrarán los datos correspondientes a tipos de protección (escolleras, gaviones, soleras, revestimientos, etc), su implantación en el ámbito del trabajo (estribos, márgenes, cauce...), y sus condiciones actuales de conservación.

7. *Datos observados desde el cauce:*

La inspección del cauce requerirá al menos una amplitud de observación de 4 veces la longitud del puente aguas arriba y aguas abajo del puente, por ambas márgenes, recogiendo todos los datos morfológicos e hidráulicos. Se registrará:

- la anchura del cauce, que permitirá deducir los índices de contracción y expansión del cauce al ser interceptado por la estructura en estudio.
- el tipo de cauce (rectilíneo, meándrico, trenzado, anastomosado, torrencial...) que permitirá valorar el potencial erosivo del flujo.
- las condiciones de las márgenes: su cobertura vegetal, erosionabilidad y material constitutivo son tres parámetros influyentes en la evaluación del cauce.
- la existencia de afluentes o confluencias en el cauce que son registros indicativos de aumento de caudal, por tanto sobreelevación de la lámina de agua, aumento de la velocidad del flujo y formación de turbulencias no deseadas.
- la existencia de barras, obstrucciones o meandros, que pueden condicionar la evaluación del cauce.
- la existencia de medidas correctoras del cauce como diques, espigones, escolleras, etc. que influyen decisivamente en la adecuada valoración de la erosionabilidad del cauce.

En resumen, la Inspección Principal del cauce trata de reflejar el análisis cualitativo de la respuesta del sistema fluvial cuando aquel es interceptado por una estructura.

A.2.2.- Análisis estereoscópico del cauce

El análisis del cauce no sólo se debe interpretar desde un entorno próximo al puente o a la estructura que lo intercepta. Se requiere un análisis global que permita descubrir las divagancias del cauce en el tiempo. Para ello, se requiere un trabajo de gabinete consistente en el estudio estereoscópico de fotogramas aéreos y cartografía de dos edades suficientemente distanciadas que permitan valorar objetivamente los cambios orográficos del cauce, tanto naturales como artificiales.

Ya se ha comentado que el propio río es tendente a variar su morfología disipando su energía en forma de meandros pero también conviene resaltar que la existencia de presas aguas arriba (a varios kilómetros) del puente, la implantación de una gravera de extracción de áridos, la construcción de una carretera o de otra estructura, pueden afectar muy negativamente al régimen natural del río provocando sobreelevaciones de flujo o inestabilidad lateral de las márgenes, que pueden afectar al puente, pese a encontrarse muy distantes.

A.2.3.- Evaluación del riesgo potencial

Las dos anteriores tareas, Inspección y Análisis estereoscópico aportan datos suficientemente objetivos como para establecer un análisis comparativo y por ende una ordenación de prioridades relativa al estado de vulnerabilidad potencial del cauce. Sin embargo, para completar el estudio de riesgo se hace necesario el conocimiento de las cimentaciones del puente, mediante el proyecto de construcción o mediante la realización de una campaña de ensayos al efecto. Con todos estos datos, y de la misma manera que la llamada Marca de Condición establece un índice de conservación estructural del puente, del análisis del cauce se establece un índice de riesgo que evalúa la erosionabilidad del cauce y el potencial riesgo de socavación.