



Experiencias recientes con pavimentos de hormigón armado continuo. Parte 2

Carlos Jofré, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA).

9. La rehabilitación de la circunvalación de Amberes

9.1. Introducción

La circunvalación de Amberes es una de las autopistas urbanas de mayor tráfico en Europa. Seis autopistas radiales conectan con ella, y en sus tramos más cargados la IMD alcanza un valor próximo a 200 000 vehículos, con un porcentaje de vehículos pesados del 25%.

El firme existente, con 22 cm de mezclas bituminosas sobre 25 cm de base tratada con cemento (en algunas zonas, granular) y una subbase de arena, necesitaba ser rehabilitado. Tras estudiar distintas

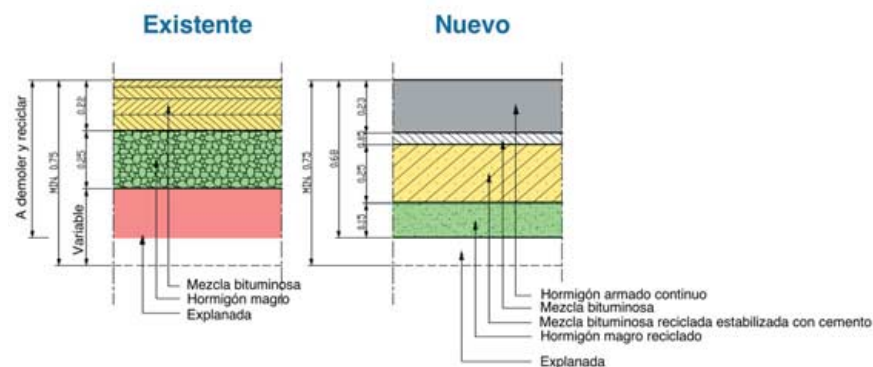


Figura 22. Circunvalación de Amberes: firme existente y nuevo.

alternativas, se eligió una solución con HAC, dado que era la que proporcionaba unos menores costes a largo plazo.

9.2. Proyecto

9.2.1 Introducción

Para construir el nuevo firme, el existente se demolió hasta la subba-

se de arena y sobre ésta se extendió (figura 22):

- Una subbase inferior de 15 cm, en la que se utilizaron áridos reciclados procedentes del machaqueo de la subbase tratada con cemento del antiguo firme.

- Una subbase superior de hormigón pobre de 25 cm, con áridos obtenidos del machaqueo de las mez-

clas bituminosas (a los que añadió de un 15 a un 20% de arena).

■ Una capa intermedia de mezcla bituminosa de 5 cm.

■ Un pavimento de HAC de 23 cm.

En el proyecto del pavimento de HAC se tuvieron en cuenta varios factores:

1. La circunvalación está rodeada a ambos lados de zonas densamente pobladas. Aunque en la mayoría de sus tramos discurre por un desmonte relativamente profundo, se decidió, sin embargo, adoptar medidas para reducir el ruido del tráfico; y, entre ellas, dar al pavimento una textura de árido visto, obtenida por denuddado del hormigón.

2. En la medida de lo posible, se evitó tener que disponer juntas longitudinales entre pavimentos de hormigón y de mezcla bituminosa.

3. A pesar del número variable de carriles (entre 4 y 7, según las zonas), se decidió emplear HAC en todo el ancho de la calzada, es decir, desde la mediana e incluyendo también los carriles de aceleración y deceleración y los arcenes (*figura 23*). Ello permitirá convertir en el futuro el arcén en un carril adicional, o utilizarlo como carril provisional en caso de accidente o de obras.

4. En algunos tramos aislados, donde no fue posible disponer un arcén de hormigón, se dotó al pavimento de un sobrecancho de 70 cm para reducir los efectos de las cargas de borde.

La armadura longitudinal consiste en barras corrugadas de acero 500 S de 20 mm de diámetro dispuestas con separaciones de 18 cm entre ejes, mientras que la transversal está formada por barras de Ø 12 mm separadas 0,70 m y formando un ángulo de 60° con las longitudinales (*figura 24*).

A lo largo de las juntas longitudinales de construcción se han dispuesto barras de cosido de Ø 16 mm separadas de 0,80 a 0,85 m.

9.2.2 Carriles de ancho variable

Los extremos de los carriles de aceleración y deceleración tienen en

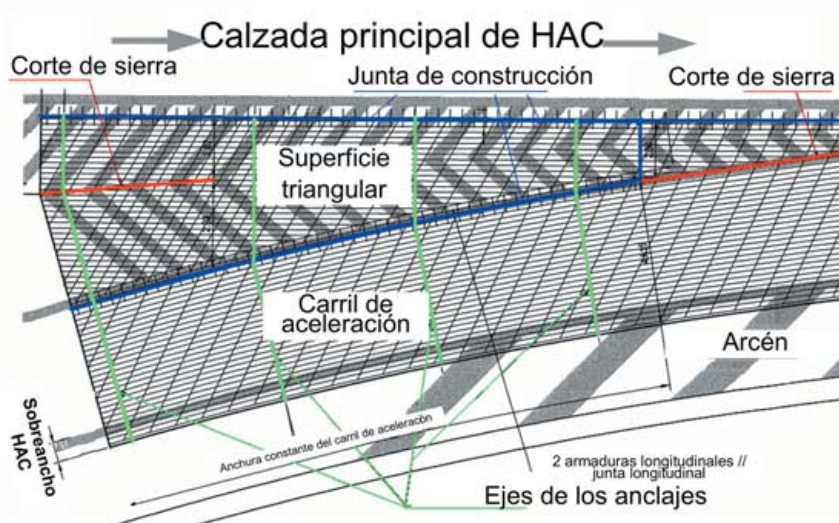


Figura 23. Circunvalación de Amberes: carril de aceleración.



Figura 24. Circunvalación de Amberes: armaduras.

general una anchura variable. Como ya se ha mencionado, se decidió construir dichos carriles con HAC en las zonas adyacentes a la calzada principal, para evitar tener que disponer juntas longitudinales entre HAC y mezcla bituminosa en las zonas sometidas al paso de vehículos.

En consecuencia, el pavimento de HAC tiene un ancho variable en las uniones con dichos carriles.

En el caso de transiciones cortas, para acomodar pequeñas variaciones de anchura, el PCHA se construyó con un ancho constante, delimitando con marcas viales la zona de circunvalación de ancho variable.

