

## PLANES DE MANTENIMIENTO DE PUENTES

E. CRIADO

Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento, España

[jecriado@fomento.es](mailto:jecriado@fomento.es)

J. LEÓN

FHECOR Ingenieros Consultores España

[jlq@fhedor.es](mailto:jlq@fhedor.es)

A. CEREZO

PROES, España

[acerezo@proes.es](mailto:acerezo@proes.es)

A. NAVAREÑO

Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento, España

[anavareno@fomento.es](mailto:anavareno@fomento.es)

### RESUMEN

La entrada en vigor de la Instrucción EHE-08 trajo consigo la necesidad de redactar planes de mantenimiento en las estructuras de nueva planta. Se trata de una novedad de enorme interés que contribuye a que tanto la Propiedad como el proyectista se sientan involucrados, desde la fase de proyecto, en la idea de la durabilidad y el mantenimiento: toda una apuesta por la sostenibilidad.

Se trata, en efecto, de la incorporación a la normativa española, verdaderamente pionera, de la noción de que el aseguramiento de la vida útil de las estructuras es también una faceta, muy importante, de la ingeniería. De su importancia se hacen partícipes, por tanto, Propiedad, proyectista, constructor y responsable de la conservación. Esa novedad ha llevado al Comité de Puentes de la ATC-AIPCR y a la Comisión 4 de ACHE a la constitución de un grupo de trabajo mixto que permita marcar unas pautas que sirvan de guía a los proyectistas, dados los escasos precedentes existentes. También en el ámbito internacional empieza a despertarse un gran interés por la cuestión. Así, por ejemplo, la Comisión 5 de la *fib* (*Structural Service Life Aspects*) está preparando un documento al respecto en el seno del TG 10 *Birth and re-birth certificates & through-life management aspects*.

En este artículo, los autores presentan la síntesis de las ideas que se desarrollan en el grupo de trabajo de ATC y ACHE y que parten de la propia definición de “plan de mantenimiento”, que es el conjunto de tareas que es preciso identificar en la fase de proyecto para asegurar un mantenimiento adecuado que garantice la vida útil definida por la Propiedad. Eso pasa por definir la estructura, sus condiciones de exposición, el sistema de drenaje, la accesibilidad para la inspección y sustitución de elementos de vida útil menor (aparatos de apoyo, juntas, etc.), los deterioros previsibles y todo aquello que pueda servir a la Propiedad y a los inspectores para centrar las actividades de inspección, mantenimiento e interpretación de los eventuales daños que se produzcan. En este artículo se detalla, también, de qué manera estos planes de mantenimiento deben acoplarse y coordinarse en el contexto general del sistema de gestión de puentes que se haya implantado.

El mantenimiento no es una cuestión menor, secundaria o meramente cosmética. Es una actividad esencial para hacer sostenibles las construcciones y eficiente su explotación. Exige experiencia y una ingeniería cualificada. Se trata de una actividad relativamente nueva en el ámbito de la construcción, que ha evolucionado mucho en los últimos años y que previsiblemente se va a desarrollar aún mucho más en el próximo futuro.

## 1. FUNDAMENTOS Y CONTEXTO

La Instrucción española EHE-08 [1], pionera en este ámbito, entiende por mantenimiento de una estructura “el conjunto de actividades necesarias para que el nivel de prestaciones para el que ha sido proyectada no disminuya, durante su vida útil de proyecto, por debajo de un cierto umbral, vinculado a las características de resistencia mecánica, durabilidad, funcionalidad y, en su caso, estéticas”. El código requiere que, a partir de la entrada en servicio de la estructura, la Propiedad programe y lleve a efecto las actividades que se recogen en el Plan de Mantenimiento, de forma coherente con los criterios adoptados en el proyecto. La nueva EAE-10 [2] se suma a este planteamiento.

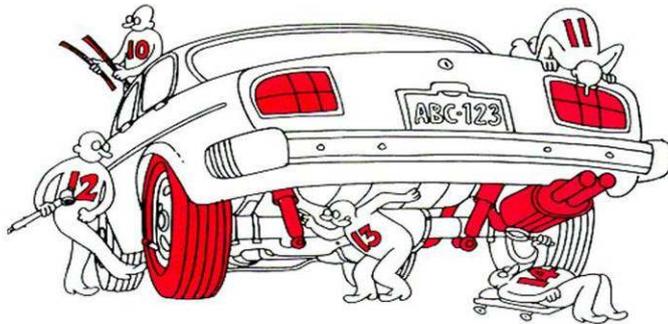
En el contexto, ya inevitable, de los planteamientos de sostenibilidad y economía global, debe entenderse que el mantenimiento es una actividad de carácter preventivo, que detecta, evita o retrasa la aparición de problemas que, de lo contrario, tendrían una resolución más complicada y una cuantía económica muy superior. En este sentido, todos los agentes implicados en el proyecto, la construcción y la explotación de una infraestructura deben tener presente las distintas etapas del ciclo de vida de la estructura, que incluyen el conjunto de su vida útil. Además, las diferentes fases de la estructura (proyecto, ejecución y control, vida de servicio) no pueden considerarse totalmente independientes, sino interrelacionadas, por lo que determinadas decisiones típicas de la fase de proyecto, tales como la selección de los materiales, la geometría de los elementos y, en su caso, los aparatos de apoyo, las juntas, etc., deben tomarse teniendo muy presentes las previsiones de mantenimiento que se adopten.

