

Pavimentos prefabricados de hormigón: tecnología actual y tendencias futuras



Precast concrete pavements: current technology and future directions

Shiraz TAYABJI

Consultor jefe, doctor, Fugro Consultants, Inc. (USA)

Neeraj BUCH

Catedrático asociado, doctor
Departamento de ingeniería civil y medioambiental
Universidad del Estado de Michigan (USA)

Edwin KOHLER

Doctor, Dynatest Consulting Inc. (USA)

RESUMEN

En los últimos 20 años se ha investigado de manera esporádica la tecnología para fabricar pavimentos prefabricados de hormigón. Al principio se investigaba como una curiosidad técnica, es decir, se estudiaba si la tecnología para fabricar pavimentos prefabricados de hormigón era técnicamente viable. En consecuencia no se hicieron intentos serios para desarrollar plenamente la tecnología como una solución económicamente rentable y para implantarla en la base productiva.

Actualmente, debido a la mayor longitud de redes viarias principales y de vías urbanas que están alcanzando la madurez y a que la necesidad de reparaciones y rehabilitaciones puntuales de los pavimentos se ha hecho aguda y urgente, las administraciones responsables de las carreteras están estudiando nuevas e innovadoras tecnologías, incluidos las de pavimentos prefabricados de hormigón, que darán como resultado cortes de tráfico más cortos y pavimentos de elevada durabilidad que resulten económicos al no requerir grandes intervenciones para su reparación o rehabilitación durante su vida útil. En los últimos diez años se han producido avances significativos en las técnicas de pavimentos prefabricados de hormigón, lo que les ha convertido en una solución técnicamente viable y económicamente justificable.

Este documento resume la situación actual de la técnica de fabricación de pavimentos prefabricados de hormigón y presenta el marco para mejorar dicha técnica en los años venideros.

La tecnología de pavimentos prefabricados de hormigón ha experimentado importantes mejoras en la última década. Se han desarrollado varios sistemas de pavimentos prefabricados de hormigón y se están aplicando en proyectos de construcción. La experiencia práctica y los ensayos de carga acelerados limitados de la actualidad indican que los sistemas de prefabricados son alternativas viables para la rehabilitación y reconstrucción rápidas de pavimentos ya existentes. Los próximos años deberían ver nuevas mejoras en las tecnologías de pavimentos prefabricados a medida que salgan al mercado los productos del programa de investigación SHPR 2.

Palabras clave: Hormigón, Hormigón prefabricado, Losa, Pavimento de hormigón, Pavimento aeroportuario, Prefabricación.

ABSTRACT

Precast concrete pavement technologies have been looked into sporadically over the last 20 plus years. In the early years, the technology was looked into as a matter of technical curiosity, that is, to investigate if precast concrete pavement technology was technically feasible. No serious attempts were made then to fully develop the technology as a cost-effective strategy and to implement the technology on a production basis.

Now, as more mileage on the primary highway system and urban roadways are reaching maturity and need for timely pavement repair and rehabilitation becomes acute and urgent, highway agencies are looking at new/innovative technologies, including precast concrete pavement technologies, that will result in shorter lane closures and long-life pavements that are economical over the life cycle and do not require major interventions for repair or rehabilitation during their service life. Over the last ten years, significant developments have resulted in precast concrete pavement technologies and use of these technologies is becoming technically feasible and economically justifiable.

This paper summarizes the current state of precast concrete pavement technology and provides a framework for advancing the technology in future years.

The precast concrete pavement technology has seen significant improvements in the last decade. Several precast concrete pavement systems have been developed and are being implemented on production projects. Field experience and limited accelerated load testing to date indicate that the precast systems are viable pavement alternatives for rapid rehabilitation and reconstruction of existing pavements. The next few years should see further improvements in the precast pavement technologies as the products from the SHRP 2 research program become available.

Key words: Concrete, Prefabricated concrete, Slab, Concrete pavement, Airport pavement, Prefabrication.

La rehabilitación y la reconstrucción de firmes son una de las principales actividades de las administraciones de carreteras de los EE.UU. y tienen un impacto significativo sobre sus recursos y sobre las interrupciones del tráfico debido al cierre de carriles a lo largo de muchos kilómetros y durante mucho tiempo. El volumen del tráfico en la red viaria principal, especialmente en áreas urbanas, ha experimentado un gran aumento en los últimos 20 años, lo que ha conducido en muchos casos a la necesidad de rehabilitar y reconstruir los firmes antes de lo esperado.

La rehabilitación del pavimento en las zonas urbanas supone un gran desafío para las administraciones debido a la congestión del tráfico y a los problemas de seguridad derivados de las obras. Igualmente, numerosas administraciones continúan luchando contra un antiguo problema: retrasos más prolongados en las obras y una mayor vida útil frente a menores retrasos ahora y una vida útil más corta.

En los últimos años muchas administraciones han comenzado a investigar soluciones alternativas para

la rehabilitación y la reconstrucción de los firmes que permitan hacerlo de forma más rápida y duradera. Una solución alternativa prometedora consiste en la aplicación eficaz de las técnicas de pavimentos prefabricados de hormigón que permiten reparar y rehabilitar de manera rápida los pavimentos y que también da como resultado unos pavimentos resistentes y de larga duración. Las técnicas de construcción rápida pueden minimizar el impacto sobre los conductores ya que reducen al mínimo los cierres de carriles y la congestión del tráfico. La seguridad de los usuarios y de los trabajadores también mejora al reducir su exposición al tráfico durante la construcción.

ANTECEDENTES

Los avances de la técnica para fabricar pavimentos prefabricados se han centrado fundamentalmente en el uso de losas prefabricadas de hormigón. Sólo recientemente se ha aplicado el concepto de prefabricación a productos bituminosos. Este apartado presenta una breve visión de conjunto sobre la evolución histórica de las técnicas de pavimentos prefabricados de hormigón.

1. Estado del arte antes de 1995

Uno de los usos más tempranos de las técnicas de prefabricación de pavimentos de hormigón de los que se tiene constancia en los EE.UU. fue en 1960 en Dakota del sur, en donde se construyó un pavimento prefabricado sobre una base granular⁽⁵⁾. Desde entonces, se han llevado a cabo diversos esfuerzos poco importantes para investigar el uso de los pavimentos prefabricados, principalmente como alternativa de reparación rápida.

Con el tiempo, los japoneses (al menos desde principios de la década de 1970) han utilizado losas prefabricadas en diversas aplicaciones⁽⁶⁾, lo que incluye pavimentos para autopistas, túneles y vías rápidas. El uso de los pavimentos prefabricados también fue habitual en la Unión Soviética y en diversas bases aéreas soviéticas (durante la década de 1980) en Afganistán se construyeron pavimentos prefabricados de hormigón.

En EE.UU., hasta aproximadamente 1995, no se hicieron grandes esfuerzos por investigar a fondo el uso de pavimentos prefabricados de hormigón para la reparación de pavimentos de hormigón o para la rehabilitación de pavimentos tanto de hormigón como bituminosos. Desde 1995, se ha mostrado un gran interés en los EE.UU. por investigar la aplicación eficaz de pavimentos prefabricados de hormigón como solución para la reparación, rehabilitación y reconstrucción rápida de los pavimentos. El interés proviene tanto de la industria como de la Administración Federal de Carreteras, que trabaja en colaboración con los Departamentos de Transporte estatales.

2. Iniciativa FHW-CPTP

Tras reconocer la necesidad de que se desarrollasen soluciones eficaces para rehabilitar rápidamente la red viaria del país, la *Administración Federal de Carreteras (FHWA)* y el *Departamento de Transporte de Tejas (TxDOT)* encargaron un estudio a finales de la década de 1990 (como parte del Programa de Tecnología de Pavimentos de Hormigón, CPTP de la FHWA) que investigó la viabilidad de utilizar hormigón prefabricado para rehabilitar pavimentos.