En transiciones de mayor longitud, para variaciones más importantes de ancho, el PCHA se proyectó también con un ancho variable. En la *figura 23* puede verse la planta de las armaduras en este caso. Las barras longitudinales de la nariz se colocaron paralelas a las de la calzada principal. Cuando el ancho que se hormigonaba era superior a 5 m se dispuso una junta longitudinal serrada, la cual se interrumpía cuando la anchura disminuía a 5 m. En el extremo de dicha junta se doblaba el número de armaduras transversales, es decir, se disponían con una separación de 0,35 m en vez de la ha-

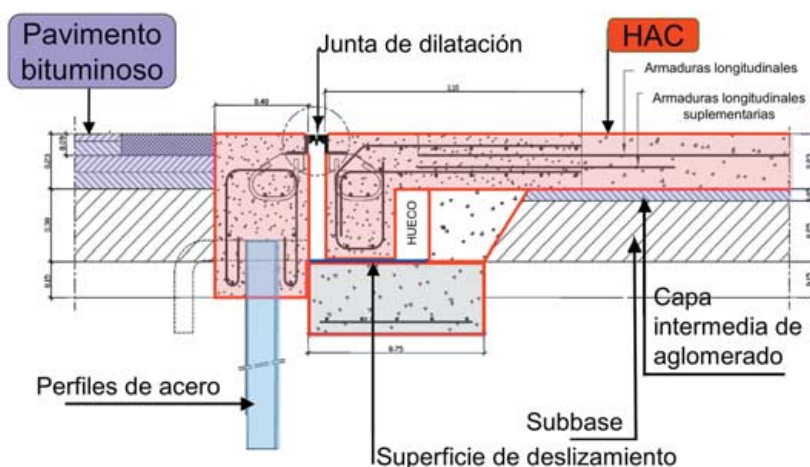


Figura 25 a y b: Circunvalación de Amberes: anclaje con junta de dilatación.

admiten ambas posibilidades, mientras que en Bélgica la solución incluida en las prescripciones es la de los estribos de anclaje. No obstante, una comparación de costes realizada en la circunvalación de Amberes indicó que en esta obra, la alternativa con junta de dilatación tenía un coste menor. Por ello fue la solución elegida (figura 25) para la calzada principal (4 carriles más el arcén). Por el contrario, dado que los carriles auxiliares debían permanecer unidos a dicha calzada, en los extremos de aquéllos se dispusieron estribos de anclaje (figura 26, en la página siguiente), dimensionados para permitir un movimiento máximo de 4 mm frente a los 8 cm de la junta de dilatación.

9.3. Ejecución de las obras

9.3.1 Introducción

La importancia internacional de la autopista y el elevado volumen del tráfico hacían necesario disminuir el plazo de ejecución al mínimo posible. Se emplearon un total de 140 días naturales (de junio a comienzos de noviembre de 2004) en la calzada más alejada del centro de la ciudad (calzada exterior) y de 150 días (de abril a

septiembre de 2005) en la más próxima (calzada interior). En la calzada exterior se trabajaban 16 horas diarias durante 7 días a la semana, mientras que en la interior se realizó sin interrupción durante 24 horas al día. En ambos casos se trató de aprovechar la reducción del tráfico que se produce durante los meses de verano.

No solamente hubo que rehabilitar las calzadas, sino también 170 km de cunetas y tuberías de drenaje, 9 galerías de servicios bajo la autopista y muchos puentes. Ello requirió una gran

bitual de 0,7 m. Asimismo, para disminuir el riesgo de abertura de la junta longitudinal de construcción entre la nariz y el carril de entrada, se disponían en ella barras de cosido adicionales (con una separación de 0,4 m en vez de la habitual de 0,8 m).

9.2.3 Anclajes de los extremos del pavimento

En los extremos de los PCHA, al encontrarse bien con una obra de paso bien con otro tipo de firmes, pueden producirse movimientos como consecuencia de los cambios di-

mensionales debidos a las variaciones de temperatura. Para absorberlos puede recurrirse a dos enfoques distintos:

■ bien contrarrestándolos mediante una serie de estribos anclados al terreno, cuyo número y dimensiones se calculan de forma que no se transmitan a este último unas presiones excesivas;

■ bien disponiendo juntas que puedan acomodarse a dichos movimientos, de forma similar a las juntas de tableros de puente.

Varios Estados norteamericanos

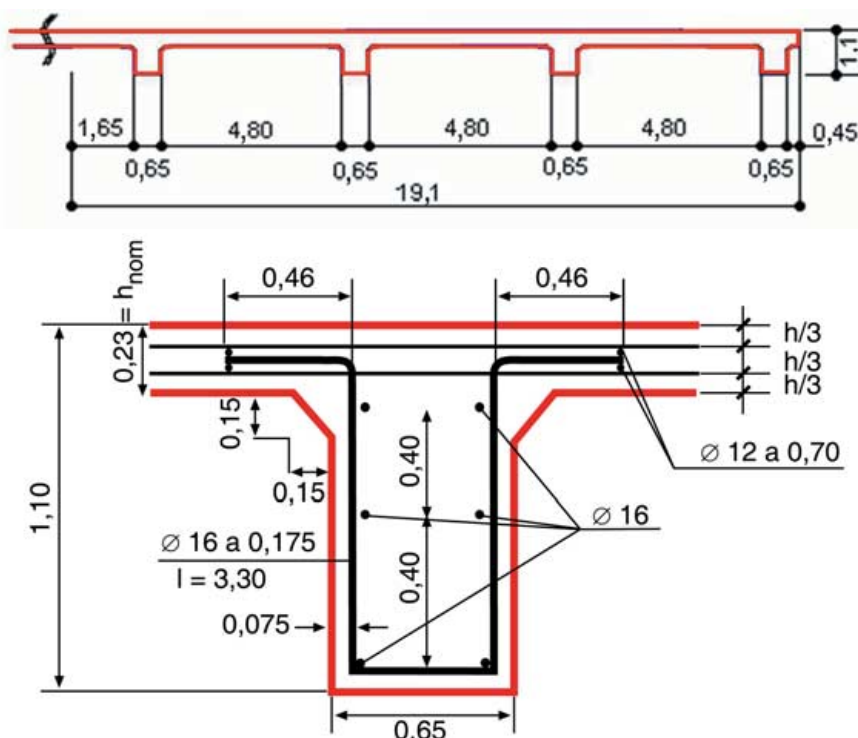


Figura 26 a, b y c: Circunvalación de Ambers: anclaje con rastrillos.

coordinación de las distintas obras.

Durante su ejecución se habilitó una vía de servicio en toda la longitud de la autopista. Para no sobrecargar excesivamente las vías próximas a esta última, se ubicaron dos centrales dentro de la zona ocupada por las obras, que se utilizaron para el machaqueo de los materiales de las calzadas existentes y para la fabricación del hormigón.

Para aislar visualmente una calzada de la otra, se dispuso una pantalla continua.

No fue posible ejecutar la calzada por anchura completa, debido no solamente al gran número de carriles, sino también a la presencia de las armaduras.

En primer lugar, se construían dos carriles, o bien un carril más el arcén. A continuación, se ejecutaban los carriles de aceleración y deceleración. El ancho de hormigonado variaba en función del número de carriles, la presencia de un arcén de HAC o la necesidad de prever un sobreancho del carril exterior donde no había arcén, o donde éste era de mezcla bituminosa.