La reglamentación española se abre así al ámbito de la hasta ahora ignorada dimensión temporal de las construcciones de hormigón, al periodo de servicio de las estructuras, y es que se ha dedicado poca atención técnica y normativa al mantenimiento de las construcciones, lo que contrasta con el merecido reconocimiento que tiene el mantenimiento en ámbitos tan diferentes como el del automóvil o el de la aviación (figura 1). La Instrucción EHE-08 introduce, por vez primera, pautas acerca del mantenimiento que son coherentes con el tratamiento de la durabilidad y la vida útil; en sintonía también con la sostenibilidad tan justamente reclamada.

Esta manera de proceder, que tiene una lógica difícilmente rebatible, no ha sido la más frecuente. La figura 2 muestra, en el eje de las abscisas, el tiempo cuyo origen es el del instante en el que se adopta la decisión política de construir. Las fases siguientes, de proyecto y construcción son muy importantes porque exigen, entre otras cosas, un gran desembolso económico, aunque su extensión temporal, especialmente hoy día, es también de unos pocos meses. A esas fases de proyecto y construcción se ha dedicado un gran esfuerzo docente (es lo que se ha venido enseñando en las universidades), normalizador (los códigos estructurales están concebidos para regular el proyecto y la construcción de obras nuevas, no para mantener las existentes) y económico, pero no se han pautado procedimientos o normativa que contemplen esa fase de la obra que es la de su vida útil, de prestación del servicio. Esa fase debe ser, lógicamente, la más extensa en el tiempo, a lo largo del cual debe mantenerse el cumplimiento de las exigencias de funcionalidad, seguridad estructural y del usuario.

Durante ese período de servicio, la construcción requerirá una conservación normal, que no implique operaciones de rehabilitación más allá de aspectos menores. Ese periodo se debe satisfacer y aun alargar si se actúa conforme a una política de mantenimiento correcta. Estas ideas, aceptadas comúnmente para aviones, automóviles y electrodomésticos, son válidas también para los puentes y superan el cliché equivocado

de que los puentes se hacen o se hacían “para toda la vida”. Aunque es poco conocido, es importante destacar que los romanos, que construyeron puentes soberbios para dar continuidad a su magnífica red de carreteras, instituyeron la figura del *Curator viarum*, responsable del mantenimiento de las calzadas y de los puentes a las que daban soporte, lo que da idea de la importancia que una civilización avanzada como aquella concedía al mantenimiento de las obras públicas.



Preventive Car Maintenance Check List					
Vehicle System or Part	Diagram Ref. No.	Check Weekly	Check Monthly	Check Every 2 Months	Special Note
Air Filter	5				Inspect and replace when dirty.
Antifreeze	1				Add 50/50% solution when needed.
Battery	8				Check with every oil change.
Belts	2				Inspect for slack between pulleys.
Brake Fluid	6				Add approved type when needed.
Engine Oil	4				Check level every other fuel fill up -- change every 3 months or 3,000 miles.
Exhaust	14				Have emissions checked yearly.
Hoses	2				Inspect for softness or bulges.
Lights	11				Keep spare bulbs and fuses in vehicle.
Oil Filter	4				Replace with every oil change.
Power Steering Fluid	9				Add approved type when needed.
Shock Absorbers	13				Replace when worn or leaking.
Tires	12				Inflate to recommended pressure level.
Transmission Fluid	3				Check with engine running; add approved type when needed.
Washer Fluid	7				Check every other fill up.
Wiper Blades	10				Replace yearly or when smearing or chattering.



Figura 1. El mantenimiento en el sector del automóvil o de la aviación, arraigado hace mucho tiempo.

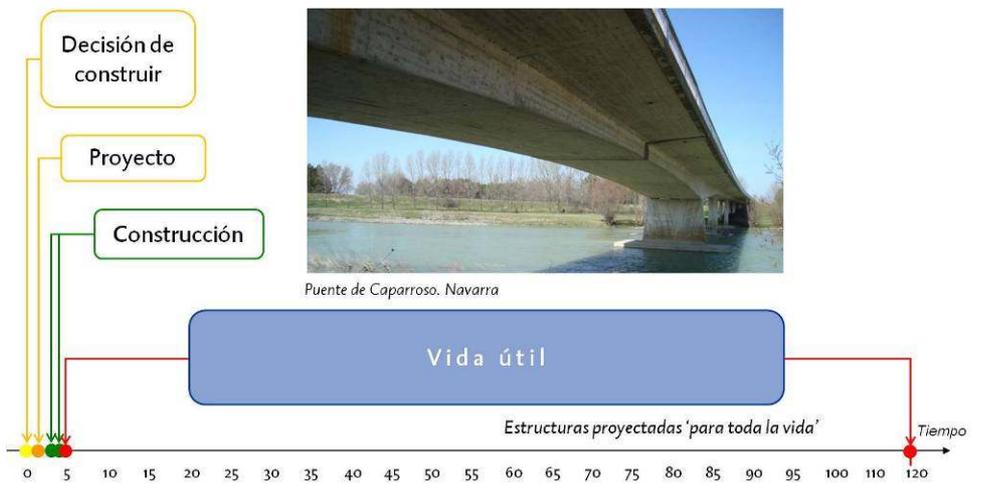


Figura 2. Las fases de una estructura a lo largo del tiempo.

Esta forma de proceder está bien arraigada en el ámbito de la política sanitaria de la población (figura 3), en la medida en que la aplicación de soluciones preventivas, como la higiene, terapia bien sencilla y económica (equiparable a la limpieza de desagües en los puentes y tratamiento de las juntas), da como resultado un aumento de la esperanza de vida de la población. Valga el ejemplo para explicar las ventajas del mantenimiento preventivo frente a la actitud correctiva que ha venido imperando hasta el presente.

