

LAS PATOLOGÍAS MÁS FRECUENTES DETECTADAS EN LAS INSPECCIONES DE PUENTES DE LA RED DE CARRETERAS DEL ESTADO

Luis MATUTE RUBIO	Ignacio PULIDO SÁNCHEZ	Virginia SÁNCHEZ MANGAS	Agustín REDERO GARCÍA
Ingeniero de Caminos	Ingeniero de Caminos	Ingeniero Técnico O.P.	Ingeniero Técnico O.P.
IDEAM S.A.	IDEAM S.A.	IDEAM S.A.	
Director General	Jefe de Proyectos	Téc. Especialista Patología	
luis.matute@ideam.es	ignacio.pulido@ideam.es	virginia.sanchez@ideam.es	

Las tareas de inspección, conservación, mantenimiento y reparación de estructuras están cobrando cada día más importancia e interés en nuestro país, tanto desde el punto de vista de las diferentes Administraciones Públicas, que cada año destinan mayor presupuesto para las tareas de conservación de estructuras, como desde el punto de vista de las Consultorías, que apuestan por la especialización en este campo.

La amplia experiencia adquirida por IDEAM, S.A. en la realización de múltiples inspecciones especiales de puentes para diferentes Administraciones ha puesto de manifiesto la presencia de daños sistemáticos en muchas estructuras, en numerosas ocasiones de difícil y costosa solución. La mayoría de los daños detectados tienen su origen en la poca preocupación de los ingenieros durante las fases de proyecto y obra, por el cuidado del diseño de detalles que faciliten una adecuada conservación y mantenimiento de este tipo de estructuras.

Palabras Clave: Inspección puentes; socavación; patologías agua, juntas dilatación, medias maderas; apoyos.

1. Introducción.

Entre los daños y patologías más habituales que suelen presentar los diferentes elementos que conforman los puentes son tres: cimentaciones, especialmente en aquellas pilas y elementos situados en el interior de cauces; aparatos de apoyo, independientemente de su tipología y tamaño; y los sistemas de drenaje e impermeabilización, incluyendo entre estos a las juntas de dilatación.

Muchos de estos daños y patologías no se detectan únicamente en puentes antiguos sino que muchos de ellos se encuentran en puentes modernos, de menos de 10-15 años, estructuras cuya envergadura suele ser un importante condicionante en la solución y reparación de los daños, sin considerar la propia gravedad de los mismos, tanto desde un punto de vista funcional – situados normalmente en vías de alta intensidad de tráfico- como estructural –debido a las mayores dimensiones y tecnologías utilizadas en la actualidad.

A lo largo del presente artículo se exponen los daños más frecuentes detectados en las numerosas inspecciones de puentes realizadas por IDEAM a lo largo de los últimos años, con objeto de intentar concienciar a todas las partes implicadas en el diseño y construcción de los puentes: Administraciones, Proyectistas y Constructores, en la importancia del cuidado de los detalles constructivos, tanto en su definición como en su ejecución y conservación, lo que mejorará la vida útil de los puentes y retrasará y facilitará las tareas de reparación.

2. Daños en cimentaciones por socavación.

Como es bien sabido, la socavación es el resultado de la acción erosiva del flujo de agua sobre los ríos que arranca y acarrea el material del fondo del lecho y de las bancadas laterales. Se debe diferenciar entre la erosión general y la local. La primera es debida al arrastre de las partículas sólidas del lecho del cauce producida por el paso del agua a una velocidad superior que la velocidad crítica (función de múltiples variables) lo que conlleva el arrastre de estas partículas. La erosión local se produce en presencia de obstáculos en los cauces como son los estribos y pilas, junto con sus respectivas cimentaciones. El agua al chocar frontalmente y a gran velocidad contra estos obstáculos, produce un flujo de partículas descendentes que, al chocar con el fondo del cauce, producen una serie de vórtices (fig 1) que arrastran

violentamente el material del fondo de la cimentación, produciendo fosas de socavación, de grandes dimensiones generalmente, que pueden llegar a afectar a la cimentación del elemento, poniendo en riesgo la estabilidad del elemento y con ello de la estructura. Los mayores daños por socavación se producen durante las avenidas, períodos en los que la velocidad de la corriente del agua es máxima, produciendo los mayores daños sobre las cimentaciones de pilas y estribos.