Como se ha mencionado, en la calzada hay muchos carriles de ace-

leración y deceleración. En sus extremos el PCHA tiene un ancho variable. Ello requirió no solamente una adecuada planificación del suministro y puesta en obra del hormigón, sino también disponer adecuadamente las juntas de construcción, con el aumento del número de armaduras y de barras de cosido en los emplazamientos mencionados.

9.3.2 Entradas y salidas

Un requisito ineludible era que todos los ramales de los enlaces permaneciesen siempre abiertos al tráfico, lo que hacía inevitable que se produjesen cruces a nivel de la calzada principal durante las obras. En consecuencia, el PCHA de esta última no pudo ejecutarse de forma ininterrumpida de un extremo a otro, si-

PRIMERA FASE DE CONSTRUCCIÓN

SECUENCIA DE COLOCACIÓN DEL HAC EN TODA LA LONGITUD



DESPLAZAMIENTO DEL TRÁFICO CRUZANDO LA AUTOPISTA SOBRE EL NUEVO PAVIMENTO



HORMIGONADO DE LAS INTERRUPCIONES



SEGUNDA FASE DE CONSTRUCCIÓN

CONSTRUCCIÓN DE LOS CARRILES 1, 2, 3



DESPLAZAMIENTO DEL TRÁFICO CRUZANDO LA AUTOPISTA AL NUEVO PAVIMENTO DE HAC Y CONSTRUCCIÓN DE 4, 5, 6



DESPLAZAMIENTO DEL TRÁFICO CRUZANDO LA AUTOPISTA AL NUEVO PAVIMENTO DE HAC Y CONSTRUCCIÓN DE 7, 8, 9



Figura 27. Circunvalación de Ambers: fases de hormigonado del pavimento.



Figura 28. Circunvalación de Amberes: ejecución del pavimento.

de temperatura importantes durante un periodo tan corto. Para proteger el hormigón fresco se dispuso sobre él una lámina de plástico antes de extender la arena. Ésta debía mantenerse húmeda y permanecer sobre el hormigón como mínimo hasta 1 día antes de la pavimentación del cruce correspondiente. La arena se retiraba adoptando las precauciones necesarias para no dañar el hormigón.

Una vez que se había iniciado el hormigonado de los cruces, era necesario en ocasiones eliminar la arena en una franja de anchura reducida y durante un corto periodo para permitir el paso de la pavimentadora y el suministro del hormigón. En estos casos, la superficie del hormigón se humedecía a intervalos regulares, con objeto de limitar en lo posible los cambios de temperatura.

9.3.3 Hormigonado del pavimento

Siguiendo prácticas habituales en Bélgica, el hormigón tenía las siguientes características:

- El árido grueso se dividió en tres tamaños: 4/7, 7/14 y 14/20 mm. La fracción 4/7 tenía que ser como mínimo un 20% del total de áridos incluyendo la arena. El porcentaje de arena se mantenía en el mínimo compatible con la trabajabilidad.

- La relación agua / cemento debía ser inferior a 0,45.

- El contenido mínimo de cemento era de 400 kg/m³.

Hay que mencionar que se utilizó un aireante para mejorar la trabajabilidad del hormigón.

La granulometría de los áridos se eligió de forma que, una vez eliminado el mortero de la superficie, la separación entre las gravillas al descubierto estuviera comprendida entre 5 y 10 mm, lo que resulta muy beneficioso a efectos de reducción de ruido.

Una vez construida la capa bituminosa intermedia y colocada la armadura se hormigonaba el pavimento mediante una extendidora de encofrados deslizantes con un ancho máximo de trabajo de 10 m (figura 28).

no que fue necesario dejar temporalmente unos tramos de unos 300 m sin construir, en cuyos extremos se disponían juntas de construcción, al igual que en los finales de jornada de trabajo.

En la calzada exterior el PCHA se ejecutó de forma que cada una de las franjas hormigonadas (p.ej. 1, 2 y 3 en la figura 27) se prolongase de un extremo a otro de dicha calzada, con la excepción de las zonas de cruce mencionadas, antes de ejecutar la siguiente franja (p.ej., 4, 5 y 6 en la figura 27). Una vez completada de esta forma la calzada en toda su anchura, el tráfico de las entradas y salidas se desviaba sobre el nuevo PCHA, y se pavimentaban las zonas donde se había interrumpido el hormigonado de la calzada.

El hormigonado de la calzada interior se realizó de forma diferente, para reducir al mínimo el número de juntas de construcción, que siempre constituyen puntos delicados potenciales. El PCHA se construyó en todo el ancho en los tramos entre dos cruces (p.ej. 1, 2 y 3 en la figura 27). A continuación, el tráfico cruzando a nivel se desviaba sobre el nuevo PCHA y la pavimentadora era desplazada al siguiente tramo, en el que se adoptaba la misma secuencia de hormigonado (p.ej., 4, 5 y 6 en la figura 27). Con este método solamente se necesitaba disponer una junta de construcción por cruce. Para disminuir igualmente el número de juntas transversales, el contratista eliminó las de

final de día, ejecutando la pavimentación de forma continua durante 24 horas al día. Ello se tradujo además en una mejor regularidad superficial.

En ambos casos, se precisó una adecuada planificación y coordinación de la puesta en obra de las armaduras y del hormigón. Por otra parte, el tráfico que atravesaba la calzada sólo podía interrumpirse brevemente fuera de las horas punta, para permitir el traslado de la pavimentadora encima de los cruces. El método de construcción de la calzada interior redujo igualmente el número de estos desplazamientos.

En dichos cruces se dejaba trascurrir como media un plazo de 7 días entre su hormigonado y el del resto de la calzada. Por ello, era necesario restringir los movimientos de los extremos de esta última hasta el hormigonado de los cruces, a fin de no perjudicar la adherencia entre el PCHA y la capa bituminosa intermedia. Dado que disponer estribos de anclaje hubiera resultado relativamente costoso, se recurrió a una solución provisional más económica, consistente en colocar en todo el ancho del PCHA una capa de arena húmeda de 0,5 m de espesor y 50 m de longitud en las zonas adyacentes a los cruces. Esta capa reducía los cambios de temperatura del hormigón, y, con ello, también los movimientos de los extremos. Se consideró que dicha longitud era suficiente, dado que no era previsible que se produjesen unas variaciones

La pavimentadora era capaz de ejecutar un pavimento de ancho variable. El hormigonado se llevaba a cabo avanzando desde la parte más estrecha hasta la más ancha, puesto que el hacerlo al revés hubiera podido provocar el amontonamiento del hormigón delante de la máquina.

Dado que la regularidad superficial del hormigón depende en gran medida de la de los caminos de rodadura de las orugas de la pavimentadora, se exigió a estos últimos una regularidad similar a la del PCHA, así como una capacidad de soporte suficiente.