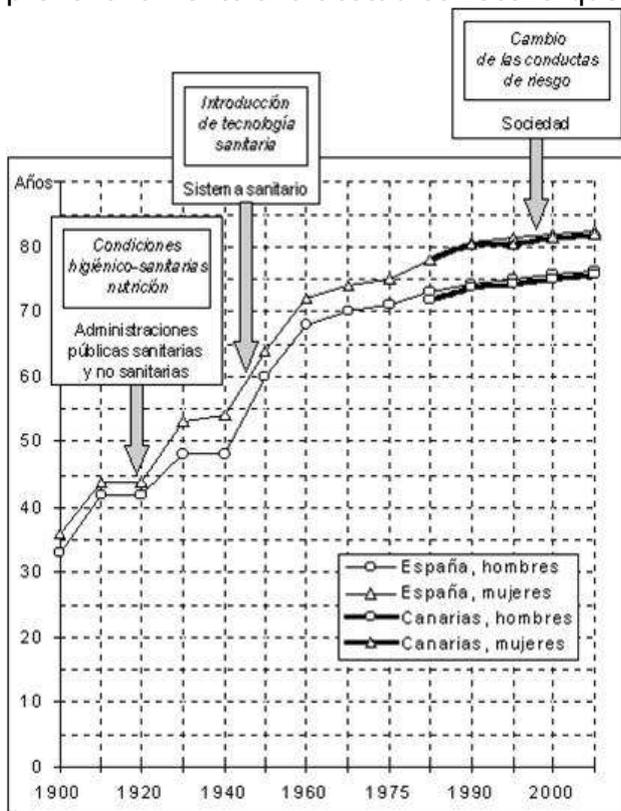


Figura 3. Evolución de la esperanza de vida en España.

En la figura 4 se muestra un diagrama que, en abscisas, presenta el eje temporal desde el final de la construcción y, en ordenadas, de forma genérica, las prestaciones que ofrece la estructura ( $R$ ) y las solicitaciones ( $S$ ) que actúan sobre ella, en forma de cargas, agresión ambiental, etc. Las curvas que concluyen en el punto  $D$  corresponden con una situación "normal". La capacidad resistente  $R$  (de trazo continuo) decae como consecuencia del inexorable deterioro de los materiales. Tal degradación es lenta al principio pero se acelera más adelante. Así por ejemplo, la corrosión de las armaduras y la pérdida de recubrimiento se manifiesta bastante tiempo después de concluida la construcción, y los deterioros y la pérdida de capacidad resistente se aceleran a partir de entonces. Las solicitaciones (curva  $S$ , de trazo discontinuo) crecen, porque los tráficos, cargas muertas, etc. han ido aumentando y la agresión ambiental también (carbonatación del hormigón, ingreso de cloruros, etc.). Cuando ambas curvas se cortan (punto  $D$ ) es que se ha llegado al umbral de aceptación (se ha omitido, por claridad, el margen de seguridad) y, por consiguiente, se habrá alcanzado la vida útil  $t_L$ .

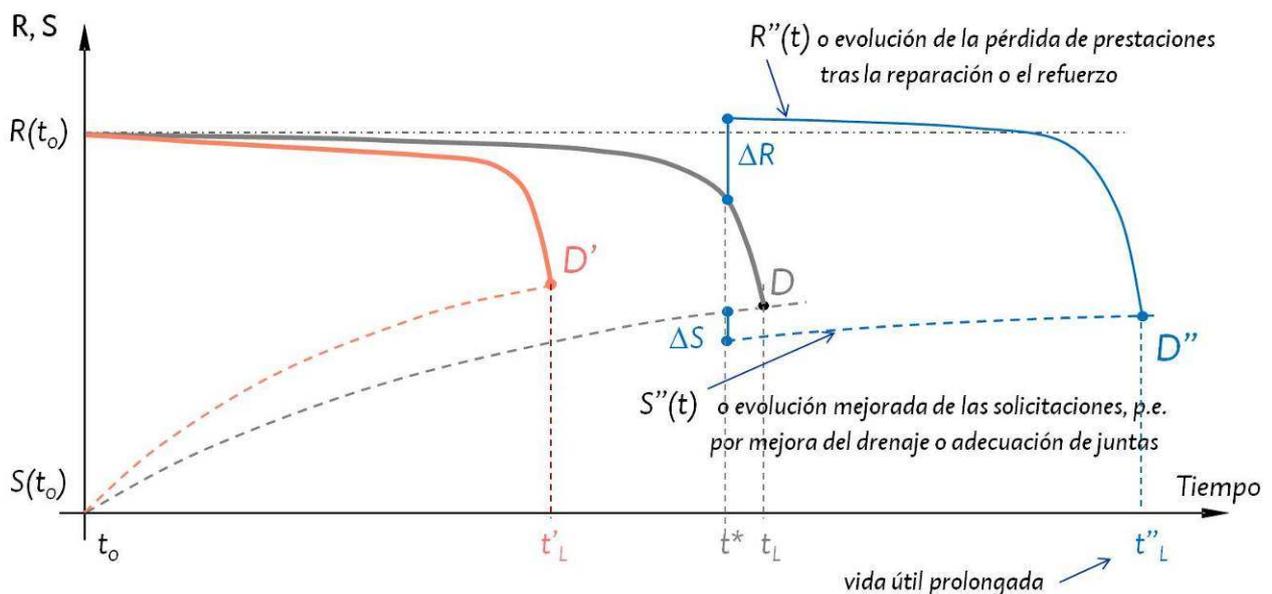


Figura 4. Evolución de las prestaciones  $R$  y solicitaciones  $S$  a lo largo del tiempo.

