

El hormigón, una alternativa para la pavimentación de puentes



POR MARÍA CASTRO
DRA. INGENIERA DE
CAMINOS, UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA DE MADRID

Figura 1. Pavimento de hormigón adherido sobre una de las estructuras de la variante de Arganda.

1. Introducción

La práctica más generalizada es que los pavimentos sobre puentes se construyan con materiales asfálticos, incluso en el caso de que estén en carreteras con firme de pavimento de hormigón. Entre los motivos de ello se encuentran el desconocimiento que existe de la técnica y el recelo al comportamiento de dichos pavimentos.

Recientemente se han finalizado en el seno del Comité de Firmes Rígidos de la AIPCR dos trabajos con relación a los pavimentos de hormigón sobre

puentes. En el Comité español, el Grupo de Trabajo de Pavimentos de Hormigón sobre Puentes ha realizado una encuesta y ha recopilado la experiencia existente en un documento, centrándose especialmente en nuestro país. Por otra parte, el Grupo de Trabajo homónimo del Comité internacional ha efectuado una encuesta internacional y ha plasmado aspectos relevantes de la experiencia internacional en un informe.

En este artículo se resumen los contenidos más destacados de los documentos de los referidos Grupos de Trabajo, nacional e internacional, haciendo especial hin-

capié en la experiencia española. Se reflejan los aspectos más relevantes en cuanto a proyecto y construcción, así como los procedimientos constructivos propios que se han desarrollado en algunos casos. Así mismo, se analiza el comportamiento de los pavimentos de hormigón sobre puentes centrándose principalmente en el caso español.

2. Tipos de pavimentos

Los pavimentos de hormigón sobre puentes se pueden agrupar en tres grandes tipos: incorpora-

do, adherido e independiente (figura 2).

El pavimento **incorporado** consiste en dotar al hormigón del tablero de unas condiciones de durabilidad y de acabado que permitan la rodadura del vehículo directamente sobre él con seguridad y comodidad. Ello exige un hormigón resistente, con arena silicea, aire ocluido y una textura superficial adecuada. Este tipo de pavimento, también denominado monolítico, se ha empleado ampliamente en los Estados Unidos.

En el pavimento **adherido**, como la propia denominación indica, se coloca sobre la losa del tablero una capa de hormigón que constituye el pavimento, cuidando de que la adherencia entre tablero y pavimento sea lo más perfecta posible, para que el conjunto funcione estructuralmente como un solo elemento compuesto por dos materiales distintos.

El hormigón del pavimento se puede extender sobre el tablero del puente cuando el hormigón de éste está aún fresco o cuando ya ha fraguado. En Europa sólo se utiliza la segunda de estas soluciones, mientras que en los Estados Unidos también se ha empleado la primera. Para conseguir la máxima adherencia entre los dos hormigones, 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, para mejorar la adherencia entre tablero y pavimento, se dejan embebidas en el hormigón del tablero unas armaduras de espasa para anclar posteriormente una malla metálica de reparto que va en el pavimento.

En los pavimentos adheridos de algunos países (fundamentalmente, Estados Unidos) se suelen utilizar hormigones que, junto a

unas buenas características de durabilidad y de calidad de la rodadura, protejan eficazmente de la corrosión a las armaduras del tablero. Para ello, se emplean 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.

El pavimento **independiente** consiste en colocar sobre el puente el mismo tipo de pavimento de hormigón que en el resto de la carretera, aunque en ocasiones con un espesor ligeramente inferior (no suele ser mayor de 20 cm). También se le denomina flotante. Entre el tablero y el pavimento se coloca en ocasiones una capa impermeabilizante, una lámina aislante (policétileno) o ambas cosas.

Debido a la elevada carga muerta que supone el pavimento independiente sobre el puente, esta solución generalmente sólo se emplea en el caso de obras de paso y puentes de pequeña luz,

manifiesto en una encuesta llevada a cabo por el Comité español de Firmes Rígidos. Se trata siempre de puentes situados en carreteras con pavimento de hormigón.

Salvo en pequeñas obras de paso, en las que se ha mantenido el mismo pavimento rígido del resto de la carretera, se han empleado los tipos incorporado y adherido [5] [4].