Se emplearon camiones basculantes de caja abierta para transportar el hormigón desde la central hasta el punto de puesta en obra, los cuales se protegían con lonas cuando la temperatura ambiente era elevada.

Sobre el hormigón fresco se extendía un retardador de fraguado, el cual se protegía contra la desecación o la lluvia mediante una lámina de plástico (figura 29). Al día siguiente se procedía a un lavado y barrido del hormigón para eliminar la capa superficial de mortero sin fraguar (figura 30). A continuación, se serraba y biselaba la junta longitudinal y se sellaba. El hormigón se protegía contra la desecación extendiendo un producto de curado.

9.4. Conclusiones

Mediante la rehabilitación de la Circunvalación de Amberes se ha obtenido una experiencia muy importante en el hormigonado de pavimentos de anchura variable. Lo mismo puede decirse del proyecto y ejecución de un nuevo tipo de junta capaz de soportar los movimientos de los extremos del PCHA.

Un hecho beneficioso para las obras fue que pudieran dividirse en dos fases, ejecutadas en dos años diferentes, similares entre sí en cuanto a características técnicas y volumen de trabajo. Ello permitió, tanto a la Administración como al contratista, mejorar los métodos de ejecución y la calidad de las obras.

Por otra parte, tanto esta obra como la descrita anteriormente de la au-



Figura 29 a y b. Circunvalación de Amberes: extensión de lámina de plástico para protección del hormigón fresco y del retardador del fraguado.

topista Bruselas – Ostende han demostrado que es posible obtener un PHAC de gran calidad aun con tráficos muy congestionados, mediante una planificación adecuada de las obras y un seguimiento cuidadoso de ellas durante la ejecución.

10. Los túneles de Cointe, en Lieja (Bélgica)

10.1. Introducción

Situada en el corazón de Europa, la región belga de Valonia posee una red de autopistas muy densa. Por su

ubicación geográfica, la ciudad de Lieja constituye un nudo importante de la misma.

En junio de 2000 se puso en servicio una nueva conexión entre las autopistas E25 y E40 a fin de resolver varios importantes problemas de tráfico, tanto de paso como local. En efecto, permite unir las cinco autopistas que llegan al norte de la ciudad con la única que procede del sur. Asimismo, completa el último eslabón entre Ámsterdam y Milán, captando el intenso tráfico de paso que atravesaba Lieja. Por su situación próxima al centro de la ciudad, la con-



Figura 30. Circunvalación de Amberes: eliminación del mortero superficial.

xión E40-E25 mejora igualmente la distribución del tráfico en dirección hacia aquel, mediante diferentes enlaces.

Cada día circulan por esta vía más de 65 000 vehículos entre los dos sentidos, con una proporción de pesados del 10%.

Debido a los múltiples condicionantes técnicos, medioambientales y de seguridad, los 5 km de longitud aproximada de esta infraestructura constituyen una sucesión poco común de estructuras –tales como puentes, enlaces,...–, habiendo asimismo tres tramos en túnel: Cointe (1,6 km), Kinkempois (0,75 km) y Grosses Battes (0,4 km).

Después de los trágicos accidentes acontecidos en algunos túneles europeos, se ha tratado de aumentar al máximo la seguridad de los usuarios. Un estudio llevado a cabo por varias asociaciones de automovilistas, y en el que se analizaba la seguridad de 25 túneles europeos, clasificó en cabeza al túnel de Cointe, en igualdad con el túnel del Mont Blanc (después de su renovación).

El revestimiento interior de los túneles es un factor importante en su seguridad, porque es preciso evitar que agrave un incidente (incendio con elevación de temperatura). Si se aña-



Figura 31. Vista del túnel de Cointe (Lieja).

den, por otra parte, los aspectos de calidad y durabilidad, es evidente que un PHAC cumple con todos estos condicionantes, presentando además otras ventajas, como la de su claridad, que permite aprovechar más adecuadamente la iluminación.

Los túneles de Cointe constan de dos tubos (uno por sentido de circulación) con galerías de conexión regularmente espaciadas (cada 200 m), constituyendo ésta la mayor garantía de seguridad (menor riesgo de accidentes e intervención más fácil en caso de que se produzcan problemas). Existen igualmente en algunos lugares salidas de emergencia al aire libre.

Un sobreebanco de más de 1 m, previsto en el lado derecho en toda la longitud, sirve de miniarcén. De forma puntual, siete veces a lo largo del túnel se ensancha la sección transversal, a fin de obtener un arcén de 2,5 m de ancho y 50 m de longitud (figura 31).

Las aguas infiltradas se evacuan por medio de un dispositivo de estanqueidad y de drenaje. Las sustancias derramadas sobre la calzada por un vehículo que haya sufrido un accidente deben ser recogidas y evacuadas de forma distinta a la de las aguas de infiltración.

Las calzadas de los túneles están provistas asimismo de caces para “productos peligrosos”, de ranura continua. Estos caces deben evacuar rápidamente caudales importantes y

están conectados cada 50 m a un colector de 300 mm de diámetro por medio de cámaras de registro sifónicas. Los productos pueden ser entonces almacenados en depósitos y evacuados con medios adecuados. Estos caces de ranura continua y las cámaras sifónicas deben permitir limitar muy rápidamente la propagación de un eventual incendio.

10.2 Criterios de elección del pavimento

Son numerosas las ventajas que han llevado a la elección de un PHAC en los túneles de la conexión E40-E25. Es conveniente volver a men-

cionar a este respecto que Bélgica ha optado, desde hace más de 30 años, por el hormigón armado continuo en sus autopistas. Mantener esta solución para el pavimento de un túnel era por tanto lógico, a pesar de sus mayores dificultades de construcción.

Entre dichas ventajas pueden destacarse las siguientes:

■ **Incremento de la seguridad**

- Los pavimentos de hormigón presentan una gran durabilidad y precisan una conservación reducida. En los túneles, la anchura limitada se traduce en una canalización del tráfico. El empleo del hormigón permite evitar los riesgos de deformaciones y de formación de roderas, asegurando una regularidad superficial constante a lo largo del tiempo. Dado que los pavimentos continuos de hormigón armado no precisan prácticamente ninguna conservación, las molestias provocadas a los usuarios son muy reducidas. La frecuencia de los potenciales accidentes se ve por tanto también muy disminuida.

- En caso de accidente o de incendio en el túnel, al ser el hormigón un material incombustible, los riesgos de desarrollo y de propagación del fuego son prácticamente nulos.

- Mediante la elección de áridos duros y no pulimentables, la rugosidad de la superficie se mantiene en el tiempo y la resistencia al deslizamiento permanece constante.

- La claridad del pavimento de hormigón resalta más los obstáculos eventuales y permite a los usuarios ver adecuadamente la anchura del carril, incluso en caso de fallo de los sistemas de iluminación del túnel.