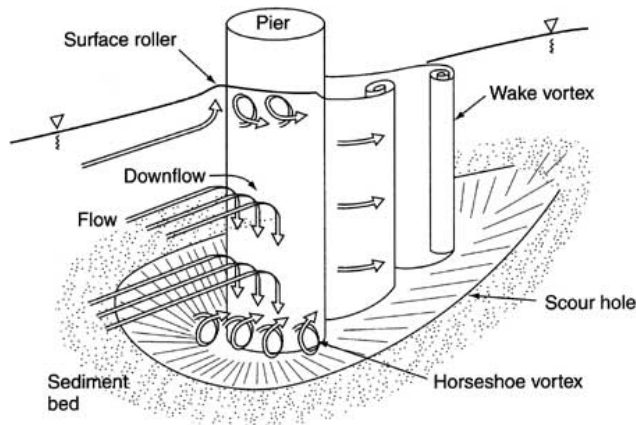


Fig. 1: Esquema del flujo de agua en presencia de un obstáculo (pila). Desarrollo de vórtices de erosión. [1]

Dentro de las labores de inspección de puentes, se debe realizar especial hincapié en esta patología pues su desarrollo final suele ser brusco y repentino, pudiendo tener consecuencias devastadoras e irreversibles, poniendo en riesgo la estabilidad general de la estructura.

Desde el punto de vista de la inspección y conservación de los puentes, conviene resaltar, a menudo, la dificultad de realizar inspecciones y análisis detallados de las cimentaciones de las estructuras debido a las dificultades de acceso, limitaciones técnicas, medios y equipos de acceso, limitaciones económicas, etc. Por este motivo, resulta imprescindible, disponer de una buena documentación del Proyecto de Construcción y Liquidación de las Obras, donde queden reflejadas todas las características de la cimentación realmente ejecutada -geometría y características- y del terreno de apoyo, aportando una información vital para la posterior conservación y evaluación posterior de los puentes, prácticamente imposible de realizar sin la existencia de estos datos previos.



Figs. 2a y 2b: A la izquierda, fosa de socavación en un puente arco de fábrica. A la derecha, cimentación de pila afectada por la erosión general y local, en un puente arco de hormigón.

En base a la experiencia desarrollada por IDEAM, estos daños suelen presentarse en puentes y estructuras antiguos, con más de 40-60 años en servicio, así como en obras de reciente construcción de menor entidad (marcos, pontones,..) sin descartar por ello puentes más modernos y de gran envergadura.

A este respecto, indicar que los puentes más expuestos a los fenómenos de socavación, son aquellos cuyo mecanismo resistente es por forma y no por resistencia, como son el caso de los arcos y pórticos. Un asiento o giro de la cimentación pueden ser movimientos no siempre asumibles por la estructura, pudiendo llegar a producir el desequilibrio de las cargas permanentes y con ello, el colapso inmediato de la estructura.

En cuanto a la mejora del diseño de las estructuras frente a este fenómeno, existe mucha y diferente bibliografía, con diferentes recomendaciones y formulaciones. Las variables que generalmente se admite que influyen en la erosión local, en orden estimativo de importancia son: la dimensión transversal del elemento y su forma (sección transversal), la velocidad de la corriente y la granulometría del material del fondo tanto el tamaño como su desviación típica, parámetros sobre los que resulta muy difícil actuar, salvo sobre la geometría de los elementos, debiendo adoptar elementos con formas suaves y favorables al paso de la corriente. Las diferentes formulaciones existentes en la bibliografía, son fórmulas empíricas en su mayoría, por lo que ofrecen tendencias más que valores exactos, debiendo tomarse los resultados obtenidos como base para el diseño adecuado de la protección.