Las curvas que se cortan en el punto  $D'$  muestran el mismo esquema de funcionamiento, pero con una vida útil  $t'_L$  menor porque las solicitaciones aumentaron, quizás, más rápidamente y las degradaciones progresaron también más deprisa. Es el caso también de estructuras sobre las que no se ejerce una correcta actividad de mantenimiento.

Si, en un cierto instante sabiamente elegido  $t^*$  se decide actuar, puede recuperarse una parte, la totalidad o incluso más de la capacidad prestacional inicial ( $\Delta R$ ) y, al mismo tiempo, reducir parte de la solicitación ( $\Delta S$ ), como, por ejemplo, mejorar el sistema de drenaje para eludir la agresión que conlleva siempre el agua (mejorar el mantenimiento, en definitiva). El final de la vida útil se habrá prorrogado hasta  $t''_L$ . Un sistema de gestión de estructuras sirve precisamente para determinar en qué estado se encuentran  $R$  y  $S$  en un instante  $t$  y, por tanto, decidir si hay que emprender alguna medida correctora o ésta puede esperar. Nótese que el mantenimiento forma parte, por tanto, del sistema de gestión de las estructuras, como se señala en la figura 5, que muestra un diagrama de flujo que sintetiza el proceso general.

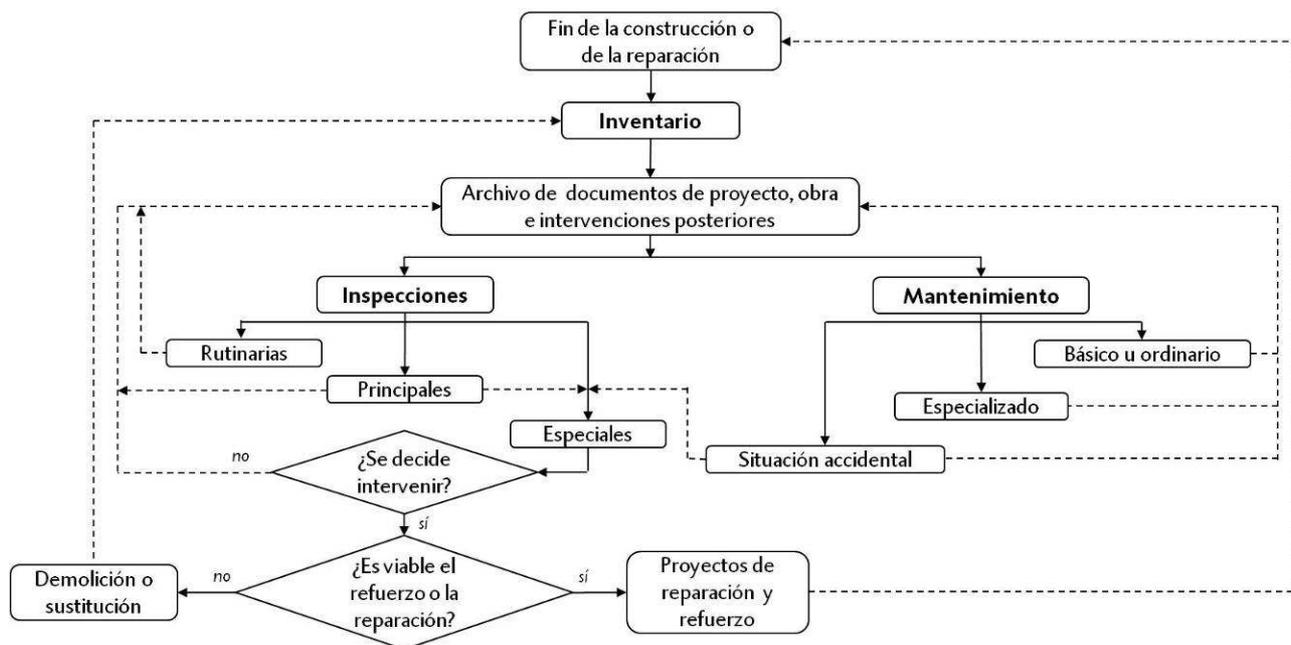


Figura 5. Diagrama de flujo que expresa los tres elementos básicos de la gestión de un patrimonio de puentes: inventario actualizado, inspecciones de control y diagnóstico y mantenimiento en sus diversos niveles.

Así pues, a modo de resumen, se puede destacar que el mantenimiento:

- Ha de estar previsto en el proyecto, como establece ya la Instrucción española EHE-08.
- Tiene carácter preventivo y se deriva de la incorporación explícita del concepto de vida útil.
- Se desarrolla conforme a una estrategia definida en el proyecto, partiendo de la identificación de los procesos de deterioro previsibles.
- No obstante, es evidente que ciertas decisiones tomadas durante la construcción y que no estaban contempladas en el proyecto pueden incidir de manera muy importante en el mantenimiento de la estructura, por lo que deben dejarse documentadas para que, al final de la obra, se pueda redactar un Plan de Mantenimiento actualizado.
- Es la Propiedad la encargada de programar el mantenimiento y disponer su realización.

Se recuerda que, para que la estructura mantenga sus prestaciones (características de resistencia mecánica, durabilidad y funcionalidad), es esencial el conocimiento real de la estructura finalmente construida. En este sentido, la Dirección Facultativa ha de entregar a la Propiedad la documentación del estado final de la obra, teniendo en cuenta las modificaciones del proyecto. Por este motivo el plan de mantenimiento debe ser un documento vivo que se redacta junto con el proyecto de construcción de la estructura y que debe permanecer junto a ella a lo largo de toda su vida útil modificándose y actualizándose con cada actuación que se realice en la estructura.