3.1. Pavimentos incorporados

Las primeras realizaciones españolas se efectuaron en los años setenta. Se trata de pavimentos incorporados sobre puentes de vigas de las autopistas Sevilla-Cádiz y Tarragona-Valencia-Alicante. Se encuentran sobre más de 130 puentes isostáticos, de uno o varios vanos, con luces de 17 a 21 m.

Destaca el puente sobre el río Ebro en Tortosa. Consta de múltiples vanos, la mayor parte de los cuales tienen un pavimento de hormigón (longitud total del pavimento de hormigón, 600 m). El tablero del puente está formado por vigas prefabricadas y

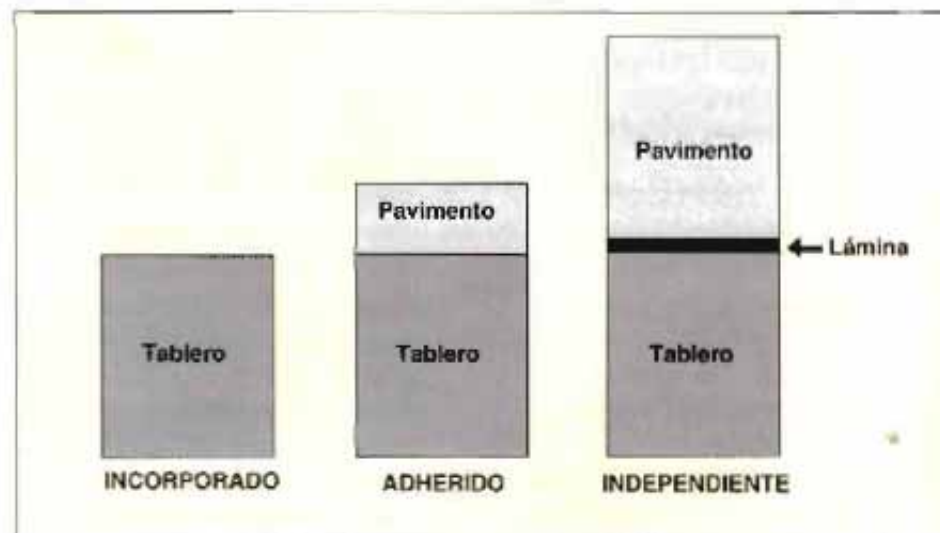


Figura 2. Tipos de pavimentos de hormigón sobre puentes.

3. Experiencia española

Aunque en nuestro país mayoritariamente se emplean pavimentos bituminosos, existen más de 160 puentes con pavimento de hormigón, como se ha puesto de

una losa de compresión hormigonada *in situ*. El espesor de esta losa de compresión es 5 cm mayor del que le hubiera correspondido si se hubiese proyectado colocar un pavimento asfáltico sobre ella.

En la autopista Sevilla-Cádiz, se utilizó como hormigón de la

losa del puente el mismo que en el pavimento del resto de la autopista. Además, en los pavimentos sobre puentes, se empleó la misma extendidora de encofrados deslizantes utilizada en la construcción del pavimento del resto de la autopista. La extendidora pasaba por encima de las vigas del tablero de manera que, gracias a la forma y disposición de éstas, no fue necesario colocar encofrados entre dichas vigas.

La experiencia acumulada en la construcción de los pavimentos sobre los puentes de la autopista Sevilla-Cádiz, se aplicó en la ejecución de los de la autopista Tarragona-Valencia-Alicante. Así, debido a la lentitud de marcha de la extendidora de encofrados deslizantes empleada en aquella, se decidió sustituirla en los puentes de ésta por una extendidora de rodillo, específica para las estructuras, procedimiento que se confirmó más operativo. En este último caso, la forma de las vigas del tablero obligó a encofrar entre ellas.

En los pavimentos de los puentes de la autopista Tarragona-Valencia-Alicante, se utilizó el mismo líquido de curado y los mismos áridos que en el pavimento del resto de la autopista. La textura es longitudinal y se conseguía mediante cepillo. No se cortaron juntas en el pavimento (figura 3). Sin embargo, entre vanos se colocaron juntas de dilatación (con labios de mortero de resina y selladas con neopreno).