Al término del estudio, que se llevó a cabo en el *Centro de Investigación del Transporte (CTR)* en la Universidad de Tejas en Austin, se desarrolló un nuevo concepto sobre pavimentos prefabricados de hormigón. En marzo de 2002, el TxDOT completó el primer proyecto piloto aplicando este concepto innovador que incorporaba el uso de pavimentos prefabricados de hormigón pretensado a una vía de servicio cerca

de Georgetown, Tejas. Desde entonces, la FHWA ha comercializado de manera agresiva el concepto de pavimento prefabricado entre los departamentos de transporte estatales y se han construido varios tramos de prueba con el fin de adquirir experiencia práctica con esta tecnología⁽⁴⁾.

La FHWA también incentivó, dentro del CPTP, el desarrollo de esta tecnología para la reparación de pavimentos de hormigón en toda su profundidad. Este trabajo se llevó a cabo en la Universidad estatal de Michigan y ha dado como resultado varios ensayos a escala real con esta tecnología⁽¹⁾.

3. Iniciativas de la industria

En paralelo a los trabajos patrocinados por la FHWA, diversas organizaciones de los EE.UU. iniciaron también actividades de desarrollo destinadas a perfeccionar las técnicas relacionadas con los pavimentos prefabricados de hormigón. Estas tecnologías disfrutaban de derecho de autor por lo que requieren de una autorización de uso. Las tecnologías más importantes que se han desarrollado por el sector privado incluyen las siguientes:

- Sistema "Fort Miller Super Slab".
- Sistema "Uretek Stitch-in time".
- Sistema "Kwik Slab".

Desde aproximadamente 2001, el sistema "Fort Miller" se ha utilizado en varios proyectos de producción (continua y discontinua) para operaciones de reparación y rehabilitación. En el caso de producción continua, este sistema simula las secciones convencionales de hormigón en masa con pasadores. Según su inventor, el sistema "Uretek" también se ha utilizado bastante. Sin embargo, con su diseño actual, el sistema se adecua mejor para su aplicación a reparaciones intermitentes/aisladas. El sistema "Kwik Slab" se ha utilizado de forma limitada en Hawái. Este sistema básicamente simula las secciones de hormigón armado con una larga separación entre juntas.

Junto con los sistemas de pavimentos prefabricados de hormigón patentados, también se han utilizado y se están desarrollando sistemas genéricos. La Autoridad Portuaria de Nueva York y de Nueva Jersey (PANY/NJ) instaló tramos de prueba de pavimentos genéricos prefabricados de hormigón en el aeropuerto internacional de La Guardia de Nueva York para investigar la viabilidad de la reparación rápida de un carril de rodadura en el aeropuerto.

4. Iniciativas de Administraciones de carreteras

En los últimos años varias agencias han desarrollado especificaciones que permiten el uso de pavimentos de hormigón prefabricado. Estas agencias incluyen el Departamento de Transporte de Nueva York, el de Minesota, el de Michigan, el de Virginia, el Ministerio de Transporte de Ontario y la PANY/NJ. Asimismo, diversas administraciones también han instalado tramos de prueba para demostrar la viabilidad de los pavimentos prefabricados de hormigón. También se han llevado a cabo ensayos rápidos con un pavimento prefabricado de hormigón en California.

5. Actividades del Grupo de implantación tecnológica de la AASHTO

Tras reconocer el interés creciente que mostraban las administraciones de carreteras de los EE.UU. por las tecnologías relacionadas con los pavimentos prefabricados de hormigón y con el fin de ofrecer una plataforma eficaz para las actividades de transferencia tecnológica, la AASHTO constituyó un Grupo de implantación tecnológica (TIG) durante 2006 para apoyar las actividades de transferencia tecnológica relacionadas con los pavimentos prefabricados de hormigón. La misión de este TIG de la AASHTO es la de promover el uso de losas prefabricadas de hormigón para pavimentar, rehabilitar y reparar pavimentos entre las agencias de transporte y los propietarios en todo el país y presentar a la comunidad del transporte los aspectos técnicos y económicos de los actuales sistemas de pavimentos prefabricados que se utilizan en el mercado de una manera imparcial.

6. Actividades de los Institutos Técnicos

Tras reconocer el elevado grado de interés por las tecnologías relacionadas con los pavimentos prefabricados de hormigón y con el fin de satisfacer la necesidad de información técnica de sus miembros, las siguientes asociaciones técnicas han constituido grupos de trabajo para recabar información técnica sobre los pavimentos prefabricados de hormigón:

- “*American Concrete Institute*” (ACI). El Comité 325 del ACI constituyó el Subcomité de pavimentos prefabricados de hormigón (originariamente el Subcomité de prefabricados y pretensado). El subcomité está elaborando un documento que resume las técnicas actuales y presenta casos prácticos.
- “*Precast/Prestressed Concrete Institute*” (PCI). El PCI ha constituido un Comité de pavimentos para desper-

tar el interés de las empresas de prefabricados en los pavimentos de hormigón y para desarrollar directrices sobre el uso de pavimentos prefabricados de hormigón.

7. Avances fuera de los EE.UU

Recientemente, varios países europeos han comenzado a investigar el uso del hormigón en prefabricados y de otros sistemas reparación/rehabilitación rápidas de pavimentos mediante el uso de prefabricados. En los Países Bajos se ha desarrollado el sistema “*ModieSlab*”⁽⁷⁾. En Japón se han utilizado los sistemas de losas prefabricadas de hormigón para vías rápidas, túneles de carreteras y aeropuertos.

¿POR QUÉ LAS TECNOLOGÍAS RELACIONADAS CON LOS PAVIMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN?

El objetivo fundamental de utilizar pavimentos prefabricados de hormigón es reducir el tiempo de ejecución en las carreteras con una gran densidad de tráfico y el tiempo de reparación/rehabilitación de pavimentos aeroportuarios. Si no fuese por el ahorro de tiempo, el uso de pavimentos prefabricados de hormigón no se podría justificar en términos económicos, al menos con los precios actuales de estas técnicas.

El uso de estas tecnologías *debe* dar como resultado cierres de carriles más reducidos o, al menos, mejor gestionados que conlleven menores interrupciones del tráfico y mayor seguridad en las zonas de obras. Además, los pavimentos prefabricados de hormigón deben proporcionar una vida útil de larga duración y un mantenimiento reducido. La fabricación continua debe garantizar unos pavimentos de elevada durabilidad, con una vida útil de más de 40 años con un bajo mantenimiento.

De igual modo, se han de considerar los siguientes factores en el momento de valorar los pavimentos prefabricados de hormigón como soluciones viables para la reparación o rehabilitación de pavimentos:

- Secciones rectangulares frente a alineamiento curvo.
- Coincidencia de la superficie del pavimento adyacente para la sustitución de carriles.
- Fabricación de las losas prefabricadas de hormigón en una planta cercana. La ubicación de la planta es esencial para que la pavimentación resulte económica con el fin de reducir los costes y las interrupciones del tráfico.

- Transporte de las losas prefabricadas de hormigón a la obra (problemas de tráfico, especialmente en las operaciones nocturnas).
- Acceso a la obra para los equipos pesados de construcción (grúas pesadas, etcétera).
- Retirada del pavimento antiguo, si procede.
- Preparación de la base/subbase, si procede.
- Colocación de las losas prefabricadas de hormigón sobre la explanada.
- Interconexión de las losas prefabricadas de hormigón utilizando juntas y pasadores si procede.
- Post-tesado de las losas prefabricadas de hormigón, si procede.
- Relleno de las juntas con lechada, si procede.
- Inyección de lechada de base para garantizar el apoyo de las losas, si procede.

TECNOLOGÍA PARA PAVIMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN. DEFINICIÓN Y CONCEPTOS

1. Definición

Los pavimentos prefabricados de hormigón son sistemas que básicamente se fabrican o ensamblan fuera de la obra y se transportan hasta allí, en donde se instalan en una cimentación preparada (pavimento existente o cimentación reallanada). Estos sistemas no requieren tiempo de secado del terreno ni tiempo de fortalecimiento antes de su apertura al tráfico.

2. Conceptos

El uso de esta tecnología se puede clasificar como sigue:

- Reparaciones puntuales de pavimentos de hormigón en carreteras y aeropuertos.
- Pavimentación continua de hormigón en carreteras y aeropuertos (rehabilitación y reconstrucción en el ámbito de un proyecto).
- Aplicaciones específicas; por ejemplo, pavimentos silenciosos.