## **2. RESPONSABLES DE LA REDACCIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO**

Como se ha señalado ya, el plan de mantenimiento es un documento vivo y debe estar actualizado a lo largo de toda la vida de la estructura. Simplificadamente, se identifican tres fases principales: proyecto, obra y conservación.

### *Fase de proyecto*

En la fase de proyecto debe ser el autor del proyecto el responsable de redactar el Plan de Mantenimiento, el cual ha de ser aprobado conjuntamente con el resto del proyecto por el órgano competente o por la Propiedad.

### *Fase de obra*

En la fase de obra pueden realizarse modificaciones del proyecto original que alteren algunos aspectos del mismo, o pueden producirse incidencias que afecten al comportamiento futuro de la estructura. Así, en el correspondiente proyecto conforme a obra ("as built"), redactado por el Director de la obra, se reflejarán dichas circunstancias y se redactará un Plan de Mantenimiento actualizado.

### *Fase de conservación*

Durante la fase de conservación, en paralelo con las actividades de inspección contempladas en el Sistema de Gestión, se irán incorporando ordenadamente a éste tanto las inspecciones como las actuaciones de mejora en la deseable estrategia de mantenimiento preventivo. Durante esta fase, será la Propiedad (generalmente a través del responsable de conservación) la encargada de mantener actualizado el Plan de Mantenimiento.

## **3. CONTENIDO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO**

El plan de mantenimiento deberá contener al menos los siguientes contenidos:

### 3.1. Descripción de la estructura

En este apartado se describirá la estructura de tal forma que los responsables del mantenimiento de la misma no tengan que consultar la totalidad del proyecto para realizar su tarea. Así, se definirán:

#### *Ubicación y obstáculo salvado*

Las estructuras se identificarán mediante su ubicación en la traza de la carretera definiendo el PK y las coordenadas UTM en el que se encuentra (se suele tomar como referencia el estribo 1, es decir, el primero según orden creciente de los PK), y se hará constar el obstáculo u obstáculos salvados (cursos de agua, vías férreas, carreteras o caminos), en la medida en que estos aspectos tienen incidencia en la actividad de mantenimiento.

#### *Accesos*

Se incluirá un plano de localización sobre la carretera, incluyendo los caminos o vías de servicio que se han previsto mantener para facilitar el acceso a las diferentes zonas del puente.

### Configuración geométrica y estructural

Se refiere (figura 6) a la longitud, el número de vanos y sus luces, gálibos, alturas de estribos y pilas, así como a la tipología de sus elementos (tablero, pilas, estribos, cimentaciones, etc.) apoyándose en los planos de proyecto que sean necesarios. También deben indicarse las características funcionales del puente; así, si se trata de un puente de carretera, se definirá el número de carriles, arcenes, aceras, etc., y sus dimensiones; si se trata de un puente de ferrocarril, el número de vías, paseos, etc. y también sus medidas. Complementariamente, sería conveniente incluir datos como los del tránsito.