■ **Respeto del medioambiente**

- El método de construcción de los pavimentos de hormigón, realizado en frío respeta el medio ambiente dada su ausencia de emanaciones de humos o de vapores.

- Mediante la técnica de desnuda-
ción química, o lavado de la superficie de hormigón, y mediante la elección de áridos de tamaños máximos reducidos (0/20, 0/14 o incluso 0/7), el nivel sonoro del pavimento se ve

disminuido en especial, siendo comparable al de otras soluciones. Por otra parte, el hormigón armado continuo no necesita juntas transversales de contracción, por lo que el riesgo de batido de las losas y la falta de confort que podría derivarse de ello no existen en la práctica.

- El hormigón, formado por materias minerales, puede ser reciclado al 100% al final de su vida y valorizado mediante su empleo en la construcción de nuevos firmes.

FIRME DEL TÚNEL DE COINTE

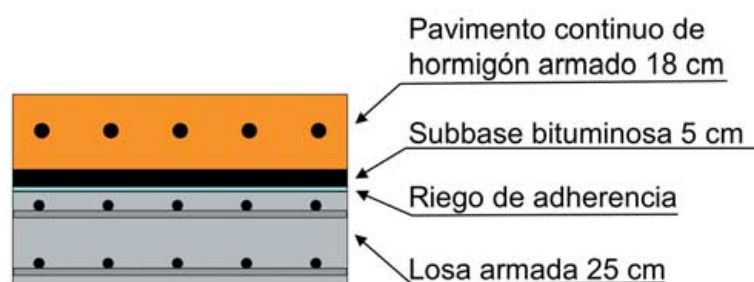


Figura 32. Túnel de Cointe (Lieja): sección del firme.

El empleo del hormigón permite evitar los riesgos de deformaciones y de formación de roderas, asegurando una regularidad superficial constante a lo largo del tiempo

- El hormigón es insensible a los hidrocarburos y no sufre ninguna degradación como consecuencia de estos ataques. Un vertido accidental de productos peligrosos no es un riesgo de degradación de la calzada, y los productos pueden ser conducidos directamente hacia los caces previstos a tal fin.

■ **Solución económica**

- Aunque un pavimento continuo de hormigón armado tenga un coste de construcción más elevado, el coste global, incluyendo los costes de construcción y de conservación a lo largo de su vida de servicio, se considera muy ventajoso.

- La iluminación constituye un factor de gasto importante en el coste de explotación de un túnel. Gracias a la claridad del hormigón, los consumos de electricidad son reducidos y se obtiene una economía sustancial.

- Debido a su rigidez, y por tanto a su ausencia de deformabilidad, el pavimento de hormigón no absorbe más que una parte de la energía de desplazamiento de los vehículos pesados y permite obtener reducciones en su consumo de hasta un 5%.

10.3. Proyecto

La estructura de firme adoptada (figura 32) fue la siguiente:

■ La losa estructural del túnel, de hormigón armado y 25 cm de espesor. Las juntas de dilatación se sellaron.

■ Un riego de adherencia.

■ Una capa de mezcla bituminosa de 4 cm de espesor.

■ El PHAC, de 18 cm de espesor. Si bien en una sección normal de autopista el espesor del hormigón armado continuo es habitualmente de 23 cm, en el interior del túnel esta reducción de espesor no tiene consecuencias graves, por la gran rigidez del apoyo del pavimento y la ausencia de gradientes.

El hormigonado del PHAC se realizó en dos franjas, para poder alimentar lateralmente la pavimentación de encofrados deslizantes por medio de camiones hormigonera.

La cuantía geométrica de la armadura longitudinal es igual al 0,75%. Para una losa de 18 cm de espesor, ello supone una barra de 16 mm de diámetro cada 14 cm. La armadura transversal está constituida por barras de 12 mm de diámetro, dispuestas oblicuamente con una separación de 70 cm.

En lo que se refiere a los estribos de anclaje, se han dispuesto en los extremos del pavimento. Están formados por vigas transversales, de acuerdo con las prescripciones del proyecto.

El árido para el hormigón del pavimento tiene un tamaño máximo de 20 mm.

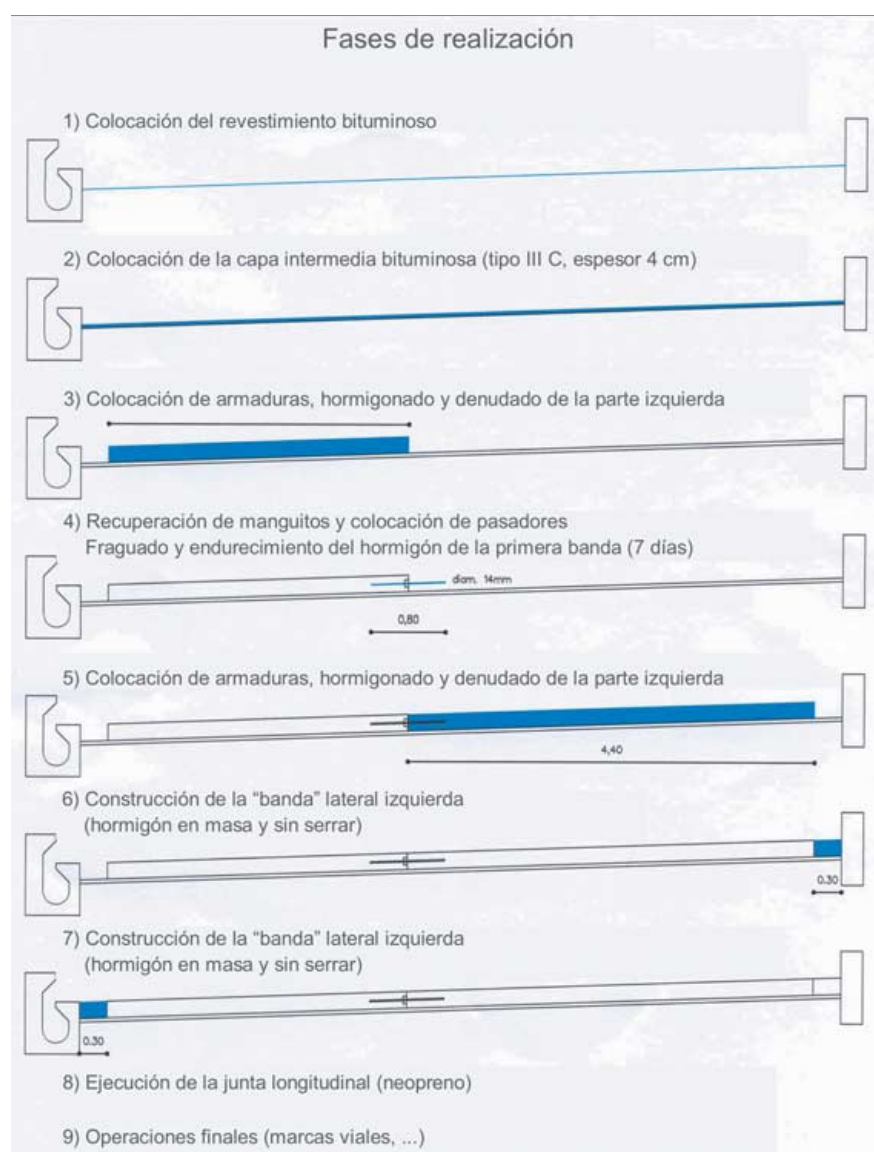


Figura 33. Túnel de Cointe (Lieja): fases de construcción del firme.