3. Reparación puntual de pavimentos con hormigón prefabricado (PCC)

Según este enfoque, las reparaciones aisladas del pavimento se llevan a cabo utilizando losas prefabricadas de hormigón. Son posibles dos tipos de reparaciones:

- Reparaciones de todo el espesor: para reparar juntas deterioradas, fisuración de las esquinas o fisuras adyacentes a la junta.
- Reparación de toda la losa: para sustituir losas fisuradas o rotas.

Las reparaciones normalmente abarcan todo el carril. El proceso es similar para las reparaciones en toda el espesor y para la sustitución de losas enteras, exceptuando la longitud del área reparada. Existen en el mercado sistemas abiertos y patentados que permiten llevar a cabo reparaciones puntuales en pavimentos prefabricados de hormigón. Las características clave de esta aplicación son (los detalles de las técnicas disponibles se tratan más adelante):

- Montaje de las losas.
- Transmisión de la carga en las juntas.

4. Aplicaciones continuas (Rehabilitación/reconstrucción a nivel de proyecto de pavimentos bituminosos y prefabricados)

Según este enfoque, el proyecto completo de rehabilitación (nueva superficie) o reconstrucción de pavimentos bituminosos y prefabricados de hormigón se lleva a cabo utilizando losas prefabricadas de hormigón. Se dispone de las siguientes técnicas recientemente desarrolladas:

- Pavimento prefabricado de hormigón pretensado (PPCP). Las características clave de esta aplicación son:
 - Dimensiones de la losa.
 - “Interface” losa/base y montaje de la losa.
 - Número de losas que se pueden conectar de manera eficaz.
 - Detalles de conexión de la losa (uso de pasadores, epoxy, etc.)
 - Detalles del post-tesado (en losas centrales o en juntas de retracción).

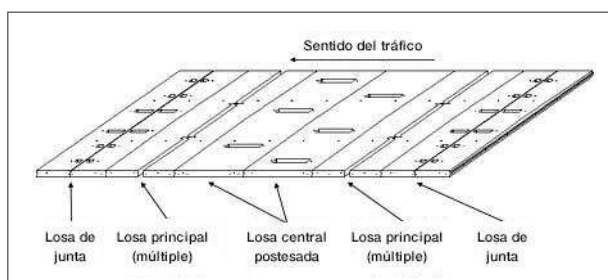


Figura 1. Detalles del diseño.

- Detalles de la junta de retracción.
- Pavimento prefabricado de hormigón con juntas; sistemas patentados y en abierto:
 - Sistema *Fort Miller SuperSlab*.
 - Sistema *Kwik Slab*.
 - Sistema *Uretek Stitch* justo a tiempo.
 - Sistema *ModieSlab*.
 - El utilizado en el aeropuerto internacional de La Guardia de Nueva York.
 - Técnicas japonesas para túneles de carretera y pavimentos aeroportuarios.

Las características clave de esta aplicación son:

- Dimensiones de la losa.
- Montaje de la losa.
- Transmisión de la carga en las juntas.
- Conexión, si la hubiere, en las juntas.

5. Otras aplicaciones específicas basadas en las necesidades

Los pavimentos prefabricados de hormigón se utilizan en Japón para vías rápidas.

ESTADO ACTUAL DE LA PRÁCTICA

1. Pavimento prefabricado de hormigón pretensado (PPCP)

Como ya se ha indicado, el sistema de PPCP se desarrolló bajo los auspicios de la FHWA y el TxDOT y está



Foto 1. Proyecto ejecutado en la I-35 en Georgetown, Texas.

bien documentado (precastpavement.com 2007). Esta tecnología se adecua bien a la construcción de pavimentos continuos. El concepto básico de pavimento pretensado prefabricado consiste en una serie de losas prefabricadas individuales que se postesan en dirección longitudinal tras su colocación en obra. Cada una de las losas se pretesa en sentido transversal (eje de la losa de mayor longitud) dejando las vainas en cada una de ellas para el postesado longitudinal. Los rasgos básicos del sistema de PPCP son los siguientes:

- Dimensiones de la losa: hasta 36 pies de ancho, 10 pies de largo, 7 a 8 pulgadas de espesor.
- Tipos de losa:
 - Principal, de junta y central pretensadas (según diseño original).
 - Principal y de junta pretensadas (tal y como se instaló en el tramo de prueba de Missouri).
- Junta machihembrada con epoxy.
- Detalles del postesado:
 - Cable monotrenzado de 7 hilos y 0,6 pulgadas de diámetro.
 - 75% de carga última .
 - Fuerza de pretensado: tensión residual en punto medio.
 - Inyección de la vaina con mortero.
- Juntas de retracción a ~250 pies.

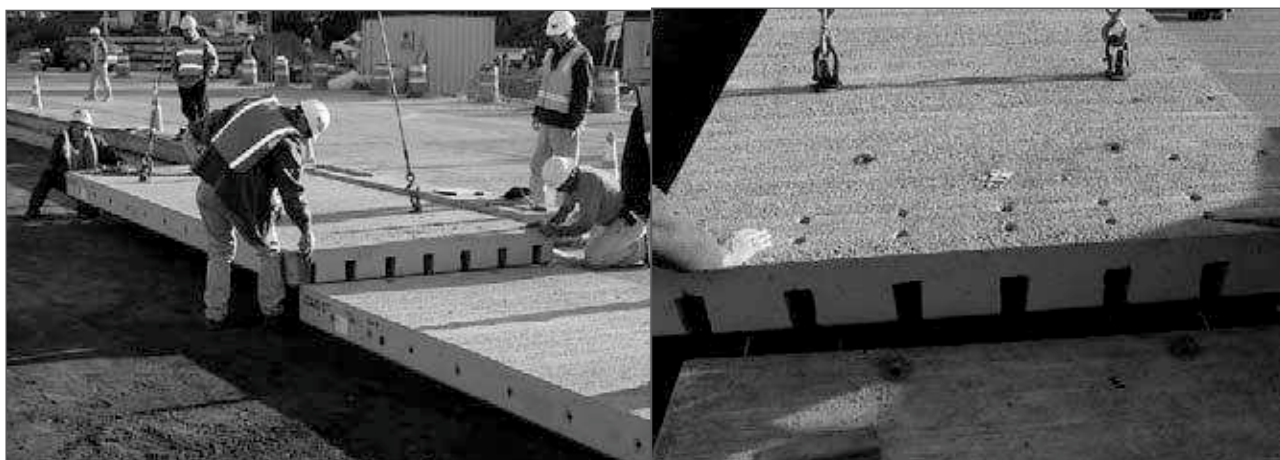


Foto 2. El sistema SuperSlab.

- Tipo de base:
 - Base bituminosa en caliente polilaminada sobre base de hormigón asfáltico (según diseño).
 - Base permeable (como en el proyecto de demostración de Missouri).
- Inyección de lechada en la base para garantizar el apoyo de la losa (tras el postesado).

La Figura 1 ilustra el concepto de diseño subyacente en esta tecnología. Las losas principales constituyen la mayoría de la sección de pavimento postesado y se sitúan entre las losas de junta y las centrales si se utilizan. Todas las losas tienen uniones machihembradas a lo largo de las juntas. Las losas de junta están situadas en los extremos de cada sección de pavimento postesado, y presentan sistemas de dilatación con pasadores que permiten los movimientos de dilatación y retracción de la sección postesada.

Las losas de junta también tienen los sistemas de anclaje de los tendones longitudinales de postesado. Los anclajes se colocan en las losas de junta en cada uno de los lados de la junta de dilatación. El cajeadado dispuesto en las losas de junta proporcionan acceso a los anclajes de postesado. Los ensayos de campo de esta tecnología se han llevado a cabo en Tejas (Interestatal 35, cerca de Georgetown, Tejas, Foto 1), California (Interestatal 10, cerca de El Monte, California), Missouri (Interestatal 51, cerca de Sikeston, Missouri) y en Iowa (Carretera 60, cerca de Sheldon, Iowa). El proyecto de Iowa fue una aplicación especial del sistema de PPCP como pavimento en el tramo de aproximación a los puentes. El sistema PPCP todavía no se ha utilizado para pavimentación en serie.

