

Pavimentos de puentes. Algunos conceptos básicos

POR: MARÍA CASTRO MAÍRICA
DRA. INGENIERA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS Y
MIGUEL ÁNGEL DEL VAL MELÚS
DR. INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



Figura 1 Efectos del agua en un tablero de hormigón.

1. Introducción

El comportamiento de los pavimentos de los puentes es, en ocasiones, poco satisfactorio, y aparecen unos deterioros derivados de no considerar en las soluciones adoptadas el comportamiento estructural del puente. A menudo, se dispone como pavimento sobre el tablero del puente la misma capa de rodadura que en el resto de la carretera, sin tener en cuenta la diferencia de rigidez existente entre ambos soportes; así mismo, se dejan sin resolver detalles constructivos que posteriormente van a tener gran influencia en el correcto funcionamiento del conjunto.

2. Funciones del pavimento en los puentes

El pavimento debe proteger al tablero del puente de la acción directa de la intemperie, especialmente del agua, la helada y los eventuales fundentes que se puedan emplear para combatirla. Con el fin de completar esta función, es cada vez más usual impermeabilizar el tablero antes de la construcción del pavimento propiamente dicho.

El pavimento debe presentar una durabilidad suficiente y proteger al tablero de la acción directa del tráfico. Por otra parte, hay que tener en cuenta que el

pavimento de un puente (incluyendo la impermeabilización del tablero) ha de tener un espesor reducido, en general, no superior a 10 cm, para limitar la carga muerta sobre la estructura.

Como cualquier otro pavimento, el colocado sobre un puente ha de proporcionar al usuario fundamentalmente una regularidad superficial y una resistencia al deslizamiento adecuadas.

3. Factores de proyecto

- Tráfico: se ha de considerar la intensidad y composición del tráfico previsto, así co-

mo la del tráfico de obra que, por ejemplo, puede hacer necesaria la colocación de una capa de protección sobre la impermeabilización.

- **Puente:** tipo de tablero, flexibilidad estructural, amplitud de las deformaciones térmicas, acabado del tablero, elementos complementarios (como sumideros, pretilas, bordillos y juntas), extensión de la superficie que se va a pavimentar y localización del puente.
- **Variables climáticas:** las oscilaciones térmicas previsibles, el régimen de precipitaciones, la frecuencia de las heladas y el empleo de sales fundentes para la viabilidad invernal.
- **Pavimento contiguo:** en obras relativamente pequeñas puede no estar justificado ni ser conveniente cambiar el tipo de pavimento o de textura superficial. En cualquier caso, se trata de un factor de gran importancia que siempre hay que considerar.
- **Entorno:** en zonas urbanas, la impermeabilización del tablero puede ser fundamental también por consideraciones estéticas, evitando las manchas de humedad, la formación de depósitos de carbonato cálcico o los síntomas de herrumbre bajo el tablero. Por otro lado, se debe valorar si el puente está en un ambiente agresivo, donde existan agentes químicos que puedan provocar la desintegración del hormigón, la corrosión de sus armaduras o la de las chapas de los puentes metálicos.
- **Tipo:** en síntesis, el pavimento puede ser bituminoso o de hormigón. Los pavimentos bituminosos suelen estar constituidos por una o dos capas sobre un tablero en el que se ha realizado un riego de imprimación, o en el cual se han extendido una o dos capas de impermeabilización. Los pavimentos de hormigón pueden ser monolíticos con el tablero, es-



Figura 2. Pavimento de mezcla convencional tanto en el puente como en el resto de la carretera.

tar adheridos a éste, o ser independientes de él.

4. Impermeabilización

Consiste en un tratamiento superficial sobre el tablero del puente, de manera que se forma una membrana cuya misión principal es aislarlo del agua.

Atendiendo al procedimiento de formación de la membrana, se pueden clasificar las impermeabilizaciones en dos grandes grupos: tratamientos *in situ* y tratamientos con láminas prefabricadas.

4.1 Tratamientos *in situ*

Los más empleados son los constituidos por materiales bituminosos, entre los que existe una enorme variedad de soluciones, que fundamentalmente se pueden agrupar en dos tipos: másticos bi-

tuminosos en caliente y morteros bituminosos en frío.