3.2. Pavimentos adheridos

Desde 1982 hasta la actualidad, se han construido más de treinta pavimentos adheridos sobre puentes. Se encuentran en autopistas: Vía Favencia en Barcelona (1982), Despeñaperros (1984), tramo Medinaceli-Arcos del Jalón de la autovía de Aragón (1990), Eje del Culebro de Madrid (1993) y variante de Arganda en la autovía de Levante (1993).

En todos los casos se han empleado hormigones armados con fibras de acero cuyos espesores



Figura 3. Pavimento incorporado (autopista Tarragona-Valencia-Alicante).

varían entre 5 y 7 cm. Se trata de puentes de varios vanos con tipologías de vigas o losa [4].

El hormigón lleva un 1% de superfluificante, y su contenido en fibras varía entre 30 y 50 kg/m³. La consistencia medida por el asiento en el cono de Abrams suele estar en torno a 10 cm.

Para favorecer la adherencia entre el tablero y el pavimento de hormigón con fibras, se construye éste después de eliminar el polvo existente y colocar una capa de lechada de cemento o de resina. Con dicha finalidad, además, en el caso del viaducto de Valladolid, previamente a la ejecución de la capa del pavimento, se dejaron unos conectores anclados en la losa de compresión del tablero (figura 4). Estos conectores de acero, de 6 mm de diámetro, sobresalían 4 cm de la losa del tablero [1].

Así mismo, en Valladolid, la prueba de carga del puente se realizó antes de construir el pavimento. De esta forma, la interfaz entre pavimento y tablero no llegó a sufrir las elevadas tensiones (muy superiores a las máximas que soportaría a lo largo de la vida de servicio), consecuencia de la prueba de carga, y que podrían oca-

sionar o, al menos favorecer, el despegue del pavimento.

Salvo en el caso de Despeñaperros, los arcenes se han construido con el mismo hormigón de fibras como continuación del pavimento de la calzada.

En los puentes del paso de Despeñaperros, además de construir los arcenes con aglomerado asfáltico, las juntas del pavimento se cortaron en ángulo, lo que dio lugar a unos ángulos en la confluencia del arcén que llegaron a ser críticos, máxime si se tiene en cuenta que están situados en la zona por donde transita el tráfico pesado. Por otra parte, se presentaron algunos problemas durante la extensión de la lechada de cemento, que debía garantizar la adherencia entre el pavimento y el tablero. Esto se pudo ver favorecido también por la realización de la prueba de carga del puente sobre el pavimento ya construido.

La limpieza del tablero se ha llevado a cabo usualmente mediante chorro de agua y posteriormente de aire.

Se han utilizado tanto las texturas longitudinales como las transversales. En algún caso, se han serrado y sellado las juntas

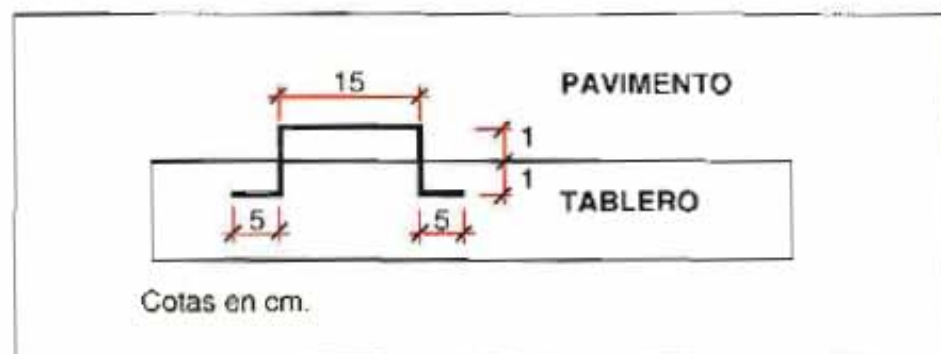


Figura 4 Viaducto de Valladores. Detalle de los conectores situados entre tablero y pavimento.

transversales. Como líquido de curado se ha aplicado generalmente el mismo del resto de la carretera.

3.3. Pavimento independiente

En pequeñas obras de paso, situadas en tramos de carretera con firme de hormigón, se ha empleado como pavimento el mismo que en el resto de la carretera. No se ha colocado ninguna capa o lámina aislante entre el tablero y el pavimento. Realizaciones de este tipo se encuentran en el tramo de la autovía de Aragón, comprendido entre el p.k. 154 y el 169,5.