2. Sistema Fort Miller SuperSlab

Se trata de una tecnología patentada de pavimentos prefabricados de hormigón adecuada tanto para las operaciones aisladas de pavimentación como para operaciones continuas. Este sistema de pavimentación consiste en un ensamblaje de losas prefabricadas colocadas sobre una base de finos nivelados con precisión (tamaño máximo del árido: 12 mm). Las juntas transversales del conjunto de losas prefabricadas se unen con pasadores para permitir la transmisión de cargas.

Las características básicas del sistema *SuperSlab* son las siguientes:

- Construcción de una base en 1/16 pulgadas mediante un equipo de explanación controlado por láser.
- Colocación de las losas. Se inyecta lechada bajo las losas para eliminar huecos.
- Realiza la unión de las losas en las juntas con un sistema de pasadores.
- Proporciona una superficie con 1/4 pulgadas. Pulido con diamante si se desea mejor acabado superficial.
- Espesor: según se especifique (similar al pavimento de hormigón con juntas).
- Hormigón de altas prestaciones: 4.000 psi (o según se requiera).

La Foto 2 ilustra las losas típicas que se utilizan en el sistema de transmisión de cargas en las juntas. Esta tecnología de pavimentos prefabricados de hormigón se presta a la construcción y a la rehabilitación de carriles de incorporación y salida de las carreteras porque el sumi-

PROYECTO	PROPIETARIO	ÁREA (SF)	TIPO DE PROYECTO	VENTANA DE TRABAJO	TIPO DE REPARACIÓN	TIPO DE LOSAS	FECHA DE INSTALACIÓN
TAPPAN ZEE BRIDGE TOLL PLAZA	NYS THRUWAY	158.000	PRODUCCIÓN	HORAS VALLE	CONTINUO	PENDIENTE ÚNICA	OCT 01-JUL 02
DULLESEIRPORT TEXIWAT REPAIR	METRO WASH	3.500	ENSAYO	8 H (NOCHE)	AISLADO	ALABEADO	NOV 02
	AIRP. AUTH.						
	NYS THRUWAY	15.750	PRODUCCIÓN	DÍA Y NOCHE	CONTINUO	ALABEADO	AGO 03
LINCOLN TÚNEL, NEW JERSEY	PORT AUTH NYNJ	8.100	ENSAYO	FIN DE SEM.	AISLADO	PENDIENTE ÚNICA	JUL 03
BELT PARKWAY RAMPS	NYSDOT	8.850	ENSAYO	CIERRE TOTAL	CONTINUO	ALABEADO	AGO 03
JAMAICA NY				(1 MES)			
KOREAN VETERANS PARKWAY	NYSDOT	8.850	DEMO.	8 H (DÍA)	AISLADO	PENDIENTE ÚNICA	NOV-DIC 03
STATEN ISLAND NY							
PORT JEFFERSON, NY (CROSS WALKS)	NYSDOT	2.650	PRODUCCIÓN	8 H (NOCHE)	CRUCES	ALABEADO	JUL 05
I-90 ALBANY, NY	NYSDOT	56.400	PRODUCCIÓN	8 H (NOCHE)	AISLADO	PENDIENTE ÚNICA	VERANO 05
TORONTO, ONTARIO	MIN. TRANSP. ONT	1.220	ENSAYO	8 H (NOCHE)	AISLADO Y CONTINUO	PENDIENTE ÚNICA	NOV 04
FONTANA, CA	CALTRANS	1.950	PRUEBA	FUERA CARR	PRUEBA	PENDIENTE ÚNICA	MAY 05
MINNEAPOLIS, MN	MN DOT	2.592	ENSAYO	CIERRE	CONTINUO	PENDIENTE ÚNICA	JUN 05
MARINE PARKWAY	MTA NY	2.592	PRODUCCIÓN	3 DÍAS CIERRE	CONTINUO	ALABEADO	JUN 06
FORDHAM RD, BROX, NY	NYSDOT	3.852	PRODUCCIÓN	8 H (NOCHE)	CONTINUO	PLANO Ú y W	DIC 06
ROUTE 7 CROSS TOWN SCHENECTADY, NY	NYSDOT	26.586	PRODUCCIÓN	10 H (NOCHE)	CONTINUO	PLANO Ú y W	JUL 06
HIGH SPEED EZ PASS SLABS	NYS THRUWAY	576	PRODUCCIÓN	8 H (NOCHE)	ESPECIAL	PENDIENTE ÚNICA	AGO 06
SCHUYLERVILLE, NY (ENSAYO)	NYSDOT	1.152	PRODUCCIÓN	FUERA CARR.	PRUEBA	PLANO Ú y W	OCT 06
SOUTHERN STATE PARKWAY	NYSDOT	2.483	PRODUCCIÓN	8 H (DÍA)	AISLADO	PENDIENTE ÚNICA	JUN 07
I-95, NEW ROCHELLE, NY		40.000	PRODUCCIÓN	5 H (DÍA)	AISLADO	PENDIENTE ÚNICA	VERANO 07
CHICAGO, IL (ENSAYO)		768	INST. PRUEBA	FUERA CARR	PRUEBA	PENDIENTE ÚNICA	SEPT 07
ÁREA TOTAL		345.871					
ÁREA DE PRODUCCIÓN TOTAL		306.297					

Tabla 1. Lista de proyectos con SuperSlab en 2001/07.

nistrador puede fabricar losas con pendientes transversales variables (losas alabeadas).

Este sistema es el que tiene más experiencia de producción hasta la fecha y lo ha ensayado el

Departamento de Transporte de Nueva York, el de Minesota, el Ministerio de Transporte de Ontario y otros. Caltrans realizó pruebas de carga rápidas del sistema en 2006. La Tabla 1 resume la aplicación del sistema *SuperSlab*.

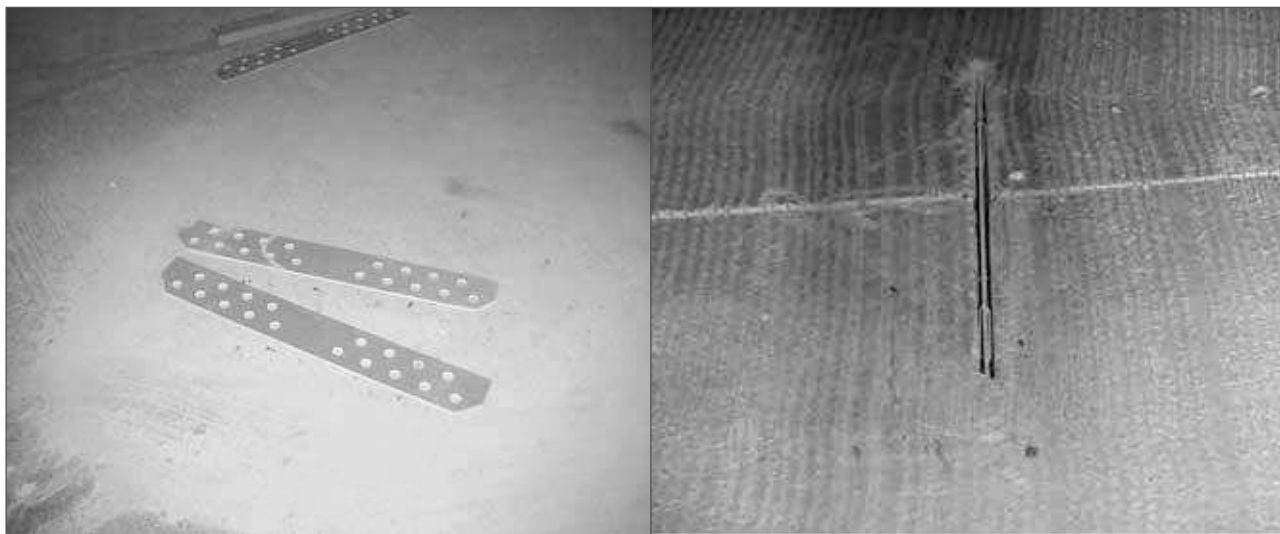


Foto 3. Costura de fibra de vidrio URETEK.