Los másticos bituminosos en caliente se colocan en una o dos capas con espesores totales que varían entre 5 y 20 mm. Un caso particular son los asfaltos fundidos, con una eventual incorporación de asfalto natural.

En ocasiones, entre el tablero y la capa de mástico, se coloca una *capa de descompresión* para eliminar la tensión del vapor que se genera por el calentamiento del tablero húmedo al situar sobre él la mezcla en caliente y así evitar la formación de ampollas en la impermeabilización. Dicha capa de descompresión, llamada también de *ventilación*, suele estar formada por una malla o un fieltro de fibra de vidrio, en comunicación con la atmósfera mediante unos tubos de pequeño diámetro que atraviesan el tablero.

Los morteros bituminosos en frío están formados por una o dos capas de una lechada fina con adiciones: fibras, asfalto natural, etc. Se pueden fabricar y extender con la maquinaria propia de las lechadas, o bien llevarlos envasados hasta el puente y extenderlos manualmente.

Entre los materiales no bituminosos utilizados como técnica *in situ* para la impermeabilización de tableros, se pueden citar las resinas epoxi, los poliuretanos y los poliésteres, aunque se emplean

Entre los materiales no bituminosos utilizados como técnica *in situ* para la impermeabilización de tableros, se pueden citar las resinas epoxi, los poliuretanos y los poliésteres

en mayor medida las primeras. Se aplican en unas películas muy delgadas que se adhieren al tablero, al que se le exige por ello una textura fina, esmerada limpieza y ausencia de humedad. El espesor total suele ser de 1,5 a 3 mm. Como ventajas pueden citarse su inatacabilidad química y su gran adherencia a las superficies de hormigón, lo que conlleva un elevado grado de protección contra la penetración del agua en el interior del tablero y, a la vez, evita los deslizamientos de la impermeabilización sobre aquél.

Usualmente, se colocan dos capas de resina: cuando ha terminado la polimerización de la primera, se extiende la segunda; y, antes de que concluya la polimerización de ésta, se esparce un riego de arena, con el fin de conseguir una cierta trabazón entre la impermeabilización y el pavimento. En cuanto a una eventual imprimación del tablero antes de colocar la primera capa de resina epoxi, no es imprescindible; y, en caso de realizarse, se suele emplear la misma resina ligeramente diluida en un disolvente especial.

Más utilizadas que las impermeabilizaciones con resinas han sido las constituidas por materiales mixtos como la brea-epoxi, pues la presencia de la brea mejora la flexibilidad a bajas temperaturas, manteniendo una gran



Figura 3. Ejecución de impermeabilización in situ con mortero bituminoso en frío.

adherencia al soporte y reduciendo el coste del tratamiento. El espesor medio de la película es de 2 mm. Su principal campo de aplicación se centra en estructuras muy flexibles como los puentes metálicos. La técnica de puesta en obra es análoga a la de las resinas sintéticas (dos capas y riego de arena), con la diferencia de que, en el caso de la brea-epoxi, siempre es necesario imprimir previamente el tablero mediante la aplicación de este mismo material convenientemente fluidificado.

4.2. Tratamientos con láminas prefabricadas

Generalmente, consisten en unas láminas continuas que se su-

ministran en rollos y se pegan al tablero del puente, utilizándose normalmente como adhesivo un betún asfáltico, aunque algunos tipos de láminas poseen una película autoadhesiva en frío, y otras necesitan ser previamente calentadas. Suelen ser de pequeño espesor (en general, de 1 a 2 mm).

Teniendo en cuenta su composición, se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Láminas bituminosas convencionales, generalmente con un alma de fibra de vidrio.
- Láminas bituminosas auto-protegidas, en las que la cara superior de la lámina está formada por una hoja de aluminio o la cara inferior es un mástico bituminoso reforzado con fibras de vidrio. El espesor total es de 3-4 mm.
- Láminas elastoméricas, que presentan la ventaja de una gran flexibilidad y el inconveniente de una deficiente adherencia con los materiales bituminosos; por lo que, en caso de utilizar un pavimento de esta naturaleza, se suele imprimir la lámina, después de colocada, con un producto bituminoso.
- Láminas plásticas, por ejemplo, de PVC reforzado con fibras sintéticas en todo el espesor de la lámina. No son adherentes.
- Láminas de betún altamente modificado con polime-



Figura 4. Pavimento de mezcla cerrada en el puente en una carretera pavimentada con mezcla porosa.