4. Experiencia internacional

Como se ha puesto de manifiesto en la encuesta internacional llevada a cabo por el Grupo de Trabajo del Comité internacional de Firmes Rígidos, existe una experiencia internacional en la pavimentación con hormigón de puentes que se podría calificar, al menos, de significativa, tanto por el número de países donde se emplea (16), como por el porcentaje que representan los pavimentos de hormigón frente a los asfálticos (del 10 al 62%) o el número de puentes pavimentados con hormigón (más de 290 000) [12].

Se resume a continuación la experiencia de tres países: Estados Unidos, por su importancia en cuanto a número de puentes pavimentados con hormigón y las

singularidades de las técnicas utilizadas: Bélgica, por emplear sobre el puente el mismo pavimento de hormigón armado continuo del resto de la carretera; y Suiza, fundamentalmente por las particularidades de sus pavimentos adheridos.

4.1. Estados Unidos

Según la encuesta realizada, se estima que los pavimentos de hormigón sobre puentes en Estados Unidos podrían ser del orden de 290 000, lo que representa aproximadamente el 62% del total de dicho país y más del 90% del mundial. Hay que destacar que en este caso, a diferencia de otros países, los pavimentos de hormigón sobre puentes se encuentran incluso en carreteras cuyo firme no es rígido [12].

En la práctica, las soluciones adoptadas son muy variadas y dependen fundamentalmente del clima de cada Estado y del uso de fundentes. Básicamente, se utilizan pavimentos de hormigón de los tipos incorporado y adherido.

Por otra parte, independientemente de la opción de pavimentación elegida, es necesario destacar el frecuente empleo de técnicas de protección de las armaduras del hormigón armado, entre las que sobresale el recubrimiento con epoxi.

Así, lo más habitual es que las armaduras superiores del tablero, tanto longitudinales como transversales, estén protegidas por una

fina capa de polvo de epoxi. Sólo en un reducido número de casos se recubre también la armadura inferior.

La protección catódica de las armaduras se utiliza por el momento sólo con fines experimentales. La galvanización de las armaduras, aunque se empleó hace años, hoy en día no se utiliza debido a los malos resultados obtenidos [3] [8].

4.1.1 Pavimento incorporado

Como ya se ha mencionado, consiste en proporcionar al hormigón del tablero del puente unas características que posibiliten la rodadura de vehículos directamente sobre él.

Aunque ha sido una alternativa muy utilizada en el pasado, en la actualidad sólo la emplean los Estados del Sur, donde debido al clima no se suelen aplicar fundentes [3].

En principio, el recubrimiento de hormigón de las armaduras superiores del tablero era casi de 4 cm, evolucionando en la actualidad hasta los 5 cm. A veces, se ha intentado mejorar la protección de las armaduras aumentando el recubrimiento de las superiores hasta casi 9 cm. Sin embargo, como ya se ha comentado, la técnica más utilizada de protección de armaduras es, sin lugar a dudas, el tratamiento con epoxi de las superiores.

4.1.2 Pavimento adherido

Es la segunda técnica más empleada en los Estados Unidos cuando se desea proteger al tablero de los ciclos de hielo-deshielo y de las sales fundentes. Sobre el tablero se coloca un pavimento formado por una capa de un hormigón especial, que suele ser denso de consistencia seca o modificado con látex [4].

Por otra parte, hay que reseñar el empleo como pavimentos adheridos en pequeño número de casos, fundamentalmente con carácter experimental, de hormigones con adiciones de perlas de ce-

ra y hormigones densos superplastificados [3].

También se han realizado algunos pavimentos de puentes mediante hormigones reforzados con fibras metálicas, que aumentan la resistencia a fatiga del hormigón, pero no aumentan su durabilidad ni su resistencia a la penetración de los cloruros. Debido a estas razones y a su alto precio (en comparación con las otras soluciones), ha sido una técnica poco utilizada [8].

4.2. Bélgica

Más del 10% de los puentes se han pavimentado con hormigón armado continuo. En esencia, la técnica consiste en pasar por encima de los puentes el mismo pavimento de hormigón armado continuo del resto de la carretera.

Según las recomendaciones editadas por el CRR [6], la cuantía de la armadura del hormigón del pavimento se debe doblar al pasar sobre los estribos (al menos desde 6 m a ambos lados). Se coloca en dos capas de manera que trabaje como armadura a flexión. Así mismo, donde se prevean asientos importantes se recomienda reforzar dicha armadura de flexión.