Por otro lado, en la actualidad, habitualmente la geometría de la vía prevalece sobre las condiciones de la estructura. En el caso de que por este motivo las cimentaciones de pilas o estribos queden en el interior de los cauces, se deberá analizar nuevamente si se trata del trazado óptimo o si se pudiera modificar para mejorar las condiciones de cimentación de esa estructura. En caso negativo, se deberán estudiar y analizar las protecciones correspondientes a disponer siendo las más frecuentes las protecciones con escolleras o gaviones.



Figs. 3a y 3b: Erosión del termo circundante de la zapata por la presencia del curso del río en las inmediaciones de la cimentación. Escollera de protección colocada recientemente.

3. Aparatos de apoyo.

Los aparatos de apoyo son los elementos encargados de transmitir las cargas y movimientos del tablero a la subestructura de los puentes: pilas y estribos. Como bien es sabido, existen diferentes tipologías de apoyos en función de las cargas y movimientos que han de transmitir: neopreno zunchado, neopreno confinado, esféricos, rodillos, etc. En las múltiples inspecciones realizadas, se han detectado múltiples fallos en estos elementos, especialmente debido a malas condiciones de puesta en obra, aunque no por ello se deben descartar otros defectos como errores de proyecto o defectos de los materiales.

En base a los daños detectados, resulta importante llamar la atención en la falta de previsión de sustitución de estos elementos por parte de Proyectistas y Constructores, más teniendo en cuenta que son elementos fungibles y que se degradan con el paso del tiempo, por lo que en algún momento de la vida útil de la estructura se ha de proceder a su sustitución. Este hecho presenta una mayor importancia en el caso de los puentes de luces medias y grandes, donde las cargas a transmitir son importantes y suelen presentar pilas de gran altura donde la utilización de medios auxiliares de apeo resulta prácticamente imposible, debiendo acudir a sistemas especiales de trabajo, dificultando y encareciendo enormemente las tareas de sustitución de estos elementos.

Los aparatos de apoyo más utilizados en los puentes de las carreteras españolas son los de neopreno zunchado. En estos elementos se han detectado numerosos daños debidos a una insuficiente definición en proyecto, unido a una deficiente puesta en obra. Resulta bastante habitual definir estos apoyos únicamente por sus dimensiones en planta y su espesor neto o total, sin indicar el número de capas y espesor de las mismas, características que confieren la capacidad de desplazamiento y de rotación a este tipo de apoyo. Por tanto, se considera necesario definir correctamente estos elementos en los proyectos, así como indicar los valores de su dimensionado para poder recalcular, en caso necesario, aparatos de apoyo diferentes por necesidades del suministrador o de la propia obra.



Figs. 4a y 4b: Rotura de neoprenos por la degradación del material con el paso de los años, resultando el apoyo totalmente ineficaz.

La mala nivelación y pendienteado de los aparatos de apoyo (figs 5a y 5b) suele ser un daño bastante frecuente, especialmente en los tableros de vigas prefabricadas, donde estas operaciones no se realizan correctamente, produciéndose la expulsión de los aparatos de apoyo.



Figs. 5a y 5b: Deficiente puesta en obra de los aparatos de apoyo, con importantes errores de replanteo, nivelación y paralelismo entre las caras de apoyo, habiendo producido la reptación y expulsión de los aparatos de apoyo.

Los aparatos de apoyo deben colocarse horizontalmente (fig 6), con sus dos caras perfectamente paralelas para lo cual se deberán disponer los tacones, cuñas o mesetas necesarias a tal fin, consiguiendo de esta forma la horizontalidad del apoyo. Así mismo, se deben dejar los resguardos correspondientes (mínimo de 5 cm) entre los neoprenos y los bordes de las mesetas de apoyo. De esta forma, se podrán asumir ligeros errores de replanteo y se garantizará la estabilidad del elemento de apoyo, no produciéndose su rotura. En el caso de mesetas o tacones de apoyo superiores a los 5 cm de altura, éstos deberán armarse para evitar su fisuración y rotura.