Figura 5. Detalle sobre la evacuación del agua entre un pavimento de mezcla porosa y el pretil del puente

ros. Presentan una excelente flexibilidad y una baja susceptibilidad térmica, junto con una tenacidad y ductilidad elevadas.

- Las láminas prefabricadas más delgadas son generalmente muy susceptibles de deteriorarse por punzonamiento, debido a lo cual, en el pasado, se colocaba normalmente entre ellas y el pavimento una capa de protección, que a menudo consistía en una arena-betún. Actualmente, salvo en las láminas con hoja superior de aluminio, es muy usual que se incorporen en la cara superior unas gravillas incrustadas; de forma que, además de proteger frente al punzonamiento, se mejora la adherencia con el pavimento.

5. Pavimentos bituminosos

Existe una gran variedad de pavimentos de naturaleza asfáltica. En su elección, debe considerarse predominantemente el tipo de tablero del puente. Así, sobre tableros metálicos, constituidos usualmente por chapas ortótropas de 12 ó 16 mm de espesor, el principal factor que se debe tener en cuenta es su gran flexibilidad; debido a lo cual se han venido utili-

zando fundamentalmente soluciones delgadas (1 a 3 cm) y flexibles, con elevada resistencia mecánica y baja susceptibilidad térmica: mezclas de brea-epoxi, morteros bituminosos con ligante modificado o adición de asfalto natural, etc.

Si el tablero es de hormigón, generalmente se colocan una o dos capas de mezcla cuyo espesor total varía entre 3 y 10 cm. Suele tratarse de asfaltos fundidos con adición de asfalto natural, microaglomerados o mezclas; realizados con ligantes modificados. Las soluciones en frío, normalmente constituidas por microaglomerados con emulsiones de betún modificado y libras, son menos empleadas. Las mezclas porosas o drenantes se emplean cada vez más en países como España y Francia para pavimentación de puentes que se encuentren en un tramo de carretera donde la capa de rodadura esté constituida por este tipo de mezclas; pero requieren especiales medidas para la evacuación del agua que se infiltra a través de ellas.

6. Pavimentos de hormigón

6.1 Pavimento incorporado

En esencia, se trata de una solución monolítica, debido a lo cual también se la denomina de esta forma. En Estados Unidos, don-

de se emplea ampliamente, se termina el hormigón del tablero de forma que sea posible la rodadura directamente sobre él, lo que exige un hormigón resistente, con arena silicea, aire oculto y textura superficial adecuada.

En Suiza, se ha utilizado una solución de pavimento incorporado que consiste en extender una capa de hormigón de 5 cm de espesor sobre el tablero del puente antes de que el hormigón de éste haya fraguado, por lo que ambos colaboran estructuralmente; en este caso, el hormigón utilizado como pavimento también contiene arena silicea y, además, se coloca un mallazo metálico de reparto.

6.2 Pavimento adherido

El hormigón del pavimento se coloca sobre el tablero del puente cuando el hormigón de éste ya ha fraguado, lo que permite una mayor comodidad de la puesta en obra que en el caso anterior. Sin embargo, para conseguir la máxima adherencia entre ambos, se cuida que la terminación del tablero sea rugosa. En algunas administraciones norteamericanas de carreteras se obliga incluso a un abujardado de la superficie que, en cualquier caso, se somete a una limpieza enérgica antes de extender un adhesivo (mortero de cemento o de epoxi) previo a la colocación del hormigón del pavimento. En Suiza, con el mismo fin, se dejan embebidas en el hormigón del tablero unas armaduras de espera para anclar una malla metálica de reparto.