Entre el tablero y el pavimento de hormigón armado continuo se coloca una capa, generalmente constituida por dos láminas plásticas, cuya misión es disminuir los esfuerzos horizontales que provoca el pavimento sobre el tablero. Se trata, por tanto, de un pavimento independiente del tablero.

El tablero del puente se suele impermeabilizar; posteriormente se colocan las dos láminas plásticas y encima de éstas el pavimento. Si, de acuerdo con las recomendaciones del CRR, en el resto de la carretera se ha situado un geotextil bajo el pavimento de hormigón, no se interrumpirá su colocación al llegar al puente. Dicho geotextil irá encima de las láminas plásticas.

Según la referida encuesta [12], el hormigón armado continuo separado del tablero por una capa de deslizamiento ha sido la téc-



Figura 5. Pavimentación de uno de los tableros del viaducto de Valladolid [1].

nica más utilizada. Sólo en raras ocasiones, en estructuras proyectadas para resistir los mencionados esfuerzos horizontales, se ha prescindido de la capa de deslizamiento. Se trata, generalmente, de marcos que, debido a ello, se han construido con un 10 % más de hormigón [7].

Por otra parte, si, en una carretera con firme de hormigón armado continuo, se colocan pavimentos bituminosos sobre los puentes, se adoptan en las inmediaciones de los estribos unas disposiciones constructivas especiales, como la reflejada en la figura 6. Se pretende con ello evitar que los estribos del puente sufran empujes debidos a las dilataciones del hormigón del pavimento de la carretera.

4.3. Suiza

La actual norma suiza de pavimentos de hormigón sobre puentes [10] sólo contempla la construcción de pavimentos adheridos. La técnica consiste en extender sobre el tablero de hormigón una capa de 10 cm de espesor de hormigón resistente a la helada y los fundentes químicos (con 325-350 kg/m³ de cemento) reforzado mediante una armadura de reparto.

Para facilitar la adherencia entre el tablero y el pavimento, además de exigir que la terminación del tablero sea rugosa, se dejan parcialmente embebidas en el tablero unas barras de acero en espera (conectores), que servirán de anclaje de la armadura de reparto (figura 8).

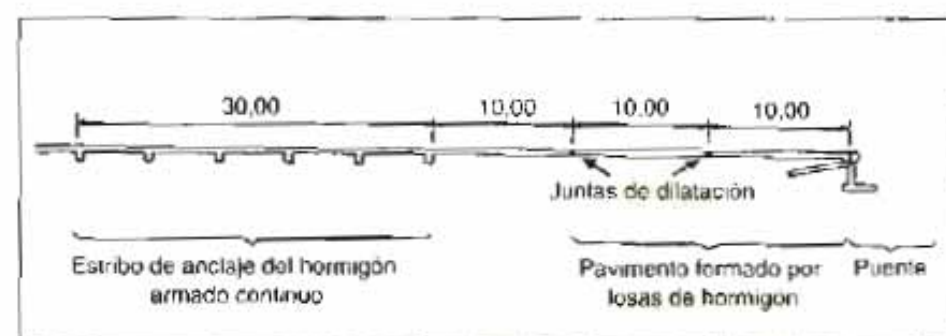


Figura 6. Disposición constructiva belga empleada con pavimento de hormigón armado continuo. Cotas en metros.



Figura 7 Pavimento de hormigón en Suiza (San Gotardo-Fontana)

Además de los pavimentos de hormigón adheridos, la anterior normativa redactada por la Asociación de Normalización también contemplaba la posibilidad de construcción de pavimentos de hormigón incorporados e independientes; pero en la vigente edición se han suprimido.

Según la mencionada encuesta del Comité de Firmes Rígidos, los pavimentos de hormigón adheridos son los más empleados en Suiza, estimándose en 100 los puentes pavimentados con esta solución; mientras que los pavimentos independientes se han utilizado en menos de 50 ocasiones [12].