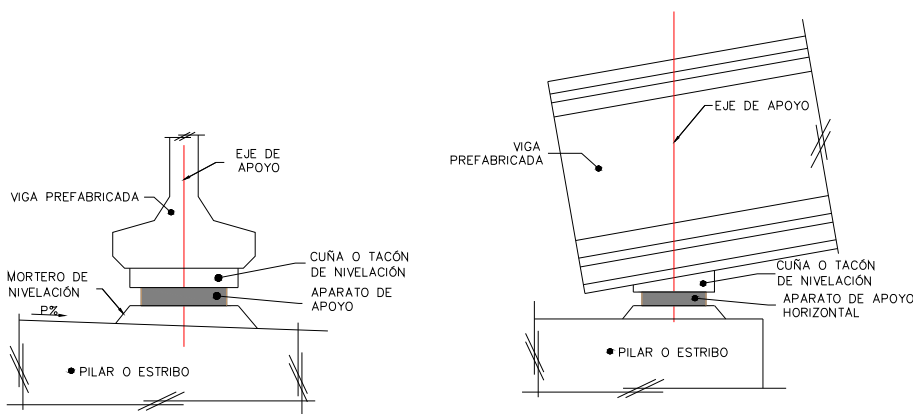


Fig. 6: Detalle tipo de colocación de aparatos de apoyo en puente de vigas prefabricadas.

Cuando la envergadura de los puentes es media o grande, los aparatos de apoyo de neopreno zunchado resultan, en ocasiones, incapaces de soportar las tensiones que transmite el tablero, así como para absorber los movimientos debidos a los fenómenos reológicos del hormigón y a los efectos térmicos, pasado a utilizar en este caso aparatos de apoyo de neopreno confinado o aparatos de apoyo tipo POT. Dado que estos apoyos son utilizados en puentes grandes, con grandes desplazamientos horizontales, estos apoyos habitualmente disponen de una lámina de teflón en su parte superior que desliza sobre una bandeja de acero inoxidable, colocada en el interior del tablero, reduciendo notablemente las fuerzas horizontales sobre las cabezas de pila y estribos. En cuanto a la capacidad de movimiento de estos apoyos, se clasifican en libres, unidireccionales y fijos. Los fallos habituales detectados en este tipo de apoyo son debidos a la degradación del material deslizante, el teflón. Los daños habituales detectados en estos apoyos es la expulsión del teflón, fluyendo lateralmente por el aparato de apoyo (fig 7a), y el deterioro del material debido al rasgado y expulsión del pistón de confinamiento (fig 7b). Estos deterioros implican el funcionamiento anómalo del aparato de apoyo, transmitiendo seguramente, mayores fuerzas horizontales de las previstas, a los elementos de la infraestructura.



Figs. 7a y 7b: Rebasamiento de la lámina de teflón (PTFE) del apoyo tipo POT (izquierda). Rasgado y expulsión de la lámina de teflón (derecha). En ambos casos, el coeficiente de rozamiento menor del 5% no se puede garantizar, suponiendo un mayor bloqueo del esperado en Proyecto, pudiendo causar daños en pilas y estribos, así como en sus cimentaciones.

Otro fallo habitual que suelen presentar estos aparatos de apoyo, suele encontrarse en deficiente definición de los recorridos teóricos de los aparatos de apoyo, así como del reglaje de las propias bandejas, por lo que con el paso de los años, es frecuente encontrar apoyos con las carreras agotadas (fig 8a), tocando incluso, los tornillos de sujeción de las bandejas con el pistón del confinamiento.

En cuanto a la disposición de estos aparatos de apoyo, se han detectado errores tales como la disposición de dos aparatos de apoyo guiados sobre el mismo elemento (pila/estribo), con el consiguiente bloqueo que se produce en los apoyos, cuando no existe un perfecto paralelismo entre ambos elementos o exista algún pequeño defecto de construcción. Este hecho puede llevar a producir daños importantes en los aparatos de apoyo y sobre la propia estructura, así como otros daños menores como serían la rotura de la lámina de acero inoxidable que protege el tetón de la guía (fig 8b).



Figs. 8a y 8b: Agotamiento de carrera de bandeja de apoyo tipo POT (izquierda) y rotura de lámina de acero inoxidable en guía por el bloqueo producido por la colocación de dos apoyos guiados sobre la misma pila.