En algunos países, fundamentalmente en los Estados Unidos, se suelen utilizar hormigones para el pavimento que, junto a unas buenas características de durabilidad y rodadura, protejan eficazmente de la corrosión a las armaduras del tablero. Para ello, se utilizan hormigones densos de consistencia seca y hormigones modificados con látex. Otra solución consiste en un pavimento constituido por una capa de 5 a 10 cm de espesor de hormigón armado con fibras de acero.

6.3 Pavimento independiente

Se dispone sobre el puente el mismo tipo de pavimento de hormigón que en la carretera adya-

cente, aunque normalmente con un espesor ligeramente inferior (no mayor de 20 cm). Entre el tablero y el pavimento se suele colocar una capa aislante o impermeabilizante, análoga a la indicada en el caso de los pavimentos bituminosos. Debido a la elevada carga muerta que supone sobre el puente, esta solución tiene poco interés.

7. Deterioros

7.1 Deterioros en pavimentos bituminosos

- **Ampollas:** es un fenómeno que aparece con mayor frecuencia si el tablero es de

del pavimento, en el caso de existir una capa intermedia permeable entre dos capas de mayor impermeabilidad (la impermeabilización y la capa de rodadura).

- **Deslizamiento:** se pueden distinguir dos tipos: el que se produce por una fluencia de la capa de impermeabilización (generalmente, se trata de un mástico bituminoso o una lámina prefabricada), y el deslizamiento del pavimento sobre la capa de impermeabilización (en especial, si está constituida por una lámina prefabricada). Este problema, que se agra-

vimiento o, incluso, en la fisuración del material.

- **Fatiga:** la repetición del paso de las cargas sobre cualquier pavimento puede provocar la fatiga por flexión y la consiguiente fisuración. En el caso de un pavimento sobre un puente, este fenómeno puede verse acelerado debido a las deformaciones y vibraciones del propio puente. Un ejemplo particularmente importante de deterioro por fatiga es el que se produce en el caso de los tableros metálicos de chapa ortótropa, donde por esta causa aparecen en el pavimento fisuras longitudinales distanciadas unos 30 cm.
- **Deformaciones permanentes:** se producen en pavimentos de puentes formados por capas gruesas de materiales bituminosos, de manera análoga a lo que puede suceder en el pavimento situado en el resto de la carretera, con el agravamiento del efecto yunque del tablero.
- **Exudaciones:** cuando aparece una fisura en un pavimento situado sobre una impermeabilización con un material bituminoso poco estable, aquella se comporta como una chimenea permitiendo que el mástico de la impermeabilización ascienda incluso hasta la superficie del pavimento. Como consecuencia, se pone en peligro la seguridad de los usuarios y se debilita la impermeabilización.
- **Peladuras:** debido a la porosidad o a los defectos del pavimento, el agua puede penetrar y quedar retenida por la capa de impermeabilización o por el propio tablero, con lo cual se favorece la desintegración de dicho pavimento.

7.2 Deterioros en pavimentos de hormigón

- **Descascarillado:** se produce fundamentalmente por la acción de los ciclos de hielo-deshielo. Puede alcanzar



Figura 6. Fisuración a los 2 años de la mezcla porosa sobre el puente.

hormigón. Las ampollas traen como consecuencia la aparición de fisuras y grietas circulares en el pavimento. En primer lugar, se suelen producir al colocar una capa de impermeabilización caliente sobre un tablero que conserva un cierto grado de humedad. Por otra parte, también pueden aparecer ampollas si se tarda mucho tiempo en cubrir la impermeabilización con una capa de protección o con el propio pavimento, y aquella recibe una fuerte radiación solar. También es posible que surja este fenómeno durante la fase de servicio

va en el caso de que el tablero tenga unas fuertes pendientes longitudinales o transversales, provoca en el pavimento fisuras, aberturas de las juntas de construcción, desprendimientos en los puntos altos y resaltes en los puntos bajos.

- **Degradaciones de origen térmico:** los diferentes coeficientes de dilatación de los materiales en contacto pueden producir problemas de compatibilidad de deformaciones, que se traduzcan en un despegue del pavimento respecto del tablero, en la abertura de las juntas de construcción de dicho pa-

cierta gravedad, provocando verdaderos desconchados que dejan ver las armaduras del hormigón. Se evita añadiendo al hormigón unos aireantes que proporcionen aire oculto.