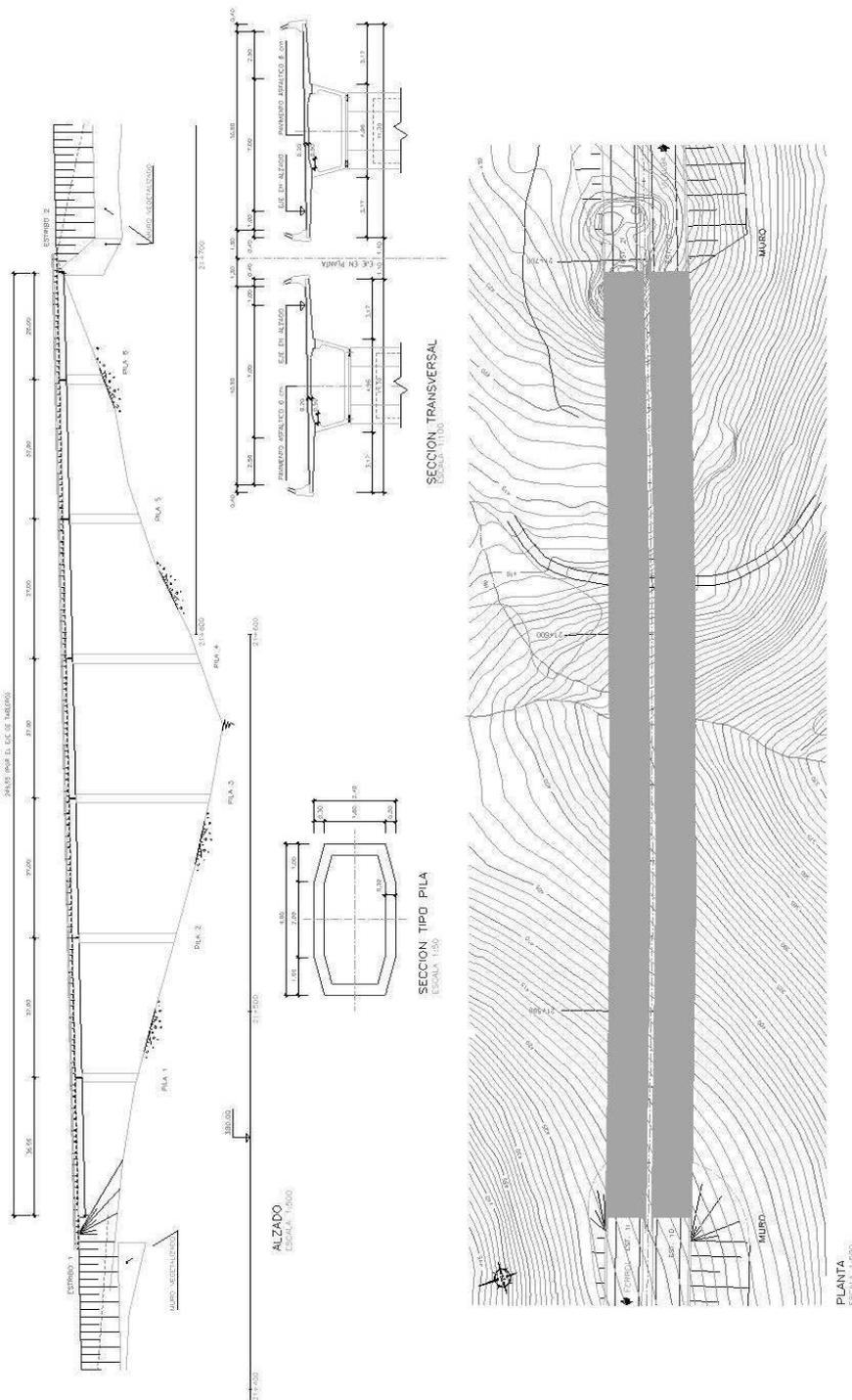


Figura 6. Ejemplo de definición geométrica de la estructura a partir de los planos del proyecto.

Asimismo es necesario realizar una descripción del esquema estático de la estructura: si es isostática o hiperestática en alzado, el mecanismo resistente a torsión, el tipo de coacción dispuesto en los apoyos, el punto fijo a los efectos de los movimientos longitudinales, los criterios seguidos para la consideración de las losas sobre juntas, etc. Por tanto, se describirán explícitamente los mecanismos resistentes concebidos para hacer frente a las acciones gravitatorias, las de tráfico, viento y sismo, así como a las acciones indirectas debidas a la retracción, la fluencia o los gradientes térmicos. Se describirá asimismo la incidencia que pueda tener en el comportamiento estructural la geometría del tablero en cuanto a la exigencia impuesta por el trazado (esviajes, curvas, pendientes, peraltes, etc.). De manera explícita se hará constar el tren de cargas utilizado para el proyecto y comprobación de la estructura.

### Condiciones de exposición

Se presentará un extracto de las condiciones climáticas a partir del anejo correspondiente del proyecto, cuya redacción habrá de estar enfocada hacia el mantenimiento. A título de ejemplo, se incluirán aspectos como las precipitaciones medias y su variación estacional, las temperaturas máximas y mínimas medias anuales. También interesa recordar el número de días de helada y las dotaciones de sales fundentes que se aplican a la plataforma.

### Descripción de elementos significativos para la conservación

De especial interés es la descripción de aquellos elementos que son más significativos desde el punto de vista de la conservación: juntas y aparatos de apoyo. De las juntas se consignará el número, posición y tipo o tipos dispuestos, así como los recorridos previsibles. De los aparatos de apoyo se definirán los tipos, los criterios de dimensionamiento y, de forma particular, los detalles relativos a la ubicación de los elementos de gateo que se hayan previsto en el proyecto para la sustitución de dichos dispositivos

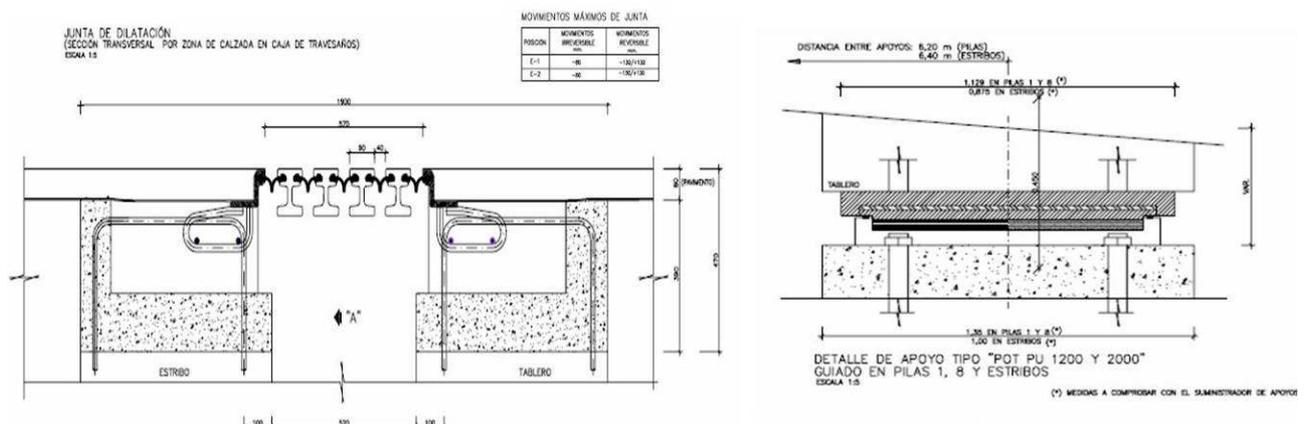


Figura 7. Ejemplo de definición de juntas y aparatos de apoyo que interesan en un Plan de Mantenimiento.

También se definirá, con el apoyo de los planos, el sistema de drenaje de la estructura, incluyendo el drenaje del tablero, la existencia de caces, imbornales y gárgolas, así como la presencia de bajantes tanto en pilas como en estribos. Se incluirá asimismo la definición del sistema de drenaje de la plataforma en los accesos a la estructura.