10.4. Ejecución

La construcción del pavimento de hormigón armado continuo se llevó a

cabo entre diciembre de 1988 y enero de 1999 en el túnel de una de las calzadas, y entre mayo y junio de

1999 en el segundo túnel, utilizado por el tráfico en sentido opuesto.

Las distintas fases de la construcción del PHAC se han representado de forma esquemática en la figura 33.

En cada uno de los túneles la ejecución del pavimento se inició con la colocación de las armaduras de la primera banda.

La pavimentadora de encofrados deslizantes utilizada para la puesta en obra del hormigón estaba provista de 4 orugas independientes. Una canaleta y una cinta transportadora incorporada a ella permitían descargar el hormigón en medio del tornillo repartidor (figura 34). Se dispuso solamente un hilo de guía en el lado izquier-



Figura 34. Túnel de Cointe (Lieja): hormigonado de la primera franja.

do, en el sentido de avance de la máquina.

El suministro del hormigón se llevó a cabo mediante camiones hormigonera. Su utilización se hizo necesaria debido a las limitaciones de gálibo del túnel, que impedían el empleo de los camiones volquete habituales en las obras al aire libre.

El anclaje entre las dos franjas está constituido por armaduras de 14 mm de diámetro, con una separación de 80 cm (pasadores conectores).

Entre la ejecución de la primera y la segunda franja se dejaban transcurrir 7 días, para permitir el fraguado y endurecimiento del hormigón en condiciones adecuadas. Las armaduras de la segunda franja (figura 35) se colocaban una vez construida la primera.

Después de extendido el hormigón se llevaba a cabo una denudación química, a fin de dejar al descubierto las gravillas (figura 36).

11. Glorietas de hormigón armado continuo en Bélgica

Dos razones particulares justifican la elección de un pavimento de hormigón para la construcción de una glorieta:

- La supresión del riesgo de deformaciones como consecuencia de las sollicitaciones de los vehículos pesados que se desplazan a velocidad moderada.

- La eliminación de los fenómenos de despegue de la capa de rodadura originados por la fuerza centrífuga.

Por otra parte, el color claro del pavimento permite una mejor percepción de la glorieta por los conductores.

No es de extrañar, por tanto, que en Bélgica, país que por su alta densidad de población soporta un tráfico intenso en la mayoría de sus carreteras, los pavimentos de hormigón se vengán empleando con éxito desde hace ya varios años en este tipo de aplicaciones (figura 37), tanto en



Figura 35. Túnel de Cointe (Lieja): armaduras de la segunda franja.

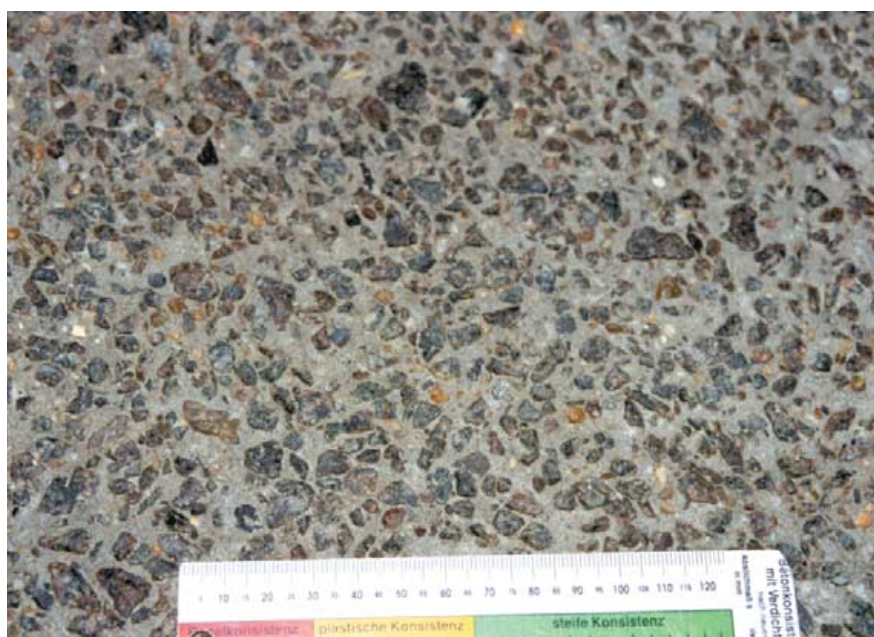


Figura 36. Túnel de Cointe (Lieja): pavimento denudado.

glorietas de gran diámetro situadas en carreteras importantes como en obras más pequeñas implantadas en medio urbano. Muchas de estas obras tienen un PCHA, habiéndose construido el primero de ellos en 1995, en la región de las canteras de Tournais, en la provincia de Hainaut, en donde el tráfico pesado es muy intenso. Desde entonces, las realizaciones se han multiplicado: a comienzos de 2002 eran más de 30 las glorietas de este tipo en servicio, de las cuales unas 20 se encuentran en la provincia de Hainaut y otras 10 en Flandes.

Los criterios esenciales de elección del pavimento pueden ser de tipo técnico, o bien venir marcados por las características específicas de su ubicación de la obra:

- Accesos a empresas con tráfico pesado e intenso, vías de servicio de zonas con gran actividad económica o industrial.

- Nuevos trazados en variantes de aglomeraciones urbanas, destinadas a recibir tráfico de paso, normalmente con una proporción importante de camiones.

- Zonas muy solicitadas en medio urbano o cerca de accesos y de



Figuras 37. Glorieta con pavimento de hormigón.

Figura 38. Armadura de pavimento continuo de hormigón armado en glorieta.

enlaces de autopista.

■ Inserción en pavimentos de HAC a lo largo de itinerarios existentes.

El diámetro exterior de la glorieta depende de una serie de factores tales como el número de accesos y salidas, el ancho de las vías que conectan con ella o su orientación. Varía entre 30 m en las más pequeñas (en centro urbano) y 106 m en la más importante.

La anchura de la calzada es, en general, de 7 a 8 m para 2 carriles de circulación.

La armadura longitudinal se adap-

ta a la curvatura en planta de la glorieta (figura 38). La armadura transversal se dispone de forma que la distancia entre barras consecutivas sea igual a 0,70 m, medida a un tercio del borde exterior de la losa. Se colocan con una inclinación de 60° con respecto a las armaduras longitudinales, a fin de evitar que las fisuras transversales de retracción se superpongan a las armaduras transversales.