- **Desgaste:** debido a la acción de los neumáticos, el hormigón puede ir perdiendo la textura original. Según señalan algunos autores, en zonas urbanas con grandes intensidades de tráfico se han llegado a producir roxeras de más de 1 mm de profundidad. Además de la profundidad inicial del estriado de la superficie, influye notablemente en este fenómeno la pulmentabilidad del árido fino. Por ello, es conveniente seguir la regla general de que, al menos, el 30% de los áridos sea de naturaleza sílicea.
- **Despegue:** en los pavimentos de hormigón adheridos al tablero se puede producir el fallo por el despegue del pavimento; sin embargo, no es usual, y, generalmente, el problema está asociado a una deficiente rugosidad del tablero o a unos inadecuados procedimientos constructivos.
- **Fisuración:** las principales causas de la fisuración de un pavimento de hormigón son la retracción del hormigón, la flexión por momentos negativos en las zonas de apoyo en puentes de vanos continuos, la reflexión de las grietas del tablero, así como las vibraciones y deflexiones provocadas por el tráfico.

8. Experiencia española

Hasta la fecha no existen en España normas ni recomendaciones oficiales estatales sobre pavimentación de puentes. Únicamente cabe citar las publicaciones referentes a obras de paso de carreteras, en las cuales se señala que el espesor del pavimento ha de ser constante y con un valor máximo de 7 cm; o aquellas otras



Figura 7. Pavimento de hormigón armado con fibras de acero en uno de los puentes del

en las que implícitamente se toma este valor de 7 cm como espesor mínimo y se dispone un bombeo del 2 %. Sin embargo, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento está preparando unas recomendaciones de proyecto y construcción de pavimentos de puentes.

El antiguo Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo del CEDEX publicó en 1970 unas recomendaciones sobre firmes en obras de fábrica y en 1982 el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales, también dependiente del CEDEX, publicó una monografía sobre impermeabilizaciones de tableros de puentes. En esencia, las referidas recomendaciones de 1970 distinguen entre soluciones con materiales bituminosos y pavimentos de hormigón.

8.1 Puentes con tablero de hormigón

Mayoritariamente, se emplean pavimentos bituminosos. En mucha menor medida, y siempre en puentes situados en carreteras con firmes rígidos, se ha optado por un pavimento de hormigón.

Dentro del primer tipo, se utilizan tanto soluciones en caliente como en frío. Así, se suelen emplear hormigones bituminosos con

granulometría cerrada y ligante convencional o modificado, microaglomerados en frío realizados con betún modificado y adición de fibras, microaglomerados en caliente con betún modificado y mezclas porosas. En numerosos casos, se emplea como pavimento sobre el puente la misma capa de rodadura que en el resto de la carretera.

Antes de proceder a la pavimentación se está recurriendo cada vez más a la impermeabilización del tablero del puente, para lo que se emplean, fundamentalmente, morteros bituminosos en frío. Los espesores totales (impermeabilización y pavimento bituminoso) varían entre 3 y 7 cm.

En cuanto a los pavimentos de hormigón sobre tableros de puentes, salvo en pequeñas obras de paso en las que se ha mantenido el mismo pavimento rígido del resto de la carretera, se han empleado dos tipos: pavimentos incorporados (o monolíticos) y adheridos. Son numerosos los ejemplos de pavimentos incorporados en los puentes de vigas de las autopistas Sevilla-Cádiz y Tarragona-Valencia-Alicante, en las que se ha utilizado como rodadura la losa de compresión con un cierto sobreespesor. Como pavimentos ad-



Eje del Culebro (Madrid)

heridos se han empleado hormigones armados con fibras de acero, por ejemplo, en Despeñaperros (1984), en el tramo Medinaceli-Arcos del Jalón de la autovía de Aragón (1990) y en el Eje del Culebro de Madrid (1993).