En cuanto a la disposición de apoyos a media madera, resulta conveniente resaltar los importantes daños que en ellos se han llegado a detectar, especialmente en los puentes más antiguos, en los cuales se utilizaban láminas de plomo de reducido espesor como elemento aparato de apoyo, no existiendo apenas espacio en la junta de dilatación. Este tipo de daños se suelen producir debido a un deficiente detalle de apoyo, unido a una deficiente ejecución y conservación de la impermeabilización de la junta de dilatación. Las pequeñas dimensiones de las juntas y de las camas de apoyo, de apenas 2-3 cm, unido a la acumulación de suciedad en las juntas y a las bajas/medias calidades de los hormigones de la época, terminan por producir la degradación del hormigón en las inmediaciones de las juntas debido a la humedad casi permanente que se localiza en estos elementos, llegando a producir su agrietamiento y rotura, debiendo proceder a su demolición y reconstrucción (fig 9a y 9b). Igualmente, resaltar las dificultades técnicas y operativas que surgen para realizar la sustitución de este tipo de aparato de apoyo, fundamentalmente por su ubicación longitudinal en la estructura, separada de las pilas entorno a 0,20·L, como resulta habitual en esta tipología. Por tanto, para realizar la sustitución de estos apoyos, normalmente, se debe acudir a medios auxiliares complejos y costos.



Figs. 9a y 9b: Rotura de apoyo a media madera (izquierda) y degradación del hormigón (derecha) en ménsulas cortas de media madera por presencia cuasicontinua de agua, debido a la deficiente conservación de las juntas de calzada y al poco espacio existente para la evacuación del agua. Zonas de difícil disposición de la armadura por su densidad y reducidas dimensiones del elemento.

En cuanto a la mejora en el diseño de estos elementos, corresponde la mayor parte de concienciación y trabajo a los proyectistas, mejorando los detalles de apoyo y definición de los aparatos de apoyo, y exigiendo las condiciones de ejecución adecuadas. En los proyectos se debería dejar marcado claramente cual debe ser el reglaje inicial de las bandejas, al igual que en las obras se debería marcar la posición inicial real, para poder conocer y determinar posibles deficiencias de funcionamiento. Por otro lado, también se deberán prever en los dinteles y cargaderos el suficiente espacio para la correcta ejecución de las mesetas de apoyo y, cuando resulte posible, para la ubicación de gatos hidráulicos para su sustitución. Así mismo, se deberían estudiar y definir en proyecto los puntos provisionales de apoyo, diseñando mamparos y subestructura para las cargas que han de soportar durante la sustitución.

4. Juntas

Las juntas de dilatación permiten a las estructuras moverse libremente debido a las deformaciones impuestas, dando continuidad a la superficie de rodadura, no existiendo discontinuidad entre terraplenes y estructura o entre los diferentes tramos de éstas. Por tanto, las juntas de dilatación se disponen sobre discontinuidades estructurales resultando un elemento crítico desde el punto de vista funcional y de la conservación. Aparte de los requisitos de confort, resistencia y movimiento, las juntas han de ser estancas, evitando que el agua discurra a través de dichas discontinuidades estructurales. La falta de impermeabilidad de las juntas, provoca numerosos e importantes daños sobre pilas y estribos (fig 10a) debido a la frecuente circulación de agua. Entre los daños que se suelen producir, se encuentran las manchas y humedades, la corrosión de las armaduras con su consiguiente lajación y desconchón, el desarrollo de reacciones químicas patológicas en el hormigón (fig 10b) debido al "vehículo" que produce el agua y la humedad en el desarrollo de estos daños,... Evitar estos daños resulta muy sencillo a lo largo de la vida de los puentes, comenzando con la elaboración de adecuados detalles en la fase de proyecto, siguiendo con la correcta ejecución y puesta en obra de los mismos y finalizando con su adecuada conservación y respeto durante las operaciones de sustitución.