3. Sistema Uretek

En 1997, URETEK USA Inc. presentó un nuevo proceso para reparar juntas fallidas y restablecer la transmisión de la carga en los pavimentos de hormigón. URETEK ha desarrollado dos tecnologías patentadas. La primera es el *URETEK® Method*, que es el proceso que emplea espuma de poliuretano de alta densidad para elevar, realinear, subsellar y rellenar huecos de losas de hormigón que reposen directamente sobre la explanada. La segunda es el *Stitch-In-Time® Process*, que es un sistema de reparación para reestablecer la transmisión de la carga a pavimentos de hormigón con juntas que estén fisurados, desportillados o dañados de algún otro modo.

Los pavimentos que se vayan a reparar se subsellan primero mediante el *URETEK® Method* y después se aplica el *Stitch-In-Time® Process* para restablecer la transmisión de la carga. Las características básicas del sistema *Uretek* son las siguientes:

- Se transportan las losas a la obra en camión y se depositan sobre el punto de reparación que ya ha sido excavado.
- Se elevan las losas hasta el punto adecuado inyectando debajo espuma de poliuretano.
- Se cosen las losas a las existentes utilizando fibra de vidrio tal como muestra la Foto 3.

Para este sistema, se han de colocar las juntas de dilatación cada 45-60 pies, de lo contrario, se puede producir fisuración prematura en las losas.

4. Sistema Kwik Slab

El sistema *Kwik Slab* es un método patentado para construir pavimentos prefabricados de hormigón que resulta ideal para su uso en aquellos lugares en donde la interrupción del tráfico debido a la construcción o a la reparación de una carretera supone un grave problema. El sistema *Kwik Slab*, que incluye los pasadores de acero *Kwik Joint*, une con rapidez las losas prefabricadas de hormigón permitiendo la continuidad mediante pasadores en ambas direcciones en toda la superficie del pavimento (Foto 4).

El sistema simula básicamente tramos de pavimento de hormigón en masa con pasadores. Como tal, existe un límite para la longitud total de las losas que se pueden conectar y es necesario contar con juntas de dilatación. El uso de estas últimas no se ha incorporado todavía al sistema *Kwik Slab*. A continuación se muestran los proyectos *Kwik Slab* que se han completado:

- Proyecto experimental: GP/RM Precast Plant, Campllell Industrial PARK, Hawai. Sistema *Kwik Slab* instalado en marzo de 2005. Se instaló un total de 6 losas prefabricadas sobre el pavimento bituminoso ya existente. Cada losa medía 14' x 8' x 10" de espesor.
- Proyecto de producción: Parada de autobús de Leoku Street, Hawai. Sistema *Kwik Slab* instalado en diciembre de 2006. Se instaló un total de 10 losas prefabricadas sobre el pavimento bituminoso ya existente para crear una superficie de hormigón para los autobuses. Cada losa medía 13' x 10' x 10" de espesor.



Foto 4. El sistema Kwik Slab.



Foto 5. Tecnología ModieSlab en el tramo de pruebas en la A50 y la A12 en los Países Bajos.

5. Sistema ModieSlab

Esta tecnología para pavimentos prefabricados de hormigón se desarrolló en los Países Bajos como parte del programa *Carreteras para el futuro*. La estructura del pavimento *ModieSlab* está diseñada como un puente, tal como muestra la Foto 5. La estructura consta de losas prefabricadas de hormigón que abarcan la anchura total. Las losas están conectadas a unas vigas prefabricadas de hormigón armado con anclajes de pretensado y planos de deslizamiento; no hay pasadores. Se han realizado avances para colocar las losas directamente sobre un pavimento ya existente sin necesidad de utilizar pilotes ni vigas.

Un *ModieSlab* típico consiste en una losa de hormigón armado de unos 320 mm cubierta con una capa de rodadura de hormigón poroso de dos capas. Los 15 mm superiores de este hormigón poroso es de grano fino, mientras que los 35-55 mm inferiores son de árido grueso. Las losas tienen un sistema de drenaje con sumideros para desaguar el agua de lluvia que penetra a través de la capa de rodadura del hormigón poroso. El sistema *ModieSlab* contiene un sistema de tuberías para regular la temperatura de las losas, lo que permite controlar la dilatación, la nieve y el hielo.

Los tramos de prueba de *ModieSlab* se han construido a la entrada de la A50, mientras que el resto están dentro la autopista haciéndose un seguimiento durante un periodo de 16 meses. Además del tramo de prueba *in situ*, se construyó una segunda estructura en la instalación LINDTRACK APT de la Universidad de Delft para investigar la integridad estructural del sistema. En general, los investigadores informaron de una experiencia positiva con esta tecnología tanto desde un punto de vista técnico como económico. En julio de 2006 se construyó una sección de 100 m de *ModieSlab* en el carril para camiones de la autopista A12.

6. Sistemas en abierto del aeropuerto internacional de La Guardia

Durante 2000, la Autoridad Portuaria de Nueva York y Nueva Jersey (PANY/NJ) investigó el uso de pavimentos prefabricados de hormigón para rehabilitar el carril de rodadura A. Esta pista incorpora un pavimento bituminoso de gran espesor que requiere reparaciones constantes debido a las roderas que causan las colas de espera de aviones. La opción del firme bituminoso no fue la elegida debido a problemas de comportamiento en el pasado y la opción de un pavimento de hormigón *in situ* no es factible por las limitaciones de tiempo.



Foto 6. Tramos de prueba de La Guardia.



Foto 7. Sistema de reparación en todo profundidades y espesor (M-25, MI).

En consecuencia la PANY/NJ está pensando seriamente en utilizar pavimentos prefabricados para rehabilitar secciones de la pista durante varios cierres de 55 horas en fines de semana. Para recabar información sobre el diseño, la PANY/NJ construyó en 2002 dos tramos de prueba de 200 pies en un carril de rodadura que no fuese imprescindible. Un tramo de prueba utilizó losas de 16" de espesor y 12,5 x 25 pies y el segundo utilizó losas pretensadas de 12" y 12,5 x 25 pies. Ambos sistemas se desarrollaron como solución en abierto. La PANY/NJ está valorando los resultados de ambos tramos de prueba. La Foto 6 muestra ambos tramos de La Guardia.

7. Losas prefabricadas de hormigón para reparaciones en todo el espesor

Se trata de un sistema con pasadores con profundidades en todo su espesor que es adecuado para reparaciones aisladas de pavimentos de carreteras. Se trata de una tecnología no patentada para pavimentos prefabricados de hormigón. Las losas de reparación tienen normalmente 6 pies de longitud y 12 de anchura, están dotadas de tres o cuatro barras pasadores en cada carril. Los pasadores se sitúan a 12" en el centro y su diámetro

depende del espesor de la losa. La Foto 7 muestra los detalles del diseño y la colocación típicos. Los cajeados para los anclajes se cortan en el pavimento adyacente existente. Esta tecnología para pavimentos prefabricados de hormigón la desarrollaron conjuntamente la Universidad del Estado de Michigan y el Departamento de Transporte de Michigan. Esta tecnología se puede utilizar para reparar pavimentos continuos o con juntas de hormigón armado.

En los diversos proyectos y tramos de prueba que se construyeron en Michigan (I-94 BL, I-196, M-25 E I-675), Virginia y la provincia de Ontario (Canadá), las deformaciones típicas que mostraron las losas seleccionadas para su reparación incluían fisuración transversal de severidad media a alta junto con desportillado y juntas rotas y fisuradas. Las ventajas de esta tecnología incluyen:

- El traslado y el almacenaje de varias losas al lugar de las obras o al depósito de mantenimiento de los organismos no supone ningún problema;
- Se pueden producir las losas en serie en la planta de fabricación o en las instalaciones de los suministradores de hormigón (lo primero se demostró en Michigan);



Foto 8. Instalación de losas hexagonales machihembradas en Francia.

- Tomando como base la geometría y la proximidad de los lugares de la reparación, se pueden instalar de ocho a diez losas por día y quedar listas para el tráfico en muy poco tiempo;
- Se puede utilizar un hormigón cuya dosificación sea la misma que la utilizada por la agencia para la construcción de estas losas si se aplica el curado adecuado; y
- La presencia de pasadores en las juntas transversales garantiza una transmisión de la carga eficiente.