8.2 Puentes con tablero metálico

Generalmente, se trata de puentes con tablero de chapa ortótropa. Debido a la flexibilidad de este tipo de tablero, se han utilizado soluciones delgadas, de 2 a 3 cm de espesor total (incluida impermeabilización), cuyo comportamiento es muy flexible. Como impermeabilización se han empleado fundamentalmente soluciones con resina epoxi, especialmente brea-epoxi. Sobre la impermeabilización se puede extender una capa de protección formada por un mástico bituminoso modificado (en frío) o un mástico de resinas, y una o dos capas del tipo lechada bituminosa como capa de rodadura. También se ha empleado otra solución que consiste en extender sobre la impermeabilización un microaglomerado (generalmente en frío) con betún modificado y fibras.

9. Bibliografía

[1] American Association of State Highway and Transportation Officials (1983): *Standard Specifications for Highway Bridges*, modificada por las *Interim Specifications Bridges* de 1984 y 1985. AASHTO, Washington, D.C.

[2] Babaei, K. y Hawkins, N.M. (1987): *Evaluation of bridge deck protective strategies*. NCHRP Report 297. TRB, Washington, D.C.

[3] Centre de Recherches Routières (1987): *Code de bonne pratique pour la conception et la construction des revêtements des ponts à tablier en béton*. CRR, Bruxelles.

[4] Castro, M. (1996): *Desarrollo de una metodología para el dimensionamiento analítico de pavimentos flexibles sobre tableros de puentes de hormigón*. Tesis doctoral dirigida por Miguel Ángel del Val Melús, Departamento de Ingeniería Civil-Transportes, ETSICCP, Universidad Politécnica de Madrid.

[5] Castro, M. (1997): *Dimensionamiento analítico de pavimentos bituminosos sobre puentes de hormigón*. Revista de Obras Públicas nº 3367. Madrid.

[6] Fernández del Campo, J.A. (1970): *Recomendaciones para el proyecto y construcción de firmes sobre obras de fábrica*. Publ. 24 del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo, CEDEX, MOP, Madrid.

[7] Gordillo, J. (1992): *Mástico en frío para la impermeabilización de tableros de puentes*. III Congreso Internacional de la impermeabilización. Madrid.

[8] Josa, A. (1991): *Aplicaciones especiales. Pavimentos de adoquines, hormigones superplastificados, pavimentos armados con fibras*. Curso de pavimentos de hormigón. ETSICCP, Madrid.

[9] Kraemer, C. (1987): *Pavimentación de puentes*. Curso de pavimentos asfálticos. ETSICCP, Madrid.

[10] Manning, D. G. (1995):

Waterproofing membranes for concrete bridge decks. NCHRP Synthesis of Highway Practice 220. TRB, Washington, D.C.

[11] Ministère des Transports (1985): *Étanchéité des ponts-routes, support en béton de ciment*. Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG). Fascículo 67, título I. Journaux Officiels, Paris.

[12] Organisation de Coopération et de Développement Économiques (1972): *Étanchéité des tabliers de ponts en béton*. OCDE. Recherche Routière, Paris.

[13] Ortega, J.J. et al. (1982): *Impermeabilización de tableros de puentes*. CEDEX, MOPTMA, Madrid.

[14] Potti, J.J. (1993): *Pavimentación de puentes*. Revista Carreteras nº 68. Madrid.

[15] Potti, J.J. (1996): *La impermeabilización de tableros de puentes*. IV Curso sobre Impermeabilización en Ingeniería Civil. CEDEX, Madrid.

[16] Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (1990): *Surfaçage, étanchéité et couches de roulement des tabliers d'ouvrages d'art*. SETRA. Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports, Bagnaux.

[17] Transportation Research Board (1979): *Durability of concrete bridge decks*. NCHRP Synthesis of Highway Practice 57. TRB, Washington, D.C.

[18] Union Suisse des Professionnels de la Route (1988): *Étanchéités et revêtements de ponts SN 640 490b*. Union Suisse des Professionnels de la Route (VSS), Zürich.

[19] Union Suisse des Professionnels de la Route (1994): *Revêtements en béton SN 640 461a*. Union Suisse des Professionnels de la Route (VSS), Zürich.

[20] Visiers, M. (1994): *Autopista Eje del Culebro. Experiencias recientes en la Comunidad de Madrid*. IV Jornadas sobre Pavimentos de Hormigón. Asociación Técnica de Carreteras. Oviedo. ■