A menudo se prevé una armadura transversal complementaria en el carril derecho. Esta armadura es un refuerzo de borde, y debe evitar además la abertura de las fisuras longitudinales que puedan formarse. En este caso, la distancia entre dos barras transversales consecutivas es de 0,40 m en el borde exterior y de 0,34 m en la junta longitudinal. En el caso de obras con tráficos muy importantes, el diámetro de las armaduras transversales se aumenta a 16 mm.

Los carriles de aproximación deben construirse también con hormigón, en la medida de lo posible, a fin de limitar los efectos de borde en las entradas y salidas de la glorieta. Es necesario disponer un anclaje adecuado, con una barra de unión



de 16 mm de diámetro cada 30 cm, a fin de asegurar la transmisión de cargas.

La puesta en obra puede realizarse tanto entre encofrados fijos como por medio de equipos de encofrados deslizantes (figura 39).

12. Pavimento combinado para tranvía y autobús en Gante (Bélgica)

Como consecuencia de las elevadas cargas de los autobuses y las vibraciones causadas por los tranvías, es frecuente utilizar pavimentos de hormigón para los carriles bus o de tranvía. En varias ciudades de Francia y Bélgica se ha elegido la solución con PCHA, por lo que en Gante (Bélgica) se decidió adoptar un pavimento similar.

Gante es la tercera aglomeración urbana de Bélgica. Su población del orden de 225 000 habitantes, el puerto, las zonas industriales y la Universidad generan un importante tráfico de entrada y salida. El centro de transporte público más importante es la estación de ferrocarril de Sint-Pieters. Para mejorar la conexión con el recinto ferial, situado a unos 2,5 km, y que atraviesa una zona densamente poblada y con un gran número de edificios dedicados a distintas actividades, se decidió construir un carril bus-tranvía bidireccional (figura 40). Éste se ejecutó en dos fases, entre mayo de 2002 y mayo de 2005.

Para reducir al mínimo posible el ruido y las vibraciones, se prestó una atención especial al proyecto del pavimento de hormigón, en el que van embutidos los carriles del tranvía, así como a las fijaciones de éstos y de la catenaria.

El firme (figura 41) está compuesto por una capa inferior de arena de 20 cm de espesor, una subbase de hormigón pobre, al que se le exigía una resistencia a compresión a 90 días de 12 MPa medida sobre testigos, y un pavimento de hormigón en tres capas. La inferior es de HAC, con doble capa de ar-



Figura 39. Ejecución de pavimento continuo de hormigón armado en glorieta.

madura. En el hormigón fresco se dispusieron conectores para asegurar la unión con la capa superior. Dado que los raíles se fijaban mediante tornillos al hormigón de la capa inferior, era necesario dejar que éste adquiriese una cierta resistencia. Ello impedía poner en obra la segunda capa, mientras que el hormigón de la primera todavía se encontrase en estado fresco.

Una vez instalados los raíles y unidos entre sí mediante barras de atado, se procedía al hormigonado de la segunda y tercera capas. Éstas tienen que soportar el tráfico de autobuses. La segunda capa está armada longitudinalmente con barras de Ø 20 mm separadas 15 cm, y está unida a la inferior mediante conectores. La armadura longitudinal está fijada a los conectores. Esta segunda capa tiene un espesor que varía entre 15 y 19 cm para obtener una pendiente transversal adecuada. La capa superior es de hormigón coloreado y tiene un espesor de 5 cm. Se construyó sobre la capa intermedia todavía en fresco.

Todas las capas del pavimento se

ejecutaron con equipos de encofrados deslizantes.

El tranvía es de doble vía. Los pavimentos en cada sentido se ejecutaron por separado. Para reducir las vibraciones se dispuso una lámina flexible entre ambos, que se extendía también entre la subbase de hormigón pobre y el pavimento, así como entre este último y el bordillo de la acera adyacente. Cada vía tiene una pendiente transversal del 2 % hacia el exterior.

A la capa superior se le dio una terminación de árido visto obtenida mediante denudación, a fin de conseguir un aspecto similar al de las aceras, pavimentadas con adoquines de hormigón de color gris antracita con un tratamiento de chorro de grana metálica.

Tanto la capa intermedia como la superior se construyeron en tres franjas, con anchura de 82 cm entre raíles y de 82 y 105 cm a los lados de estos. La capa superior es de hormigón en masa, mientras, que en la intermedia, las armaduras se dispusieron a 3 cm de su superficie. Ello supone un recubrimiento de 8 cm en total.



Figura 40. Vista del carril bus-tranvía en Gante.

Desde el punto de vista estructural, los pavimentos de hormigón tienen unas características antideslizantes muy apreciables

En las esquinas alrededor de los sumideros se colocaron armaduras suplementarias para mantener cosidas las eventuales grietas en diagonal que puedan desarrollarse partiendo de ellos.

En los extremos del pavimento se han dispuesto 6 estribos de anclaje abarcando una longitud de 30 m. Asimismo, se han construido tres estribos en la entrada y salida

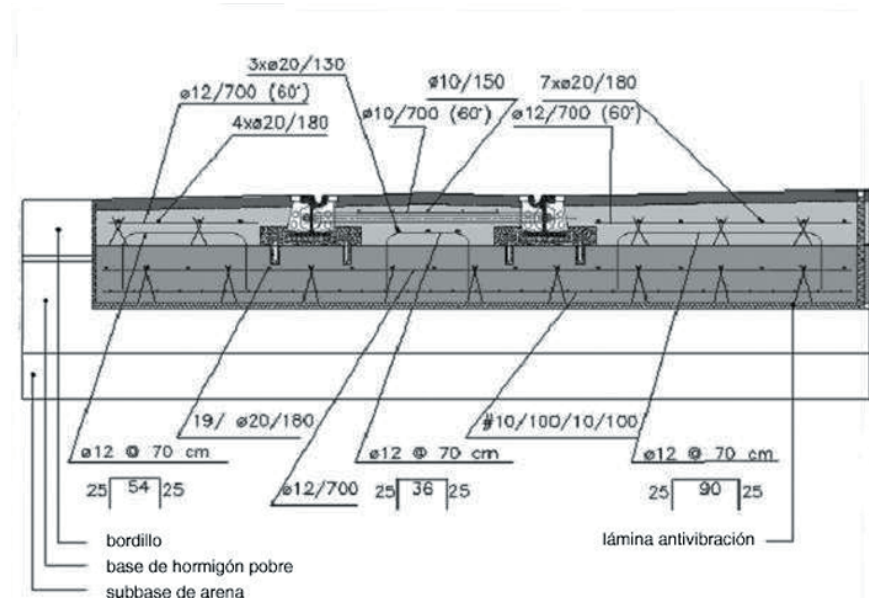


Figura 41. Firme del carril bus-tranvía en Gante.

de dos curvas cerradas para permitir dos cambios de alineación en planta de 30° y 90° respectivamente. Hay que recordar que las láminas antivibración dispuestas bajo el pavimento tienen un coeficiente de rozamiento bajo, por lo que pueden ser previsibles movimientos relativamente importantes que hay que absorber con los estribos. Para proporcionar una con-

tención lateral suplementaria al pavimento en las zonas de curvas, los elementos de los bordillos laterales se unieron unos a otros mediante barras roscadas.