5. Comportamiento

La mayor parte de los estudios del comportamiento de los pavimentos de hormigón sobre puentes están referidos al caso norteamericano. En general, el comportamiento de los pavimentos norteamericanos constituidos por hormigón denso de consistencia seca ha sido satisfactorio, aunque se han registrado despegues localizados del pavimento, que se han achacado a una inadecuada preparación de la superficie del tablero o a un prematuro secado de la lechada de unión. Se puede producir fisuración, sobre todo si el pavimento se encuentra sobre estructuras continuas. Los principales deterioros que han aparecido en los pavimentos de hormigón modificado con látex de los Estados Unidos han sido:

descascarillado, desgaste, despegue y fisuración [3].

Por otra parte, dentro del Grupo de Trabajo del Comité español de Firmes Rígidos, se ha analizado el comportamiento de los pavimentos de hormigón sobre

los puentes españoles mediante una encuesta efectuada entre las entidades responsables de la conservación y una inspección visual.

En nuestro país, aunque en algunas secciones se constatan problemas de falta de regularidad superficial y fisuraciones, así como en raras ocasiones despegues y descascarillados, el comportamiento de los pavimentos de hormigón sobre puentes se puede calificar, en general, de satisfactorio.

La experiencia obtenida en los pavimentos adheridos sobre los puentes del paso de Despeñaperros aconseja que los arcones sean también de hormigón; extremar el celo, tanto en la idoneidad del material empleado para adherir tablero y pavimento, como en las disposiciones constructivas, de forma que se garantice la máxima adherencia entre tablero y pavimento, así como que la prueba de carga del puente se lleve a cabo antes de la construcción del pavimento.

Según la encuesta realizada en España, la causa del comparativo

menor empleo de los pavimentos de hormigón sobre puentes frente a los asfálticos parece ser la falta de experiencia en proyecto y construcción.

Así mismo, en dicha encuesta se han puesto de manifiesto, como principales argumentos que hacen de los pavimentos de hormigón sobre puentes una alternativa que tener en cuenta, su mayor durabilidad y menor coste de conservación frente a los asfálticos, junto con la uniformidad y continuidad en la ejecución que representan si el pavimento del resto de la carretera también es de hormigón.

6. Conclusiones

Aunque la práctica más habitual es que los pavimentos sobre puentes se construyan con materiales asfálticos, existe una vasta experiencia internacional en pavimentos de hormigón sobre puentes, que se concentra principalmente en los Estados Unidos y Europa.

El comportamiento de los pavimentos de hormigón sobre puentes se puede calificar, en general, como satisfactorio. Especialmente en el caso español, como se ha puesto de manifiesto mediante una encuesta efectuada entre las entidades responsables de la conservación y una inspección visual. Por ello, resulta poco justificado el recelo existente ante el comportamiento de estos pavimentos.

El comparativo menor empleo de los pavimentos de hormigón sobre puentes frente a los asfálticos parece estar muy ligado a la falta de experiencia en proyecto y construcción, como lo confirma una encuesta realizada recientemente en España en los ámbitos de la Administración, las empresas constructoras y consultoras.

Los principales argumentos que hacen de los pavimentos de hormigón sobre puentes una al-

El comportamiento de los pavimentos de hormigón sobre puentes se puede calificar, en general, como satisfactorio, especialmente en el caso español

alternativa que hay que tener en cuenta son: su mayor durabilidad y menor coste de conservación frente a los asfálticos, así como la uniformidad y continuidad en la ejecución que representan si el pavimento del resto de la carretera también es de hormigón.

7. Referencias bibliográficas

- [1] Alberola, R. (1997). *Pa-
alimentación de hormigón re-
forzado con fibras sobre estruc-
turas en la N-II*. Informe de la De-
marcación de Carreteras del
Estado en Madrid. Ministerio de
Fomento.

- [2] 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.

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

- [4] Castro, M. (1999). *Pavimentos de hormigón sobre puentes*. Informe del Grupo de Trabajo de Pavimentos de Hormigón sobre Puentes (Comité español de Firms Rígidos, AIPCR).

- [5] **Castro, M.** (1998): Spanish experience in concrete pavements on bridges, 8th International Symposium on Concrete Roads, Lisboa.

- [6] 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.

- [7] Fuchs, F. y Dumont, R. (1994): *The design and performance of continuously reinforced concrete pavements*, Publicado en "Continuous and Integral Bridges" editado por Pritchard, B. P., E & FN Spon, Londres.