8. Aplicaciones en aeropuertos

El uso de pavimentos prefabricados de hormigón se considera una alternativa muy rentable para reparaciones y rehabilitaciones rápidas de pavimentos de aeropuertos. Algunas administraciones han estudiado recientemente el uso de estas tecnologías como sigue:

- La PANY/NJ, como se indicó previamente, para la posible rehabilitación del carril de rodadura A en el aeropuerto de La Guardia.
- El aeropuerto internacional de San Luis, para sustituir losas.
- El aeropuerto internacional de Dulles para sustituir losas (sistemas *Fort Miller* y *Uretek*).

El ejército de los EE.UU. también ha valorado el uso de pavimentos prefabricados para reparar y rehabilitar con rapidez pavimentos de aeropuertos. Los EE.UU. están operando en la actualidad desde viejos aeródromos de diseño/construcción soviéticos en Afganistán que incorporan una variedad de losas prefabricadas de hormigón.

9. Losas prefabricadas de hormigón armado (PRC) japonesas

A lo largo de los años, los japoneses han utilizado pavimentos prefabricados de hormigón para satisfacer las

necesidades específicas de los proyectos. Las losas prefabricadas de hormigón armado (PRC) se colocan sobre una capa intermedia bituminosa para impedir el hinchamiento de la base granular. Los espacios entre las losas y la capa intermedia se rellenan con una lechada. Las dimensiones estándar de la losa son de 1,5 m (4,9') de anchura y 5,5 m (18,0') de longitud. El espesor varía de 20 a 25 cm (7,9' a 9,8').

También se ha estudiado en Japón el uso en carriles de rodadura de los aeropuertos de losas prefabricadas de hormigón armado (PRC) de hormigón de alta resistencia con juntas cajeadas. El diseño de la junta se ha mejorado mediante pruebas de laboratorio y con la construcción de un pavimento experimental en el aeropuerto de Fukuoka en 2004 y se ha ensayado el hormigón reforzado con fibras en la parte superficial de la losa de PRC para controlar la fisuración.

10. Pavimentos urbanos desmontables franceses

En Francia, los investigadores del "Laboratoire Central des Ponts et Chaussées" (LPCP), en su búsqueda de pavimentos urbanos desmontables, están valorando la opción de losas prefabricadas de hormigón. Se está valorando la forma hexagonal frente a la rectangular típica. Como parte del concepto, las losas tienen que ser independientes en términos mecánicos con el fin de que se puedan levantar con facilidad durante las operaciones de mantenimiento y, por tanto, solamente se utiliza una junta estanca polimérica.

Las losas se instalan sobre un lecho granular. La capa de base tiene una función estructural, de manera que la investigación continúa buscando un material que permita excavar con facilidad, pero que sea lo bastante resistente como para soportar las cargas del tráfico a largo plazo. Las losas tienen 200 mm de espesor y un diámetro equivalente de 1.540 mm. El LPCP ha llevado a cabo con éxito pruebas rápidas con el pavimento. Se ha valorado

Lugar	Países Bajos	Francia	California
Sistema de prefabricado de hormigón	ModieSlab	Pavimento urbano desmontable (RUP)	SuperSlab
Material	Losas prefabricadas de hormigón	Losas hexagonales prefabricadas de hormigón	Losas prefabricadas de hormigón
Fechas de prueba	Julio de 2002 a diciembre de 2003	2004-2005	Junio de 2005 a agosto de 2006
Ensayado por/en	Universidad técnica de Delft (Dep. ingeniería de carreteras y ferroviaria)	Pista circular de pruebas del LCPC, Nantes	UCPRC y Dunatest. Intersección de la I-15 y la I-210 en San Bernardino
Sistema de simulación de carga	LINTRAK	LCPC Fatigue Carrousel	HVS
Sistema de pavimentos prefabricados de hormigón desarrollado por	ModieSlab	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC)	The Fort Miller Company

Tabla 2. Detalles de los ensayos de pavimentación rápida de pavimentos prefabricados de hormigón.

un segundo tipo de losas con paneles menores y juntas machihembradas para lograr cierto grado de transmisión de la carga. La Foto 8 muestra este sistema.

EXPERIENCIA CON ENSAYOS DE PAVIMENTACIÓN RÁPIDA DE PAVIMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

Ha habido por lo menos cuatro experimentos que han investigado específicamente la durabilidad del pavimento prefabricado de hormigón sometido a cargas de tráfico pesado. Estos experimentos se han llevado a cabo en California, Países Bajos y Francia, tal como recoge la Tabla 2.

Tomando como base la experiencia adquirida en el Centro de investigación de pavimentos de la Universidad de California (UCPRC) y la bibliografía sobre los demás experimentos, los sistemas de losas prefabricadas de hormigón (al menos el *ModieSlab*®, *SuperSlab*® y las losas hexagonales del LCPC) tienen el potencial de ser sistemas de elevada durabilidad capaces de resistir adecuadamente un gran número de repeticiones de carga de tráfico pesado^(8,2).

El experimento que llevó a cabo el UCPRC para Caltrans en donde se utilizó un “*Dynatest Heavy Vehicle Simulator*” (simulador de vehículos pesados Dynatest) para ensayar el comportamiento estructural del sistema *SuperSlab* arrojó los siguientes resultados⁽⁴⁾:

- El sistema *SuperSlab* de losas prefabricadas se pueden abrir de forma segura al tráfico sin la inyección de lechadas, de forma que las losas se pueden colocar en noches consecutivas en lugar de completando toda la instalación en una sola vez. Esto permite que se puedan eliminar las losas antiguas y que se coloquen las prefabricadas en

su lugar una noche y que se complete el procedimiento inyectando la lechada la noche siguiente.

- La vida del sistema de losas prefabricadas, cuando se utiliza como se detalla en este ensayo, se calcula que es de entre 142 y 242 millones de ESAL. Estos números son el resultado del tráfico estimado aplicado a un tramo que no haya fallado y a un tramo que haya fallado bajo cargas de tráfico muy elevadas. Tomando como ejemplo la carretera I-15 en el condado de San Bernardino, California, esta cifra de ESAL se podría considerar equivalente a más de 25 años de servicio e incluso 37 años antes de que falle.
- El mecanismo de fallo en este sistema de losas prefabricadas no fue distinto al de los pavimentos de hormigón con juntas fabricados *in situ*. La fisuración de las esquinas, que son el resultado de la pérdida de apoyo, generaron condiciones que indican el final de la vida útil del pavimento.

RESUMEN DE LAS LAGUNAS EN LA TECNOLOGÍA Y LA PRÁCTICA

Aunque se han hecho grandes progresos en las últimas décadas para mejorar las tecnologías relacionadas con los pavimentos prefabricados de hormigón, aún quedan muchos desafíos. La Tabla 3 enumera algunos de los retos técnicos e institucionales.

NECESIDADES FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

El Congreso de los EE.UU. elaboró el segundo programa de investigación estratégica de carreteras (SHRP 2) en