En cuanto al sistema de contención, se plasmará el nivel de contención exigido así como la definición del sistema elegido, rígido o flexible, los dispositivos de anclaje al tablero y cómo se ha contemplado la continuidad del sistema de contención en los tramos de aproximación inmediatos a la estructura. De la impermeabilización y los firmes se dejará constancia del tipo de impermeabilización utilizada y se definirá el espesor real del paquete de firmes, aspecto necesario para el mantenimiento y la gestión de la obra.

Se describirán también, con soporte en planos, las instalaciones auxiliares como iluminación, difusores de salmuera, depuradoras a pie de talud, dispositivos especiales para el aseguramiento de las condiciones de durabilidad como, p.e., sistemas de protección catódica. También se hará constar la presencia de instalaciones del tipo de conducciones de agua, gas, cableado de comunicaciones, etc. que pudieran afectar a las operaciones de inspección y de mantenimiento de la estructura o de los propios conductos.

### 3.2. Definición de las condiciones de exposición y de las vidas útiles

Se hará constar la clase de exposición considerada para el proyecto de cada elemento del puente, que es la base para la definición, entre otros factores, de la vida útil imputada a dicho elemento. De forma especial, en el Plan de Mantenimiento se incorporará una estimación de la vida útil de aquellos elementos que forman parte de la estructura y cuya vida útil resulte previsiblemente menor que la de la obra. Así, como se muestra, a título de referencia, en la tabla 1, se definirá la vida útil estimada para juntas, aparatos de apoyo, elementos de contención, sistemas de drenaje, impermeabilización, pavimentos y elementos de protección (pinturas, tratamientos anticorrosivos, ánodos de sacrificio, etc.), entre otros.

*Tabla 1. Referencia a vidas útiles de algunos componentes del puente.*

Componentes	Vida útil nominal
Firmes	8-15 años
Impermeabilización	25 – 30 años
Pinturas y protección anticorrosivas	10 – 20 años
Juntas	15 – 30 años
Equipos de drenaje	5 – 15 años
Apoyos estructurales	25 – 40 años

### 3.3. Definición de los puntos críticos desde el punto de vista del mantenimiento

Se trata de identificar aquí, de acuerdo con los conocimientos y experiencia del proyectista, aquellos puntos de la estructura que son más susceptibles de sufrir daños. A título de ejemplo, un punto crítico puede ser la cimentación superficial de una pila o estribo en el cauce de un río, en la medida en que un cambio en las condiciones de contorno del cauce podría producir socavación de la misma.

También se considerarán puntos críticos aquellos elementos que sufran procesos de desgaste o estén constituidos por materiales de menor durabilidad y que no sean de fácil inspección, como aparatos de apoyo a media madera (figura 8).



*Figura 8. Ejemplo de apoyo a media madera, con gran dificultad de inspección.*

Durante las fases de construcción y servicio también se pueden identificar puntos críticos no contemplados en la fase de proyecto y que se tornan tales como consecuencia de incidencias durante la fase de construcción, o por cambios durante la fase de explotación, si cambian, por ejemplo, las condiciones de explotación si se instala un dispersor de salmuera en el mismo o si se suprime una junta (aspecto éste que tiene otras connotaciones, quizá de comportamiento estructural).

#### 3.4. Criterios de inspección

La definición de los criterios de inspección dependerá de si el responsable de la conservación tiene implantado un sistema de gestión de estructuras (figura 5). En caso afirmativo, el Plan de Mantenimiento se remitirá a lo establecido en el sistema de gestión. En caso contrario, o siempre que se trate de una estructura singular, se podrán establecer las consideraciones adicionales que se estimen oportunas, incluyendo la periodicidad y el alcance de las inspecciones que se tendrán que realizar.

En este sentido, cabe mencionar que la mayoría de los Sistemas de Gestión implantados actualmente incluyen tres niveles de inspección. El primer nivel es el de las Inspecciones Rutinarias o Básicas, que se realizan con una frecuencia alta, generalmente coincidiendo con tareas de mantenimiento ordinario, y que hace personal no especializado y sin medios auxiliares específicos; es decir se trata de una simple comprobación visual del estado de la estructura y de sus elementos. El segundo nivel, de mayor detalle, se realiza cada varios años y requiere el concurso de ingenieros cualificado con el auxilio de algunos medios que permitan realizar una inspección visual de todos los elementos que constituyen el puente (Inspecciones Principales). Finalmente, las Inspecciones Especiales (tercer nivel), son las que se realizan para poder dictaminar el estado de una estructura

(nivel de seguridad y prognosis de vida útil residual). Requieren la participación de personal especializado y con medios auxiliares que les permiten acceder a revisar los distintos elementos, tomar muestras y hacer ensayos de laboratorio. También pueden incluir pruebas de carga del puente para comprobar la respuesta estructural del mismo.

### 3.5. Definición de los medios de acceso

Es necesario definir en el Plan de Mantenimiento los medios de acceso necesarios para poder inspeccionar o trabajar en cada uno de los elementos de la estructura, como pasarelas de inspección, cajones interiores con iluminación o pilas accesibles, aparatos de apoyo, partes inferiores de tableros, cabeceros de pilas, etc. También hay que incluir los medios de acceso requeridos y previstos para la inspección de pilas o estribos que se encuentren parcialmente sumergidos en aguas, cuya inspección suele ser imprescindible para garantizar el correcto estado de las cimentaciones, especialmente si éstas son de tipo superficial o directas (zapatas).