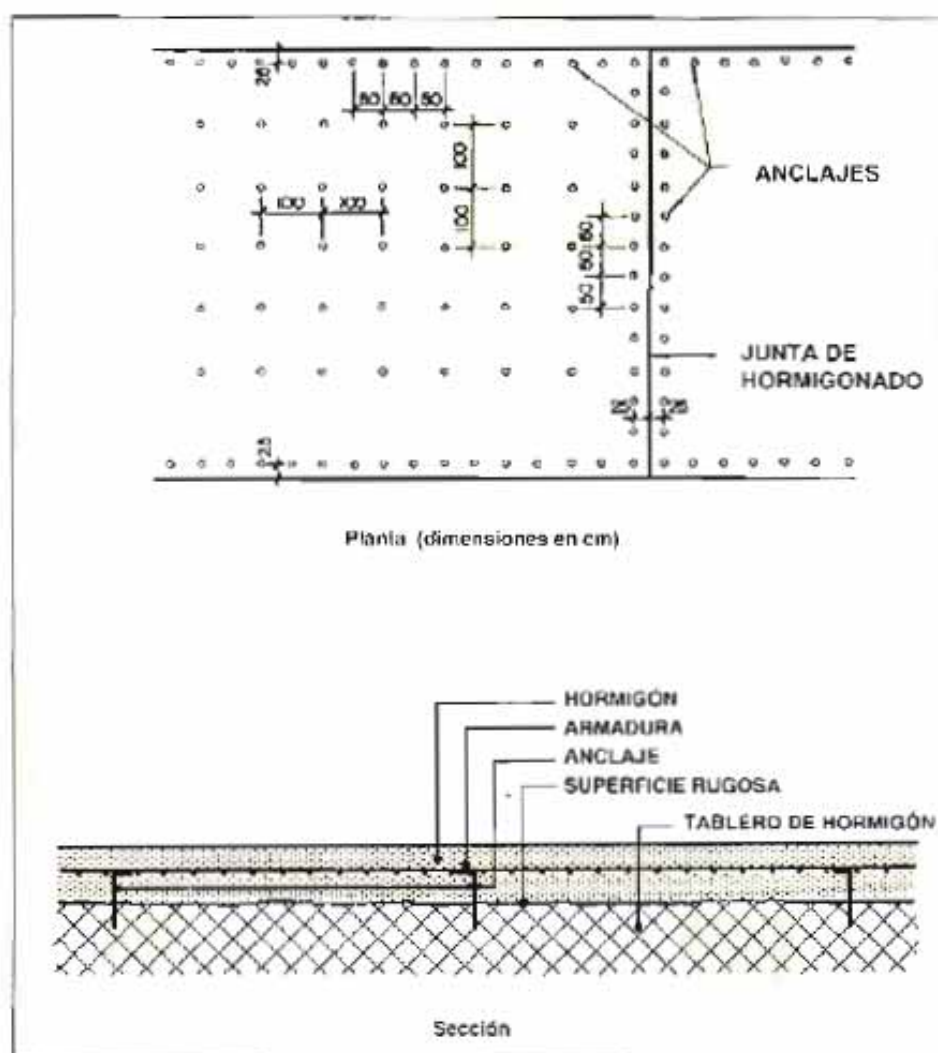


Figura 8. Pavimento adherido según la norma suiza SN-640461 a

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

- [9] **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.

- [10] Union Suisse des Professionnels de la Route (1994): *Reuêtements en béton*. SN 640 461a. Union Suisse des Professionnels de la Route (VSS). Zürich.

- [11] Villaamil, R. (1993): *Utilización de un hormigón con fibras como capa de rodadura en los tableros de las estructuras de la autovía de El Culebro*. Informe de Dragados y Construcciones.

- [12] Wilk, W. (1998): *Concrete pavements on bridges*. Technical Report, AIPCR C7/SC8.

8. Agradecimientos

La autora desea expresar su agradecimiento al resto de los miembros del Grupo de Trabajo de Pavimentos de Hormigón sobre Puentes:

Roberto Alberola
Félix Aparici
Björnulf B. Benatov
Jesús Díaz Minguela
Ignacio García-Arango
José Ramón Graciani
José Manuel López Saiz
Ramón Villamil

Así como a todos aquellos que han colaborado respondiendo a la encuesta enviada. ■