Figs. 10a y 10b: Daños producidos por la circulación de agua a través de la junta de calzada. En la derecha desarrollo de ataque por sulfatos en el hormigón. En la izquierda, humedades con oxidación de armaduras en zona de apoyo.

Otro daño muy habitual detectado las juntas de dilatación se encuentra en la descoordinación o falta de detalle existente entre las dimensiones de la junta a instalar y las dimensiones de los muretes de guarda, de un espesor insuficiente. En los puentes de longitud media o larga, sin juntas intermedias, se acumulan importantes movimientos en las juntas de los estribos lo que implica la necesidad e utilizar juntas de grandes dimensiones, resultando insuficiente el espesor del murete para que la junta quede correctamente instalada. Este error de proyecto suele solucionarse en obra de dos formas, bien poniendo la junta descentrada o anclada sobre la capa de firme, fuera del murete de guarda. En el primer caso, con el paso del tiempo, las juntas acaban por romperse pues al estirarse, la parte resistente de la junta se queda en el aire, trabajando en ménsula, lo que acaba por rasgar y romper el neopreno de la junta (figs 11a y 11b), provocando la inutilidad de la misma. En el segundo caso, al anclar las juntas sobre un material no competente, con el paso del tiempo los anclajes acaban soltándose provocando la ruina de la junta.



Figs. 11a y 11b: Junta de dilatación colocada descentrada por murete de guarda estricto. Debido al acortamiento de la estructura, el tramo central de la junta se queda apoyado únicamente en un lateral, produciendo inmediatamente la rotura del y el agotamiento de la junta.

En cuanto al detalle correcto para el diseño y puesta en obra de las juntas de dilatación, a la vista de los daños más habituales que se suelen detectar, resultan evidentes las medidas a adoptar (fig 12). En primer lugar, el murete de guarda se deberá dimensionar por geometría y no por resistencia como se hace habitualmente. Garantizar la correcta impermeabilización de las juntas de neopreno zunchado, las más habituales en nuestras carreteras, resulta bastante complicado por lo que la solución pasa por disponer de un elemento auxiliar –faldón, canaleta, etc - que recoja el agua que se filtra y circula a través de la junta y la conduzca al lateral de la estructura donde se conecte a un sistema general de recogida de aguas. De esta forma, se mejorará el confort y durabilidad de las juntas, así como ausencia de daños inducidos en la infraestructura debido a la circulación de agua y a su contacto permanente con el hormigón.

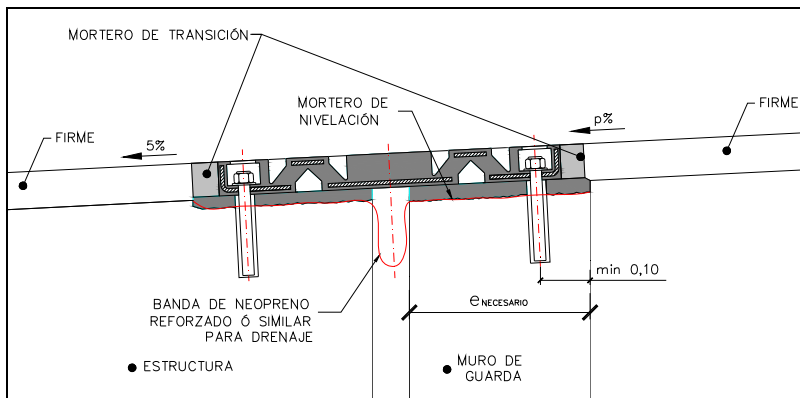


Fig. 12: Esquema de colocación de junta de dilatación con banda de recogida de aguas para garantizar su impermeabilización.