### 3.6. Criterios de evaluación (umbrales de aceptación)

Estos criterios, que han de ser objetivos, han de servir para alertar que un determinado elemento estructural o funcional del puente puede no estar comportándose de la manera prevista. Estos umbrales deben ser

- representativos del buen o mal funcionamiento del punto crítico que se quiere evaluar;
- mensurables con magnitudes cuantificables e independientes del juicio subjetivo del observador;
- fiables, independientes de las circunstancias en que se efectúa la evaluación;
- fáciles y económicos de obtener; y
- preventivos, es decir, que señalen el comienzo del deterioro antes que la proximidad del fallo estructural o funcional.

Por ejemplo, unos criterios de evaluación en una cimentación pilotada frente a la acción de la socavación podrían ser los siguientes:

- Umbral de alerta: se descubre la cara superior del encepado.
- Umbral crítico: la socavación progresa hasta descubrir una longitud de pilotes similar a la considerada en las hipótesis de cálculo de la estructura, debiendo el proyectista indicar expresamente cuál es esta longitud.

Otro ejemplo de umbrales de aceptación de la deformación de un apoyo tipo *pot* serían los siguientes:

- Umbral de alerta: en algún punto del contacto entre el pistón y el elastómero la distancia con el borde de la pared del *pot* es inferior a 1 mm o existe una distancia inferior a 1 mm entre alguna de las partes metálicas del apoyo.
- Umbral crítico: cuando algún punto del contacto entre el pistón y el elastómero queda justo al borde de la pared del *pot* o existe contacto entre alguna de las partes metálicas del apoyo.

Del mismo modo se pueden establecer criterios de evaluación para los asientos de las cimentaciones, las transiciones en los estribos, la fisuración en los tableros, la degradación o desplazamiento en los aparatos de apoyo y la degradación de las juntas.

### 3.7. Criterios de sustitución: reposiciones periódicas especializadas

Dado que en la estructura se han dispuesto elementos con una vida útil inferior a la global, es necesario definir la manera en la que se ha previsto su sustitución.

Los elementos más significativos, con una vida inferior a la del conjunto de la estructura son los siguientes: juntas, apoyos, pintura de elementos metálicos, pretilas y barandillas, impermeabilización de tablero, firme y elementos singulares (tirantes).

La descripción de la manera en la que se ha previsto llevar a cabo la sustitución no tiene por qué ser exhaustiva si se ha de redactar un proyecto de ejecución, pero el Plan de Mantenimiento sí debe contener los datos necesarios para que el posterior proyecto de sustitución se pueda redactar sin tener que consultar el proyecto completo.

A título de ejemplo, en el caso de los aparatos de apoyo, será necesario definir aspectos como la geometría de los aparatos, los gálibos, las pendientes, las cargas actuantes en el izado, teniendo en cuenta los cambios que puedan producirse en puentes evolutivos. También habrán de considerarse aspectos como las características de armado de zonas de apoyo, o las del terreno en que apoyar elementos auxiliares.



*Figura 9. Ejemplo de actuación de mantenimiento especializado para la sustitución de aparatos de apoyo.*

Es conveniente destacar que estas reposiciones periódicas son operaciones que equivalen a una parte sustancial de los costes de conservación de las estructuras, por lo que resulta de gran importancia planificar correctamente la ejecución de las mismas.

### 3.8. Operaciones de mantenimiento ordinario

Además de las operaciones periódicas de reposición, es necesario llevar a cabo una serie de operaciones corrientes de mantenimiento para mantener el puente en un correcto estado de conservación, es decir, aquel que asegura un nivel de servicio adecuado al usuario y prolonga la durabilidad de los distintos elementos del puente, reduciendo así los gastos de mantenimiento.

Estas operaciones son generalmente las de limpieza, tanto de la plataforma como de los elementos de drenaje y no estructurales, así como trabajos de pequeña reparación que no tengan carácter estructural que no requieren ni una planificación ni la intervención de personal especializado para su ejecución. En este tipo de trabajos se incluyen las

reparaciones puntuales de pavimentos, el sellado de fisuras en los mismos, el fresado y la reposición localizada de firmes, la reparación de aceras, las reparaciones de pequeños desconchones de hormigón, la reparación de enchachados de protección, la reparación localizada de elementos metálicos, la reposición o reparación de elementos constitutivos del sistema de drenaje y reparaciones puntuales de elementos dañados en accidentes de tráfico.



*Figura 10. Ejemplo de actuación de mantenimiento ordinario de limpieza.*

Aunque estas operaciones no tienen una gran complejidad técnica, es muy importante llevarlas a cabo, especialmente las relacionadas con la limpieza de drenajes, pues en caso contrario se produce una acumulación o vertido de agua sobre elementos que ven acortada drásticamente su vida de servicio. Por lo tanto en este apartado es necesario definir las principales operaciones de conservación que se consideren necesarias, así como la frecuencia de ejecución de las mismas.

### 3.9. Valoración de operaciones de mantenimiento

Finalmente se considera de gran importancia que se realice una valoración de todas las operaciones que se han descrito a lo largo del plan, inspecciones periódicas, reposiciones periódicas especializadas y operaciones de mantenimiento con objeto de que el mismo sea realista y viable, evitando de esta manera que se plante un plan de mantenimiento muy exigente y conservador. Además, con una valoración del coste de mantenimiento del puente a lo largo de toda su vida, es posible diseñar estructuras en las que se minimice el coste de todo el ciclo de vida y no sólo en las fases iniciales de proyecto y construcción,

ya que se puede justificar el sobrecoste de un determinado diseño si el mismo supone un importante ahorro en la conservación posterior de la estructura.

#### **4. REFERENCIAS**

- [1] Comisión Permanente del Hormigón. Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08. Ministerio de Fomento. 2008.
- [2] Comisión Permanente del Acero. Instrucción de Estructuras de Acero EAE-10. Ministerio de Fomento. 2010.