1. Mayores costes en la construcción / instalación de sistemas con pavimentos prefabricados de hormigón a la vista de los presupuestos limitados de las agencias.	
2. Tasa de instalación (producción) <i>in situ</i>	
3. Requisitos de cierre del carril para una instalación rápida:	<ul style="list-style-type: none"> a. Horario diurno durante horas punta b. Horario nocturno c. Fines de semana d. Prolongado
4. Comprensión clara de los factores que afectan al comportamiento del pavimento prefabricado de hormigón y a los resultados a largo plazo. En el caso de pavimentos prefabricados de hormigón, algunos de los factores críticos son:	<ul style="list-style-type: none"> a. Capacidad para transporte de carga de cada componente del sistema b. Condiciones de colocación y apoyo (requisitos del lecho) c. Transmisión de la carga en juntas entre losas prefabricadas de hormigón y entre losas prefabricadas de hormigón y el pavimento existente d. Conectividad en las juntas e. Comportamiento de las juntas de dilatación para sistemas de PPCP f. En el PPCP, comportamiento de losa delgada frente a la deformación
5. Tratamiento de las secciones curvas: uso de control 3D para la fabricación de losas y allanamiento de la base.	
6. Optimización de varias características del diseño de pavimentos prefabricados de hormigón.	
7. Garantizar la duración de los sistemas de pavimentos prefabricados de hormigón.	
8. Falta de historial adecuado sobre el comportamiento a largo plazo.	
9. Falta de ensayos adecuados con los componentes del sistema de hormigón prefabricado (por ejemplo, pasadores en las juntas, sistemas de juntas de dilatación).	
10. Disponibilidad en el momento de plantas cercanas de montaje / fabricación de pavimentos prefabricados de hormigón.	
11. Buenos procedimientos del control (QC) del proceso desarrollados para los distintos sistemas.	
12. Buenos procedimientos de prueba de aceptación (QA) desarrollados para los distintos sistemas	<ul style="list-style-type: none"> a. Tolerancias en las dimensiones de las losas. b. Rodadura / Características c. Transmisión eficiente de la carga en las juntas. d. Fallos iniciales en las juntas.
13. Procedimientos de tratamiento para fallos a edad temprana	
14. Requisitos de apertura al tráfico.	
15. Conservación de la rodadura de los pavimentos prefabricados de hormigón (relacionado con la seguridad).	
16. Mantenimiento del escalonamiento en las juntas.	
17. Falta de Mejores Prácticas de diseño, construcción y M y R de los sistemas de pavimentos prefabricados de hormigón.	
18. Falta de especificaciones genéricas bien desarrolladas basadas en la experiencia para el uso de los sistemas de hormigón prefabricado.	
19. Falta general de apoyo por parte de la industria del hormigón prefabricado al perfeccionamiento de las tecnologías del sistema de pavimentos prefabricados de hormigón.	
20. Falta general de apoyo por parte de la industria bituminosa al desarrollo de las tecnologías de los pavimentos prefabricados de hormigón basadas en mezclas bituminosas	
21. Falta de comprensión de las capacidades técnicas por parte de las administraciones de carreteras del potencial que tienen los pavimentos prefabricados de hormigón. Se necesita una transferencia tecnológica de las actividades relacionadas con:	<ul style="list-style-type: none"> a. Criterios de selección para el uso de las tecnologías del hormigón prefabricado. b. Especificaciones genéricas para el uso de las tecnologías del hormigón prefabricado. c. Problemas de diseño, construcción y mantenimiento y reparación relacionados con el hormigón prefabricado.

Tabla 3. Desafíos técnicos e institucionales para los pavimentos prefabricados.

2006 para investigar las causas subyacentes a los accidentes y la congestión en las carreteras en un programa a corto plazo con una investigación centrada en determinados puntos. Como parte de este programa, se ha elaborado un plan de investigación sobre la renovación de las carreteras.

El área central de la *Renovación* hace hincapié en la necesidad de que se completen las actuaciones sobre el pavimento de las carreteras con rapidez, con una interrupción mínima para los usuarios y las comunidades locales y que se construyan pavimentos que elevada durabilidad. Los objetivos de esta área incluyen la aplicación de nuevos métodos y materiales para conservar, rehabilitar y reconstruir las carreteras. El uso eficaz de las tecnologías de pavimentos prefabricados de hormigón para la reparación, la rehabilitación y la reconstrucción rápidas de los pavimentos cumple estos objetivos.

El objetivo de un proyecto de investigación en marcha conocido como SHRP2 R05 es el de desarrollar herramientas para su uso por parte de las agencias de carreteras, con el fin de que diseñen, construyan, instalen, mantengan y valoren los pavimentos prefabricados de hormigón y modulares. Estas herramientas han de incluir lo siguiente:

- Orientación sobre los posibles usos de los pavimentos prefabricados de hormigón para renovaciones rápidas concretas.
- Criterios de diseño genérico para pavimentos prefabricados de hormigón.
- Criterios de selección de proyectos de pavimentos prefabricados de hormigón.
- Orientación y especificaciones de modelos para la construcción, instalación, aceptación y mantenimiento.
- Plan de evaluación a largo plazo para valorar los resultados de los pavimentos prefabricados de hormigón y para perfeccionar estos sistemas.

Las necesidades prioritarias de uso o promoción de las tecnologías relacionadas con los pavimentos prefabricados de hormigón son la ejecución rápida y la elevada durabilidad. Si la ejecución no es rápida, no será de relevancia que sean competitivos en cuanto a los costes. Si la ejecución es rápida, pero la durabilidad no es elevada, no tendrán ningún futuro. Como tal, es importante que las características del diseño estructural y las propiedades de los materiales de los pavimentos prefabricados de hormigón estén optimi-

zadas e integradas para asegurar la ejecución rápida y una larga vida útil.

La definición de los EE.UU. de un pavimento de hormigón de larga duración se resume como sigue:

- vida útil de la superficie de hormigón original de más 40 años;
- el pavimento no mostrará deformaciones a edad temprana relacionadas con la construcción y los materiales;
- el pavimento tendrá bajas probabilidades de sufrir fisuración, defectos y el desportillado; y
- el pavimento mantendrá unas características de uso y de textura superficial óptimas con unas operaciones de mantenimiento mínimas que únicamente estarán dirigidas a corregir la rodadura y la textura, al sellado de las juntas y a reparaciones menores.

Es esencial que los pavimentos prefabricados de hormigón utilizados en las tramos de forma continua sean capaces de cumplir los requisitos citados. En el pasado, esta definición se aplicaba principalmente a las carreteras con una gran densidad de tráfico. Sin embargo, muchos organismos están comenzando a aplicar esta definición a la mayoría de las instalaciones viarias. En cuanto a la reparación, la vida útil puede ir desde unos pocos años a más de 20, dependiendo de las operaciones de rehabilitación proyectadas para el pavimento sometido a reparación, pero siguen siendo de aplicación el resto de los requisitos.

Aunque se hayan ensayado con éxito varios tipos de pavimentos prefabricados de hormigón y se consideren probados, es necesario que se investigue aún más en determinadas áreas clave para garantizar un buen rendimiento del pavimento a largo plazo, una mejor construcción y para hacer que los sistemas sean competitivos en cuanto a los costes. Los aspectos susceptibles de mejora incluyen los siguientes:

- Diseño estructural del sistema, para garantizar el rendimiento bajo cargas de tráfico y ambientales.
- Fabricación, para garantizar que los sistemas se puedan fabricar con unos estándares de calidad elevados, al menos iguales que los sistemas de pavimentos convencionales, aunque preferiblemente mayores.
- Material, para asegurar la durabilidad a largo plazo de los materiales utilizados, en el caso del hormigón, los

sistemas de transmisión de la carga, los sistemas de inyección de lechada y aquellos con una base bituminosa.

- Construcción (colocación *in situ*), para asegurar la construcción rápida de los sistemas con unos requisitos de corte de tráfico mínimos y para minimizar el equipo de obra y el número de peones. La construcción se debería automatizar tanto como sea posible con un riesgo muy reducido de demoras en la construcción por motivos de colocación. Asimismo, se ha de estudiar la capacidad de acomodar las secciones curvas (con losas *alabeadas*) de pendiente transversal variable.
- Comportamiento, para garantizar que las características de rodadura y superficiales se mantengan en el grado deseado a largo plazo y que sólo sean necesarias operaciones de mantenimiento mínimas para corregir las deficiencias de la rodadura y de la textura superficial. Asimismo, las operaciones de mantenimiento y reparación del sistema se han de mantener bajo mínimos y se deberían poder ejecutar con facilidad, sin que sean necesarios equipos, mano de obra y cierres de carriles importantes en los próximos años.

Basándose en la experiencia hasta la fecha con los sistemas ya construidos de pavimentos prefabricados de hormigón, las siguientes áreas requieren una investigación adicional:

- Apoyo estructural bajo las losas prefabricadas: es esencial que haya un apoyo uniforme para impedir que se produzcan tensiones localizadas que pueden conducir al fallo prematuro, deformaciones, fisuras o deterioro por fisuración. Hoy día se utilizan varios métodos, pero todos tienen algún defecto. Quizá el más amplio de todos ellos sea el desarrollado por el sistema *SuperSlab*, en donde se coloca una capa fina (1") de material granular (polvo de roca), se compacta y se nivela con un nivelador guiado por láser para obtener un perfil superficial casi perfecto destinado a la colocación de las losas prefabricadas. Además, se bombea una lechada muy fluida a través de un sistema de canales de relleno para garantizar la no existencia de huecos bajo las losas. Aunque el uso de este sistema asegure un apoyo completo de la losa en el momento en que ésta se coloque, el problema es un posible abombamiento del material que sirve de lecho (que, con el tiempo, produce el fallo). De igual modo, el requisito de que se coloque una capa de base relativamente espesa (1' o más) puede ser un problema en los proyectos de reconstrucción.
- En el caso del sistema PPCP, el sistema de apoyo resulta esencial por el uso de losas delgadas. Mientras que el

pretensado asegura la no aparición de fisuras, no existe un beneficio directo en términos de respuesta a la deformación. Por tanto, es necesario que se haga mayor hincapié en la necesidad de una cimentación/apoyo más sólidos con el sistema PPCP.