5. Drenaje e impermeabilización

En cuanto a los sistemas de drenaje e impermeabilización de los puentes, su buen diseño y ejecución están directamente relacionados con las patologías futuras y, por consiguiente, con las necesidades de conservación y actuación. En función de la tipología estructural, el fallo de los sistemas de drenaje y desagüe de la estructura y de la impermeabilización del tablero, pueden producir una serie de daños u otros. Así, por ejemplo, que falle la impermeabilización en un tablero de vigas de hormigón implica, en principio, menos daños que en el caso de un cajón de hormigón y muchos menos que en un cajón de un puente metálico. Igualmente, el fallo en un imbornal situado en un voladizo, suele provocar daños locales, independientemente de la tipología del puente, mientras que en el caso de un tablero de vigas (fig 13a y 13b), donde los sumideros, a menudo, se encuentran en la misma vertical que las propias vigas, los daños pasan a localizarse en elementos principales de la estructura, causando daños de mucha mayor envergadura y alcance.

Por otro lado, resulta conveniente incidir en la necesidad de la conservación de los sistemas de impermeabilización de los tableros durante su puesta en obra, prohibiendo el paso de maquinaria pesada por encima de los sistemas de impermeabilización, así como proceder a su reposición dentro de las actuaciones generales de refuerzo de firmes donde, frecuentemente, se procede al fresado del firme de la plataforma, con el consiguiente daño casi seguro al sistema de impermeabilización, y posteriormente se procede al reaglomerado, sin realizar ningún tratamiento de impermeabilización previo, reduciendo drásticamente las condiciones de protección de la estructura.



Figs. 13a y 13b: Daños en vigas de hormigón por la presencia de un imbornal en sus proximidades carente de bajante y elementos de desagüe adecuados.

Si bien se podría considerar un caso excepcional, en las siguientes imágenes (figs 14a y 14b) se muestra el estado interior de un puente mixto de acero tipo corten, donde debido a un fallo general en el sistema de impermeabilización de la plataforma, se ha producido el deterioro de la capa de pintura y la oxidación general de todo el interior del cajón, especialmente del fondo de cajón y de las almas laterales inclinadas debido a la presencia de la rigidización longitudinal. Entre los trabajos de inspección realizados, se ha realizado una campaña de medición de espesores de las chapas principales, habiéndose detectado una pérdida de más del 5%, que si bien es puntual, si no se soluciona el

problema adecuadamente, podría acarrear daños muy importantes en la estructura. El origen del problema se encuentra en las importantes filtraciones de agua desde la plataforma, que junto con la falta de ventilación en el interior del cajón, se produce un ambiente interior con alta humedad relativa, llegando incluso a producirse la condensación en el metal. Como bien es sabido, en este ambiente donde el acero corten no es capaz de crear la capa de pátina de protección, produciéndose el deterioro de la pintura de protección y la oxidación y pérdida de la sección de acero.



Figs. 14a y 14b: Interior de un cajón mixto de acero corten con importantes filtraciones de agua, habiendo degenerado en el deterioro del sistema de pintura y la oxidación del acero corten, al no ser capaz éste de generar la capa de pátina debido a la falta de ventilación, la alta humedad interior y la condensación interior.

Como conclusiones de los daños que presenta esta estructura, si bien no suele ser frecuente, se confirma la importancia de pintar y proteger adecuadamente el acero, incluso el acero tipo corten, en las estructuras cerradas, así como disponer un sistema de ventilación que permita la evacuación de la condensación, reduciendo la oxidación y favoreciendo, en el caso del acero corten, la creación de la película de pátina de protección.

6. Conclusiones

A lo largo del presente artículo se han expuesto los daños y patologías más frecuentes que presentan los puentes carreteros españoles en base a la amplia experiencia adquirida por IDEAM durante los diferentes trabajos de Inspección que ha desarrollado para diferentes Administraciones, especialmente para el Ministerio de Fomento.

Se considera necesario que todos los agentes involucrados en el diseño y cálculo, construcción y conservación, así como las propias Administraciones, sean conscientes de la problemática que lleva pareja la deficiente definición y/o ejecución de detalles constructivos básicos para el correcto funcionamiento de la estructura, así como su posterior conservación. Con unos detalles adecuados y dejando previsto en la fase de proyecto y construcción, se pueden simplificar notablemente las tareas de conservación, realizando las tareas de conservación más seguras, económicas y rápidas.

7. Referencias

[1] HAMILL, L. "Bridge Hydraulics". E & F Spon. London an New York. 1999.