13. Conclusiones

Los pavimentos continuos de hormigón armado han mostrado un comportamiento muy satisfactorio en un gran número de obras sometidas a tráfico muy importantes. Desarrollados inicialmente en Estados Unidos, se encuentran ejemplos en todo el mundo. En el ámbito europeo, algunas obras, como la autopista Bruselas – Lieja, llevan en servicio desde 1971. Otro ejemplo muy notable lo constituye en España la autopista Oviedo – Gijón – Avilés, puesta en servicio en 1976, y cuyo mantenimiento ha sido muy reducido.

Además de su seguridad desde el punto de vista estructural, los pavimentos de hormigón tienen unas características antideslizantes muy apreciables, siempre que los áridos responsables de estas (las arenas en el caso de pavimentos estriados y las gravillas en los denudados) tengan una adecuada resistencia al desgaste. En caso de que la disponibilidad de estos áridos sea reducida, puede

recurrirse a la ejecución en dos capas o al empleo de pavimentos polifuncionales.

La experiencia con estos últimos es más limitada; pero ya suficientemente amplia (la primera experiencia tuvo lugar en 1988) como para poder afirmar de que se trata también de una solución muy contrastada.

El sobre coste introducido por las armaduras (que pueden suponer unos 12 ó 15 kg de acero por m²) hace que su empleo se reserve en principio para tráficos elevados. No obstante, los costes de conservación casi inexistentes hacen que se trate de una solución competitiva a largo plazo.

Las tensiones que se producen en estos pavimentos son más reducidas, a igualdad del resto de factores, que las de un pavimento de hormigón en masa, por el efecto de cosido que realizan las armaduras. Ello permite reducir el espesor del pavimento de hormigón (del orden de unos 4 cm para el rango usual de espesores en autopistas), lo cual se traduce en una disminución de costes. Por otra parte, resulta una de las opciones más atractivas en obras en las que haya problemas de cotas, como es el caso de muchos túneles.

Como en cualquier pavimento de hormigón de otro tipo sometido a tráficos pesados, las condiciones de apoyo de las losas son de gran importancia para garantizar un comportamiento correcto. Es aconsejable por ello disponer subbases sin problemas de erosión, como las de hormigón magro vibrado o bien las bituminosas (a espesor completo o recubriendo una subbase tratada con cemento).

En esta línea, el soporte que se obtiene con un firme existente es una garantía de buen funcionamiento, por lo que esta solución resulta muy atractiva para obras de refuerzo, incluso en situaciones de gran congestión, como es el caso de algunas realizaciones recientes en Bélgica. De ser necesario, es posible abrir al tráfico el pavimento a los

pocos días, utilizando para el hormigón una fórmula de trabajo adecuada.

La restricción que puede suponer en la organización de la obra la presencia de las armaduras puede disminuirse en gran medida introduciendo éstas en el hormigón fresco a través de guías instaladas en la pavimentadora. La utilización de este método en algunos tramos de la autovía Oviedo – Pola de Siero ha proporcionado unos resultados correctos, al igual que en otros países. Por otra parte, con ello es posible suprimir las armaduras transversales.

Por otra parte, en el caso de ejecutar dos o tres carriles simultáneamente, con el método de inserción de las armaduras en el hormigón fresco los camiones disponen de una anchura suficiente para circular directamente por encima de la subbase, sin necesidad de reservar una franja lateral para ello. El empleo de sistemas 3D, que permiten prescindir del cable de guía, contribuye también a facilitar la circulación en la obra. Todo ello puede ser de gran importancia en obras con un espacio restringido, como es el caso de refuerzos bajo tráfico, túneles, etc.

Bibliografía

■ "Revêtements en béton armé continu – Continuously reinforced concrete pavements". Publicación 07.06.B, AIPCR, París, 1994.

■ SETRA-LCPC: "Catalogue des structures types de chaussées neuves". Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, París, 1998.

■ Jofré, C.: "Innovaciones en pavimentos de hormigón". V Jornadas sobre Pavimentos de Hormigón, ATC, Madrid, 1999.

■ "Chaussées composites en béton de ciment. Tome 1 : Structures neuves en BAC collé sur GB. Guide de dimensionnement". SPECBEA – Cimbéton, París, 2001.

■ Jasienski, A.: "Glorietas de hor-

migón: la experiencia belga". Cemento-hormigón, n° 838, Madrid, julio 2002.

■ Abdo, J.: "Tres realizaciones francesas con pavimento de hormigón armado continuo". Cemento-hormigón, n° 841, Madrid, octubre 2002.

■ Jasienski, A. y Verlaine, D.: "Los túneles de Cointe (Bélgica)". Cemento-hormigón, n° 849, mayo 2003.

■ "Norma 6.1 IC sobre Secciones de Firme". Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento, Madrid, 2003.

■ "Pliego PG 3. Artículo 550: Pavimentos de hormigón vibrado". Dirección General de Carreteras, Ministerio de Fomento, Madrid, 2004

■ Griffiths, G.: "La Autopista M6 Toll en Birmingham". Cemento-hormigón, n° 866, septiembre 2004.

■ "Design Manual for Roads and Bridges. Volume 7: Pavement Design and Maintenance. Section 2: Pavement Design and Construction. Part 3: Pavement Design HD 26/06". Highways Agency, Department of Transport, Reino Unido, 2006.

■ Caestecker, C. y Lonnew, T.: "Un refuerzo de hormigón armado continuo en la autopista A10 Bruselas – Ostende". Cemento-hormigón, n° 874, abril 2006.

■ Caestecker, C.: "The motorway E40 (formerly E5) from Brussels to Liège". Proceedings, 10º Simposio Internacional sobre Pavimentos de Hormigón, Bruselas, 2006.

■ Darter, M.I. y Rao, Ch.: "Long life CRCP". Proceedings, 10º Simposio Internacional sobre Pavimentos de Hormigón, Bruselas, 2006.

■ Debaere, P.; Diependaele, M. y De Groof, D.: "The challenging rehabilitation of the Antwerp Ring Road in CRCP 2004 – 2005". Proceedings, 10º Simposio Internacional sobre Pavimentos de Hormigón, Bruselas, 2006.

■ Trillet, P.-Y.: "Composite pavements: restoration of the E411 and E25 motorways in the province of Luxemburg (Belgium)". Proceedings, 10º Simposio Internacional sobre Pavimentos de Hormigón, Bruselas, 2006. ■