- También se utilizan varios métodos de colocación de losas con gatos hidráulicos. En este caso, puede ser un problema la inyección de la lechada (o espuma) en la base bajo las losas, lo que causa un apoyo no uniforme. Asimismo, el proceso requiere unos peones experimentados. Desde el punto de vista de la velocidad de construcción, es más deseable un sistema que requiera menos esfuerzo (tiempo) para garantizar el apoyo.
- Con respecto al uso de sistemas de hormigón en capas superpuestas, el uso de una capa geotextil al estilo alemán reúne posibilidades. En Alemania se utiliza una tela geotextil de 5 mm de espesor como capa intermedia entre la losa de hormigón y un CTB para la construcción de elementos fabricados *in situ*. Este uso está siendo investigado como capa intermedia para pavimentos de hormigón sin juntas. Es posible que los 5 mm (u otro espesor) se puedan utilizar para ofrecer un apoyo más eficaz a las losas prefabricadas de hormigón en casos de pavimentación continua.
- Regularidad: en la actualidad, la tolerancia de fabricación en las losas prefabricadas está en torno a 1/8". Aunque este grado de precisión se considere el límite de la tecnología actual, en el pavimento de vía principal no resulta deseable un escalonamiento de esas dimensiones. A menos que se pueda reducir de manera drástica la tolerancia de la fabricación (por ej. 1/32"), es necesario el cepillado para ofrecer la calidad de circulación deseable. Es necesario que se investigue más para determinar si se puede reducir la tolerancia de fabricación o si el cepillado es el tratamiento más eficaz en lo que a costes se refiere.
- Transmisión de la carga: en la actualidad todos los sistemas con juntas tienen pasadores en ellas. Normalmente, las losas prefabricadas tienen pasadores previamente colocados en un extremo y taladros para pasadores en el extremo opuesto de la losa. Tras colocar la losa, se han de rellenar los taladros con lechada o material de parcheo. En este proceso, es difícil impedir la entrada de la lechada en la junta. No es deseable tener elementos no compresibles en las juntas transversales, en especial si se utilizan losas más largas (20" o más) en la construcción con elementos prefabricados a efectos de ir más rápido. Se han de estudiar los efectos que tiene la inclusión de la lechada sobre el comportamiento. También hay que investigar más para valorar y

desarrollar métodos perfeccionados que establezcan la transmisión de la carga en el caso de los sistemas de prefabricados de hormigón.

- Proceso de fabricación de la losa: aunque las losas prefabricadas se realicen con el mayor grado posible de precisión, son inevitables los errores debidos a la tolerancia de fabricación. En la actualidad esta tolerancia es de aproximadamente 1/8" para todas las dimensiones (longitud, anchura, espesor y diferencia en las diagonales). Se trata de tolerancias muy ajustadas y puede ser difícil su mejora. Sin embargo, a lo largo del proyecto, los errores acumulados en cuanto a la longitud de la losa pueden ser muy importantes a menos que se adopten medidas para impedir su acumulación a lo largo de la losa. Una forma de evitar la acumulación de errores de fabricación consiste en establecer límites topográficos en donde se coloquen las losas tomando como base la longitud diseñada de la losa y la tolerancia de la construcción, y colocar cada losa en la línea topográfica, en lugar de alineada con la losa previa. En la norma actual de fabricación de losas, esto significa que habría un espacio promedio de 1/4 en cada junta, lo cual afecta a la calidad de circulación. Es necesario que se investigue más para reducir la tolerancia de la fabricación.
- Comportamiento real bajo una serie de condiciones de carga de tráfico y ambientales: el conjunto de datos no es aún suficiente para determinar la adecuación de los sistemas de prefabricados de hormigón para aplicaciones específicas.
- Pruebas de carga rápidas para sistemas específicos y para componentes del sistema: puesto que no existen datos adecuados sobre el comportamiento a largo plazo, es necesario que se lleven a cabo un número limitado de ensayos de carga rápida para valorar la solidez de los componentes del sistema, para determinar los mecanismos de colapso del sistema y para verificar los procedimientos de análisis estructural que se pueden utilizar para perfeccionar los sistemas sin necesidad de ensayos de cargas acelerados. Hasta la fecha sólo se han sometido a este tipo de ensayos los sistemas *SuperSlab* y *ModieSlab*.
- Valoración del comportamiento real: se ha de trabajar para determinar qué resultados arrojan los proyectos construidos en la práctica para comprobar las hipótesis de diseño y para valorar las mejoras necesarias de los sistemas. Asimismo, se ha de recabar información sobre el ciclo de vida de cada sistema para apoyar la toma de decisiones por parte de las administraciones de carreteras.

- Requisitos de construcción y gestión del tráfico: la construcción rápida y la gestión eficaz del tráfico son requisitos clave para el uso de pavimentos prefabricados de hormigón y las agencias de carreteras han de comprenderlos adecuadamente:

- Requisitos en cuanto a cierre de carriles,
- Requisitos de cierre de un solo carril frente a varios,
- Desvío de carriles cortados,
- Longitud de los cierres,
- Acceso a la obra de la maquinaria de construcción,
- Uso de programas informáticos de optimización del tráfico de construcción como CA4PRS, y
- Datos sobre la productividad de la construcción durante los trabajos de reparación y rehabilitación e impacto sobre el tráfico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Buch, N., Lane, B. y T. Kazmierovski (2006). "The Early-Age Evaluation of Full-Depth Precast Panels: Canadian and Michigan Experiences". Actas de la Conferencia internacional sobre pavimentos de hormigón de larga duración, Rosemont, Illinois, 25-27 de octubre de 2006.
2. DeLarrard, F.; Balay, J-M.; Sedran, T.; Laurent, G.; Lerroux, A.; Maribas, J.; Vulcano-Greullet, N.; Sagnard, N.; Masson, J-M.; Bélouard, R. (2006). "Development of a Removable Urban Pavement Technology". 10º Simposio internacional sobre carreteras de hormigón, 18-22 de septiembre de 2006, Bruselas, Bélgica.
3. Hara, Chisato, Takuya Ikeda, Sauro Matsuno y Tatsuo Nishizawa (1997). "Long Term Performance of Prestressed Concrete Pavements in Japan". Conferencia Purdue sobre hormigón, Indiana.
4. Kohler, E.; L. du Plessis, P.J. Smithi, J. Harvey y T. Pyle (2007). "Precast Concrete Pavements and Results of Accelerated Traffic Load Test". Actas de la Conferencia internacional sobre optimización de mezclas de hormigón para pavimentos y construcción y rehabilitación aceleradas con pavimentos de hormigón, Atlanta, Georgia, 7-9 de noviembre de 2007.

5. Merritt D., B. Frank McCullough, Ned H. Burns y Antón K. Schindler (2000). "The Feasibility of Using Precast Concrete Panels to Expedite Highways Pavement Construction". Informe FHWA/TX-01/1517-1.
6. Precastpavement.com de The Transtec Group (consultada el 9 de enero de 2007). <http://www.precastpavement.com>
7. Smits F. (2004). "ModieSlab, Innovative Prefabricated Modular Concrete Slab for Concrete Roads and Airfields". 9º Simposio internacional sobre carreteras de hormigón, 4-7 de abril de 2004, Estambul, Turquía.
8. Van Dommelen, A.E., Kooji, J, van der; Houben, L.J.M. y Molenaar, A.A.A. (2004). "LinTrack APT research supports accelerated implementation of innovative pavement concepts in the Netherlands". Segunda conferencia internacional sobre ensayos rápidos en pavimentos, septiembre de 2004, Minneapolis. 